

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Studio di pattino pneumostatico con controllo attivo mediante valvola pneumatica proporzionale



Relatori:

Prof. Terenziano Raparelli
Prof. Daniela Maffiodo
Prof. Federico Colombo

Candidato:

Tommaso Fara

Anno Accademico 2019/2020

Indice

<i>Prefazione</i>	<i>pag. 1</i>
<i>Capitolo 1 Cuscinetti e pattini ad aria</i>	<i>pag. 4</i>
1.1 Generalità sui cuscinetti	pag. 4
1.2 Pattini pneumostatici passivi	pag. 4
1.2.1 Impieghi dei pattini pneumostatici passivi	pag. 9
1.3 Pattini pneumostatici attivi	pag. 10
<i>Capitolo 2 Banco di prova</i>	<i>pag. 13</i>
2.1 Struttura del banco di prova	pag. 13
2.1.1 Corpo del pattino	pag. 16
2.2 Componenti impiegati	pag. 18
2.2.1 Flussimetro digitale	pag. 18
2.2.2 Cella di carico	pag. 20
2.2.3 Sensori di posizione capacitivi	pag. 24
2.2.4 Sensori a contropressione	pag. 26
2.2.5 Trasduttori di pressione	pag. 28
2.2.6 Scheda elettronica	pag. 34
2.2.7 Valvola pneumatica proporzionale	pag. 35
2.2.8 Sistema di acquisizione dei dati	pag. 37
<i>Capitolo 3 Circuito sorgente di corrente</i>	<i>pag. 40</i>
3.1 Schema elettrico equivalente e caratteristica statica del circuito	pag. 40
3.2 Componenti elettronici	pag. 45
3.2.1 Circuito integrato LT3092	pag. 45
3.2.2 Diodo	pag. 48
3.2.3 Condensatori	pag. 50
<i>Capitolo 4 Test sperimentali svolti su banco prova</i>	<i>pag. 52</i>
4.1 Prove sperimentali sulla valvola proporzionale	pag. 52
4.2 Prove sperimentali in anello aperto	pag. 57
4.3 Prove sperimentali in anello chiuso	pag. 72
4.3.1 Acquisizione dei segnali con la scheda elettronica Orange	pag. 72
4.3.2 Controllore PID	pag. 73
4.3.3 Taratura dei parametri del controllore PID	pag. 75
4.3.4 Implementazione del codice di controllo sulla scheda elettronica Orange	pag. 77
4.3.5 Analisi dei risultati	pag. 80
<i>Capitolo 5 Modello matematico e simulazione</i>	<i>pag. 92</i>
5.1 Modello matematico della valvola pneumatica proporzionale	pag. 92
5.2 Modello matematico di anello aperto	pag. 98
5.2.1 Capacità pneumatica della camera interna	pag. 99
5.2.2 Resistenza pneumatica del foro di scarico	pag. 100

<i>5.2.3 Capacità pneumatica variabile del meato d'aria</i>	<i>pag. 102</i>
<i>5.2.4 Resistenza pneumatica variabile del meato d'aria</i>	<i>pag. 104</i>
<i>5.2.5 Calcolo della forza applicata al pattino</i>	<i>pag. 105</i>
<i>5.2.6 Modello matematico complessivo</i>	<i>pag. 105</i>
<i>5.3 Modello matematico di anello chiuso</i>	<i>pag. 118</i>
<i>5.3.1 Resistenza pneumatica variabile del meato d'aria</i>	<i>pag. 118</i>
<i>5.3.2 Equilibrio verticale di forza sul pattino</i>	<i>pag. 119</i>
<i>Conclusioni e sviluppi futuri</i>	<i>pag. 124</i>
<i>Bibliografia</i>	<i>pag. 127</i>
<i>Allegato 1</i>	<i>pag. 129</i>
<i>Allegato 2</i>	<i>pag. 137</i>

Prefazione

Oggigiorno la precisione necessaria per le moderne lavorazioni meccaniche sta crescendo sempre più. Al fine di soddisfare questa richiesta, il mondo dell'industria 4.0 sta investendo sullo sviluppo di sistemi che garantiscano la movimentazione di macchine di precisione con il minimo consumo di energia ma con la massima accuratezza. La ricerca si sta muovendo per migliorare le tecniche di fabbricazione e di controllo dei cuscinetti ad aria o pattini pneumatici. Grazie alla mancanza di contatto diretto delle parti in movimento relativo si garantisce la riduzione dell'attrito tra le superfici e quindi una migliore precisione di posizionamento e una bassa potenza necessaria, ma con un aumento della velocità di spostamento impiegata.

In questo lavoro di tesi si vuole presentare l'attività sperimentale svolta su un pattino pneumostatico, prodotto da Mager, alimentato a diverse pressioni tramite una valvola pneumatica per osservarne la capacità di carico e la quantità d'aria consumata in varie situazioni.

Il pattino pneumatico utilizzato nel seguente lavoro di tesi è alimentato da una valvola proporzionale comandata da una scheda elettronica compatibile ad Arduino. Il controllo della valvola pneumatica proporzionale permette di gestire il meato d'aria che si crea al di sotto del pattino. Grazie alla presenza di un foro calibrato ricavato sulla superficie inferiore del pattino, l'aria proveniente dalla valvola di alimentazione tende a sollevare il cuscinetto stesso, garantendo l'assenza di contatto con la pista di scorrimento. Generalmente le valvole proporzionali, a differenza di quelle digitali, garantiscono una maggiore affidabilità poiché il controllo in PWM può portare a oscillazioni con frequenza uguale a quella utilizzata per il controllo delle valvole.

A tal proposito, per il comando della valvola proporzionale, viene utilizzata la scheda elettronica Orange board prodotta da WhatsNext, l'analogo della scheda Arduino Due. Questa scheda elettronica viene impiegata in questo preciso caso perché presenta due pin denominati DAC, digital-to-analog. Questi pin di output permettono di convertire un segnale digitale e di inviare un segnale proporzionale in tensione che sia in grado di controllare e comandare la valvola. Dato che la sola scheda elettronica non è in grado di inviare potenza a sufficienza attraverso il pin DAC per la valvola, si utilizza un circuito ausiliario, assemblato per tale lavoro di tesi. La funzione secondaria del circuito, oltre a quella di aumentare la potenza in gioco, è di tramutare il segnale in tensione in uscita dalla scheda elettronica in quello in corrente necessario per l'apertura della valvola proporzionale.

L'interazione tra valvola, scheda elettronica e sensori di posizione che rilevano lo scostamento verticale del cuscinetto permette di rendere il pattino "attivo", ovvero si può rendere il meato d'aria indipendente dalla forza applicata al pattino stesso. Il pattino, dunque, è ora in grado di lavorare a meato costante, scelto dall'utente, con l'aumento della precisione di movimentazione a carichi variabili. I sensori impiegati leggono istante per istante il valore del meato al di sotto del pattino e lo confrontano con quello voluto dall'utente. Tramite il controllore PID implementato nella scheda elettronica, si cerca di annullare l'errore che si crea dal confronto al fine di rendere il meato reale il più simile possibile a quello desiderato.

In particolare i sensori di posizione utilizzati per il controllo del meato indipendente dalla forza applicata sono sensori a contropressione.

Le prove sperimentali in campo statico e dinamico, ovvero in anello aperto e chiuso, con il cuscinetto nella sua configurazione attiva, sono svolte inizialmente per testare il pattino verificandone il corretto funzionamento a diverse funzioni di forza applicata per poi, successivamente, migliorare il controllo PID, aumentando così le prestazioni durante il funzionamento autonomo.

Infine è necessario lo sviluppo di un modello matematico Matlab/Simulink che possa rispecchiare il più possibile gli andamenti sperimentali ricavati, in modo tale da essere utilizzato per valutare l'effetto di eventuali variazioni sul sistema reale.

Capitolo 1

Cuscinetti e pattini ad aria

1.1 Generalità sui cuscinetti

I cuscinetti sono organi meccanici interposti tra due organi in movimento con lo scopo di ridurre gli attriti tra le superfici. I cuscinetti sono per lo più utilizzati quando il sistema meccanico in movimento deve garantire elevata precisione, buona ripetibilità e velocità nell'esecuzione del lavoro.

In particolare i cuscinetti pneumostatici basano il loro funzionamento sull'interposizione di un meato d'aria tra le due superfici quella superiore e quella inferiore d'appoggio in movimento relativo; ciò favorisce che le due parti non siano in contatto diretto velocizzando ulteriormente la movimentazione. I cuscinetti di questo tipo diventano molto utili nei sistemi di misura, macchine utensili per lavorazioni leggere (laser, microfresatura) e nei sistemi di guida per la metrologia o controllo qualità. Oltre ai cuscinetti pneumostatici esistono altre tipologie:

- Cuscinetti a strisciamento che possono essere composti da due o più parti e diminuiscono l'attrito grazie all'azione di un sottile strato di lubrificante tra le superfici in movimento. Sono per lo più utilizzati per consentire la rotazione relativa come, per esempio, quella che è permessa dalla bronzina lubrificata, riportata nella figura 1.1.1, tra la biella e il gomito dell'albero a gomiti dei motori termici.



Figura 1.1.1: Bronzina di biella

- Cuscinetti volventi che riducono l'attrito tra le parti in rotazione relativa sfruttando le proprietà dell'attrito volvente. Tra le due piste in rotazione relativa vengono interposti corpi volventi come sfere o rulli che consentono il movimento tra albero e mozzo senza strisciamento. Anche in questo caso è necessario lubrificare il cuscinetto tramite olio o grasso. Tali cuscinetti hanno anche l'importante funzione di supporto delle parti meccaniche e possono inoltre sopportare carichi assiali oltre che quelli radiali. Esempi di cuscinetti volventi a sfere e a rulli sono riportati nelle figure 1.1.2 e 1.1.3.



Figura 1.1.2: Cuscinetto a sfere



Figura 1.1.3: Cuscinetto a rulli

- Cuscinetti magnetici che sopportano i carichi grazie all'azione di un campo magnetico. Tali cuscinetti, tuttavia, possono funzionare solo in presenza di alberi di materiale conduttivo. Sono per lo più utilizzati quando è richiesta alta velocità dal sistema meccanico. Essi garantiscono il movimento relativo tra le parti senza contatto come avviene per i cuscinetti pneumatici. Un esempio è riportato in figura 1.1.4.



Figura 1.1.4: Cuscinetto magnetico

- Cuscinetti per gioielli che sono costituiti da un materiale molto duro che riduce l'attrito tra le superfici a contatto. Sono poco utilizzati e dato il loro costo molto elevato sono per lo più impiegati in ambiti in cui è richiesta molta precisione e una lunga durata come, ad esempio, gli orologi meccanici. Un esempio è riportato nella figura 1.1.5.



Figura 1.1.5: Jewel bearing

- Cuscinetti a fluido che impediscono il contatto tra le superfici in movimento relativo grazie all'interposizione di un meato d'aria. L'assenza di lubrificanti solidi o liquidi garantisce a questi cuscinetti di essere utilizzati a temperature ben più elevate rispetto a quelli lubrificati poiché tendono a deteriorarsi molto velocemente, permettendone l'impiego a velocità relative molto importanti. L'assenza totale di contatto determina una netta diminuzione delle forze necessarie per lo spostamento con la conseguente riduzione delle potenze. All'interno di questa categoria si possono distinguere altre tipologie come i cuscinetti pneumodinamici che sfruttano fenomeni dinamici legati al loro moto per il sostentamento e i cuscinetti pneumostatici che sfruttano il passaggio di aria compressa tramite opportuni orifizi. Questi ultimi possono ulteriormente essere distinti in pattini passivi e pattini attivi, oggetto di questa tesi. In seguito sarà riportata una breve descrizione delle due tipologie.

1.2 Pattini pneumostatici passivi

Questi pattini sono generalmente costituiti da una piastra di piccole dimensioni di forma circolare o rettangolare, all'interno della quale vengono ricavati dei condotti che consentono il passaggio dell'aria compressa dall'alimentazione, situata superiormente al pattino, verso il meato sottostante. In particolare l'ultimo tratto di tali condotti è caratterizzato da un ugello, che funge da resistenza pneumatica, e da una tasca (spesso cilindrica), che ha il compito di distribuire correttamente la pressione al centro del pattino.

Dunque l'aria compressa appena espulsa dall'orifizio si espande gradualmente fino a raggiungere la pressione atmosferica in corrispondenza del perimetro del pattino, ovvero in prossimità delle sezioni di sbocco in ambiente. Un pattino rettangolare prodotto da Mager è rappresentato in figura 1.2.1.



Figura 1.2.1: Pattino pneumostatico rettangolare

Di solito l'altezza dei meati varia tra 5 μm e 20 μm : dimensioni così piccole hanno come diretta conseguenza la necessità di lavorare esclusivamente con aria filtrata e quindi priva di eventuali impurità che potrebbero ostacolare il normale efflusso di aria o, addirittura, ostruire le vie di passaggio dell'aria stessa.

Data una pressione di alimentazione l'altezza del meato varia in funzione del carico applicato sul pattino: infatti, ad un aumento della forza applicata, il pattino, abbassandosi, aumenta la resistenza opposta all'uscita dell'aria così da aumentare la pressione di sbocco dagli orifizi.

In questa tipologia di pattino, perciò, non vi è la presenza di alcuno controllo dello spessore del meato sottostante. Da ciò deriva la denominazione di pattini pneumostatici passivi.

Si possono identificare, ora, alcuni parametri che caratterizzano le prestazioni di un pattino pneumostatico:

- Portanza [N]: determina quanto carico può sopportare il pattino in uso. Essa dipende direttamente dall'area del pattino stesso, dalla pressione di alimentazione e dalla pressione del meato sotto la superficie.
- Rigidezza [N/ μm]: rappresenta la forza necessaria per ottenere una variazione di altezza pari a 1 μm del meato d'aria.

$$k = -\frac{\partial F}{\partial h}$$

La rigidezza di un pattino dipende molto dall'ampiezza del meato stesso e, generalmente, a meati piccoli corrisponde elevata rigidezza. Tale parametro inoltre può risultare non lineare.

- Consumo d'aria (portata) [l/min (ANR)]: rappresenta la quantità d'aria espulsa dal pattino in condizioni atmosferiche standard (ANR).

La portanza, come è stato già detto, dipende in prima istanza dalla pressione di alimentazione del pattino. Inoltre il carico massimo che un cuscinetto di questo tipo può sopportare dipende anche dalla pressione massima P_b che si ha al centro della superficie del pattino e dalla sua distribuzione su tutta l'area. La distribuzione di pressione al di sotto della superficie varia a seconda della forma dell'area del pattino.

Infatti se la superficie è circolare la distribuzione di pressione è rappresentata da un cono e la portanza risulta essere:

$$P = P_b \pi r^2$$

Mentre se la superficie è rettangolare la distribuzione è rappresentata da un tronco di piramide e la portanza è data dalla seguente equazione:

$$P = P_b \frac{A}{3}$$

con A che rappresenta l'area rettangolare sottostante al pattino.

I materiali più utilizzati per realizzare i pattini sono acciaio inossidabile ed alluminio. L'acciaio viene utilizzato quando è richiesta una grande rigidezza, ovvero quando sono in gioco carichi piuttosto elevati; l'alluminio invece viene preferito quando è fondamentale contenere masse ed inerzie. Inoltre, in talune applicazioni, è possibile intervenire con particolari trattamenti di indurimento superficiale. Tutti i pattini vengono sottoposti al trattamento di lappatura per garantire un'ottima finitura superficiale, ottenendo una rugosità nell'ordine dei nanometri che non ostacoli il normale efflusso di aria compressa.

Solitamente sulla superficie del pattino vengono apportate delle micro-scanalature che permettono al flusso d'aria al di sotto del pattino di avere una distribuzione di pressione più omogenea, evitando così che esso possa "tiltare", ovvero oscillare, durante il suo funzionamento.

Un problema comune dei pattini passivi è quello di essere deformati. Infatti qualora il carico applicato sia molto elevato al centro del pattino, è possibile che verso i bordi si abbia una flessione che non sia trascurabile rispetto allo spessore del meato e che possa creare una diminuzione della resistenza e quindi anche della stessa rigidezza. Per ovviare a questo inconveniente i pattini sono fabbricati leggermente concavi per poi risultare così piatti in presenza di un elevato carico applicato.

La portata d'aria attraverso i condotti del pattino pneumostatico dipende esclusivamente dal rapporto tra la pressione di alimentazione e quella allo scarico. Dato che il tratto finale dei condotti presenti all'interno del pattino si può considerare un ugello, si può esporre la teoria che ne regola il consumo d'aria.

- Per un flusso subsonico, caratterizzato da $\frac{P_2}{P_1} > 0.528$ si ha:

$$G_T = AP_1 \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k+1)}{k}} \right] \frac{2}{RT}}$$

- Per un flusso invece supersonico, caratterizzato da $\frac{P_2}{P_1} \leq 0.528$ si ha:

$$G_T = AP_1 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{1}{RT}}$$

Dove:

- G_T è la portata d'aria attraverso il pattino [kg/s]
- A è l'area della sezione di efflusso [mm²]
- P_1 la pressione assoluta di ingresso [bar]
- P_2 la pressione assoluta di scarico [bar]
- k coefficiente isoentropico (per l'aria $k = 1.4$)
- R costante dell'aria ($R = 287$ [J/kgK])
- T temperatura assoluta [K]

Siccome il canale di efflusso dell'aria dal pattino per motivi pratici e costruttivi ha una sezione del tutto circolare e non simile a quella di un vero e proprio ugello con sezione non costante, è opportuno tenere presente che la trasformazione che subisce l'aria durante il passaggio non è più del tutto isoentropica. Perciò la portata in uscita G deve essere corretta con un coefficiente di efflusso C_D , il cui valore solitamente è compreso tra 0.8 e 0.85:

$$G = G_T C_D$$

Inoltre, l'aria in uscita non ha un'espansione libera ma limitata nel sottile meato sottostante il pattino, perciò, in tali condizioni è stato dimostrato precedentemente che il coefficiente di efflusso dipende anche dai numeri di Reynolds e di Mach.

1.2.1 Impieghi dei pattini pneumostatici passivi

Questa particolare tipologia di cuscinetti a fluido trova il suo impiego in tutti quegli ambiti in cui la precisione e la ripetibilità dei movimenti richieste sono molto elevate. Il loro utilizzo maggiore si ha nel campo dell'aerospaziale, dell'automobilismo, della manifattura e dell'alimentare. La quasi assenza di strisciamento e di attrito tra le parti in movimento porta ai seguenti vantaggi:

- Forze e potenze minori richieste per la movimentazione;
- Riduzione dell'usura e maggiore vita utile del cuscinetto;
- Non è richiesta manutenzione per il pattino in sé se non per il sistema di alimentazione e quello di raffreddamento;
- Temperature di esercizio contenute grazie alla riduzione dello strisciamento e ridotte grazie all'efflusso d'aria;
- Assenza del fenomeno dello stick-slip dovuto al passaggio da attrito statico a quello dinamico.

Queste caratteristiche consentono dunque di impiegare questo sistema dove sono richieste la massima precisione e ripetibilità come nel campo metrologico. Nelle macchine utensili si possono raggiungere gradi di finitura superficiale molto importanti. Inoltre i pattini pneumostatici consentono il loro utilizzo in ambienti radioattivi o quelli in cui si possono raggiungere temperature troppo elevate per l'impiego dei cuscinetti tradizionali. Essi sopportano bene repentini cambiamenti dell'ambiente di lavoro e possono supportare rotori ad elevate velocità grazie all'assenza della lubrificazione ad olio. L'unica criticità che ne limita gli impieghi in tutti gli ambiti è la loro scarsa capacità a sopportare carichi troppo elevati. Ciò è dovuto alla comprimibilità dell'aria, infatti è difficile raggiungere

portanze molto ingenti se non grazie al raggiungimento di pressioni di alimentazione elevatissime. Questo svantaggio li rende perciò difficili da utilizzare in applicazioni di alta potenza. A causa degli alti costi di installazione e di produzione dovuti alle restrittive tolleranze si rendono disponibili all'impiego solo su bassa scala. Inoltre data l'assenza di un controllo dell'altezza del meato d'aria che si crea, il loro utilizzo specifico si riduce ai casi in cui la portanza si rivela più importante della precisione.

1.3 Pattini pneumostatici attivi

Come è stato già detto, la portanza limitata è la principale criticità per l'impiego dei pattini pneumostatici, inoltre, la rigidità se troppo bassa può creare problemi in tutti quei casi in cui è necessaria una precisione di posizionamento elevata. Come è indicato la rigidità di un pattino dipende direttamente sia dal carico applicato che dallo spessore del meato sottostante e proprio quest'ultimo varia al variare della forza. Per mantenere una alta rigidità è necessario rendere il più indipendente possibile il meato d'aria sottostante al pattino dal carico che agisce su di esso. Il tutto si risolve rendendo il pattino pneumostatico attivo, ovvero con la capacità di mantenere un meato costante, vicino a un valore prestabilito dall'utente e indipendente alla variazione della forza applicata. Questa nuova configurazione del pattino può essere ottenuta andando ad agire sull'alimentazione: se si vuole mantenere un meato costante durante il funzionamento all'aumentare del carico si dovrà aumentare la pressione o il flusso di alimentazione al pattino. Ciò può favorire la correzione di errori di posizionamento in corso d'opera e l'ampliamento del campo di funzionamento del pattino stesso.

Siccome pattini di questo tipo servono per lavorazioni precise, un controllo manuale della pressione di alimentazione in funzione del carico applicato non sarebbe sufficiente, perciò si necessita di un controllo automatico che regoli il flusso d'aria all'interno del pattino. Dunque l'implementazione di un sistema di controllo elettronico rende un pattino pneumostatico attivo, in grado fino a certi limiti tecnologici, di regolare lo spessore del meato richiesto dall'utente o dalla lavorazione in maniera del tutto indipendente dal carico ad esso applicato. Tuttavia questa nuova necessità che rende il sistema più versatile, fa di conseguenza lievitare i costi di realizzazione. Inoltre un altro svantaggio è quello della riduzione, a parità di pressione di alimentazione rispetto al medesimo pattino passivo, della portanza complessiva a causa delle perdite di carico dovute alla presenza degli organi di regolazione (sensori e valvole). Dunque il sistema controllato, anche se è reso più preciso con l'aumento di rigidità richiesto, è limitato nelle applicazioni a causa della riduzione del carico supportabile. Rimane sempre utile quando la precisione necessaria è massima e la portanza non raggiunge certi livelli.

Il modo migliore per trasformare un pattino da passivo ad attivo è l'implementazione di un controllo ad anello chiuso. Il controllo si basa sulla lettura in tempo reale dello spessore del meato grazie all'utilizzo di opportuni sensori che inviano il valore misurato al sistema di regolazione. Esso, che può essere un controllore PID, confronta il valore reale letto con quello di set desiderato dall'utente, valuta l'errore e, di conseguenza, elabora il segnale di controllo da inviare al sistema di attuazione che cercherà in base al comando ricevuto di minimizzare l'errore facendolo tendere a zero. In questo modo, stabilito uno spessore di meato per il funzionamento del pattino, qualora il carico applicato dovesse cambiare, il sistema di controllo reagirebbe modificando il segnale di comando in modo appropriato e proporzionale alla variazione della forza stessa.

Per una migliore compressione del processo di controllo si riporta uno schema nella figura 1.3.1.

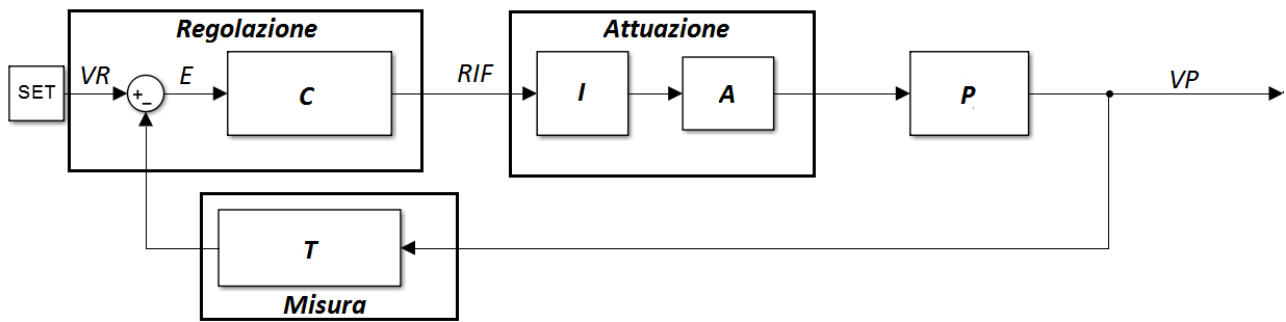


Figura 1.3.1: Schema in anello chiuso di un sistema di controllo

Nello schema la variabile richiesta VR, lo spessore del meato, che corrisponde al valore di SET, è confrontata con la misura del meato ricavata da specifici trasduttori. Dal confronto si ottiene un errore più o meno grande che è inviato al controllore PID C, il quale lo elabora e lo trasforma in un segnale di comando di riferimento RIF (detto anche errore compensato). Il segnale di comando è ricevuto dall'interfaccia I dell'attuazione che lo trasforma in un segnale di potenza per essere ricevuto dall'attuazione A. Una volta comandata in modo opportuno la parte di attuazione (valvole pneumatiche), inizia il processo vero e proprio che si conclude con un nuovo valore di meato in uscita, pronto per essere di nuovo letto dai sensori T.

Il sistema di attuazione, ovvero le valvole, devono essere in grado di leggere con minimi errori i segnali di comando provenienti dal sistema di regolazione. Essendo necessaria, in questo caso, una regolazione quasi proporzionale della pressione o della portata di alimentazione del pattino in funzione del carico applicato su di esso, vengono impiegate valvole digitali controllate in PWM o valvole pneumatiche proporzionali, utilizzate in questo lavoro di tesi, le quali sono in grado di far variare la sezione di passaggio in modo proporzionale al segnale in corrente di comando proveniente dal sistema di controllo.

Una volta resi attivi, i pattini pneumostatici, come è stato già più volte detto, vengono utilizzati maggiormente nel campo delle macchine di misura a controllo numerico, applicazione la quale richiede precisione di posizionamento estrema per una ottimale misura dei pezzi in esame.

Capitolo 2

Banco di prova

2.1 Struttura del banco di prova

Il banco di prova utilizzato per tutte le prove sperimentali e per la taratura dei sensori è mostrato nella figura 2.1.1.

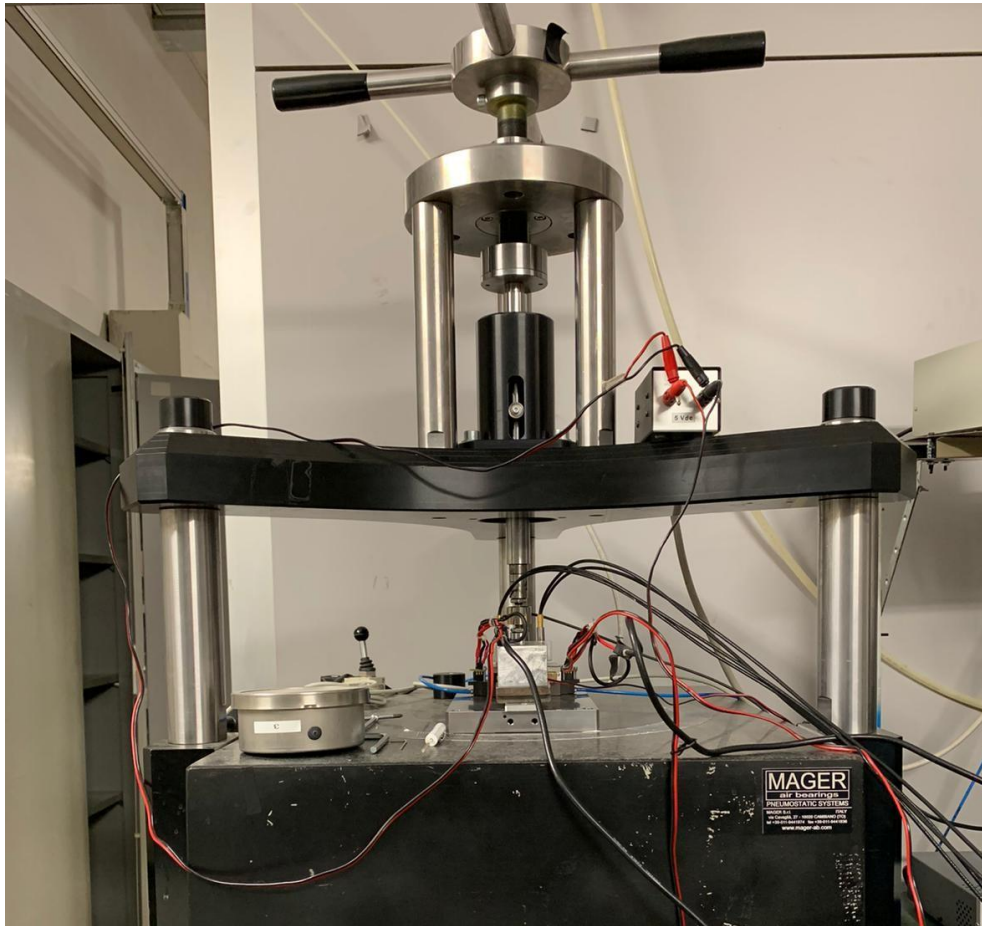


Figura 2.1.1: Banco di prova

Si tratta sostanzialmente di una pressa verticale il cui carico applicato è garantito dalla rotazione della ruota manuale posta in alto. La rotazione di tale ruota genera un movimento verticale del perno che insiste sulla superficie del pattino attivo. Per valutare il valore della forza applicata dal movimento della ruota viene posta sull'asse del perno una cella di carico, la quale misura la compressione grazie ad estensimetri. Inoltre tra la cella di carico e il pattino pneumostatico è interposta una piccola sfera di acciaio la quale garantisce, grazie alla sua geometria, l'allineamento automatico del carico applicato secondo l'asse verticale.

Il banco, oltre alla struttura che genera la forza, è costituito da una base di blocco di granito, molto massiccia, con la funzione di ridurre le vibrazioni e le compressioni del banco stesso durante le prove. Il blocco è rettificato in modo tale da avere una superficie piana e con bassissima rugosità. Sopra al blocco di granito è posto un piatto di alluminio anch'esso rettificato e lappato che garantisce al pattino la possibilità di poter scivolare. Entrambe le superfici del piatto e quella inferiore del pattino devono essere prive di impurità durante le prove, affinché si garantisca che il flusso d'aria possa facilmente fluire, in quanto lo spessore del meato è dell'ordine dei micrometri.

Dalla figura 2.1.1 si può ancora osservare che al piatto d'acciaio appena descritto è fissato, tramite una vite M6, un supporto al quale sono serrati dei sensori capacitivi che hanno la funzione di misurare lo spostamento verticale del pattino durante le prove sperimentali. Tali sensori devono essere posti equidistanti rispetto all'asse della pressa in modo da ottenere una misura dello spostamento più accurata.

Infine appena sopra il piatto d'acciaio è posto il pattino pneumostatico attivo collegato tramite la valvola proporzionale all'alimentazione di aria compressa. Ad esso sono già montati i sensori a contropressione e i relativi trasduttori di pressione, i quali hanno il compito di valutare il reale spessore del meato d'aria sottostante il cuscinetto. Inviando il valore di altezza del meato sottoforma di segnale di tensione alla scheda elettronica (il controllore) chiudono così, con la loro retroazione, il controllo ad anello chiuso.

Sopra al pattino, è posta a contatto una sottile lastra di acciaio che ha la funzione di una base piana e conduttiva per la misura dello scostamento verticale tramite i sensori capacitivi.

Infine, collegato al banco di prova, tra l'uscita di pressione dell'alimentazione dell'aria compressa e il pattino, si trova il flussimetro digitale che riporta sul display integrato il valore in l/min del flusso d'aria che passa attraverso la valvola di alimentazione del pattino, mentre la valutazione della pressione presente nel circuito è affidata ad un manometro analogico posto subito dopo il flussimetro. Nella figura 2.1.2 seguente si riporta un particolare del pattino montato sul banco di prova.

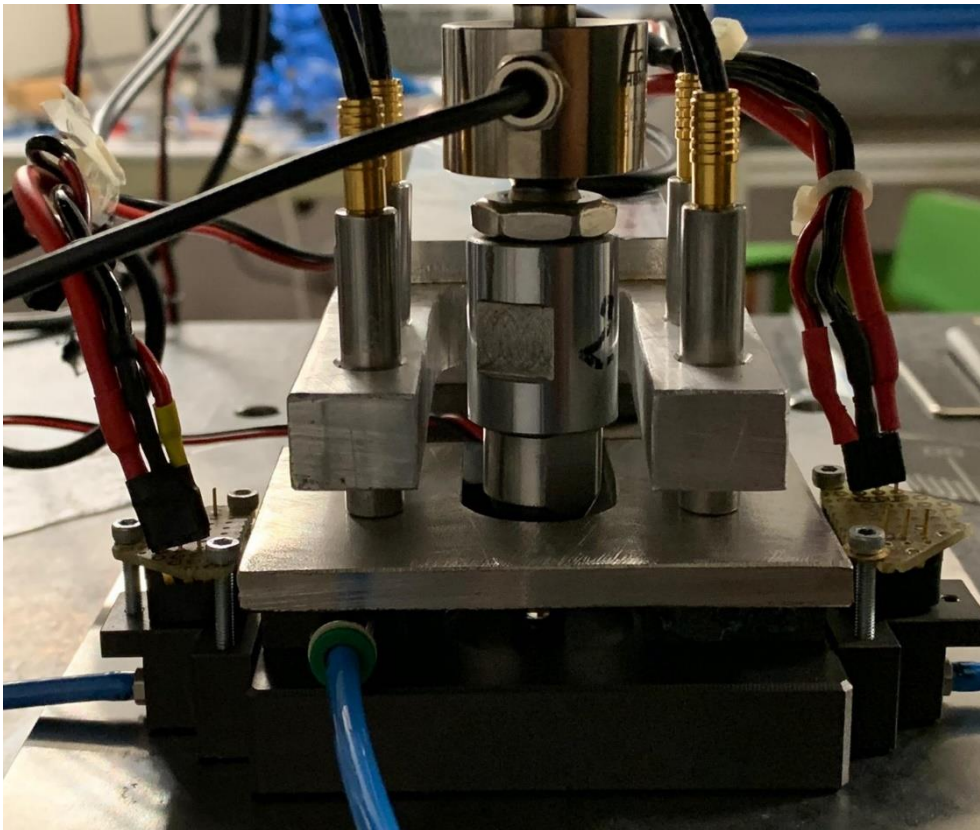


Figura 2.1.2: Particolare del pattino installato sul banco di prova

Si osservano, da come è stato descritto sopra, la cella di carico posta sull'asse del perno, il supporto con inseriti i quattro sensori capacitivi, la lastra di acciaio conduttiva posta sopra al pattino, i due sensori a contropressione montati al cuscinetto a cui sono fissati i rispettivi trasduttori di pressione. I trasduttori di pressione come si nota sono collegati tramite cavetti, inseriti negli appositi pin, alla scheda elettronica di comando.

Per comprendere più facilmente la disposizione dei sensori a contropressione e dei relativi trasduttori si presenta la figura 2.1.3, in cui si mostra la collocazione schematica di tutti gli elementi, sensori e valvola pneumatica, fissati e collegati al corpo del pattino.

Gli elementi sono:

- Corpo del pattino (1)
- Valvola pneumatica proporzionale di alimentazione (2)
- Scheda elettronica di controllo (3)
- Trasduttori di pressione (4)
- Sensori a contropressione (5)

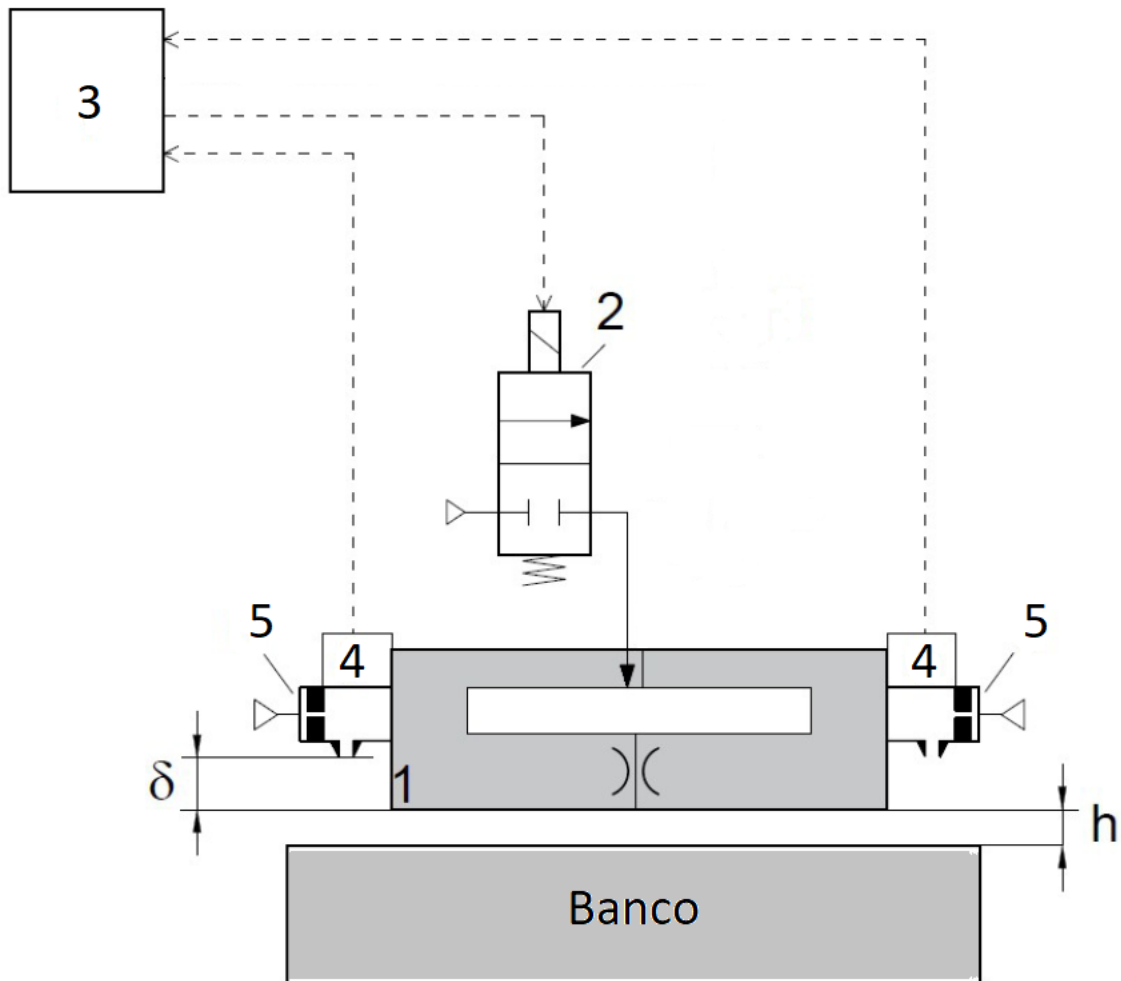


Figura 2.1.3: Schema equivalente pattino attivo

I sensori a contropressione sono posti ad un'altezza δ impostata rispetto alla superficie inferiore del pattino, la quale si deve tenere in conto durante la taratura di questi ultimi. Durante il funzionamento del pattino i sensori saranno quindi ad un'altezza complessiva data dalla somma dell'offset e dello spessore del meato d'aria al di sotto del pattino.

Nell'Allegato 1 si presentano gli schemi e le modalità di collegamento tra valvola, sensori, trasduttori e generatori di tensione impiegati in questo lavoro di tesi.

2.1.1 Corpo del pattino

Il pattino passivo utilizzato è stato prodotto da Mager. Il corpo del cuscinetto pneumatico ha una base rettangolare di lati 50 mm e 75 mm. Il materiale utilizzato per la costruzione è una lega d'alluminio e inoltre, come è stato precedentemente descritto, la superficie inferiore è stata sottoposta a un trattamento di lappatura per ottenere una finitura superficiale ottimale con bassissimi valori di rugosità e presenta un unico foro di uscita dell'aria compressa e una ragnatura a forma di "8". La ragnatura identifica un particolare modello di pattino del costruttore Mager.

Nella figura 2.1.4 si è presentata la messa in tavola del modello di pattino utilizzato in questo lavoro di tesi.

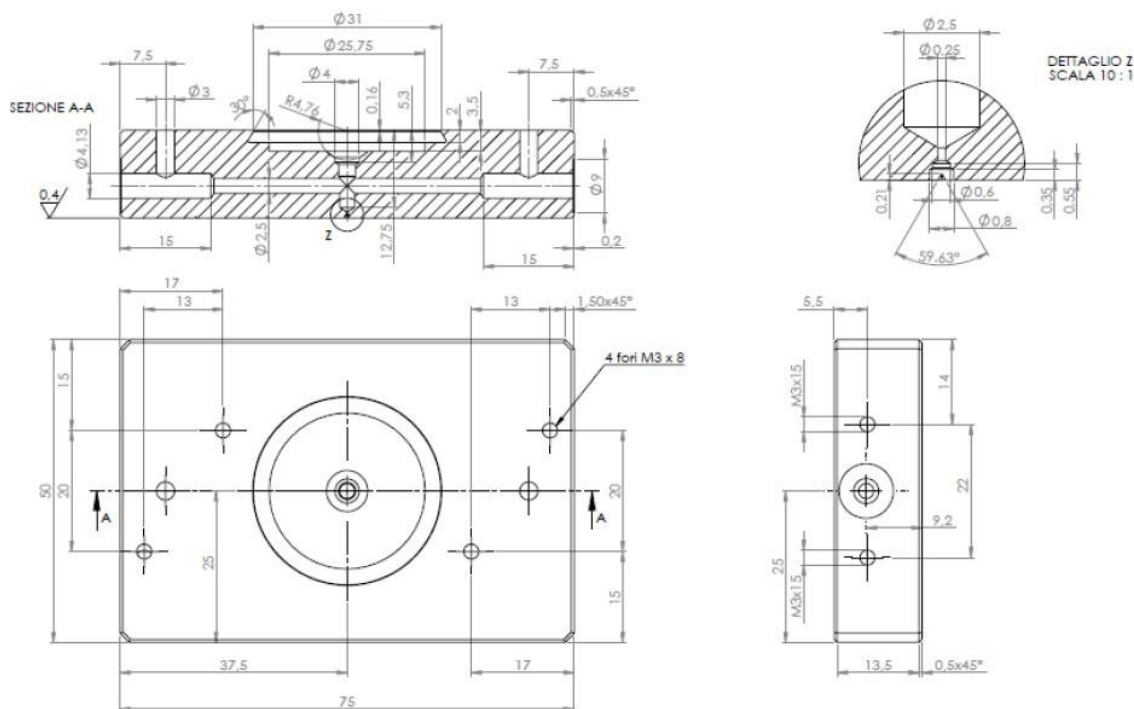


Figura 2.1.4: Disegno tecnico pattino Mager

Ai lati corti del corpo del cuscinetto si osservano due fori filettati M3, utilizzati per il montaggio dei due sensori a contropressione. Sulla superficie superiore si trovano i fori filettati M3 per fissare i blocchetti di interfaccia della valvola pneumatica proporzionale. Si nota inoltre che è stato ricavato un alloggiamento su cui appoggiare la piccola sfera di acciaio per l'allineamento del carico applicato dal perno della pressa del banco.

Il corpo del pattino viene così assemblato e unito alle interfacce dei vari sensori e trasduttori collegati alla scheda elettronica in grado di acquisire i segnali in tensione.

Un'altra importante caratteristica che contraddistingue i pattini Mager dagli altri prodotti da altre aziende è la curvatura leggermente concava della superficie inferiore. Infatti, come è stato accennato nel capitolo precedente, i pattini pneumostatici possono essere soggetti a forti carichi applicati e la presenza del meato d'aria sottostante potrebbe far flettere verso l'alto i bordi del cuscinetto, perdendo così la portanza e la rigidità necessarie per il particolare impiego.

La curvatura concava, segreto Mager, è utile, nel momento della flessione dei bordi del pattino con carico massimo applicato, di rendere la superficie inferiore piatta e non più deformata garantendo che le caratteristiche del cuscinetto rimangano inalterate durante l'utilizzo.

La presenza della curvatura della superficie è attestata dai risultati ottenuti durante le prove effettuate sul pattino. I sensori di posizione capacitivi sono in grado di segnalare piccoli spostamenti fino a un valore massimo di 500 μm , perciò possono captare uno spostamento verticale del pattino nel momento in cui si dovesse togliere il carico applicato in assenza di alimentazione d'aria. Tale spostamento è dovuto unicamente dalla curvatura concava della superficie inferiore, la quale in assenza della forza al centro del pattino ritorna alla posizione originale.

Il centro del pattino risulta leggermente sollevato rispetto alla superficie di appoggio del banco di prova; solamente i bordi sono a contatto con il piatto metallico. Come si può osservare dalla figura 2.1.5 i sensori di posizione capacitivi sono collocati in prossimità del centro del pattino in cui si applica il carico.

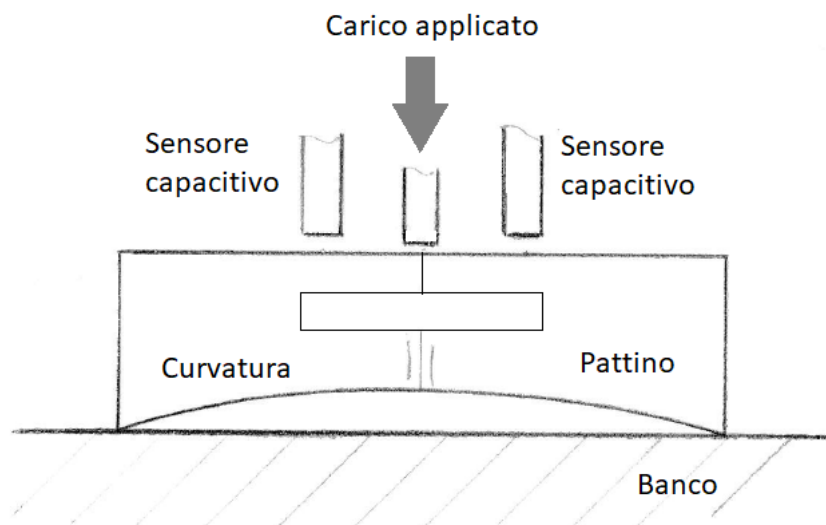


Figura 2.1.5: Curvatura concava accentuata dei pattini Mager

Posizionati i sensori capacitivi in questo modo si capisce che applicando il carico essi segnalano uno spostamento verso il basso del pattino, mentre la superficie inferiore si appiattisce.

Terminata questa breve descrizione del banco utilizzato nelle prove sperimentali, si passerà in seguito a descrivere più dettagliatamente le funzioni dei singoli componenti impiegati, introducendo inoltre le modalità di taratura degli stessi sensori e trasduttori.

Si anticipa in questa sezione che per la visualizzazione dei dati in tempo reale provenienti dai sensori e trasduttori si è utilizzato il software LabView, collegato alla scheda di acquisizione della National Instruments che verrà meglio descritta in seguito.

2.2 Componenti impiegati

Si è compreso dal paragrafo precedente che l'attività sperimentale svolta sul pattino pneumostatico attivo vede impiegati numerosi componenti elettronici e non, come sensori, trasduttori, attuatori e schede di controllo e di acquisizione.

In questo paragrafo si vuole presentare una breve descrizione delle funzioni di ogni elemento utilizzato. Inoltre si inseriscono le procedure di taratura svolte sui sensori e i risultati ottenuti.

2.2.1 Flussimetro digitale

Il flussimetro digitale utilizzato per l'acquisizione della portata d'aria che fluisce all'interno del pattino durante le prove sperimentali è prodotto da FESTO e il modello è SFAB-10U-WQ6-2SV-M12. Il flussimetro impiegato è mostrato nella figura 2.2.1 sottostante.



Figura 2.2.1: Flussimetro SFAB-10U-WQ6-2SV-M12

Il particolare modello di sensore SFAB, prodotto da FESTO, viene utilizzato per monitorare eventuali variazioni di flusso e di consumo di aria. Il principio di funzionamento si basa su un processo termico. Durante la misura del flusso, viene determinata la quantità di calore che viene sottratta da una superficie del sensore per effetto dell'aria che scorre all'interno del flussimetro. Mediante il calcolo della quantità di calore sottratta viene determinato il consumo d'aria che viene riportato sul display. Il catalogo FESTO indica che il particolare modello di flussimetro utilizzato ha un campo di misura compreso tra 0.1 l/min e 10 l/min e un segnale di uscita in tensione compreso tra 0 V e 10 V. Detto ciò si può subito affermare che la sensibilità dello strumento è pari a 1l/min/V.

Lo strumento si può collegare alla scheda di acquisizione e tramite il software dedicato osservare l'andamento del segnale in tensione in uscita nel tempo. Perciò si può disporre una veloce prova di taratura del flussimetro senza la presenza del pattino. Una volta collegato lo strumento all'alimentazione di aria compressa, in una decina di step ravvicinati si aumenta progressivamente la pressione in uscita dal riduttore posto a valle del rubinetto principale. Per ogni step di pressione si leggono l'uscita in tensione in funzione del tempo acquisita dal software e la portata attraverso il flussimetro sul display dello strumento. Andando successivamente a correlare la portata alla tensione si conferma la sensibilità dello strumento già indicata a catalogo e si ottiene la curva caratteristica del flussimetro, riportata nella figura 2.2.2 sottostante.

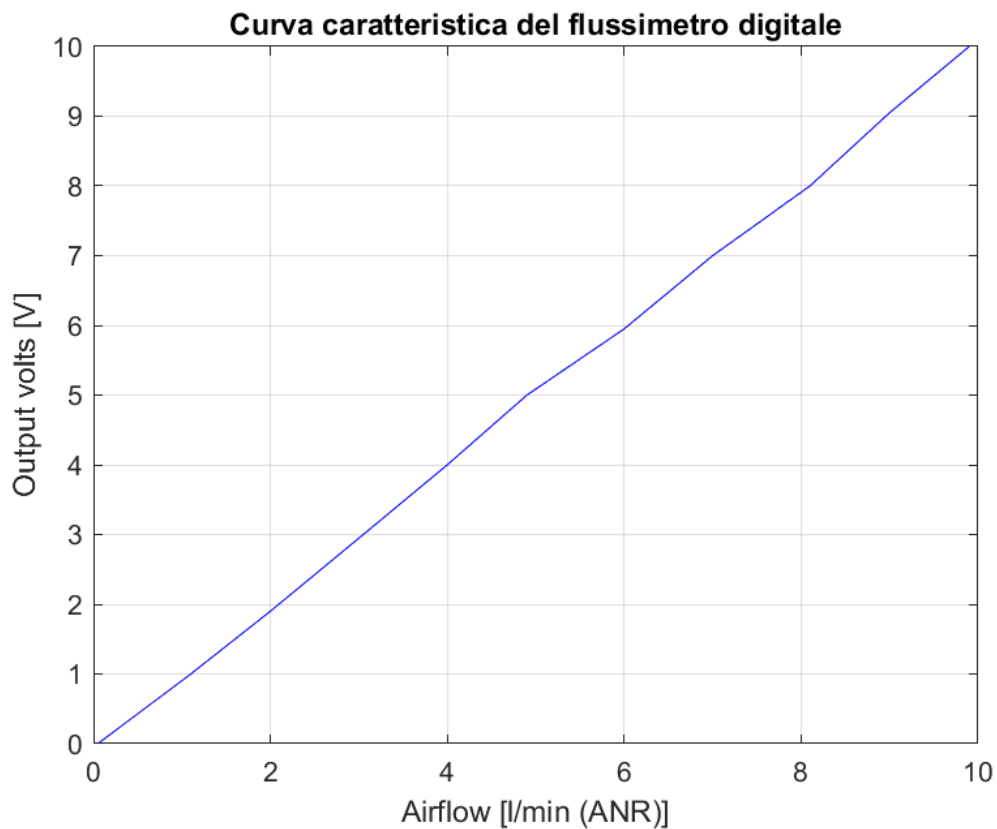


Figura 2.2.2: Grafico curva caratteristica del flussimetro digitale

Osservando il grafico si conferma che la sensibilità del flussimetro digitale è pari a 1l/min/V come indicato a catalogo.

Per l'utilizzo del flussimetro non è necessario conoscere la pressione di alimentazione, tuttavia, occorre installarlo in maniera appropriata: il flusso d'aria attraverso esso deve avere una specifica direzione in accordo con la freccia disegnata su un fianco dello strumento.

2.2.2 Cella di carico

La cella di carico utilizzata per l'acquisizione del carico applicato al pattino tramite il movimento verticale generato dalla ruota manuale posta in cima al banco è prodotta da HBM e in particolare il modello è U9C con un fondo-scala pari a 5000 N. Essa è riportata nella figura 2.2.3 sottostante.



Figura 2.2.3: Cella di carico modello U9C

La cella di carico è collegata ad un amplificatore di misura, modello Clip AE101, sempre prodotto da HBM, il quale consente di amplificare il segnale degli estensimetri della cella tramite un ponte di Wheatstone, per poter essere salvato in maniera corretta dalla scheda di acquisizione. L'amplificatore è stato settato secondo le istruzioni riportate nel manuale secondo il particolare modello utilizzato e per la tipologia di carico da valutare che, per queste prove, si tratta di una sollecitazione di compressione.

Il segnale di uscita dalla cella è una tensione proporzionale al valore della forza applicata. Infatti sul catalogo fornito dalla ditta è riportato che la sensibilità nominale è pari a 1mV/V, che la tensione in uscita dall'amplificatore di misura è impostata tra 0 V e 10 V e che la cella necessita di un'alimentazione di 24 V.

Tuttavia prima di poter iniziare a usare la cella di carico è necessario un test di calibrazione per verificare ed eventualmente modificare la sensibilità e l'offset del sensore da inserire nel software di acquisizione dei risultati. Così facendo si può ottenere il valore di carico valutato in uscita direttamente in Newton.

Per tarare la cella di carico è stato necessario smontarla dal banco di lavoro, avviarla ad un apposito porta-pesi di massa pari a 1.14 kg, come è illustrato in figura 2.2.4, e collegarla sia all'alimentazione a 24V che ad una nuova scheda di acquisizione.



Figura 2.2.4: Cella di carico avvitata al porta-pesi

La calibrazione si è svolta nel modo seguente: inizialmente, tenendo conto della massa del sostegno, si è letta l'uscita in tensione della cella di carico (risultata negativa); successivamente sul porta-pesi sono stati caricati pesi di massa nota in modo tale che la cella venisse compressa. Di volta in volta è stata letta l'uscita in tensione dalla cella di carico, sino ad arrivare ad una massa complessiva applicata di circa 100 kg. Fatto ciò, implementando in seguito i dati in tensione ricavati su uno script di Matlab, si è potuto tracciare l'andamento del segnale di tensione in funzione del carico applicato, ricavando così la sensibilità e l'offset dello strumento.

La sensibilità, anche detta caratteristica statica dello strumento di misura, si calcola in genere con la seguente formula: $K = \frac{\Delta OUT}{\Delta IN}$. Essa esprime la relazione tra l'ingresso e l'uscita ovvero la derivata della curva caratteristica dello strumento. Di seguito si mostrano i dati ricavati dalla taratura nella tabella 2.2.1 e nella figura 2.2.5: si noterà da un lato l'incremento di peso apportato manualmente per far comprimere la cella di carico, dall'altro invece l'aumento di tensione in uscita elaborato dalla scheda di acquisizione. La prova è stata effettuata in entrambe le direzioni per valutare l'isteresi della cella.

Kg	1.14	23.64	46.11	66.09	86.09	106.09	86.09	66.09	46.11	23.64	1.14
V	-0.01	0.61	1.22	1.76	2.3	2.83	2.3	1.76	1.22	0.6	-0.01

Tabella 2.2.1

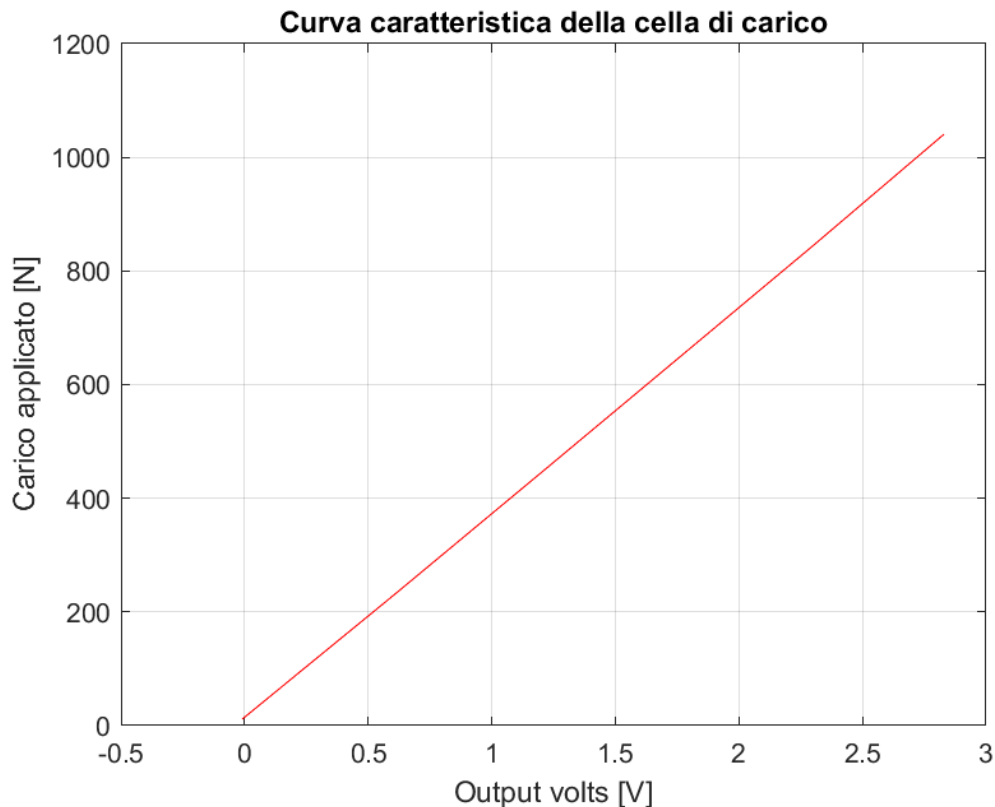


Figura 2.2.5: Grafico curva caratteristica della cella di carico

A prima vista dal grafico si nota che non c'è la presenza di una apprezzabile isteresi e che la curva caratteristica è lineare, per cui si può ricavare la sensibilità secondo la relazione sopracitata. Tuttavia la precisione assoluta del valore della sensibilità della cella non si può ottenere in quanto, durante la taratura, si è caricato il sensore di solamente 1/5 del carico massimo misurabile di 5000 N indicato sul catalogo. Non avendo raggiunto il fondo scala non si può determinare con la massima precisione la sensibilità dello strumento in quanto potrebbe non mantenere la caratteristica lineare per carichi maggiori.

Dal grafico, che rappresenta la caratteristica statica della cella di carico, si può ricavare l'equazione che mette in relazione i valori di tensione provenienti dall'amplificatore di misura del sensore e il carico applicato sia durante la calibrazione sia durante le future prove sperimentali. L'equazione caratteristica è la seguente: $Y = 362.52X + N$, in cui con $N = 11.18 \text{ N}$ si indica l'intercetta con l'asse delle ordinate.

Di seguito si allega un'immagine della prova di calibrazione della cella in figura 2.2.6.



Figura 2.2.6: Prova di taratura della cella di carico con applicazione di masse da 20 kg l'una

2.2.3 Sensori di posizione capacitivi

Per valutare lo spostamento verticale del pattino durante le prove sperimentali e di taratura dei sensori a contropressione, la quale sarà descritta più nel dettaglio nei paragrafi successivi, vengono utilizzati quattro differenti sensori di posizione capacitivi posti immediatamente sopra il pattino pneumostatico. Essi sono collegati ad una alimentazione di 24 V e inviano il segnale in tensione in uscita alla scheda di acquisizione in uso. Avere quattro diversi sensori in grado di percepire lo spostamento del pattino garantisce un'ottima valutazione dello spessore del meato sottostante facendo la media delle diverse misure. Inoltre se si osservano singolarmente gli andamenti in tempo reale tramite il software LabView si può scoprire se il pattino durante le prove si inclina lungo uno dei suoi lati.

I sensori capacitivi usati per questo lavoro di tesi sono il modello capaNCDT 6019 S600 (Capacitive Non-contact Displacement Transducer), prodotto da MicroEpsilon. Possono percepire una distanza compresa tra 0 μm e 500 μm con una risoluzione pari al 0.01% del fondo-scala.

Il principio di funzionamento di questi sensori è basato sui capacitori piani paralleli, per cui l'ampiezza di corrente che fluisce è proporzionale alla distanza tra i capacitori ed è mostrato brevemente nella figura 2.2.7.

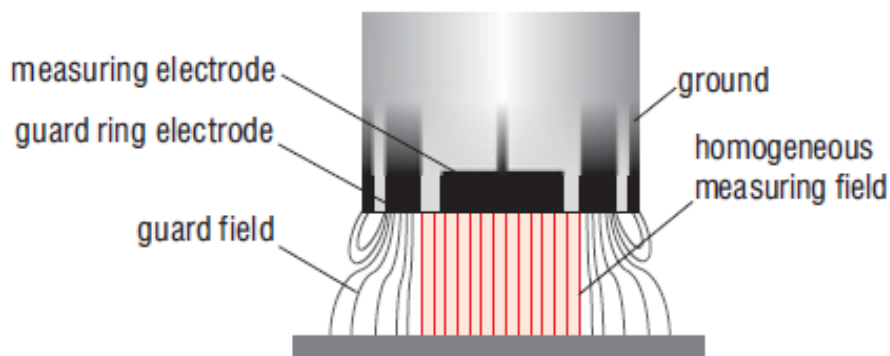


Figura 2.2.7: Principio di funzionamento

I quattro sensori capacitivi sono collegati al sistema di condizionamento capaNCDT 6220, prodotto sempre da MicroEpsilon, il quale ha la funzione di alimentare alla giusta tensione di 24 V i trasduttori e di rendere leggibile il segnale di misura in uscita.

Il segnale in uscita inviato dai sensori ed acquisito dalla scheda della National Instruments è una tensione analogica compresa tra 0 V e 10 V che è convertita dal software di acquisizione in una misura di lunghezza appunto compresa tra 0 μm e 500 μm secondo l'equazione impostata secondo catalogo: $Y = 50X + 0$.

Dunque la sensibilità dei sensori capacitivi si attesta intorno ai 50 $\mu\text{m}/\text{V}$.

I sensori come è stato già detto sono fissati ad un supporto bloccato da una vite alla base del banco e collocati immediatamente sopra al pattino. Tuttavia è necessario porre a contatto alla superficie del pattino una sottile lastra di acciaio che si adatti perfettamente, come è stato fatto nel precedente lavoro di tesi, affinché i sensori funzionino correttamente captando la presenza del materiale conduttivo. Grazie alla presenza della lastra piana si può indicare come valore di riferimento la misura che i sensori inviano alla scheda di acquisizione quando il pattino non è alimentato da aria compressa ed è a contatto con il piatto metallico sul banco. Ogni variazione da tale valore di riferimento sta ad indicare che il pattino è sollevato e la differenza segnala la misura dello spessore del meato d'aria sotto al pattino.

Per una corretta acquisizione delle uscite dei sensori, essi sono collegati all'apposito sistema elettronico di condizionamento che ne estrae le informazioni.

Nella figura 2.2.8 sottostante sono mostrati i sensori capacitivi posti sull'apposito supporto.

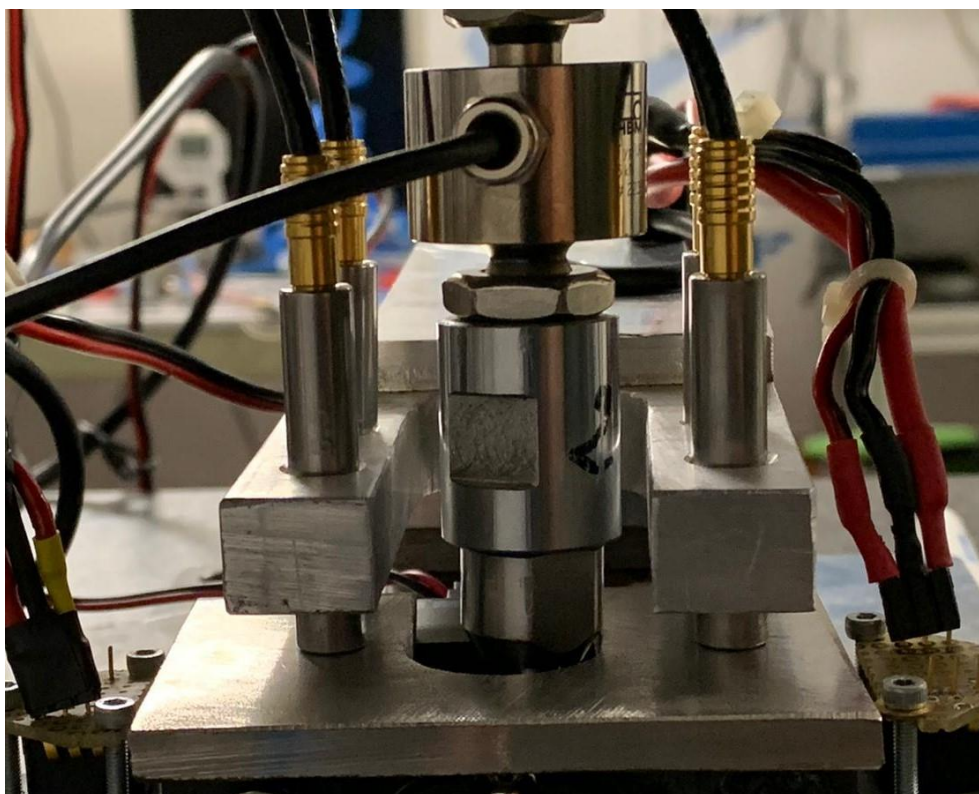


Figura 2.2.8: I quattro sensori capacitivi inseriti nel supporto e lastra di acciaio sopra al pattino

2.2.4 Sensori a contropressione

Il sensore a contropressione o di prossimità è un elemento fluidico ed è in grado di misurare la distanza da un oggetto senza alcun tipo di contatto con quest'ultimo. In questo lavoro di tesi, come è stato già riportato, si utilizzano due sensori a contropressione, installati direttamente sul pattino, che hanno l'importante funzione di valutare lo spessore del meato d'aria durante il funzionamento autonomo del cuscinetto chiudendo l'anello di controllo. Inoltre l'assenza di parti meccaniche mobili al loro interno garantisce un'altissima affidabilità e brevissimi tempi di risposta, ideali per questo tipo di impiego. Si riporta in seguito la figura 2.2.9 che rappresenta lo schema funzionale di un sensore a contropressione.

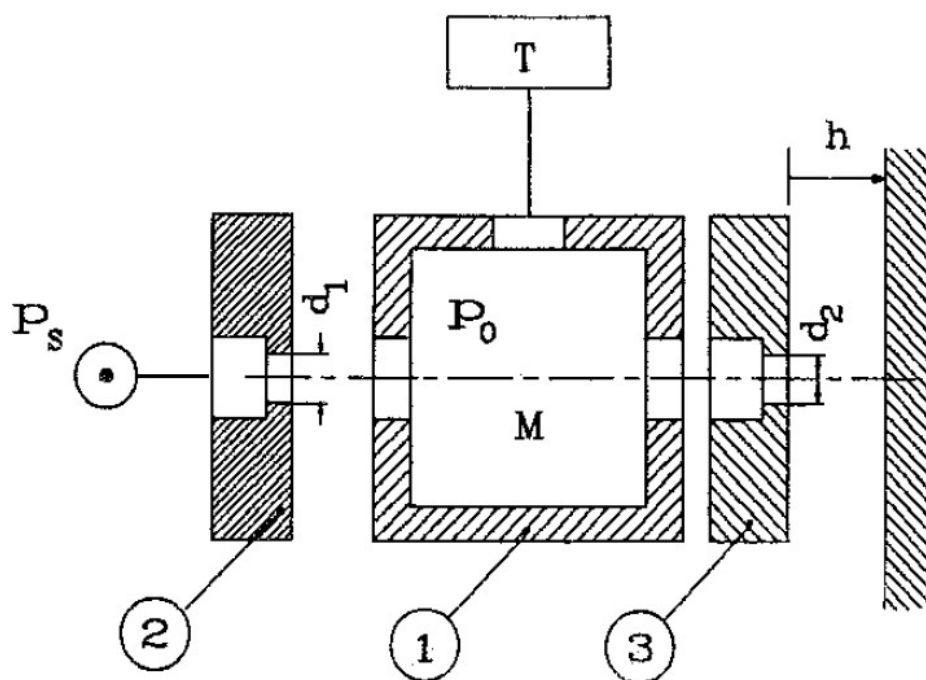


Figura 2.2.9: Schema funzionale di sensore a contropressione

Come si può vedere il getto d'aria proveniente dalla sorgente P_s attraversa l'orifizio d_1 entra nella camera di misura M . Successivamente il getto attraversa anche l'orifizio d_2 che comunica con l'ambiente esterno. L'orifizio d_1 è un foro calibrato ed è paragonabile a una resistenza equivalente costante. La presenza di un eventuale oggetto oltre il secondo orifizio determina una resistenza variabile al getto in funzione della distanza h con l'ostacolo stesso. In questo modo la resistenza può determinare un aumento della pressione presente nella camera di misura M . Dalla variazione della pressione si può facilmente risalire alla distanza h a cui si trova l'oggetto. Il funzionamento del sensore a contropressione è contraddistinto da due casi limite:

- Assenza di oggetto, non si ha resistenza e la pressione nella camera di misura M è tendente a quella ambientale ovvero 0 bar relativi;
- Presenza dell'oggetto che tappa il secondo orifizio, si ha una resistenza praticamente infinita e la pressione nella camera di misura M tende alla pressione P_s della sorgente del getto d'aria.

I sensori utilizzati per le prove sperimentali sono montati ai lati corti del pattino attivo. A tal proposito si ritiene necessario prima di iniziare i test ad anello chiuso di sviarli dal cuscinetto per poterli pulire da eventuali impurità, che possano ostacolare il normale flusso di aria, e per controllare che si trovino al giusto offset.

I sensori a contropressione hanno una caratteristica statica che varia a seconda della pressione della sorgente di alimentazione, un esempio è riportato nella figura 2.2.10.

In questo lavoro di tesi la pressione di alimentazione dei sensori a contropressione è mantenuta a 4 bar relativi sia per le prove di taratura che quelle effettuate in anello chiuso.

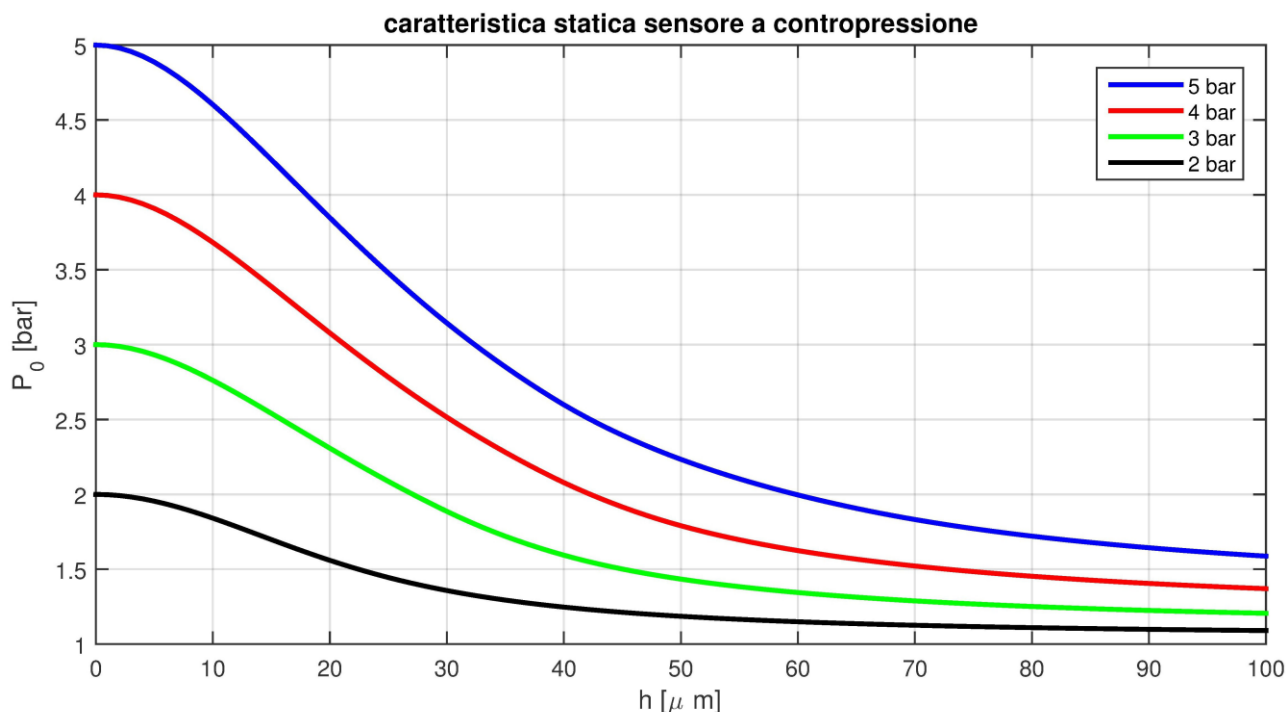


Figura 2.2.10: Caratteristica statica sensori a contropressione

Oltre alla dipendenza dalla pressione della sorgente, si osserva dal grafico che le caratteristiche statiche riportate sono tutte contraddistinte da un tratto alquanto lineare. Infatti perché questi sensori siano facilmente utilizzabili si deve cercare di lavorare in quel campo in cui la curva si presenti il più lineare possibile. Con l'utilizzo di un trasduttore di pressione si riuscirà a mettere in relazione direttamente la pressione presente nella camera di misura con lo spessore del meato d'aria e con il segnale d'uscita in tensione che verrà inviato alla scheda di acquisizione. In questo modo si possono visualizzare gli andamenti delle caratteristiche statiche in funzione sia della pressione interna sia del segnale di tensione, a meno di un piccolo fattore di scala. Tutto ciò si rivela molto importante poiché il tratto lineare della caratteristica statica che mette in relazione la tensione (o pressione) con lo spessore del meato dovrà essere interpolato e implementato nella scheda elettronica per il controllo in anello chiuso del pattino attivo. Perciò è necessario riuscire a mantenere un campo di lavoro costante in cui la curva sia il più lineare possibile per evitare errori troppo alti durante il funzionamento nel caso in cui ci si discostasse anche di poco dalla linearità.

La precisione del sistema dipende dunque da diversi fattori come la caratteristica statica, il campo di lavoro e la sensibilità dei trasduttori di pressione.

In seguito verrà riportata una breve descrizione dei trasduttori di pressione utilizzati seguita dal controllo del loro corretto funzionamento e dalla taratura dei sensori a contropressione da cui si ricava la retta interpolatrice della caratteristica statica.

2.2.5 Trasduttori di pressione

Come è stato già anticipato nelle precedenti pagine, per poter convertire, in un segnale di altra natura, la pressione presente nella camera di misura del sensore a contropressione e per poter valutare, di conseguenza, anche lo spessore del meato è necessario utilizzare un trasduttore di pressione. Esso è in grado di inviare alla scheda elettronica o di acquisizione la sua uscita analogica in tensione. I trasduttori di pressione sono utilizzati in questo lavoro di tesi per valutare il segnale di retroazione per chiudere l'anello di controllo. Il trasduttore utilizzato per le prove sperimentali è il modello 40PC150G prodotto da Honeywell ed è mostrato in figura 2.2.11.

Il suo funzionamento è molto semplice, la pressione proveniente dalla camera di misura del sensore a contropressione entra nel trasduttore tramite un piccolo cono. Nella camera del trasduttore è collocata una membrana elastica che in accordo con la pressione in entrata si deforma. Tale deformazione, amplificata da un ponte di Wheatstone, è convertita in una tensione ed inviata ai tre pin di uscita.

Il modello utilizzato è alimentato a una tensione costante di 5 V e ha un campo di misura compreso tra 0 e 10 bar relativi e un'uscita analogica in tensione che varia da 0.5 V a 4.5 V.



Figura 2.2.11: Trasduttore di pressione 40PC150G

È necessario effettuare un veloce test di calibrazione per attestare sia il range in output e il campo di misura, sia il corretto funzionamento, in quanto alla variazione di pressione nella camera del trasduttore corrisponde una variazione della tensione in uscita. La taratura è molto semplice: si collega il piccolo cono di metallo che si vede in figura alla sorgente di pressione mentre i tre pin ai cavi di alimentazione elettrica e di segnale collegati alla scheda di acquisizione per visualizzare l'andamento dell'uscita. Aumentando progressivamente la pressione della sorgente da 0 a 10 bar, visualizzata grazie a un manometro collegato a monte del trasduttore, si segnano in determinati punti i valori di tensione registrati. Si ricavano così le caratteristiche statiche di entrambi i trasduttori di pressione in uso, sia in salita che in discesa per evidenziare eventuali fenomeni di isteresi. Le curve sono mostrate nelle figure sottostanti.

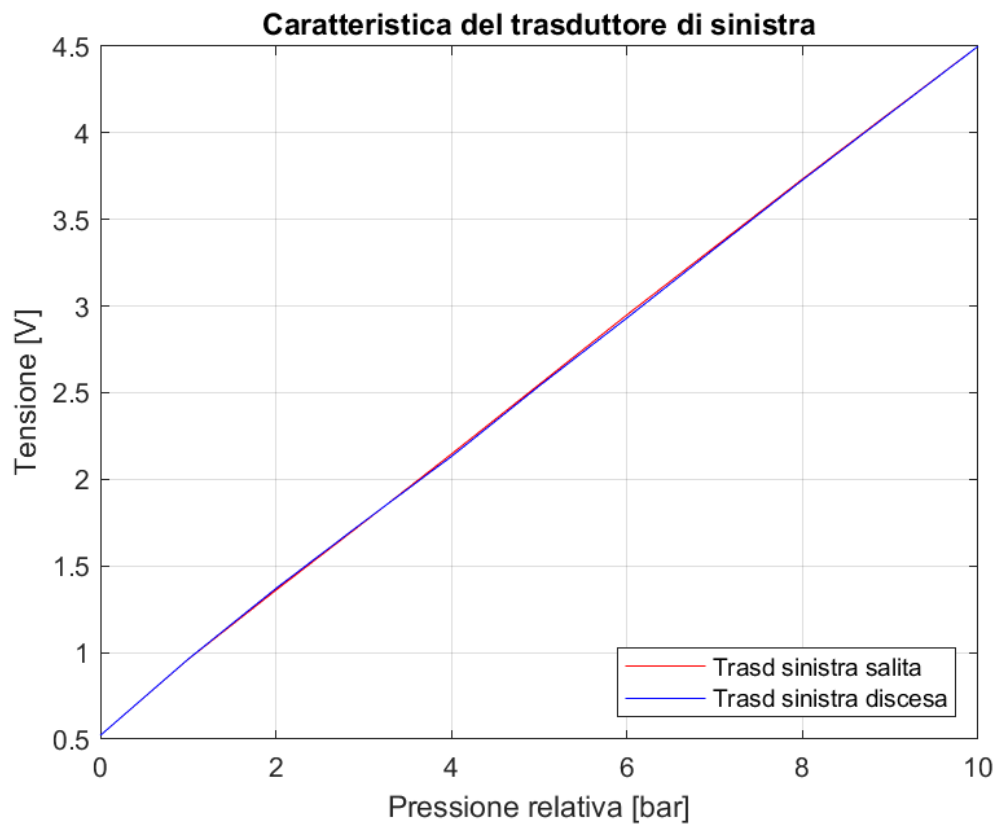


Figura 2.2.12: Caratteristica del trasduttore di sinistra

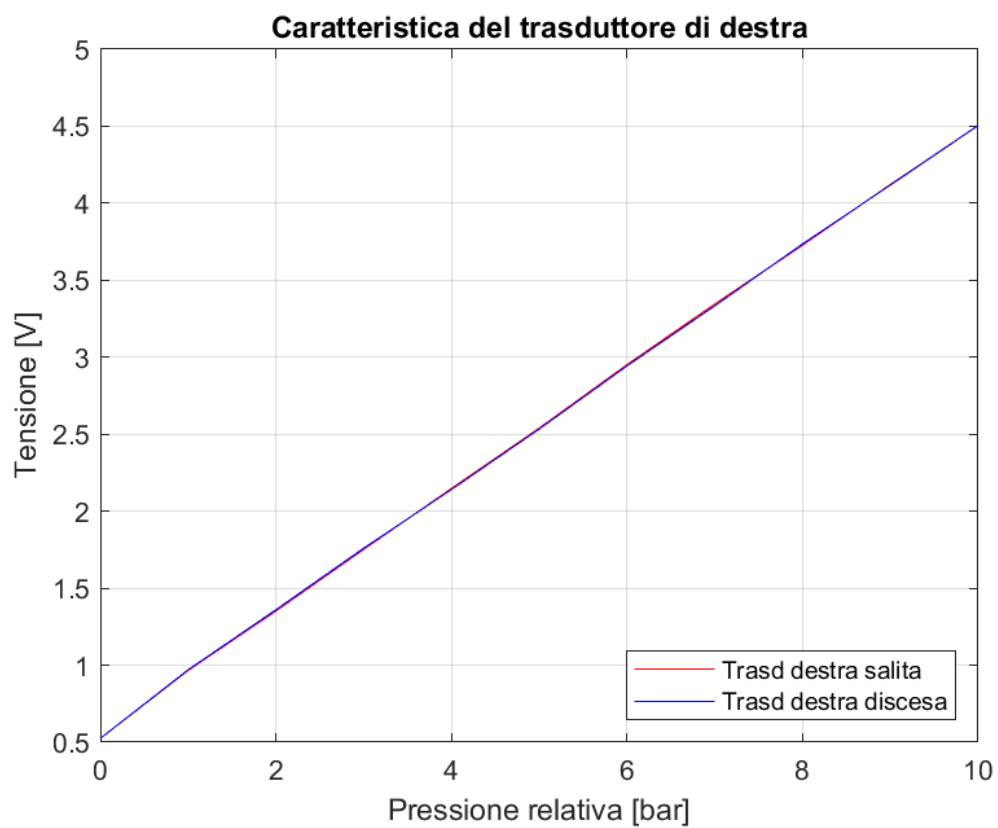


Figura 2.2.13: Caratteristica del trasduttore di destra

Avendo ricavato le caratteristiche statiche tramite la calibrazione si è accertato il corretto funzionamento di entrambi i trasduttori di pressione. Infatti si può osservare che le caratteristiche per entrambi i trasduttori sono lineari, il segnale in tensione in uscita letto dalla scheda di acquisizione ricade correttamente all'interno del range indicato sul catalogo del produttore (0.5V-4.5V) e non si riscontrano fenomeni di isteresi.

Si vogliono ancora presentare due altre figure in cui si confrontano le caratteristiche statiche dei due trasduttori, prima in salita e poi in discesa, per scongiurare la presenza di differenze di funzionamento tra essi molto elevate, le quali potrebbero rendere poco efficace il controllo della stabilità del pattino e del meato sottostante.

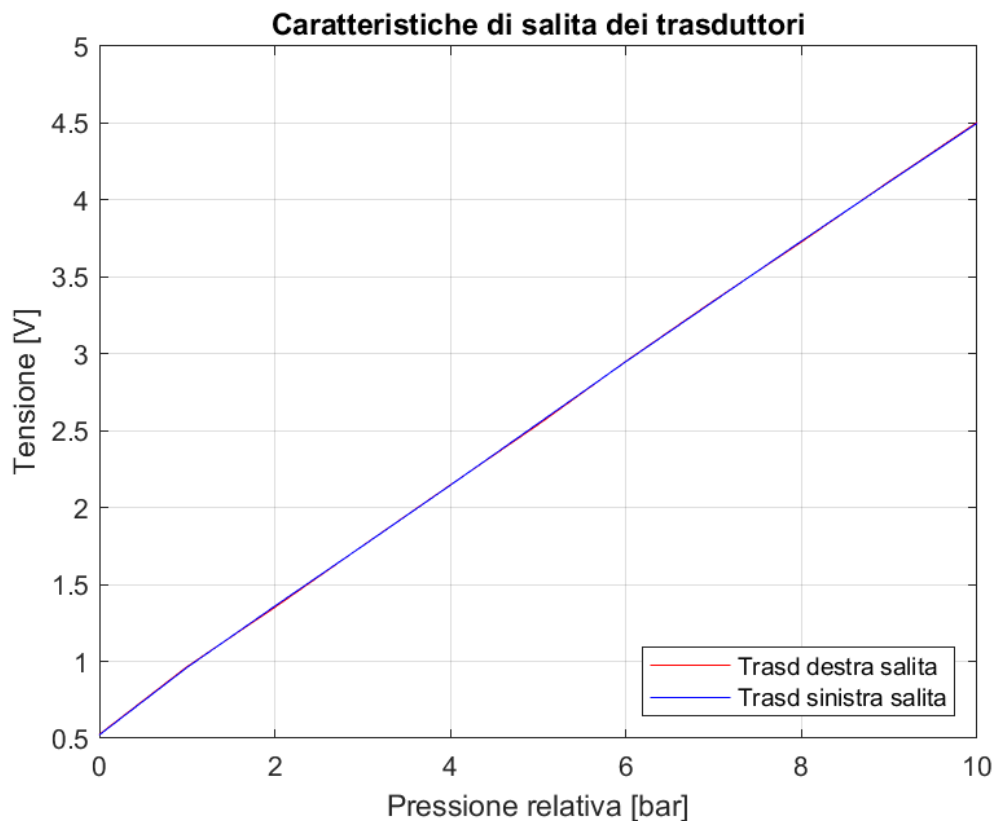


Figura 2.2.14: Confronto caratteristiche in salita

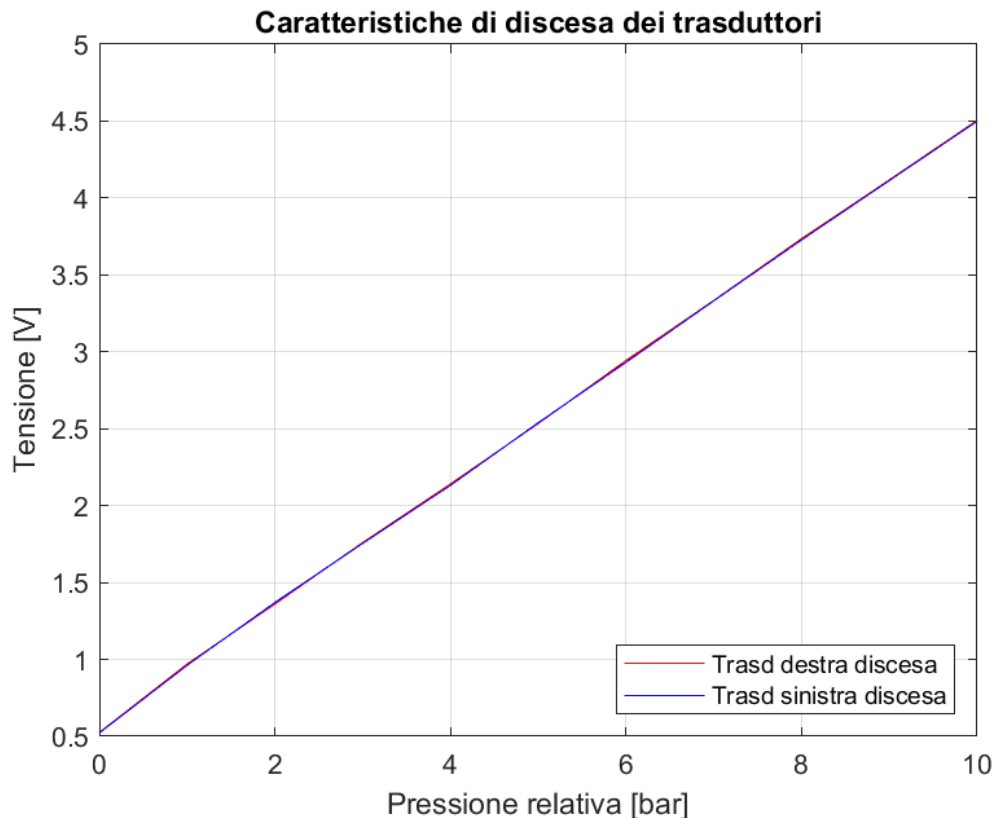


Figura 2.2.15: Confronto caratteristiche in discesa

Si nota che le caratteristiche statiche lineari sia in salita che in discesa sono quasi perfettamente sovrapposte per entrambi i trasduttori. Come è stato già detto sopra, questa ulteriore prova ha avuto l'importanza di evidenziare possibili differenze nel funzionamento dei trasduttori che li avrebbero resi incompatibili e che avrebbero reso difficile il controllo del pattino.

A questo punto accertato il corretto funzionamento dei componenti, si passa al montaggio sul pattino in corrispondenza dei due sensori a contropressione: si inserisce il piccolo cono di metallo dei trasduttori nell'apposito alloggiamento posto immediatamente sopra alla camera di misura dei sensori e si fissano tramite due viti facendo attenzione che i pin siano piegati correttamente. Per evitare che si possano verificare perdite d'aria tra i sensori a contropressione e i trasduttori falsificando la misura, si sono collocati due o-ring di gomma alla base dei coni metallici. I sensori a contropressione devono essere già avvitati al corretto offset di 20 μm rispetto alla superficie inferiore del pattino pneumostatico, prima di posizionare i trasduttori.

È necessario, a questo punto, come è stato anticipato, tarare i sensori a contropressione, ovvero si deve trovare una curva che mostri la relazione diretta tra la tensione in uscita dai trasduttori di pressione e lo spessore del meato d'aria al di sotto del pattino. La caratteristica statica che si ricaverà, una per ogni sensore, verrà linearizzata e implementata all'interno del codice di comando dell'anello chiuso per permettere il funzionamento del sistema in autonomia. Per individuare la caratteristica statica dei sensori a contropressione è stato condotto un test in anello aperto sul banco di prova. Per lo svolgimento della prova si deve alimentare la valvola proporzionale, completamente aperta, con una pressione di 5 bar relativi. Se il pattino fosse libero da qualsiasi tipo di carico applicato si solleverebbe verticalmente dal piano di una certa quantità, pari allo spessore del meato d'aria. In verità lo scopo della prova è quello di tracciare una caratteristica statica dei sensori completa, ovvero una curva che metta in relazione la tensione dei trasduttori con tutto lo spostamento possibile del

pattino a partire da 0 μm . Il valore di spessore massimo raggiunto dipenderà direttamente dalla pressione di alimentazione della valvola.

Per effettuare il test si alimentano i sensori a contropressione ad una pressione di 4 bar relativi e si applica sul pattino un carico iniziale pari a circa 1500 N in modo tale che sia ben aderente con la superficie del piatto metallico. L'acquisizione dei segnali provenienti dai sensori di posizione capacitivi e dai trasduttori di pressione è affidata alla scheda National Instruments mentre la successiva visualizzazione è data al software LabView.

Durante lo svolgimento della prova si diminuisce lentamente e progressivamente il carico applicato fino a raggiungere un valore minimo permettendo così al pattino di sollevarsi. Una volta ottenuto il valore massimo possibile di spessore del meato termina la prova e così l'acquisizione dei segnali. I dati, salvati su file di testo, verranno elaborati successivamente attraverso Matlab per individuare e linearizzare la caratteristica statica dei sensori.

Per ottenere una migliore precisione nel codice di controllo da scaricare nella scheda elettronica si devono utilizzare le due diverse caratteristiche dei sensori in quanto essi possono presentare differenze l'uno dall'altro.

Si riportano ora i grafici relativi alle caratteristiche statiche dei sensori a contropressione sia di sinistra che di destra nelle figure 2.2.16 e 2.2.17.

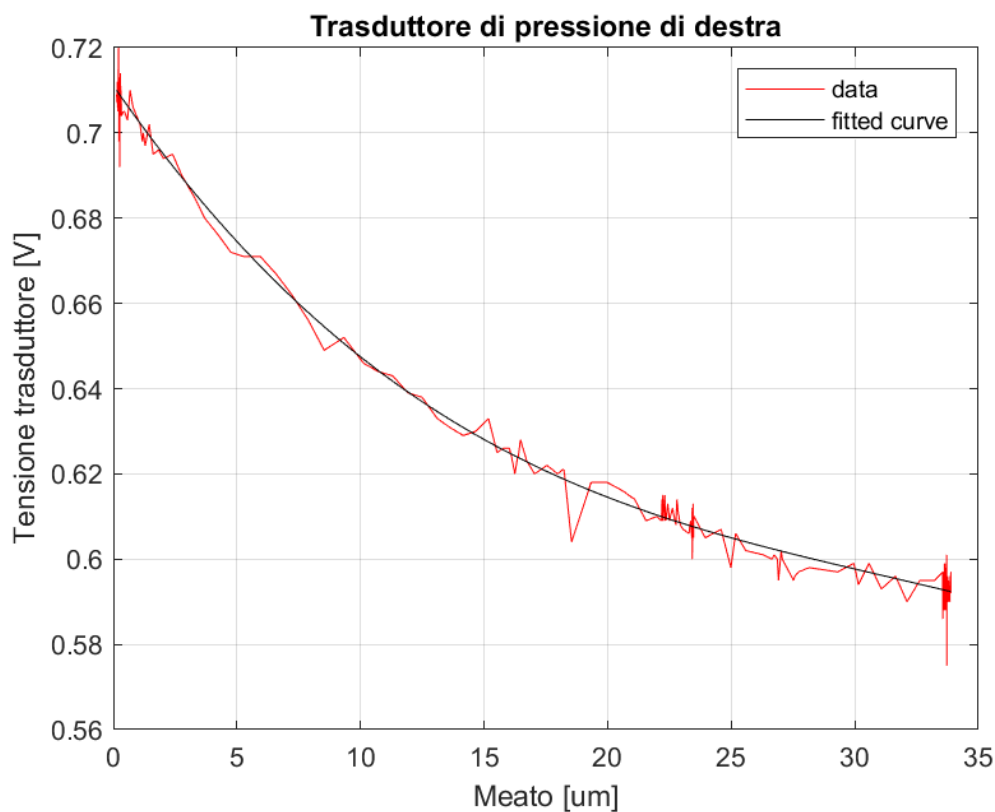


Figura 2.2.16: Caratteristica statica sensore a contropressione di destra

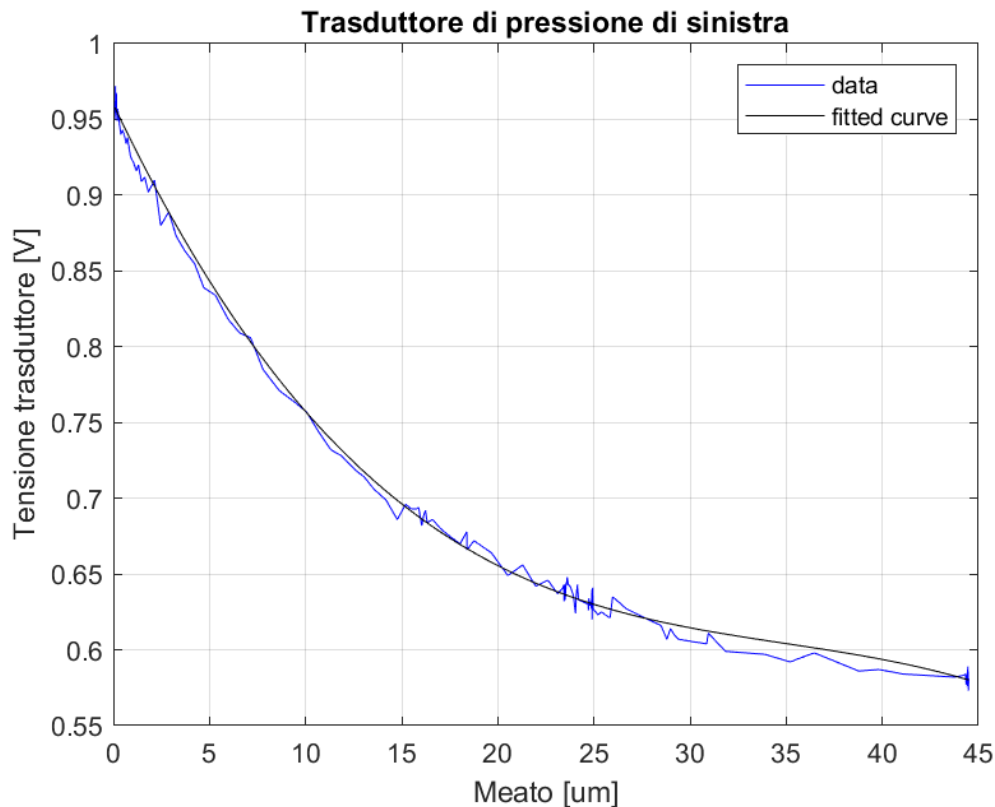


Figura 2.2.17: Caratteristica statica sensore a contropressione di sinistra

Le caratteristiche statiche dei sensori ricavate dalla prova, che mettono in relazione lo spessore del meato, ottenuto indirettamente grazie all'utilizzo dei sensori capacitivi, e la tensione in uscita dai trasduttori di pressione, sono state interpolate per ottenere una funzione il più possibile compatibile con gli andamenti stessi, ripetibile e riutilizzabile nel codice di controllo dell'anello chiuso. La linearizzazione dei dati sperimentali con un polinomio del terzo grado ha permesso di constatare che le due caratteristiche non sono propriamente identiche poiché un trasduttore risulta più sensibile dell'altro e, perciò, è necessario implementare due funzioni differenti nel codice di controllo.

Le caratteristiche statiche sono state ricavate acquisendo, in un primo momento, gli spostamenti derivanti dai sensori capacitivi, facendo la media rispettivamente di quelli di sinistra e di destra e infine confrontando i valori di meato dei due lati del pattino così ottenuti con la tensione proveniente dai trasduttori di pressione di sinistra e di destra.

Se si osservano le curve caratteristiche linearizzate si nota che esse sono simili agli andamenti teorici delle caratteristiche statiche relative ai sensori a contropressione. Ciò conferma la validità della prova effettuata per ricavarle e attesta il corretto funzionamento anche dei sensori a contropressione stessi. Come avviene per le caratteristiche teoriche, anche per queste ricavate, si può individuare un intervallo di funzionamento dei sensori in cui la curva può essere rappresentata da una linea retta. L'intervallo in questione, per i sensori ora in uso, è quello che comprende i valori di spessore di meato tra i 5 μm e i 15 μm . L'intervallo trovato corrisponde a quello di funzionamento medio del pattino in condizioni di autonomia.

Pertanto per semplificare il codice di controllo è possibile implementare le curve linearizzate intorno a questo intervallo a meno di accettare evidenti errori nel caso in cui il sistema non dovesse funzionare propriamente all'interno dell'intervallo citato. Se il sistema autonomo durante le prove sperimentali ad anello chiuso dovesse funzionare al di fuori dell'intervallo in cui la curva è lineare sarà opportuno modificare il codice inserendo interamente le caratteristiche interpolate, benché più complesse, per evitare grossi errori nel controllo.

2.2.6 Scheda elettronica

Il segnale analogico in tensione in uscita dai trasduttori, già osservato durante la taratura dei sensori a contropressione, è inviato alla scheda elettronica di comando per poter chiudere l'anello di controllo. La scheda utilizzata è preposta a ricevere segnali digitali o analogici, come, per esempio, quelli relativi al meato d'aria sotto al pattino, e a inviare segnali digitali o analogici, come la tensione di comando alla valvola pneumatica proporzionale.

Il segnale di comando immesso nel circuito di controllo ad anello chiuso deve essere di natura puramente proporzionale, in quanto non si può utilizzare un segnale digitale in PWM per questo tipo di valvola pneumatica.

La scheda elettronica utilizzata per le prove sperimentali sul pattino è il modello Orange prodotta da Whatsnext, analoga alla scheda Arduino Due, mostrata in figura 2.2.18.

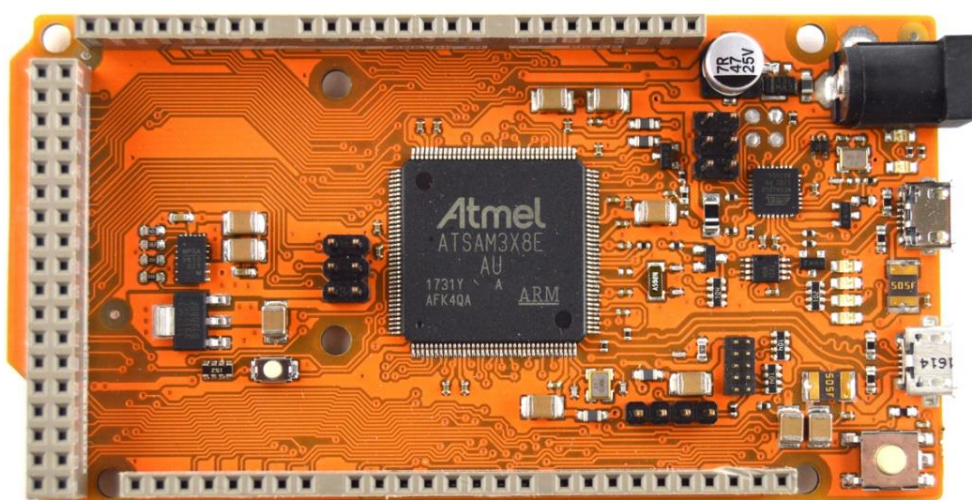


Figura 2.2.18: Scheda elettronica Whatsnext Orange

Tale scheda risulta essere molto importante per il controllo del pattino poiché sono installati come output due pin convertitori digital-to-analog, abbreviati DAC, i quali hanno la capacità di creare e inviare al circuito di controllo una tensione puramente proporzionale compresa tra 0.55 V e 2.75 V, con una risoluzione di 12 bit (4096 livelli corrispondenti a una risoluzione di 0.54 mV). Grazie a questi due pin di uscita si può comandare facilmente l'apertura e la chiusura della valvola proporzionale di alimentazione e, eventualmente di scarico se installata sul pattino. La valvola proporzionale utilizzata è descritta brevemente nelle pagine successive.

La scheda elettronica Orange può essere programmata tramite linguaggio C/C++ utilizzando il software sviluppato da Arduino nel quale lo sketch di programma è suddiviso in due sezioni: il *void set up* che contiene le informazioni di configurazione dei pin di uscita e il *void loop* nel quale il codice principale viene letto, eseguito e salvato.

In alternativa possono essere utilizzati due tools gratuiti presenti nei software Matlab e Simulink (MATLAB/Simulink support package for Arduino hardware) con i quali si può facilmente e velocemente creare il codice adatto alla scheda elettronica in uso.

Noti i segnali in entrata e quelli in uscita necessari, con questi due software si crea il codice necessario a controllare la valvola e ad elaborare le tensioni provenienti dai sensori collegati. Quindi con il controllo del meato d'aria in anello chiuso si può far funzionare il pattino in autonomia.

2.2.7 Valvola pneumatica proporzionale

La valvola pneumatica proporzionale utilizzata per le prove sperimentali sul banco è il modello PVQ10 prodotta da SMC. È una valvola proporzionale normalmente chiusa controllata con un segnale in corrente. Un solenoide al suo interno è in grado di aprire l'otturatore, tenuto in posizione da una piccola molla, lasciando fluire il flusso d'aria proveniente dalla sorgente di alimentazione. Questo modello di valvola proporzionale deve essere controllato con un segnale in corrente compreso tra 0 mA e 85 mA e alimentata con una tensione costante di 24 V. Per poter controllare la corsa dell'otturatore, prendendo spunto dal precedente lavoro di tesi, è stato studiato e assemblato un circuito che possa convertire il segnale proporzionale in tensione proveniente dal pin DAC della scheda elettronica nel suo corrispettivo in corrente adatto per alimentare il solenoide della valvola. Quindi si capisce che la portata d'aria passante attraverso questo modello di valvola è proporzionale, oltre alla pressione di alimentazione, alla corrente di eccitazione del solenoide, il quale è in grado di far traslare dalla posizione normale di chiusura l'otturatore grazie alla generazione di un campo magnetico.

Più la corrente di eccitazione è alta, più la portata che fluisce per la valvola sarà elevata attraverso una sezione di passaggio più ampia. In questo caso il flusso d'aria non è soggetto alle oscillazioni tipiche prodotte dal controllo in PWM. Infatti la valvola proporzionale è utilizzata per risolvere il problema delle oscillazioni di portata che si possono generare alla stessa frequenza del segnale PWM e che causano l'instabilità del flusso.

La sezione della valvola utilizzata è mostrata in figura 2.2.19.

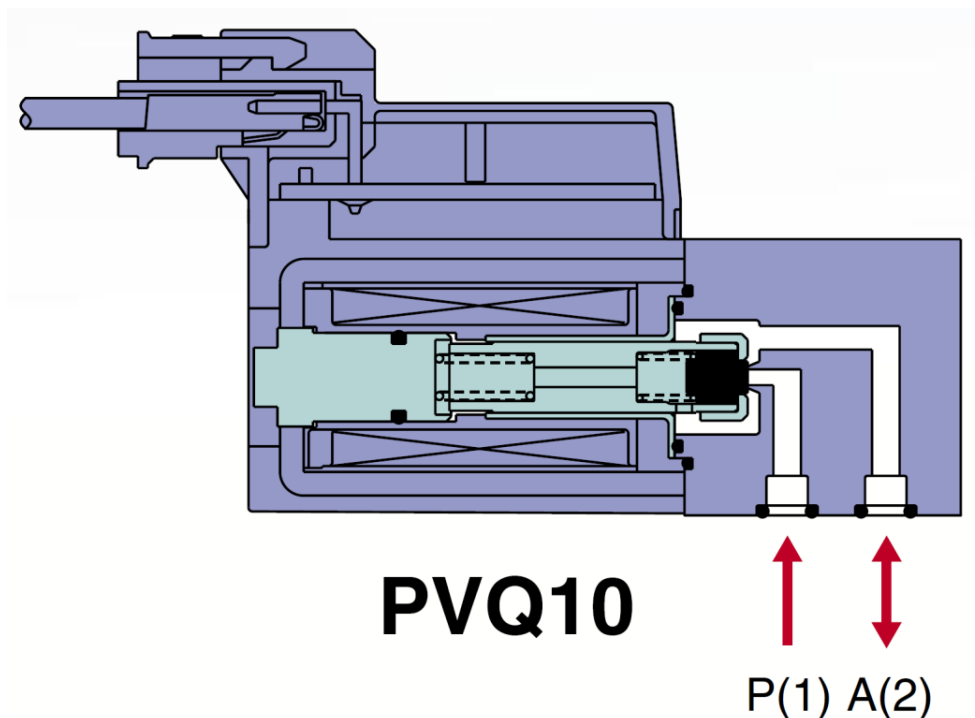


Figura 2.2.19: Sezione della valvola pneumatica proporzionale

Lo svantaggio, legato alla tipologia di valvola, riguarda la velocità nella risposta dinamica in quanto è più lenta rispetto alle valvole puramente digitali. Si necessita di un tempo maggiore nella risposta nel caso in cui le condizioni del sistema dovessero cambiare. Il modello di valvola utilizzato nelle prove sperimentali è caratterizzato da un orifizio di diametro di 3 mm ed è in grado di garantire una portata massima superiore ai 5 l/min [ANR] operando alla massima differenza di pressione di 0.7 MPa.

La caratteristica, data da catalogo, della portata attraverso la valvola è mostrata in figura 2.2.20.

Si rimanda al capitolo relativo ai test sperimentali per l'esposizione della caratteristica della valvola da sola e montata sul pattino.

PVQ10 (ø0.3)

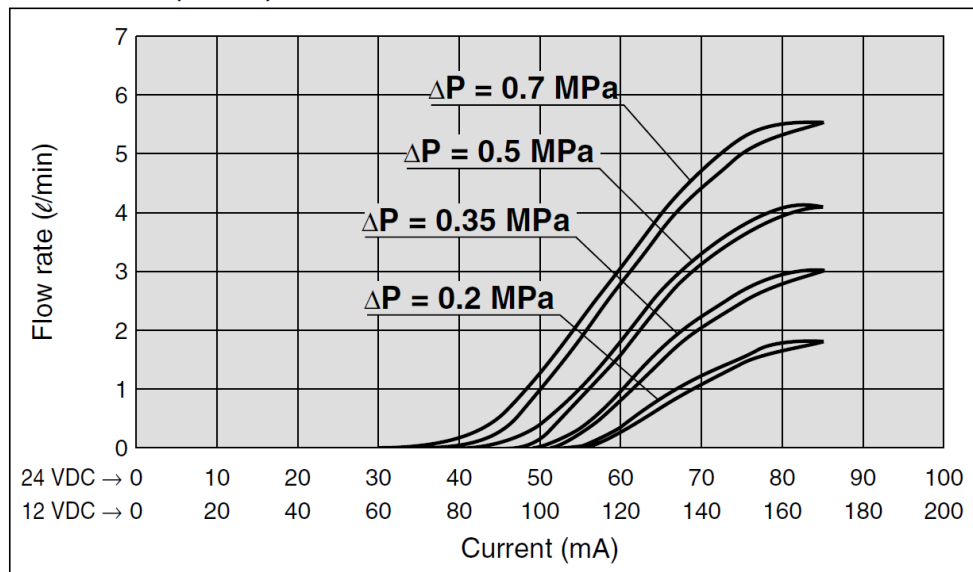


Figura 2.2.20: Caratteristica di portata della valvola

2.2.8 Sistema di acquisizione dei dati

Tutti i segnali provenienti dai sensori precedentemente citati, come quelli di posizione capacitivi, la cella di carico e il flussimetro, sono inviati ad un sistema multifunzione di acquisizione BNC-2120 prodotto da National Instruments. La scheda di acquisizione è collegata a un pc tramite un cavo dedicato. Con l'utilizzo del software LabView, sviluppato sempre da National Instruments, i segnali dei sensori elaborati dalla scheda possono essere analizzati e visualizzati su grafici in tempo reale. Inoltre i dati analizzati possono essere salvati in files di testo utilizzabili, successivamente, per poter generare grafici specifici tramite il software Matlab. Nella figura 2.2.21 si mostra la scheda di acquisizione utilizzata prodotta da National Instruments.

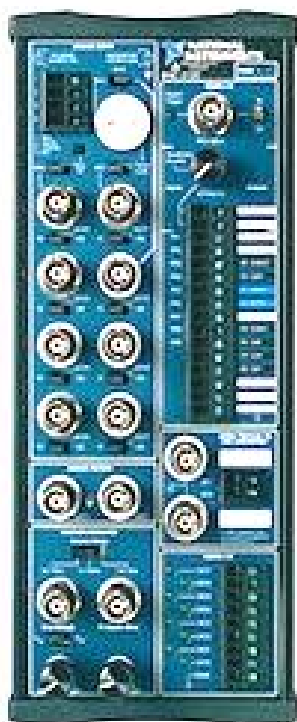


Figura 2.2.21: Scheda di acquisizione BNC-2120 National Instruments

Il software di visualizzazione dei dati LabView offre la possibilità di programmare le modalità di acquisizione dei valori in arrivo tramite l'utilizzo di blocchi funzionali precostituiti e la formazione di schemi intuitivi. All'interno dello spazio di lavoro del software si possono scegliere da quali canali acquisire i dati in arrivo e le tipologie di visualizzazione dei risultati ottenuti. Grazie alla facilità di utilizzo del software si possono generare diversi programmi di acquisizione dei dati per ogni prova sperimentale effettuata sul banco di lavoro.

Nella seguente immagine 2.2.22 si mostra come appare lo spazio di lavoro del software.

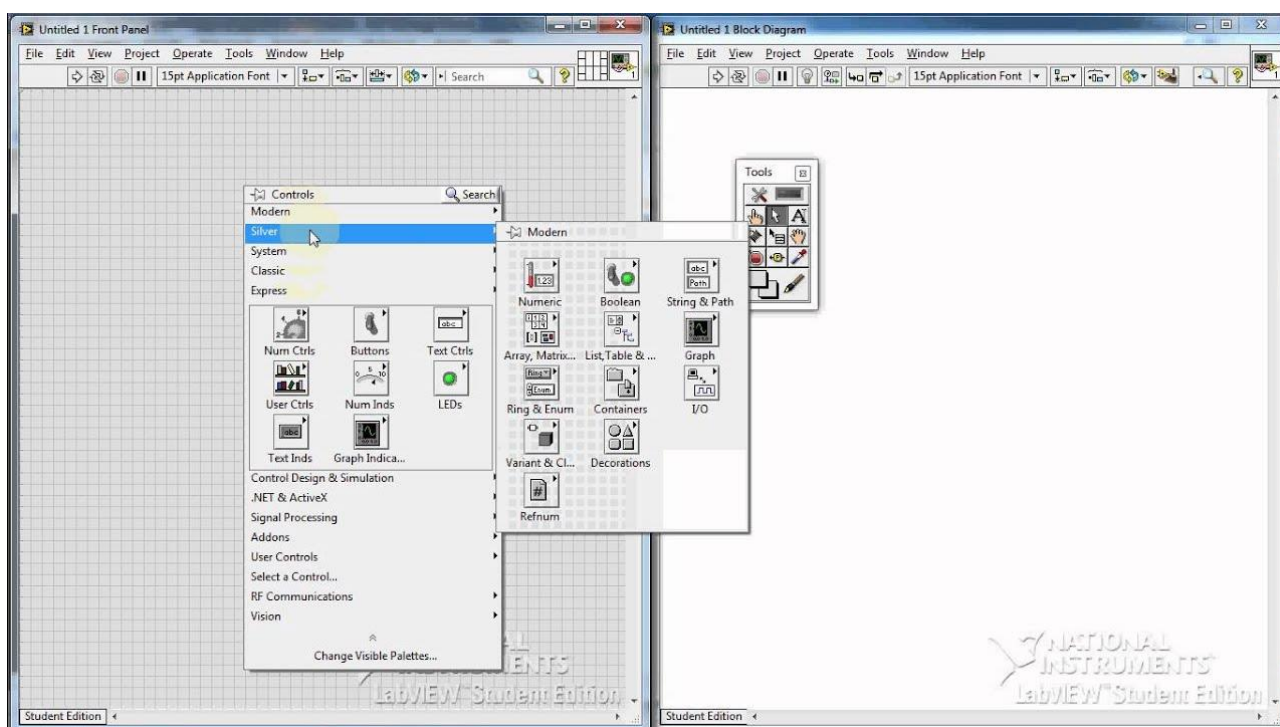


Figura 2.2.22: Workspace del software LabView

Nella finestra centrale è presentata una parte dei blocchi funzionali precostituiti che posso essere utilizzati per sviluppare un programma di acquisizione e di elaborazione. La sezione di destra è la zona di programmazione, i diversi blocchi funzionali vengono collocati e collegati gli uni con gli altri fino a ottenere un diagramma completo con le funzionalità volute dall'operatore. La sezione di sinistra invece è preposta alla visualizzazione e del salvataggio dei dati raccolti ed elaborati. Qui, infatti, si possono collocare varie tipologie di grafici e diagrammi e si possono inserire percorsi personalizzati di salvataggio.

La versione utilizzata per questo lavoro di tesi è completa poiché l'edizione per studenti presenta meno funzioni utilizzabili.

Capitolo 3

Circuito sorgente di corrente

Come è stato già anticipato nei capitoli precedenti, la valvola pneumatica proporzionale utilizzata deve essere alimentata alla tensione costante di 24 V, mentre l'apertura dell'otturatore deve essere controllata con un segnale in corrente compreso tra 0 mA e 85 mA, il quale permette di aumentare o diminuire in modo proporzionale l'area di passaggio facendo così passare il flusso d'aria.

Siccome sia nelle prove in anello aperto che in quelle in anello chiuso il segnale proporzionale di comando proveniente dalla scheda elettronica è dato in tensione tra 0.55 V e 2.75 V circa, è necessario installare tra la scheda e la valvola un circuito di potenza sorgente di corrente. Tale circuito deve essere progettato in modo tale che possa alimentare con potenza sufficiente la bobina della valvola e trasformare in modo proporzionale la tensione proveniente dall'uscita DAC nella corrente necessaria per l'apertura dell'otturatore.

Si è deciso di non utilizzare il circuito sorgente di corrente in possesso, poiché danneggiato, e di assemblarne uno nuovo più sicuro e resistente, in grado di raggiungere frequenze di risposta più alte rispetto al precedente.

3.1 Schema elettrico equivalente e caratteristica statica del circuito

Entrambi i circuiti sorgente di corrente, danneggiato e nuovo, si basano sul più semplice VCCS (voltage-controlled current source), il quale garantisce che alla tensione in ingresso corrisponda un equivalente segnale in corrente in uscita. Il VCCS è un circuito molto semplice, bastano pochi elementi per assemblarlo: un amplificatore operazionale e due resistenze, una delle quali rappresenta il carico. Nella figura 3.1.1 sottostante, si può osservare che la tensione in input entra direttamente nel pin non-invertente dell'amplificatore operazionale e che la resistenza R1 è collegata in serie alla resistenza R2, la cui tensione è riportata all'operazionale. Con tale disposizione dei componenti utilizzati l'uscita dell'amplificatore è indipendente rispetto al carico.

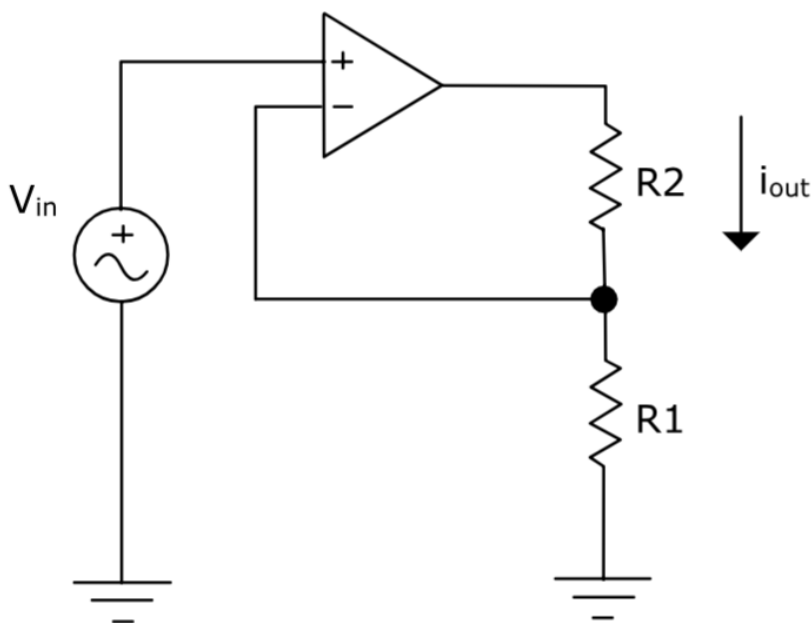


Figura 3.1.1: Circuito elettrico VCCS

Considerando un amplificatore operazionale ideale, è noto che la corrente elettrica non può fluire tra i due pin invertente e non-invertente e per questo motivo la corrente elettrica che fluisce attraverso la resistenza R1 è la stessa che passa attraverso la R2. Inoltre la corrente imposta in uscita dipende solamente dall'amplificatore e dal carico dato da R2; si ottiene per questo motivo che:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{out} = \frac{V_{in}}{R1}$$

Così assemblato tale circuito può essere considerato come una sorgente indipendente di corrente. Tuttavia sebbene sia molto efficace e utile, esso non è adatto ad alimentare un carico come la valvola proporzionale in questione, in quanto l'amplificatore operazionale non è in grado di condurre una corrente così elevata come quella necessaria da catalogo. Inoltre il carico stesso non è una semplice resistenza, ma un solenoide. La presenza del solenoide può portare a ulteriori complicanze: nel caso in cui stia scorrendo parecchia corrente e il sistema venga improvvisamente spento, una tensione elevata può essere indotta attraverso il solenoide danneggiando così il circuito.

Perciò è stato necessario modificare il circuito VCCS di partenza, perdendo la sua semplicità, aggiungendo sistemi di protezione come, ad esempio, separare la parte di controllo da quella di potenza e inserire un diodo per proteggere la valvola da sovratensioni negative derivanti da uno spegnimento improvviso del sistema che potrebbero danneggiare il circuito elettrico.

Lo schema del circuito finale più complesso è presentato nella figura 3.1.2 sottostante.

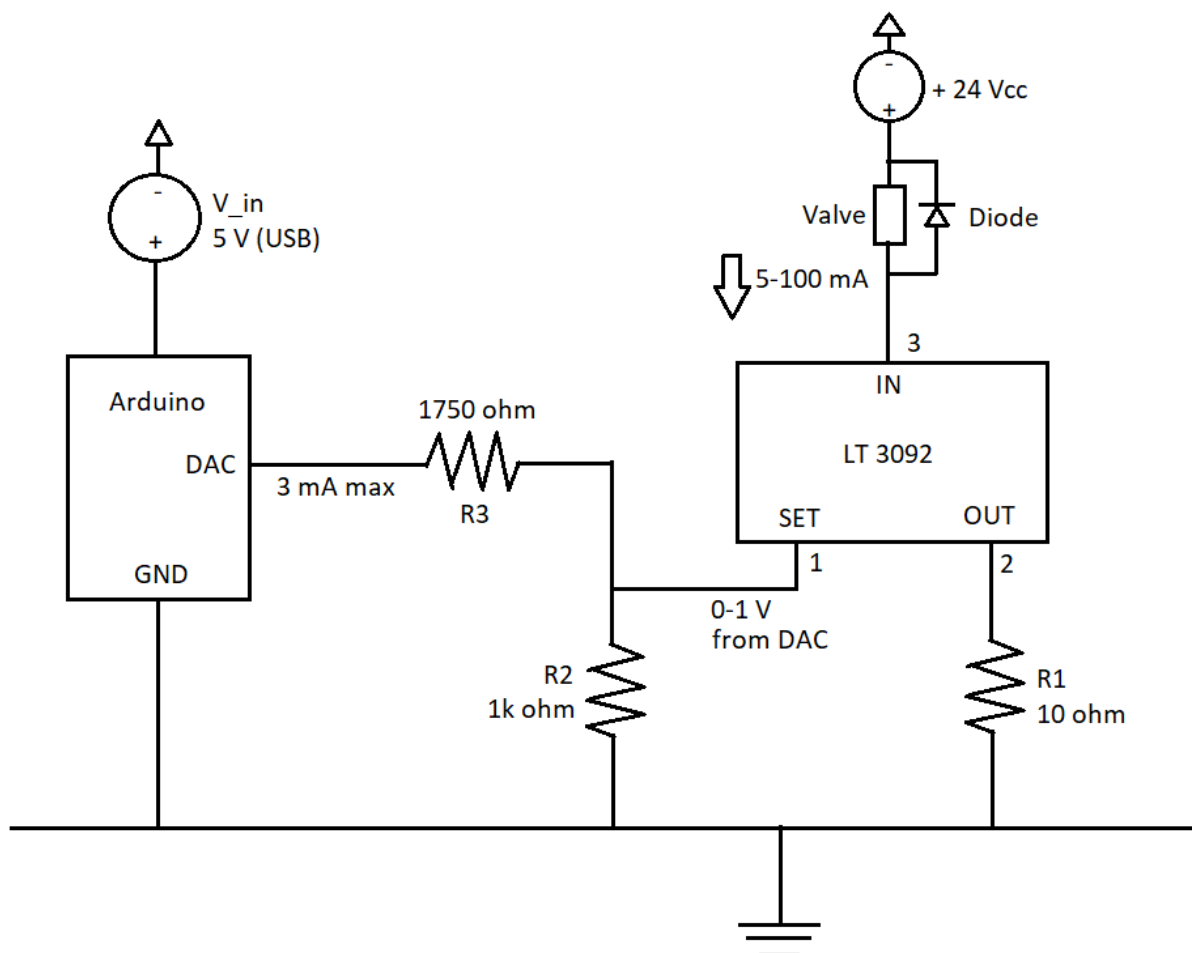


Figura 3.1.2: Schema del circuito di controllo e di potenza

Dallo schema elettrico riportato si possono subito notare due sorgenti di tensione differenti, completamente separate: la prima da 5 V è preposta all'alimentazione della scheda elettronica, la tensione necessaria è fornita direttamente tramite cavo USB dal computer il quale svolge anche la funzione di salvataggio del codice di comando necessario per il funzionamento dell'intero sistema; la seconda da 24 V, invece, fa parte del circuito di potenza, essa alimenta la valvola pneumatica alla tensione necessaria.

Tutti i componenti elettronici, che verranno descritti più dettagliatamente in seguito, sono collegati a una terra comune.

La scheda elettronica Orange, Arduino equivalente, invia attraverso il pin DAC il segnale di comando in tensione variabile tra 0.55 V e 2.75 V, con una corrente massima di 3 mA. Il segnale in tensione passa attraverso un partitore di tensione composto dalle resistenze R2 e R3 con lo scopo di far diminuire la tensione in arrivo al circuito integrato LT3092 in un intervallo compreso tra 0 V e 1 V. Il circuito integrato LT3092 rappresenta la parte di potenza del sistema elettrico. Al suo interno sono inseriti tutti gli elementi che rendono la sua funzione del tutto analoga a quella dei circuiti sorgente di corrente VCCS più semplici. In poche parole l'LT3092 è un circuito sorgente di corrente integrato commerciale di piccole dimensioni con già implementati tutti i sistemi di protezione necessari.

La tensione entrante nel circuito LT3092 viene convertita nell'equivalente segnale in corrente utile per l'apertura della valvola. Infine la valvola stessa è protetta da picchi di tensione grazie all'inserimento in parallelo di un diodo flyback.

Prima di utilizzare il nuovo circuito sono stati condotti test di funzionamento utili a capire se potesse essere impiegato correttamente in relazione al modello di valvola proporzionale. La prova principale è stata quella di verificare che, a fronte di un segnale in tensione simile a quello della scheda elettronica in arrivo, il circuito lo trasformasse nel segnale equivalente in corrente. Successivamente si è voluto verificare la linearità del sistema elettrico ricavando la caratteristica statica. Impostata una variazione di tensione che vada a coprire quasi tutto il range in uscita dalla scheda Arduino si vuole verificare se si ottiene in uscita dall'LT3092 l'intervallo di corrente utile per l'apertura della valvola pneumatica proporzionale, in modo tale che si simulino le condizioni di lavoro nel banco di prova. I risultati del test sono riportati nella seguente tabella 3.1.1.

	V _{in} [V]	0.8	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
V _{cc} =24V	i [mA]	30	37	40	44	48	51	54	58
V _{cc} =26V	i [mA]	30	37	40	44	48	51	54	58

	V _{in} [V]	1.7	1.8	1.9	2	2.2	2.3	2.4	2.5
V _{cc} =24V	i [mA]	62	66	69	72	80	83	84	84
V _{cc} =26V	i [mA]	62	66	69	72	80	83	87	92

Tabella 3.1.1: Risultati test di linearità

Il test è stato condotto a due tensioni di alimentazione della valvola diverse. Si nota che alla tensione di alimentazione di 24 V da catalogo il circuito elettrico giunge a saturazione di corrente di comando della valvola per un segnale in tensione superiore ai 2.3 V. Invece se si porta l'alimentazione della valvola ad un valore superiore, pari a 26 V, il circuito non giunge a saturazione e restituisce valori di corrente in uscita fino ai 92 mA. Siccome è rischioso aumentare la tensione di alimentazione della valvola oltre il consentito da catalogo si preferisce mantenerla a 24 V, non raggiungendo però i canonici 85 mA per una apertura totale dell'otturatore, ma fermandosi a un valore prossimo pari a 83 mA. La prova sul circuito è stata svolta collegando come carico equivalente una resistenza da 280 ohm ipotizzando che quella della valvola non sia soggetta a rilevanti variazioni, mentre il segnale di

tensione è stato generato direttamente dalla scheda elettronica. Inoltre si garantisce un taglio in frequenza del circuito a circa 27-30 kHz, grazie alla presenza dei tre condensatori aggiuntivi. Si riporta la caratteristica statica lineare del circuito alimentato a 24 V nella figura 3.1.3 sottostante.

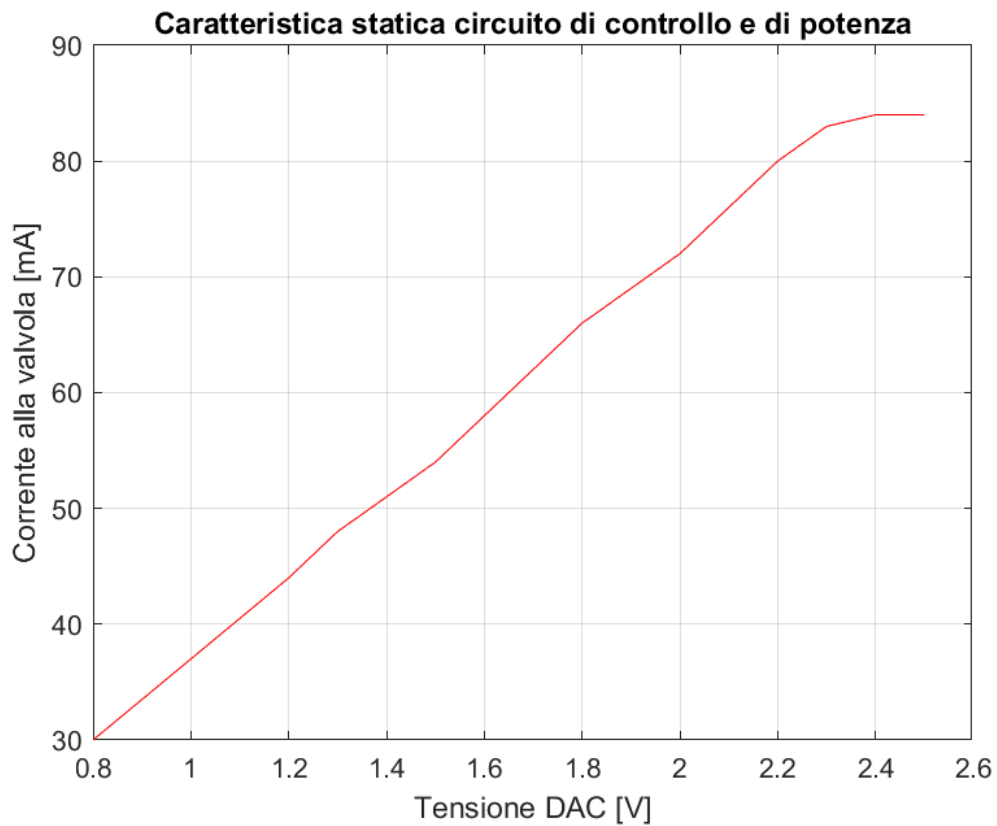


Figura 3.1.3: Caratteristica statica circuito elettrico alimentato a 24 V costanti

Il collegamento del circuito ausiliario al banco di prova è schematizzato nella figura 3.1.4 qui di seguito.

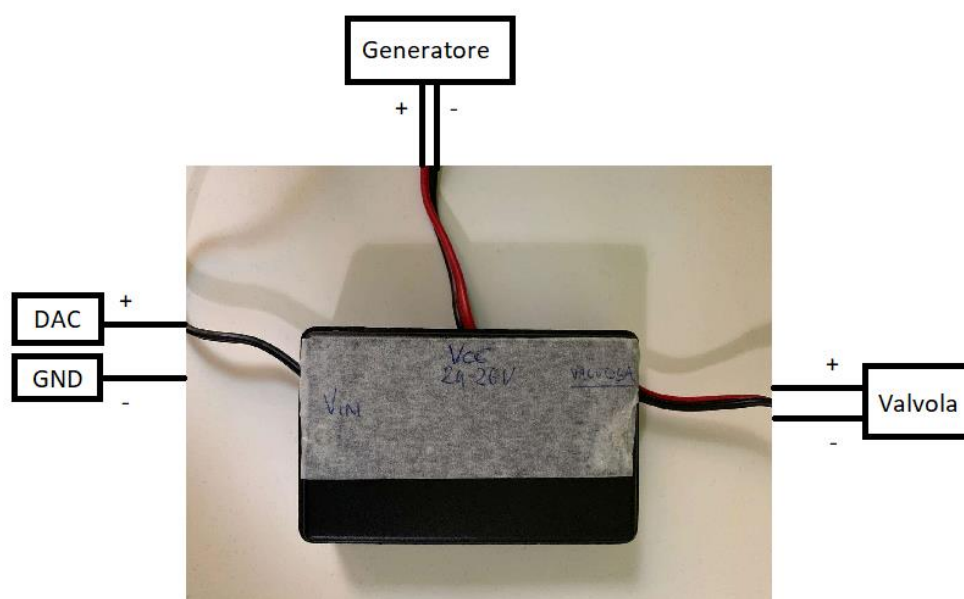


Figura 3.1.4: Schema dei collegamenti circuito sorgente di corrente

Le coppie di cavi uscenti dal circuito sono costituite da un capo positivo e da un capo negativo. La coppia indicata come V_{in} sulla protezione del circuito si collega direttamente alla scheda elettronica: il capo positivo si inserisce all'interno del pin DAC0, mentre quello negativo nel pin GND. I cavi nominati Valvola si uniscono a quelli uscenti dalla valvola proporzionale e trasportano il segnale di comando in corrente. Infine la coppia V_{cc} , che ha la funzione di portare la potenza necessaria sia al circuito che alla valvola, si collega al generatore di tensione in corrente continua da 24 V. L'accensione contemporanea della scheda elettronica e del generatore di tensione permetterà al circuito di funzionare correttamente convertendo il segnale di tensione in quello equivalente di corrente.

Nella seguente figura 3.1.5 si mostra il circuito scoperto in cui si possono distinguere tutti i componenti elettronici utilizzati.

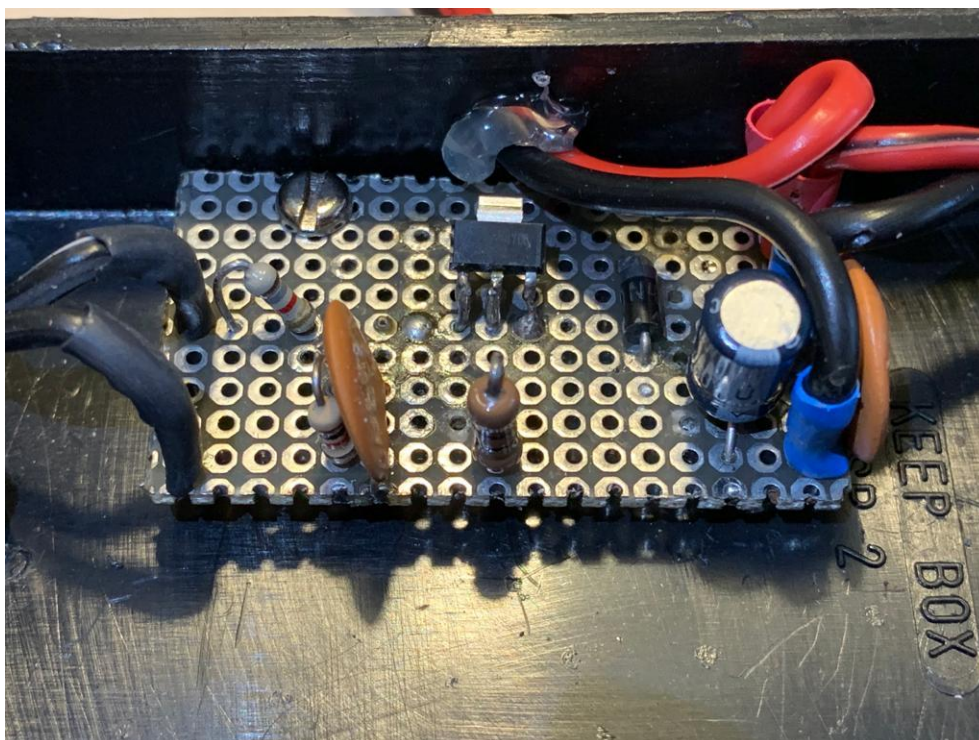


Figura 3.1.5: Circuito elettrico ausiliario e componenti elettronici

3.2 Componenti elettronici

In questo paragrafo vengono descritti i modelli e le funzioni dei componenti elettronici utilizzati nell'assemblaggio del circuito elettrico sorgente di corrente. L'attenzione è rivolta in particolare verso il circuito integrato commerciale LT3092 che svolge la funzione principale di conversione del segnale da tensione a corrente.

3.2.1 Circuito integrato LT3092

Il circuito integrato LT3092, prodotto da Linear Technology, è una sorgente di corrente programmabile a due terminali. Esso, infatti, ha bisogno di sole due resistenze per impostare una corrente in uscita compresa tra 0.5 mA e 200 mA. È adatto a soddisfare molti tipi di applicazioni diverse in quanto esso offre la possibilità di impostare variazioni molto ampie sia di corrente in output che di tensione in input (1.2 V – 40 V) per cui non sono richiesti capacitori in ingresso e in uscita e garantisce protezioni interne contro correnti e tensioni negative e il contenimento della temperatura e della corrente elevate.

La sua applicazione principale, utilizzata in questo lavoro di tesi, è la sorgente di corrente programmabile a due terminali. Nella figura 3.2.1 si riporta lo schema elettrico dell'applicazione in cui si evidenziano tutti i componenti interni al circuito integrato.

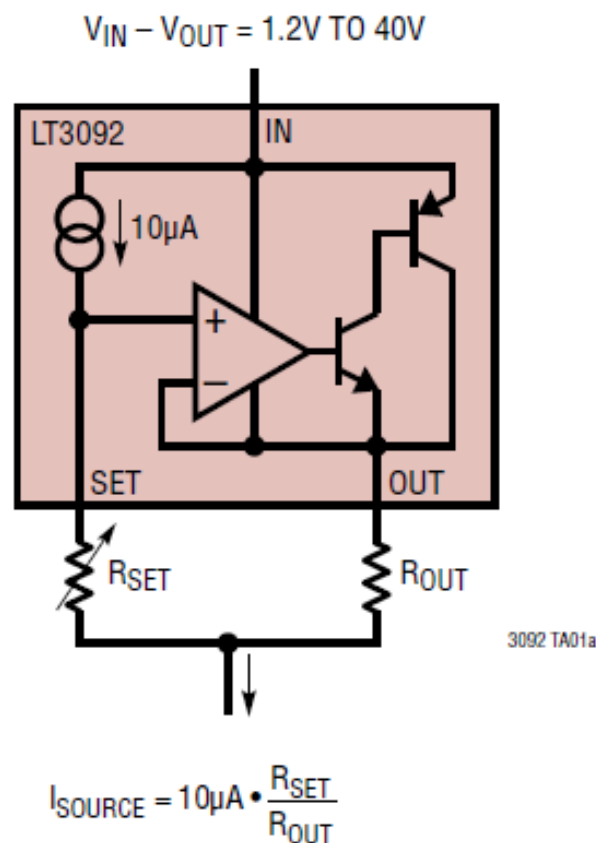


Figura 3.2.1: Circuito integrato LT3092

Si nota la presenza di un amplificatore operazionale, necessario per svolgere la funzione tipica dei circuiti VCCS, e di transistor, utili a separare la parte di controllo da quella di potenza del circuito. In base allo schema, l'LT3092 è in grado di dare in uscita una corrente che dipende direttamente dal rapporto delle due resistenze collegate ai pin SET e OUT. Perciò se si installa nel circuito una resistenza di SET variabile si può ottenere in uscita una variazione di corrente che dipende in modo proporzionale a quella propria di R_{SET} .

Il costruttore ha indicato inoltre diverse configurazioni per utilizzare il circuito in altre funzioni più specifiche. In particolare si riporta nella figura 3.2.2 sottostante la versione utilizzata e installata nel circuito elettrico.

DAC Controlled Current Source

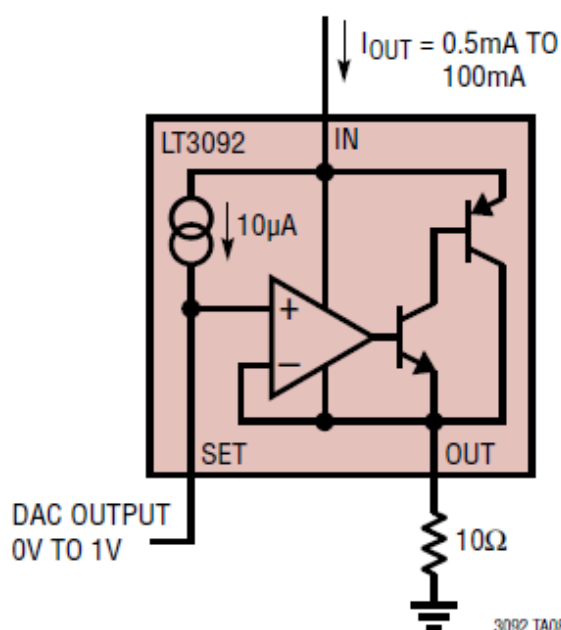


Figura 3.2.2: Configurazione utilizzata nel circuito

In questo particolare caso il circuito integrato LT3092 può essere utilizzato come sorgente di corrente variabile in base a un segnale in tensione compreso tra 0 V e 1 V proveniente da un pin DAC. Il circuito, quindi, è capace di generare un segnale equivalente in corrente compreso tra 0.5 mA e 100 mA, un intervallo poco più grande di quello utile all'apertura della valvola pneumatica, limitato superiormente a 85 mA circa. Ne segue dunque che l'LT3092 in questa particolare configurazione può essere utilizzato allo scopo del lavoro di tesi.

Usufruendo del partitore di tensione installato all'ingresso del pin SET del circuito integrato, già descritto in precedenza, si è in grado di ridurre il segnale proveniente dalla scheda elettronica nell'intervallo richiesto. È possibile così sfruttare quasi tutto il range di tensione per ottenere la giusta corrente in uscita, avendo però cura di non superare il limite per la massima apertura della valvola.

Il circuito LT3092 garantisce tempi di risposta più rapidi di quelli che si otterrebbero dalla stessa configurazione non integrata, rendendolo molto utile nel funzionamento in autonomia (anello chiuso) dell'intero sistema, sia all'accensione che nei transitori. Si riportano nelle figure 3.2.3 e 3.2.4 le prestazioni del circuito integrato.

Turn-On Response

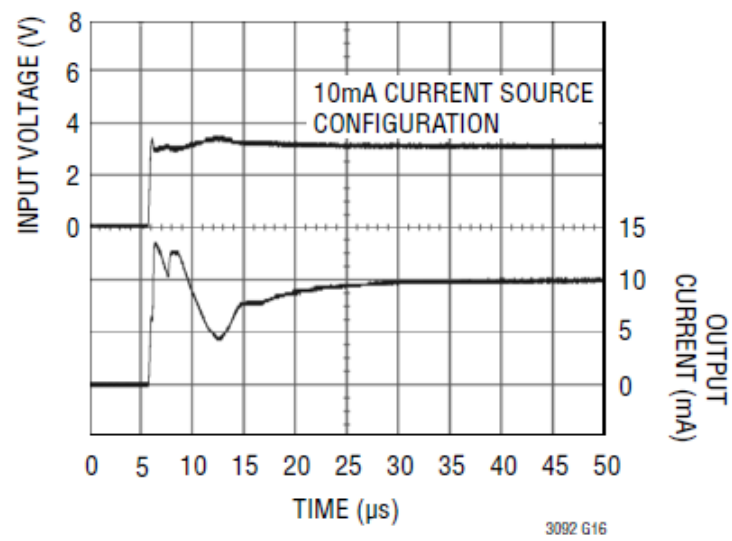


Figura 3.2.3: Tempo di risposta all'accensione

Line Transient Response

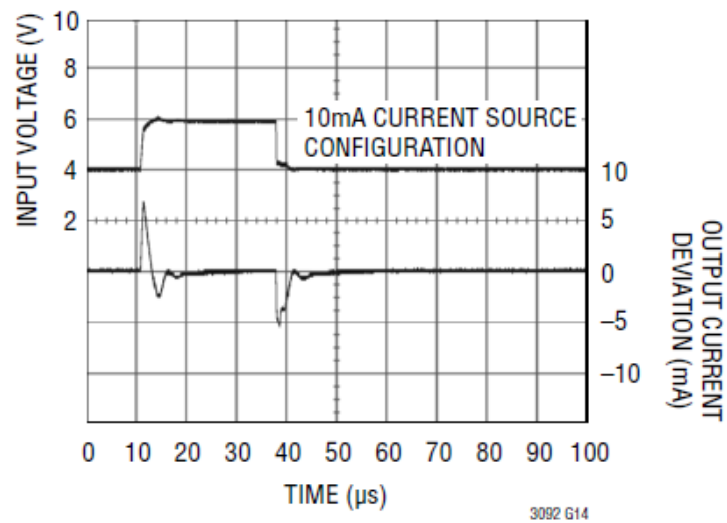


Figura 3.2.4: Tempo di risposta in transitorio

3.2.2 Diodo

Il diodo è un componente elettrico a due terminali che permette il passaggio della corrente in una sola direzione. Un diodo ideale può essere considerato come una resistenza “binaria”: nella direzione in cui permette alla corrente di passare, agisce da cortocircuito, con resistenza nulla; nella direzione opposta invece, agisce da circuito aperto, con una resistenza pressoché infinita, bloccandone così il passaggio.

Il simbolo elettrico e un esempio di diodo sono riportati nella figura 3.2.5.

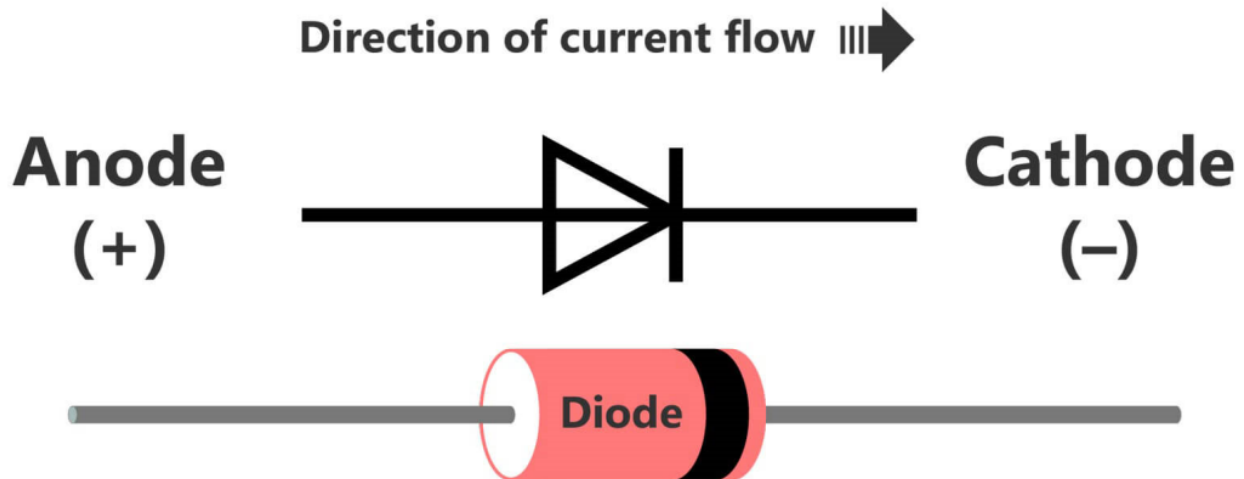


Figura 3.2.5: Simbolo elettrico e rappresentazione di diodo

La corrente può scorrere in un'unica direzione, indicata dalla freccia nel simbolo elettrico.

Se si considera ora un diodo reale, esso non avrà mai una resistenza infinita, infatti, la corrente non potrà fluire nella direzione vietata finché la tensione lungo il diodo stesso non raggiungerà il valore di tensione inversa indicata nel catalogo. Se dovesse essere raggiunto questo valore, il diodo non sarebbe più in grado di bloccare il passaggio di corrente, venendo così danneggiato.

Nel circuito elettrico utilizzato in questo lavoro di tesi si è installato un diodo flyback in parallelo al carico induttivo, ovvero la valvola pneumatica, ed è utilizzato, come mostrato nella figura 3.2.6, per ridurre il fenomeno del flyback. Tale fenomeno si genera quando una sorgente di corrente è interrotta o ridotta rapidamente: così facendo un picco di tensione risale nella direzione opposta lungo il carico induttivo, causando danni agli altri elementi del circuito.

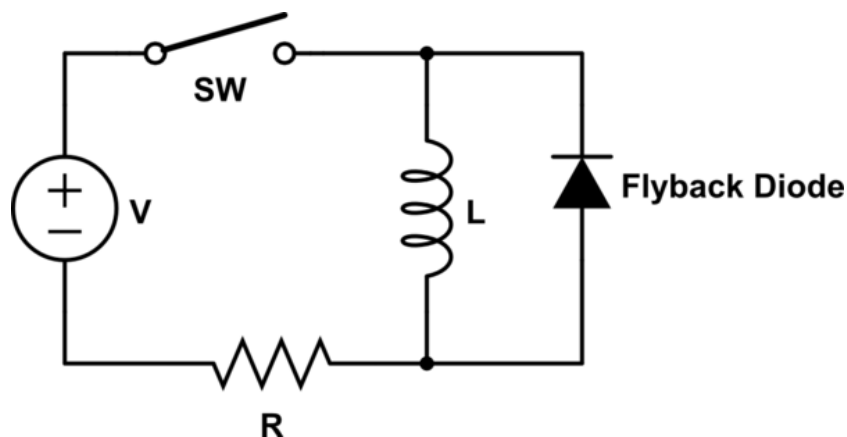


Figura 3.2.6: Connessione tipica del diodo flyback

Con il diodo connesso in parallelo al carico induttivo, il comportamento del circuito rimane inalterato poiché agendo da circuito aperto non si ha passaggio di corrente se non attraverso il carico stesso. Quando invece il sistema viene spento, il carico induttivo genera un picco di tensione negativa, con durata proporzionale alla quantità di energia accumulata. Se, come in questo caso, è stato installato un diodo flyback, il picco di tensione attraversa il diodo il quale inizierà a condurre corrente. Si forma così un piccolo circuito alimentato dall'energia accumulata all'interno del carico induttivo. Il passaggio di corrente verrà interrotto quando l'energia accumulata verrà totalmente consumata.

Il diodo scelto e installato all'interno del circuito è il modello 1N4007. Per la scelta del diodo si devono considerare la corrente che scorre nel carico e la tensione di alimentazione dello stesso. In questo caso il diodo deve sostenere una corrente massima di circa 85 mA e una tensione di 24 V. Con l'1N4007 ci si trova in una situazione di sovradimensionamento e quindi di massima sicurezza in quanto esso può sostenere una corrente di 1 A e una tensione di 1000 V.

3.2.3 Condensatori

I condensatori sono componenti elettrici a due terminali che hanno la funzione di accumulare cariche elettriche di segno opposto nelle armature quando vengono alimentati da una certa tensione.

Un condensatore ideale è in grado di immagazzinare la carica e l'energia e mantenerle all'infinito.

Il simbolo elettrico e un esempio di condensatore sono rappresentati in figura 3.2.7.

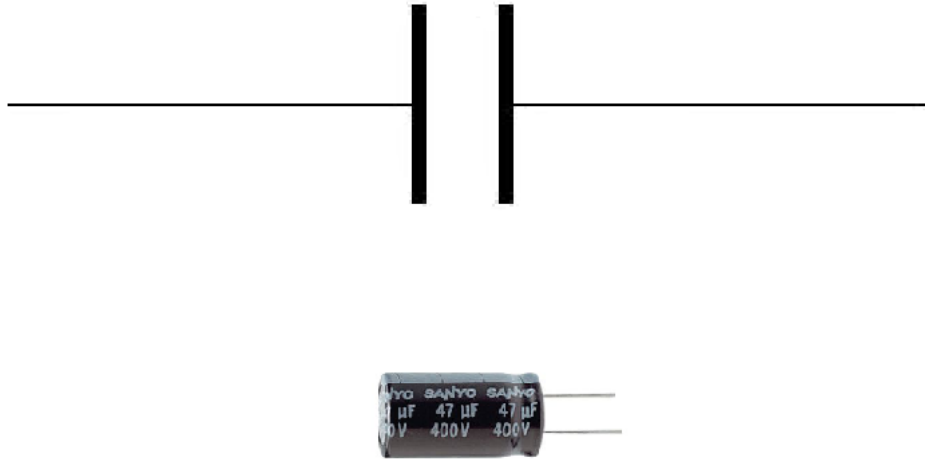


Figura 3.2.7: Simbolo elettrico e esempio di condensatore

Nei regimi in cui la corrente varia nel tempo, con l'utilizzo di un condensatore o capacitore ideale, risulta che il passaggio della corrente stessa sia in anticipo di un quarto di periodo rispetto alla tensione applicata ai due terminali.

Per questo motivo nelle applicazioni elettroniche il condensatore è utilizzato per la sua capacità di lasciar passare correnti elettriche variabili nel tempo con un certo anticipo e di bloccare quelle costanti. In questo modo si è in grado di separare i segnali di corrente da altri e da quelli di tensione. La capacità di accumulare cariche elettriche ed energia permette al circuito elettrico di essere più pronto durante i transitori in cui possono variare i segnali di corrente e di avere tagli in frequenza più alti.

Nel circuito sono stati inseriti tre condensatori che garantiscono una frequenza di taglio del sistema impostata intorno ai 27000 Hz. I tre condensatori da 22 μF , 100000 pF e 50000 pF sono rispettivamente collocati in serie all'alimentazione da 24 V, in serie tra la terra e il polo negativo della valvola e in parallelo con la resistenza da 1000 ohm.

Capitolo 4

Test sperimentali svolti su banco prova

L'approfondita descrizione del banco di lavoro, dei componenti utilizzati e delle funzionalità e calibrazioni dei sensori impiegati permette di comprendere al meglio lo scopo e le modalità delle prove sperimentali condotte. I test verranno descritti in tutti i particolari in seguito. Nei prossimi paragrafi ad ogni prova effettuata verranno accompagnati il commento dei risultati ottenuti e un'analisi dei grafici, di come questi convergano e non rispetto ai risultati sperati.

Nel capitolo precedente si sono mostrati i risultati ottenuti dalla prova di calibrazione effettuata sul circuito elettrico per dimostrare che il suo funzionamento lineare potesse essere compatibile con il comportamento elettrico della valvola. Nel prossimo paragrafo, si cercherà di comprendere se il funzionamento della valvola sia paragonabile con quello fornito a catalogo del costruttore e come possa cambiare una volta montata sul pattino, calcolandone l'isteresi e la corrente minima di apertura. Successivamente alla caratterizzazione della valvola verranno svolti test in anello aperto sul sistema del pattino attivo con differenti valori di pressione di alimentazione a diverse aperture della valvola proporzionale per ricavare direttamente la capacità di carico, il consumo d'aria e la rigidità propria del cuscinetto ad aria.

Infine test ad anello chiuso saranno necessari per mostrare il comportamento dinamico e il funzionamento in autonomia del sistema, in particolare di come possa adattarsi a differenti forme e valori di carico applicato mantenendo il meato d'aria al di sotto del pattino il più costante possibile.

4.1 Prove sperimentali sulla valvola proporzionale

Come è stato già anticipato, in questo paragrafo si vuole studiare il comportamento della valvola pneumatica utilizzata. Verrà sottoposta a due prove molto simili: essa, montata sul pattino, sarà alimentata con una corrente di eccitazione variabile ad una pressione di alimentazione di 5 bar e di 7 bar; lo stesso procedimento sarà svolto poi sulla valvola in questo caso disinstallata dal cuscinetto.

Utilizzando il software Simulink, si è creato un codice, successivamente implementato e salvato sulla scheda elettronica, in grado di creare un'onda sinusoidale di segnale in tensione con un valor medio di 1.7 V e un'ampiezza di 0.9 V. In questo modo il segnale di tensione in uscita dal pin DAC di Orange copre tutto il range di funzionamento della valvola, convertito in corrente dal circuito ausiliario. L'onda sinusoidale è molto lenta, ha un periodo di 10 secondi, corrispondente a una frequenza di 0.1 Hz. La scelta di un periodo lungo è necessaria per considerare che le due prove non dipendano esclusivamente dal comportamento dinamico della valvola e che il flusso d'aria possa essere ben acquisito senza errori.

Si mostra ora nella figura 4.1.1 lo schema a blocchi di Simulink utilizzato per la generazione del segnale sinusoidale di comando in tensione.

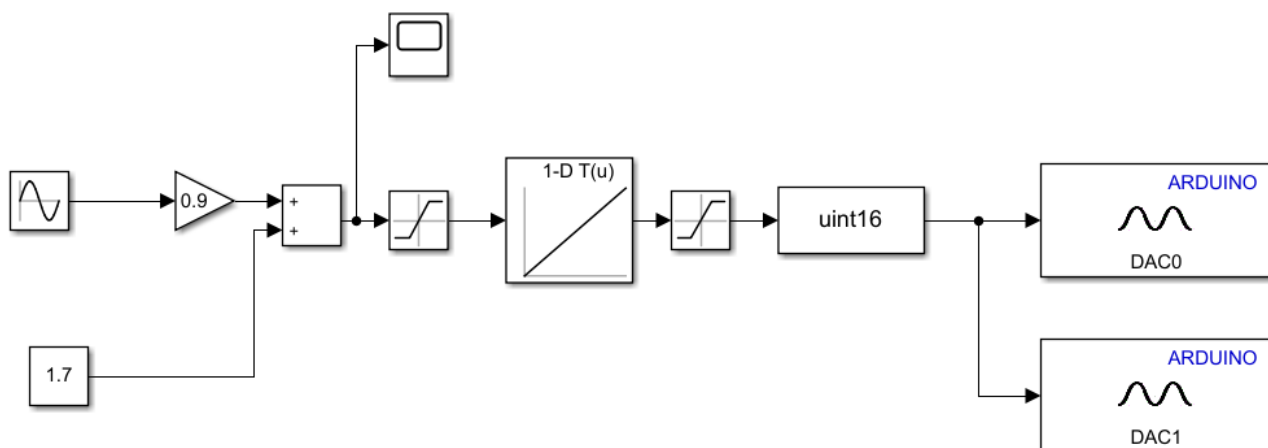


Figura 4.1.1: Schema a blocchi di generazione del segnale sinusoidale

Si osserva nello schema che il segnale di tensione viene imposto dal blocco di generazione di onda sinusoidale, combinato con un gain di valore 0.9 V moltiplicativo dell'ampiezza unitaria dell'onda e addizionato a un valore medio di 1.7 V. L'unione di questi primi tre blocchi crea l'onda di segnale che verrà inviata dalla scheda elettronica alle uscite analogiche DAC. Successivamente è necessario che la sinusoide creata sia inviata in un blocco di saturazione per limitarne il valore qualora superi la soglia di 2.75 V che corrisponde all'uscita massima verificata del pin di uscita analogica DAC della scheda elettronica. In seguito tramite una look-up table, il valore di tensione viene convertito in uno dei 4096 livelli della risoluzione a 12 bit e inviato ad una saturazione di sicurezza per limitare il livello massimo a 4095. Il blocco uint16 converte il tipo di dato in uno che può essere letto dalla scheda elettronica. Infine con i due blocchi DAC0 e DAC1 si specifica il tipo di uscita e da quale pin si preleva il segnale in tensione voluto. La presenza dei due blocchi di uscita DAC0 e DAC1 in parallelo, permette contemporaneamente di comandare l'apertura della valvola proporzionale, eccitando la sua bobina, e di poter salvare lo stesso segnale sinusoidale di tensione attraverso la scheda di acquisizione. Durante tutte le prove si registreranno il segnale di tensione proveniente dalla scheda elettronica e, tramite il flussimetro digitale, la portata consumata dalla valvola in funzione dell'apertura della stessa. Con questi dati si ricavano gli andamenti del flusso d'aria rapportato alla corrente di eccitazione della bobina e quindi anche all'apertura dell'otturatore della valvola pneumatica.

La corrente di eccitazione della bobina si ricava dal segnale di tensione inviato dalla scheda utilizzando la caratteristica statica del circuito ausiliario ricavata in precedenza.

Qui sotto nelle figure 4.1.2 e 4.1.3 si riportano i grafici ricavati dalle prove con valvola montata sul pattino e presa singolarmente.

Si segnala, che per entrambe le prove svolte, è necessario l'utilizzo di blocchetti metallici di interfaccia, utili per il collegamento della valvola proporzionale con l'alimentazione di aria compressa e con il pattino pneumostatico.

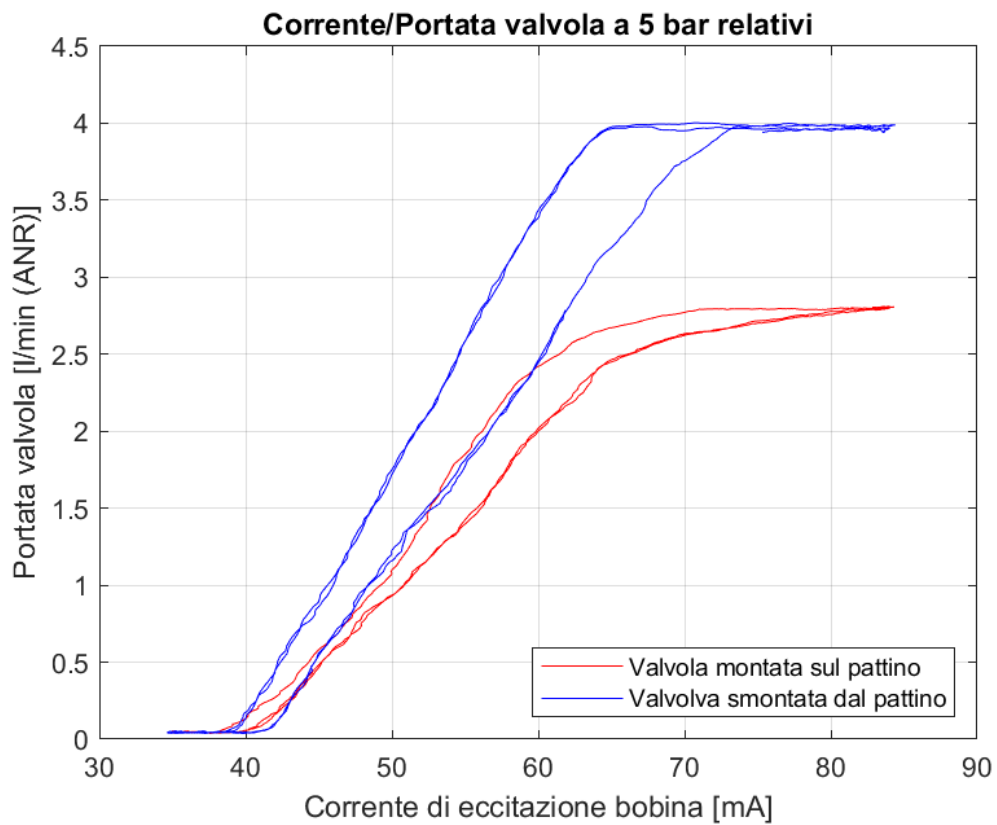


Figura 4.1.2: Andamento portata con corrente variabile a pressione di 5 bar relativi

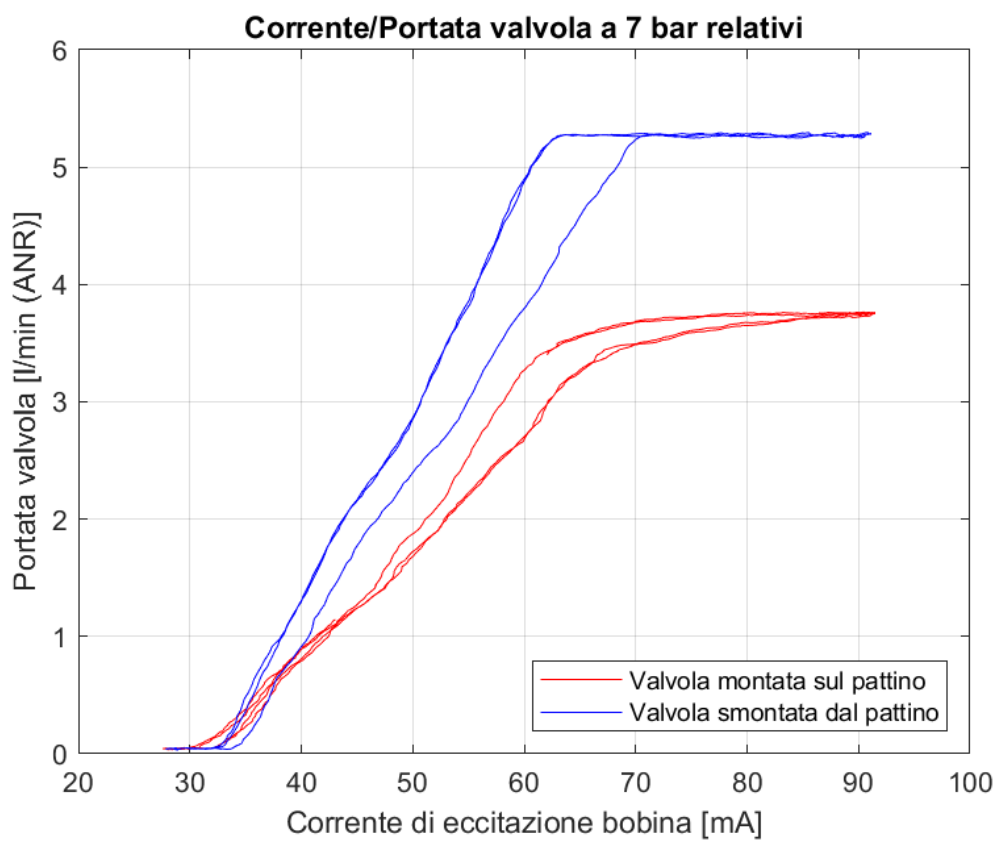


Figura 4.1.3: Andamento portata con corrente variabile a pressione di 7 bar relativi

Dagli andamenti del flusso d'aria in funzione della corrente di comando, si ricava che la valvola è affetta dal fenomeno di isteresi come la maggior parte dei componenti meccanici e meccatronici. Si osserva infatti che la portata d'aria attraverso la valvola registrata in entrambe le prove è minore quando la corrente di comando sta aumentando, mentre si hanno valori più elevati quando la corrente sta diminuendo verso il valore di chiusura della valvola. Dunque si ha un passaggio di aria maggiore quando l'otturatore sta ritornando nella posizione normale di chiusura rispetto alla fase di apertura. Questo fenomeno si può spiegare considerando gli attriti interni alla guarnizione dell'otturatore della valvola, il quale costituisce un accoppiamento prismatico. Proprio la guarnizione, che è utilizzata per evitare perdite di flusso d'aria, causa attrito sul corpo interno della valvola, rendendo possibile che a parità di corrente di eccitazione della bobina si abbiano valori diversi di portata passante.

Anche il flusso d'aria stesso che transita attraverso la valvola a una determinata pressione premendo sull'otturatore può generare una resistenza e un ritardo nella chiusura.

L'isteresi è più marcata negli andamenti che si riferiscono alla valvola smontata dal pattino: ciò si può spiegare in quanto la pressione di valle della valvola è pari a quella atmosferica e l'assenza del cuscinetto non genera alcuna resistenza al flusso. Quindi a causa dell'assenza di una qualche resistenza offerta dal pattino che avrebbe fatto aumentare la pressione di valle si ha una caduta di pressione sulla valvola molto elevata; alla chiusura, dunque, l'otturatore è contrastato da tutta la portata d'aria che alimenta la valvola a 5 bar o 7 bar. Si ottiene così una isteresi più marcata.

Si può ancora notare che per entrambe le prove, la portata massima acquisita attraverso la valvola smontata dal pattino è leggermente più bassa rispetto a quella indicata nei grafici del catalogo del costruttore. Ciò può essere causato dall'utilizzo di tre blocchetti metallici di interfaccia per montare la valvola al pattino pneumostatico. Questi blocchi di interfaccia introducono una resistenza pneumatica che fa diminuire la pressione di alimentazione e con questo anche la portata d'aria. Nella figura 4.1.4 si mostra la valvola con i blocchetti metallici di interfaccia.



Figura 4.1.4: Valvola pneumatica dotata di blocchetti metallici di interfaccia per il montaggio al pattino

Anche la presenza della resistenza offerta dal pattino favorisce l'abbassamento della portata massima attraverso la valvola.

Osservando attentamente gli andamenti di portata in funzione del segnale di comando si nota che si hanno diversi valori di corrente di eccitazione della bobina per i quali si raggiunge la saturazione del flusso d'aria massimo all'apertura della valvola. Per le prove svolte a 5 bar, con valvola smontata dal pattino, si raggiunge la portata massima a una corrente pari a 73 mA, mentre con la presenza del pattino si ha una corrente di saturazione pari a 83 mA. Le prove effettuate a 7 bar danno valori leggermente diversi a causa della pressione maggiore di alimentazione: 70 mA con la valvola presa da sola e 86 mA con la presenza del pattino.

La presenza del pattino pneumostatico introduce una resistenza pneumatica la quale porta alla necessità di raggiungere valori più alti di corrente elettrica per ottenere la completa apertura della valvola e quindi la saturazione del flusso d'aria.

Dai grafici si può osservare che anche la corrente minima per l'apertura della valvola varia, in quanto dipende ancora una volta dalla resistenza aggiuntiva del pattino e dalla pressione di alimentazione. Difatti all'aumentare della pressione da 5 bar a 7 bar, si consuma una minore corrente per muovere l'otturatore.

Per le prove a 5 bar la presenza della resistenza aggiuntiva data dal pattino non porta a sostanziali differenze e la corrente minima è di circa 39 mA.

Per le prove a 7 bar la resistenza del pattino fa scendere la corrente di apertura da 33 mA della valvola smontata a 31 mA necessari.

La resistenza del pattino fa crescere la pressione all'uscita della valvola di un valore superiore a quella ambientale e ciò favorisce l'apertura della valvola.

Si conferma che all'aumentare della pressione di alimentazione il consumo di corrente di comando è inversamente proporzionale.

In base alla corrente di saturazione e a quella necessaria per la minima apertura della valvola si sono stabiliti i valori del segnale in tensione inviato dalla scheda Orange. Tali valori saranno utilizzati nelle prossime prove in anello aperto per muovere l'otturatore dalla posizione di chiusura del 25% e del 50% della sua corsa con una pressione di alimentazione prima di 5 bar e poi di 7 bar.

Gli andamenti di portata ottenuti saranno utili anche per ricavare la conduttanza variabile della valvola in funzione della corrente e della pressione di alimentazione. Il valore della conduttanza è utile per essere implementata nel modello matematico di simulazione.

4.2 Prove sperimentali in anello aperto

In questo paragrafo verranno descritte e analizzate le prove in anello aperto. Esse sono utili per comprendere già inizialmente come il sistema pattino-valvola si possa comportare a date pressioni di alimentazione, ad aperture parziali dell'orifizio ed alla variazione progressiva del carico applicato. Grazie a questi test iniziali sarà possibile visualizzare i dati ricavati in grafici che mettono in correlazione la forza applicata dal banco di prova e la portata d'aria consumata dalla valvola con lo spostamento verticale del pattino e quindi con lo spessore del meato sottostante.

Le prove saranno caratterizzate da una differente pressione di alimentazione variabile tra 5 bar e 7 bar relativi, da differenti aperture della valvola proporzionale, corrispondenti al 50%, 75% e 100% della corsa dell'otturatore, e da un carico iniziale impostato intorno ai 1800 N – 2000N.

Il banco di prova deve essere allestito in modo tale da permettere una giusta acquisizione di tutti i dati. I sensori capacitivi, la cella di carico e il flussimetro digitale sono alimentati con una tensione in corrente continua a 24 V e collegati alla scheda di acquisizione National Instruments. I trasduttori di pressione vengono anch'essi collegati ad una alimentazione in corrente continua a 5 V e alla scheda di acquisizione. In questo caso i trasduttori sono utili per verificare la correttezza del loro funzionamento rispetto ai sensori capacitivi descritta sulla base della calibrazione effettuata e descritta nel capitolo precedente.

La valvola proporzionale viene collegata all'alimentazione in corrente continua a 24 V e al circuito ausiliario di controllo, il quale permette, tramite opportuni comandi dati dalla scheda elettronica, l'apertura stabilita in posizioni parziali dell'otturatore della valvola stessa. L'aria compressa di alimentazione alla valvola viene impostata a 5 bar o 7 bar relativi, mentre quella relativa ai sensori a contropressione a 4 bar relativi fissi per tutti i test condotti.

Il PC collegato alla scheda di acquisizione, tramite il software LabView, si occuperà di registrare tutti i dati in entrata e salvarli in formato matriciale in file di testo utilizzabili su Matlab per ottenere grafici comprensibili per l'analisi.

Tutte le prove sperimentali svolte in anello aperto possono essere sviluppate nelle seguenti fasi che compongono un algoritmo:

- Si comprime il pattino alla superficie rettificata con un dato carico di partenza (intorno ai 1800 N – 2000N);
- Si apre l'alimentazione di aria compressa con l'apertura della valvola impostata a 50%, 75% o 100%;
- Si diminuisce lentamente e progressivamente la forza applicata su pattino, il pattino inizierà a sollevarsi e lo spostamento verticale in micrometri verrà letto e visualizzato grazie ai sensori capacitivi e a contropressione;
- Quando il carico giunge a valori minimi, con spessore del meato d'aria massimo, si chiude l'alimentazione di aria compressa alla valvola proporzionale;
- Con alimentazione chiusa si applica nuovamente il carico sul pattino tramite la ruota del banco fino a giungere al valore di forza di partenza terminando così la prova in anello aperto.

Al termine di ogni ciclo di test vengono salvati i dati di forza applicata, portata e spostamento provenienti dai vari sensori attivi. I grafici relativi a tutte le prove svolte saranno riportati in seguito. Essi permetteranno di comprendere non solo le capacità di carico e di consumo d'aria del pattino pneumostatico ma anche di rendere visibili eventuali errori, tra i quali il sollevamento non corretto del cuscinetto ad aria durante i test con uno spessore di meato maggiore in un lato rispetto all'altro, il quale non garantisce la rigidità costante per tutta la superficie del pattino voluta dall'applicazione (fenomeno del “tilting”).

Per meglio comprendere i grafici che saranno via via analizzati, essi saranno dotati di legende che indicheranno a quale sensore capacitivo o trasduttore di pressione le curve si riferiscono. A tal proposito per una comprensione più immediata si inserisce di seguito la tabella 4.2.1 in cui si riportano i nomi, la numerazione e la posizione (avendo il banco di fronte) dei sensori impiegati durante le prove sperimentali in anello aperto e in anello chiuso.

NOME SENSORE	CANALE	POSIZIONE
CAPACITIVO 0	CANALE a0	ALTO SINISTRA
CAPACITIVO 1	CANALE a1	ALTO DESTRA
CAPACITIVO 2	CANALE a2	BASSO SINISTRA
CAPACITIVO 3	CANALE a3	BASSO DESTRA
TRASD. PRESSIONE 1	CANALE a6	DESTRA
TRASD. PRESSIONE 2	CANALE a7	SINISTRA

Tabella 4.2.1: Nomenclatura e posizione dei sensori

Conoscere con precisione le posizioni di tutti i sensori montati sul pattino pneumostatico facilita la comprensione dei possibili movimenti che può avere durante le prove sia ad anello aperto che ad anello chiuso.

Ora saranno riportati e analizzati tutti i grafici relativi a tutte le prove in anello aperto effettuate. Inizialmente verranno mostrati i risultati della prova effettuata con il 100% di apertura della valvola proporzionale alimentata sia a 5 bar che a 7 bar relativi. Le curve ricavate, inserite nei grafici, verranno successivamente analizzate e commentate.

In seguito si mostreranno i grafici dei test restanti a differenti aperture dell'otturatore della valvola con analisi e commenti finali.

Le prove, come è stato già anticipato, hanno lo scopo di mettere alla luce la relazione del carico applicato e della portata consumata dalla valvola con lo spessore del meato d'aria ed infine mostrare come si comporta il pattino in diverse situazioni di lavoro.

Perciò ogni test, che è caratterizzato da pressione di alimentazione e apertura della valvola proporzionale diverse, avrà come risultati due grafici che riportano sottoforma di curve appunto le relazioni tra carico/portata e spessore del meato. Per una migliore comprensione ogni nuovo test verrà anticipato da un titolo esplicativo della prova.

- Prove effettuate a 5 bar e 7 bar con il 100% di apertura della valvola

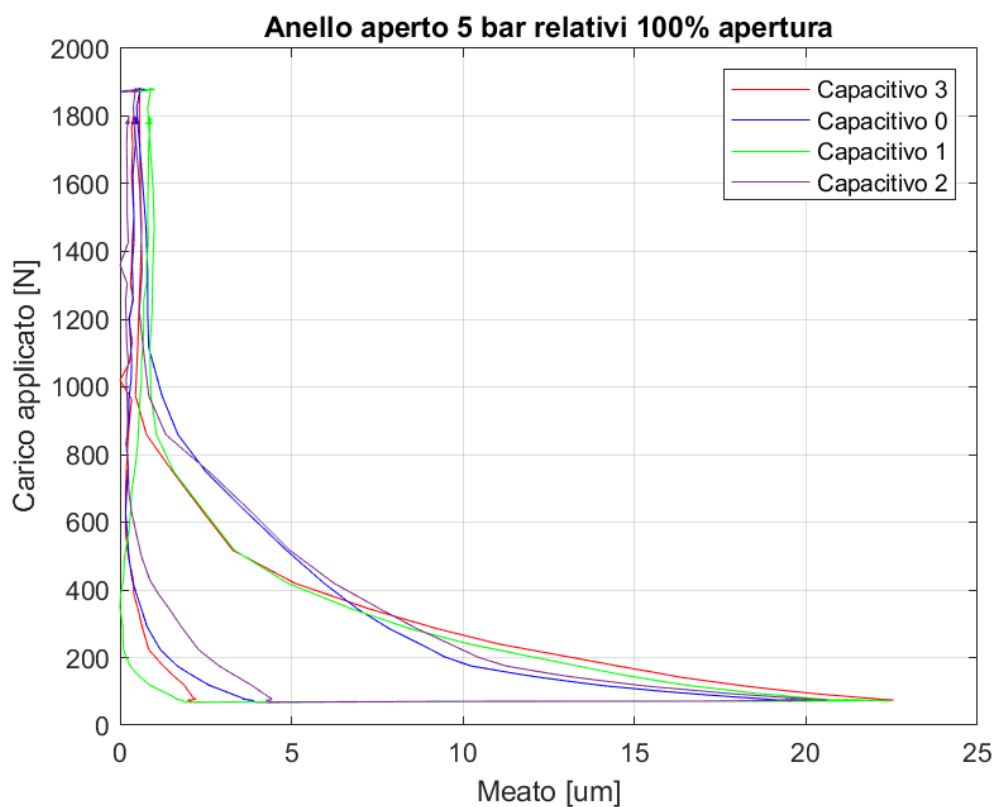


Figura 4.2.1: Grafico meato-carico applicato a 5 bar relativi con valvola completamente aperta

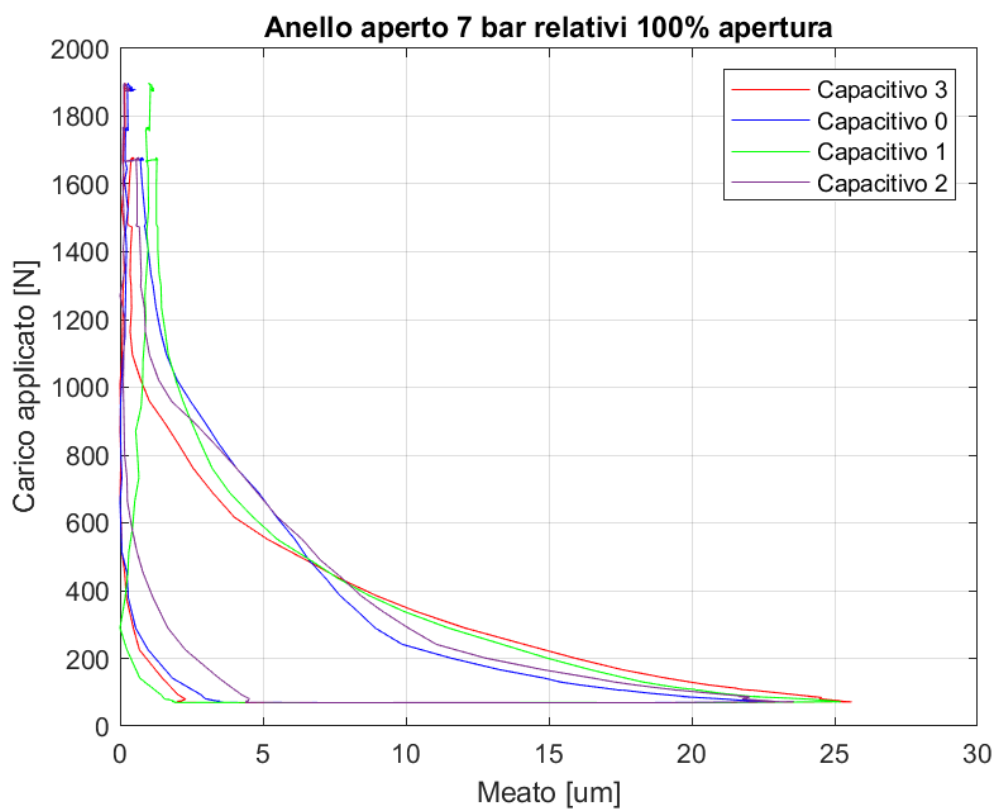


Figura 4.2.2: Grafico meato-carico applicato a 7 bar relativi con valvola completamente aperta

I grafici mostrati sono relativi alle due prove effettuate con la valvola proporzionale alimentata a 24 V e alla massima corrente di 85 mA; ciò garantisce l'apertura totale dell'otturatore. Si ripercorrono brevemente gli step successivi che caratterizzano i test sperimentali in anello aperto: si precarica il pattino; si alimenta la valvola; si diminuisce progressivamente la forza applicata; si interrompe l'alimentazione di aria compressa; infine, si riapplica il carico di partenza sul pattino pneumostatico. La forza iniziale impostata attraverso la ruota del banco di prova è pari all'incirca a 1800 N – 2000N. Un carico molto elevato è necessario affinché all'inizio della prova, nel momento di apertura dell'alimentazione di aria compressa, il pattino non si sollevi rendendo così la curva in funzione della forza non del tutto completa. Si aggiunge che il carico iniziale applicato è necessario affinché la concavità della superficie inferiore che caratterizza i pattini Mager sia annullata. Se così non fosse i sensori di posizione segnalerebbero all'inizio della prova uno spostamento verticale errato dato non dal meato d'aria ma dalla concavità stessa.

Un andamento completo che metta in relazione il meato d'aria con il carico direttamente applicato è sufficiente per evidenziare il comportamento del pattino sotto forze variabili per tutto il suo sollevamento.

Analizzando ora i grafici in figura 4.2.1 e 4.2.2, i quali si leggono in senso orario, si può subito affermare che le curve di entrambe le prove sono simili e ciò rende i successivi test ripetibili. Più nel dettaglio si afferma che durante la diminuzione del carico applicato al pattino, esso oscilla leggermente, ovvero si crea il fenomeno del “tilting”. All'inizio della prova la coppia di sensori Capacitivo 0 e Capacitivo 2, che si trova a sinistra rispetto al punto di applicazione della forza, a parità di quest'ultima, dà uno spostamento maggiore rispetto alla coppia di destra composta da Capacitivo 1 e Capacitivo 3. Ciò significa che il pattino inizialmente è più sollevato nel suo lato di sinistra. Questa tendenza si inverte intorno ai 7 μm di spessore del meato e rimarrà tale fino al termine del movimento verso l'alto: le curve si incrociano e risulta così che il lato di destra sia più sollevato. Proprio al termine del sollevamento con carico basso, il pattino risulta leggermente più sollevato verso destra. Il fenomeno di “tilting” può essere causato dall'applicazione del carico non perfettamente centrata sul pattino o da una non ottimale finitura della superficie inferiore del cuscinetto che genera diverse distribuzioni di pressione.

In ogni caso si afferma che il pattino pneumostatico, con un'alimentazione impostata a 5 bar, ha una capacità di carico di circa 850 N, in quanto il sollevamento inizia proprio in questo intorno di forza applicata; mentre per le prove effettuate a 7 bar di pressione la capacità di sopportare carichi sale a circa 1000 N.

I tratti di curva che corrispondono alla chiusura dell'alimentazione e all'applicazione del carico, anche se meno rilevanti, possono mettere in evidenza diverse caratteristiche del pattino. Una tra queste è quanto velocemente il meato d'aria rimanente nel momento di chiusura dell'alimentazione “fugge” da sotto il pattino, dato che quasi istantaneamente il cuscinetto torna a contatto con il piatto di acciaio del banco. Si riscontra anche l'entità dell'incurvatura concava caratteristica del cuscinetto Mager: in assenza di carico applicato i sensori capacitivi registrano un sollevamento anomalo di qualche micron.

Il fenomeno del tilting che è stato registrato per questa prova in particolare non è molto marcato in quanto lo spostamento relativo dei due lati del pattino si attesta intorno ai 2 μm , tuttavia è bene cercare di limitarlo il più possibile.

Si vuole ancora aggiungere che il tratto di curva più importante da analizzare è quello compreso tra i 5 μm e i 15 μm per questo lavoro di tesi. Infatti in questo intervallo dello spessore del meato d'aria si concentra il funzionamento in autonomia del pattino. A parità di carico applicato per il mantenimento di valori troppo bassi di spostamento verticale, impostati dall'operatore, si dovrebbe

avere un controllo elettronico molto sofisticato e reattivo e si potrebbero avere errori di lettura da parte dei sensori; mentre, al contrario per valori troppo elevati di spessore del meato si dovrebbe utilizzare un pattino di dimensioni e con portata massima passante maggiori.

Si mostreranno in seguito nelle figure 4.2.3 e 4.2.4 le curve che mettono in relazione la portata di aria consumata dal pattino con lo spessore del meato. A differenza di quelle in funzione del carico applicato, le prove, ora effettuate, prevedono semplicemente di iniziare l'acquisizione dei dati con l'alimentazione già aperta e di diminuire progressivamente il carico, in partenza più elevato (si attesta intorno ai 2300 N per ridurre al minimo la fuoriuscita di aria). Una prova, definibile parziale in questo caso, senza tratti di apertura e chiusura dell'alimentazione, è necessaria in quanto proprio l'azione effettuata sulla valvola principale dell'aria compressa può generare picchi di portata non veritieri dovuti dall'assestamento del flussimetro digitale. Tali dati errati sono quindi salvati durante la fase di acquisizione.

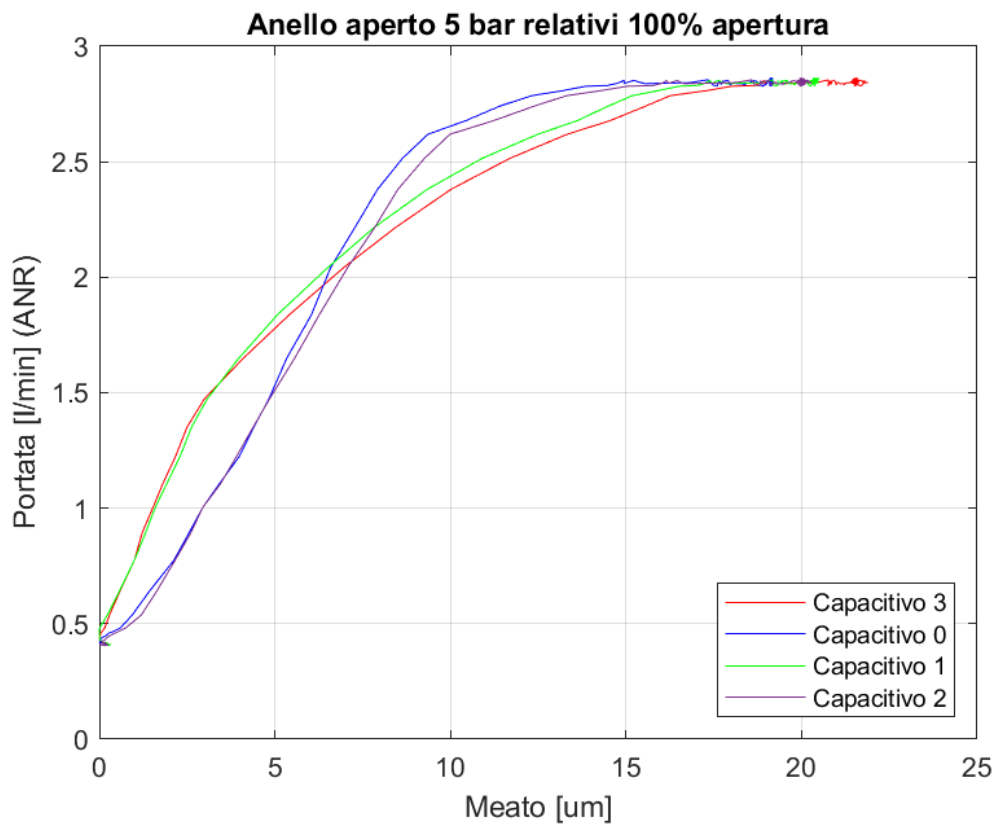


Figura 4.2.3: Grafico meato-portata a 5 bar relativi con valvola completamente aperta

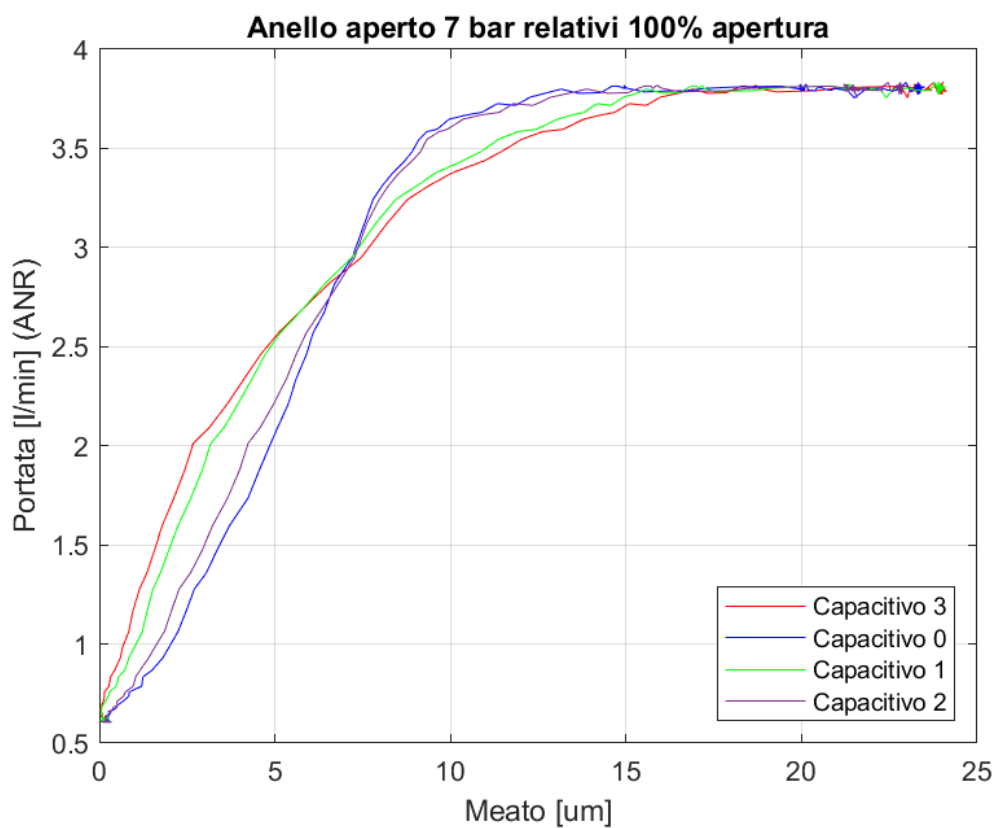


Figura 4.2.4: Grafico meato-portata a 7 bar relativi con valvola completamente aperta

Le prove sperimentali effettuate in modo parziale permettono di analizzare il comportamento del pattino in funzione dell'aria consumata solo quando viene rimosso progressivamente l'elevato carico applicato in partenza.

In accordo con i test effettuati in funzione del carico applicato, si nota anche in questo caso che il pattino pneumostatico è affetto dal fenomeno del tilting. Come è avvenuto in precedenza esso oscilla verso sinistra nel primo tratto di prova fino a circa 7 μm di sollevamento per poi cambiare la tendenza verso destra fino al termine della salita con un carico applicato quasi nullo.

Si può osservare con facilità all'aumentare della pressione di alimentazione dell'intero circuito, che viene consumata una quantità d'aria maggiore, quasi un litro al minuto, a parità di spostamento verticale massimo del pattino al termine della prova di salita.

Al termine di questa prima prova sperimentale effettuata con la valvola completamente aperta, è giusto affermare che le lievi, seppur presenti, oscillazioni del pattino possono essere individuate e valutate allo stesso modo sia dagli andamenti in funzione del carico applicato che da quelli in funzione della portata attraverso l'orifizio della valvola.

I test successivi con aperture parziali della valvola sono importanti per verificare se la tendenza al tilting resta costante o di quanto può variare. Allo stesso modo saranno utilizzati per analizzare sia lo spostamento verticale del pattino al diminuire della forza applicata sia il flusso d'aria attraverso la valvola proporzionale, che vedrà progressivamente ridotta l'area di passaggio. La corrente di alimentazione alla bobina verrà ridotta del 25% e successivamente del 50%, portando l'otturatore verso la posizione normale di chiusura.

Prima di mostrare i risultati delle prove sperimentali con apertura variabile della valvola, occorre trattare dell'utilizzo dei sensori di posizione a contropressione e dei trasduttori di pressione installati sul pattino. Durante il funzionamento in autonomia del pattino nelle prove in anello chiuso, solamente i sensori a contropressione con i relativi trasduttori hanno il compito di calcolare e inviare il valore reale del meato d'aria alla scheda elettronica di controllo. Al contrario i sensori di posizione capacitivi vengono utilizzati solo nelle prove in anello aperto perché più immediati a fornire il valore di spostamento verticale ma sono poco interfacciabili con la scheda elettronica. Siccome solo i sensori a contropressione possono essere utilizzati nelle prove sperimentali in anello chiuso grazie alla misura diretta del meato d'aria, occorre verificare il loro corretto funzionamento.

Nel paragrafo relativo alla taratura dei sensori a contropressione e dei trasduttori di pressione è stata trovata la curva che mette in relazione lo spostamento verticale del pattino durante le prove con la tensione acquisita proveniente dai trasduttori di pressione. La funzione interpolatrice trovata che approssima la curva sperimentale è rappresentata da un polinomio di terzo grado. In questo paragrafo si vuole verificare se tale approssimazione dell'andamento a una funzione di terzo grado sia un giusto compromesso perché i valori di spostamento verticale del pattino ricavati dal segnale di tensione dei trasduttori possano essere confrontabili e simili a quelli acquisiti dai sensori capacitivi. In altre parole si eseguono due prove in anello aperto a 5 bar e 7 bar relativi in cui i sensori a contropressione registrano la variazione del meato d'aria. Di seguito si mostreranno due grafici che riportano gli andamenti delle prove effettuate a 5 bar e a 7 bar relativi con la valvola completamente aperta. Le curve rappresentate mostrano i valori del carico applicato in funzione dello spessore del meato calcolato sia dai sensori capacitivi sia da quelli a contropressione. I valori di spostamento verticale relativi ai sensori a contropressione sono stati ricavati dai valori di tensione dei trasduttori con l'utilizzo della funzione di terzo grado.

Il confronto tra le due tipologie di curve permette di valutare se lo spessore del meato calcolato dai sensori a contropressione è simile a quello dei capacitivi al variare del carico applicato.

Le funzioni di terzo grado sono differenti per il sensore di sinistra e per quello di destra.

Si riporta la tabella 4.2.2 contenente i coefficienti dei polinomi di terzo grado utilizzati per ricavare lo spostamento verticale in micrometri dalla tensione dei trasduttori.

Tipo di funzione	p1	p2	p3	p4
Trasd. destra $y = p1x^3 + p2x^2 + p3x + p4$	-8493	18960	-14140	3520
Trasd. sinistra $y = p1x^3 + p2x^2 + p3x + p4$	-2059	5171	-4343	1225

Tabella 4.2.2: Funzioni di terzo grado e coefficienti

Nelle figure 4.2.5 e 4.2.6 si mostrano i grafici relativi alla prova e al confronto effettuati.

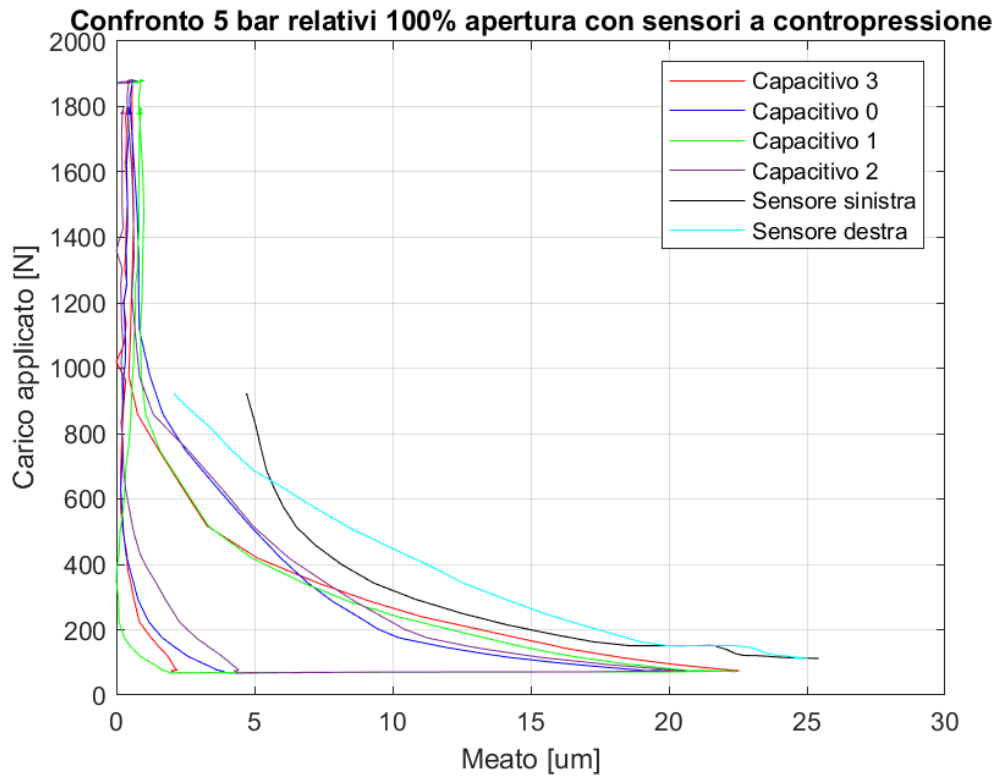


Figura 4.2.5: Confronto andamenti prove in anello aperto a 5 bar relativi con sensori capacitivi e a contropressione

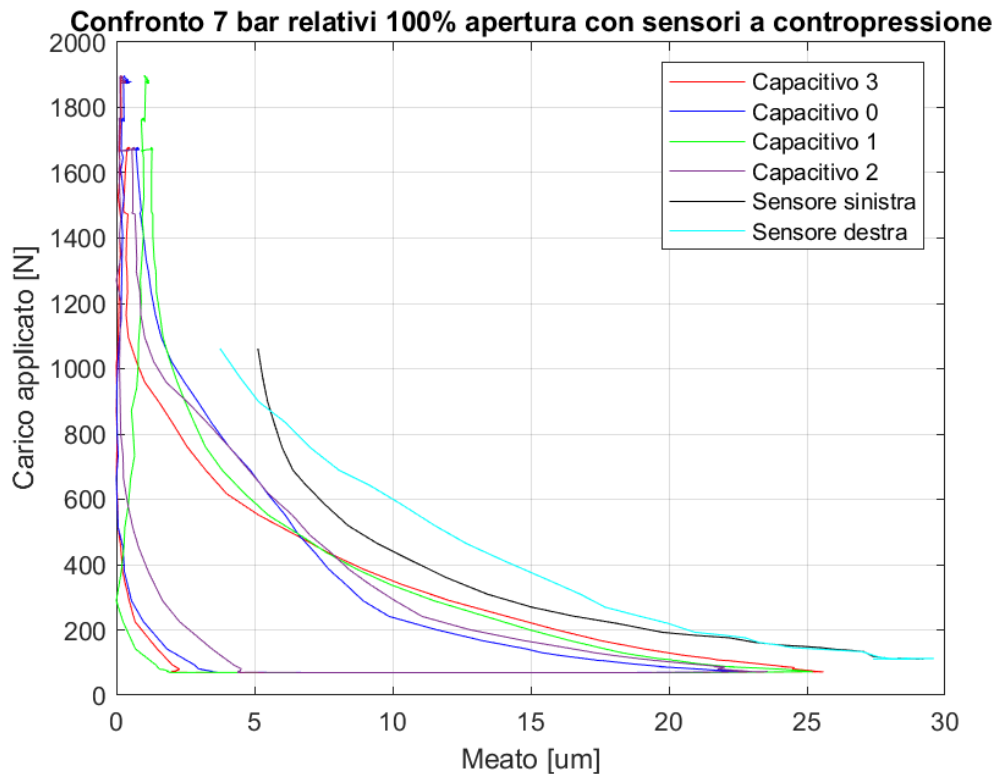


Figura 4.2.6: Confronto andamenti prove in anello aperto a 7 bar relativi con sensori capacitivi e a contropressione

L'approssimazione con una funzione di terzo grado genera ottimi andamenti che possono essere confrontabili con quelli sperimentali ricavati dai sensori capacitivi. Si nota che le curve dei sensori a contropressione di destra e di sinistra di entrambe le prove sono simili tra di loro a meno di piccoli scostamenti. Come è stato anticipato nei grafici si confrontano le curve con gli andamenti precedentemente analizzati ricavati dai quattro sensori capacitivi. A causa, ovviamente, dell'approssimazione derivante dalla funzione di terzo grado utilizzata, gli andamenti di carico relativi ai sensori a contropressione appena presentati seguono le curve dei capacitivi con un leggero scostamento verso valori più elevati di forza. Ciò può essere legato alla posizione dei sensori stessi rispetto alla superficie inferiore del pattino.

Si tratta di un ottimo confronto, in quanto, oltre a essere andamenti simili, il fenomeno di tilting è visibile anche nelle nuove curve. Infatti gli andamenti dei sensori a contropressione destro e sinistro si incrociano all'incirca nello stesso punto come era già visibile per le coppie destra e sinistra dei sensori capacitivi.

La somiglianza degli andamenti indica che anche con un'approssimazione più bassa di un polinomio di terzo grado si potrebbero ottenere buoni risultati.

A questo punto i due differenti polinomi di terzo grado valutati possono essere implementati nel codice di controllo utilizzato per le prove in anello chiuso. In questo modo il segnale di tensione proveniente dai trasduttori di pressione viene convertito nei micrometri dello spessore del meato d'aria sotto al pattino.

Se si dovessero riscontrare errori troppo marcati durante il funzionamento in autonomia del pattino, sarebbe necessario utilizzare una funzione di approssimazione per i sensori a contropressione di grado differente o con coefficienti moltiplicativi diversi.

- Prove effettuate a 5 bar e 7 bar relativi con il 75% di apertura della valvola

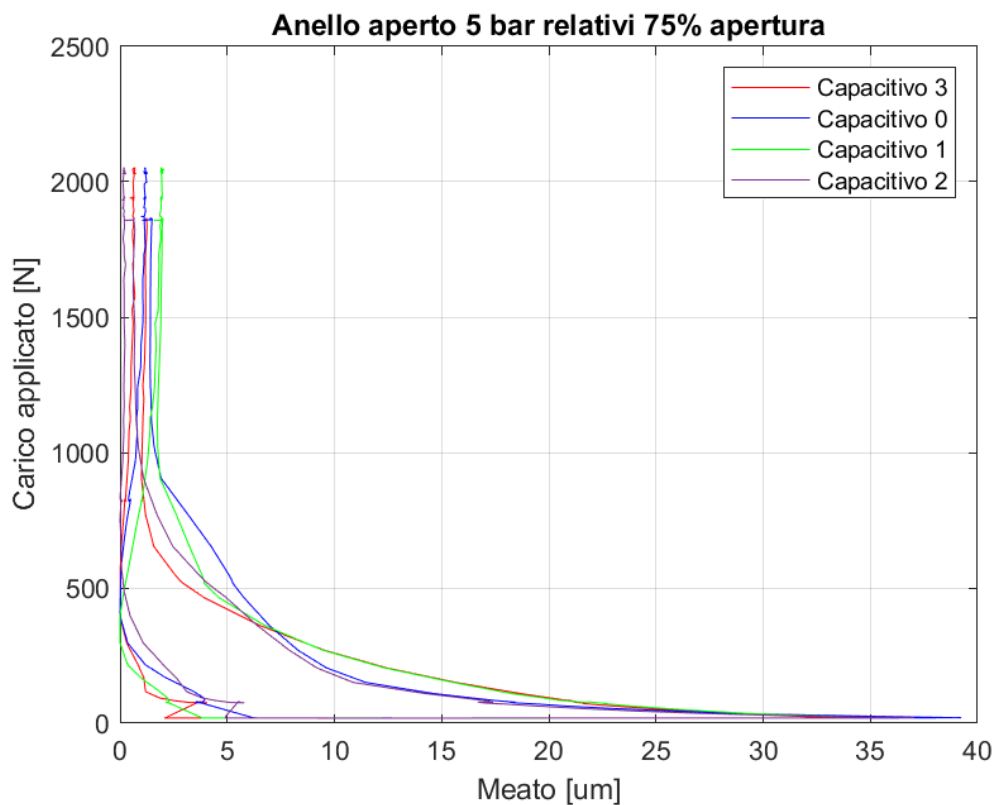


Figura 4.2.7: Grafico meato-carico applicato a 5 bar relativi con valvola aperta al 75%

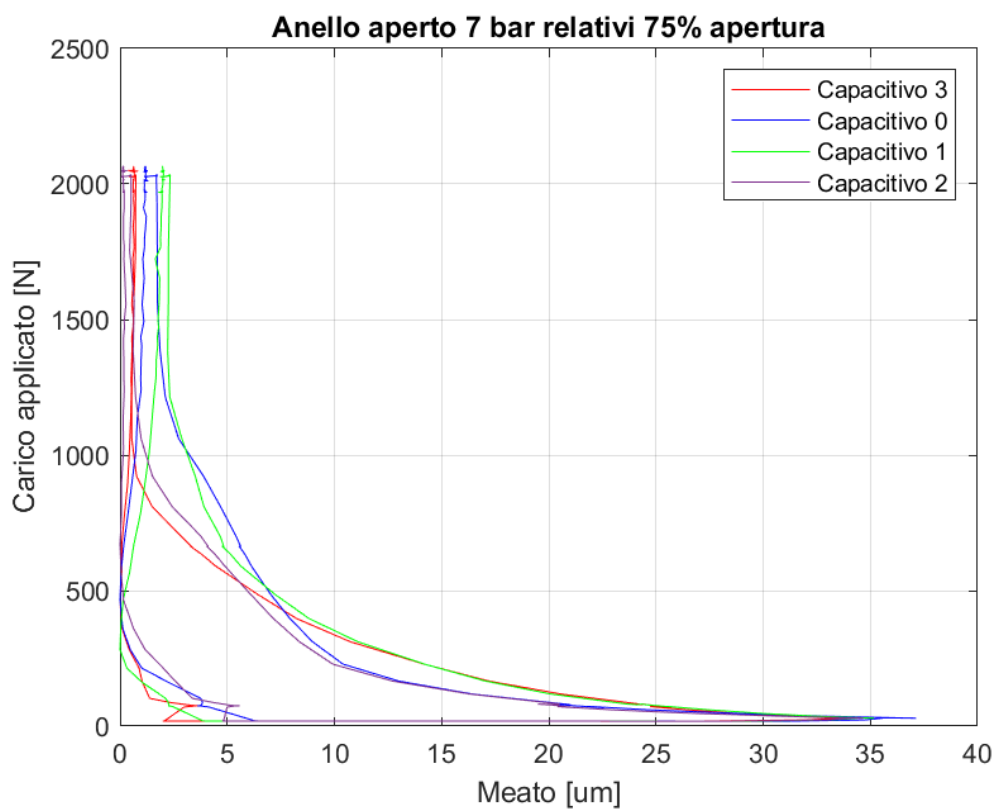


Figura 4.2.8: Grafico meato-carico applicato a 7 bar relativi con valvola aperta la 75%

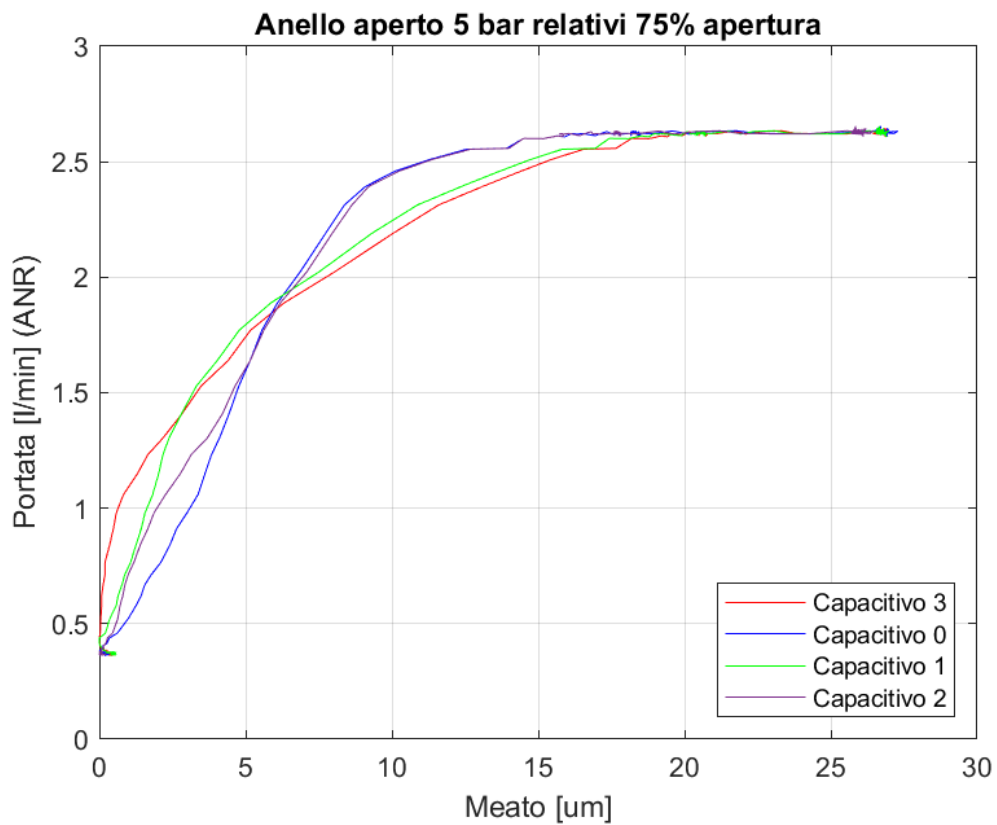


Figura 4.2.9: Grafico meato-portata a 5 bar relativi con valvola aperta al 75%

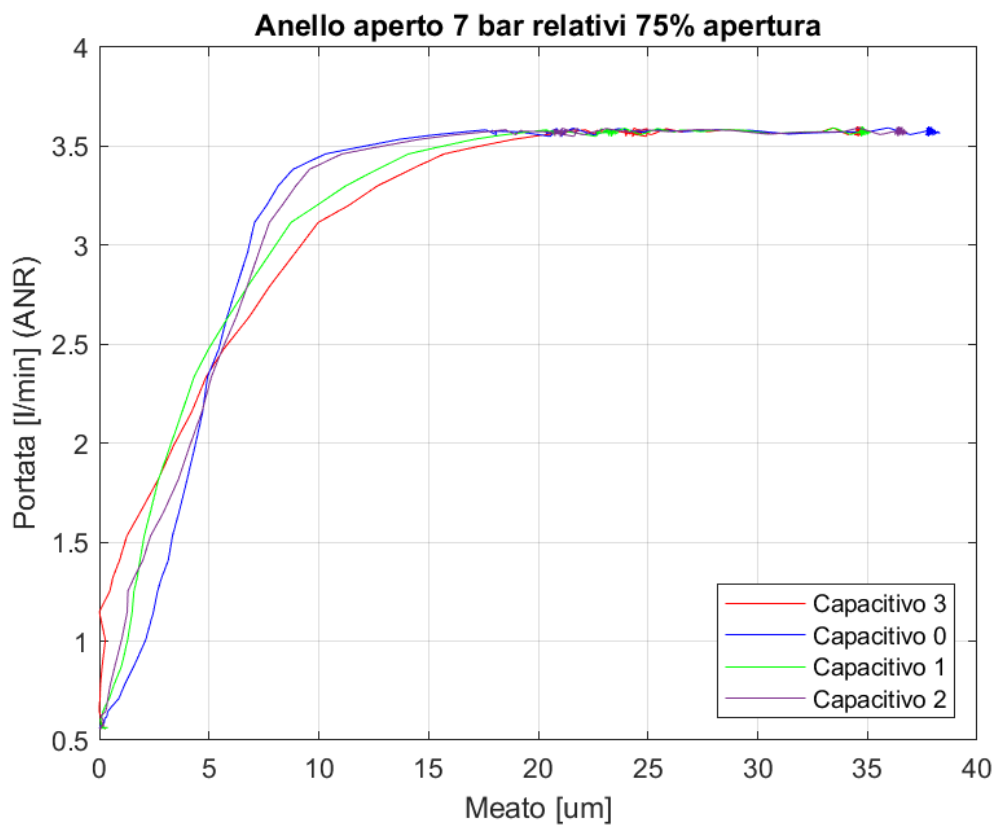


Figura 4.2.10: Grafico meato-portata a 7 bar relativi con valvola aperta al 75%

- Prove effettuate a 5 bar e 7 bar relativi con il 50% di apertura della valvola

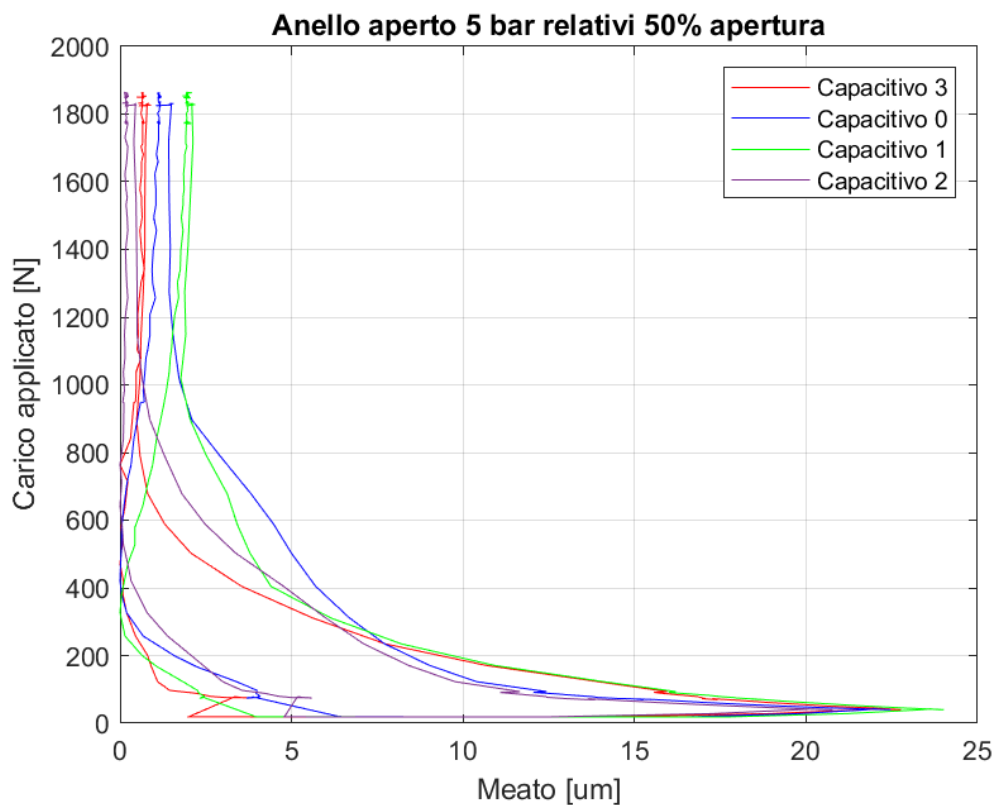


Figura 4.2.11: Grafico meato-carico applicato a 5 bar relativi con valvola aperta al 50%

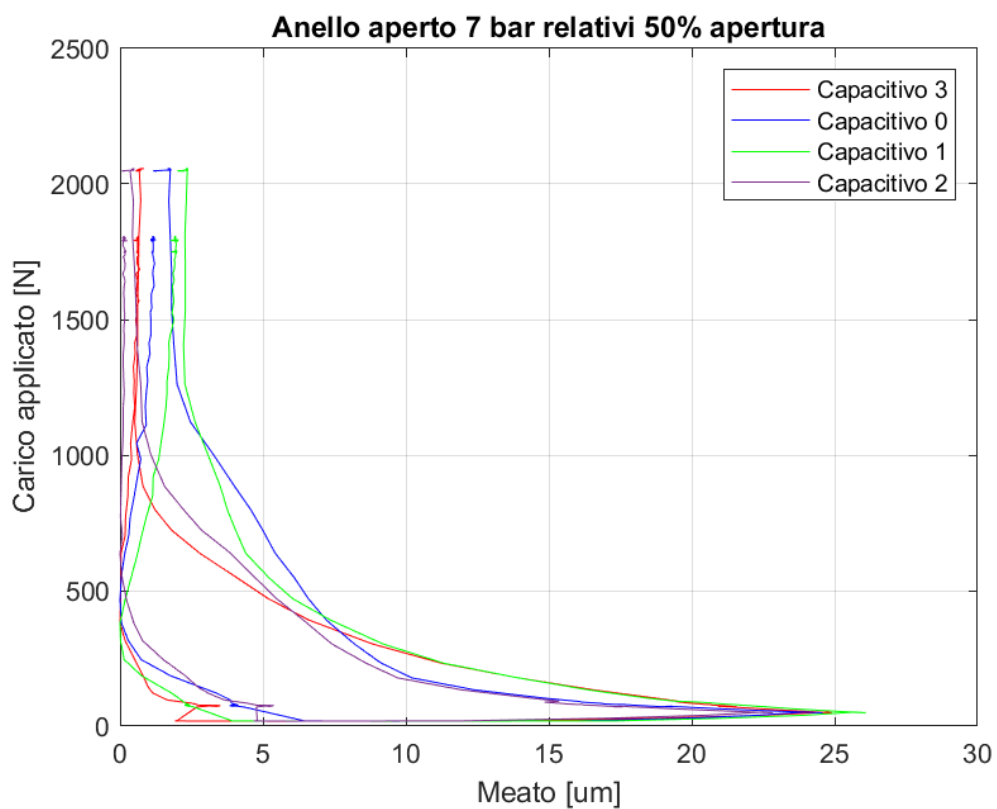


Figura 4.2.12: Grafico meato-carico applicato a 7 bar relativi con valvola aperta al 50%

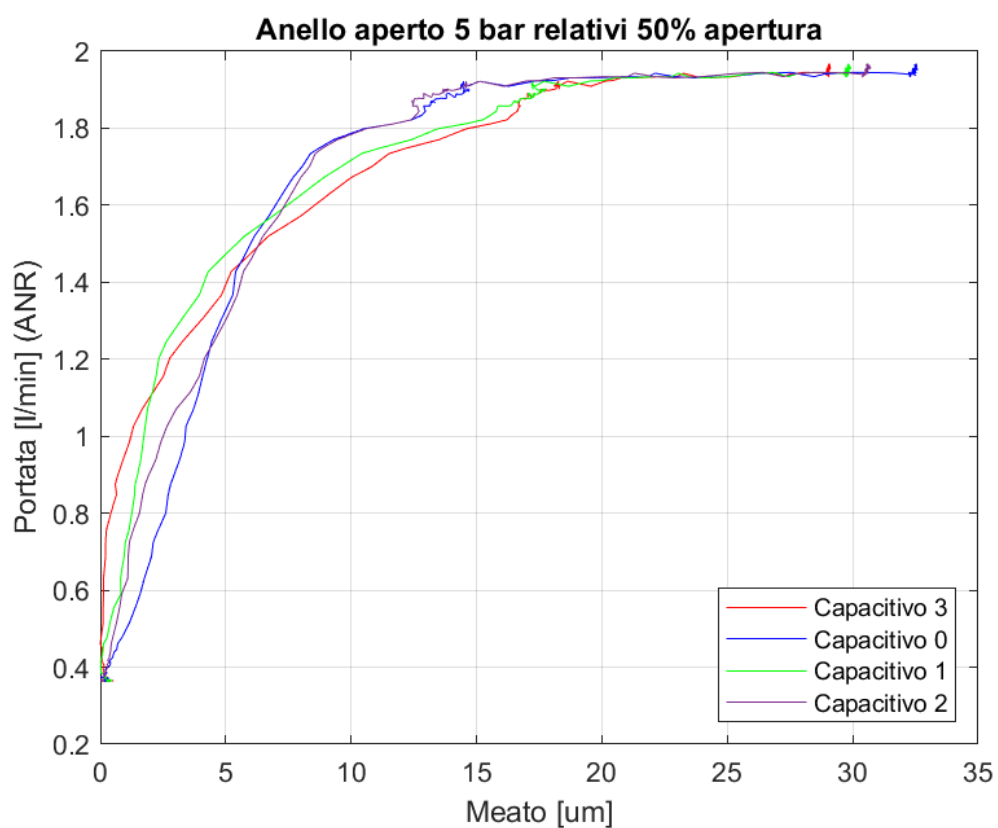


Figura 4.2.13: Grafico meato-portata a 5 bar relativi con valvola aperta al 50%

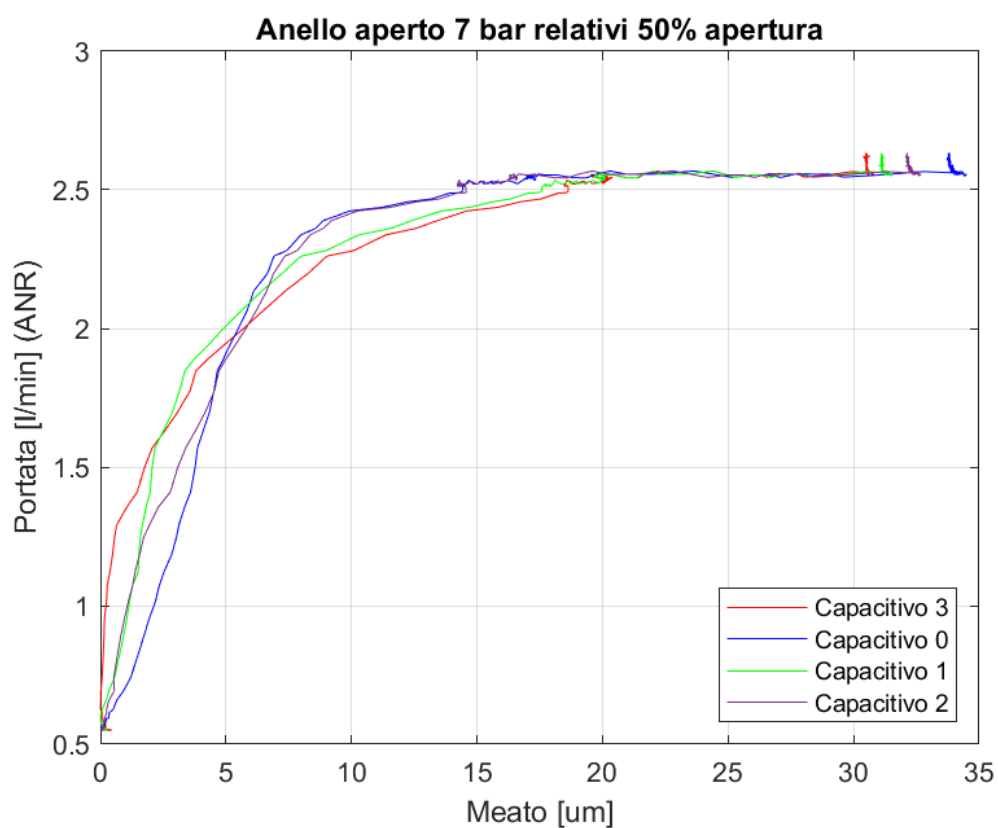


Figura 4.2.14: Grafico meato-portata a 7 bar relativi con valvola aperta al 50%

Nelle pagine precedenti sono stati mostrati i grafici relativi alle prove ad anello aperto effettuate con la valvola pneumatica alimentata ad una corrente differente rispetto a quella necessaria di 85 mA per un'apertura completa dell'otturatore. Anche in questo caso sono stati ricavati gli andamenti del meato in funzione del carico applicato e della portata consumata attraverso la valvola pneumatica.

Si può iniziare l'analisi dei grafici meato-carico applicato, ottenuti con l'algoritmo citato a inizio capitolo: apertura dell'alimentazione d'aria con forza applicata, diminuzione progressiva del carico, chiusura dell'alimentazione d'aria, applicazione della forza fino al valore iniziale circa. Si osserva che, con valvola aperta al 75% e poi al 50% in pattino pneumostatico si comporta in modo del tutto simile rispetto alle prove effettuate con otturatore completamente aperto a 5 bar e 7 bar relativi:

- Si ha la presenza del fenomeno del “tilting”, tuttavia meno accentuato per spessori di meato piccoli. La coppia di sensori di sinistra, Capacitivo 0 e Capacitivo 2, a inizio di entrambe le prove, rileva uno spostamento verticale maggiore rispetto alla coppia di destra composta da Capacitivo 1 e Capacitivo 3. Successivamente, sempre intorno a un valore di spostamento del pattino pari a 7 μm , si ha che la pendenza del pattino si inverte con uno spostamento verticale maggiore sul lato di destra fino al termine della prova in cui risulta un meato uniforme per tutta la superficie.
- Il valore del carico minimo per cui il pattino inizia a sollevarsi diminuisce all'aumentare della chiusura della valvola, sintomo che la pressione raggiunta sotto il pattino è minore rispetto ai casi con apertura maggiore della valvola. Dai 1000 N circa con valvola tutta aperta, si passa a 850 N e a 700 N circa per la prova effettuata con alimentazione di 7 bar e 5 bar e 50% di apertura. La capacità di carico va a diminuire progressivamente.
- Si nota che, sebbene ci siano differenze tra i differenti test, nell'istante di chiusura dell'alimentazione di aria compressa e di applicazione del carico, come nel caso di apertura massima della valvola si riscontra l'entità della caratteristica concavità della curvatura della base del pattino rilevata come spostamento verticale dai sensori capacitivi.

Si può affermare perciò che il comportamento del pattino è poco sensibile alle differenti condizioni di lavoro e ciò risulta fondamentale nel momento in cui il sistema dovrà lavorare autonomamente, variando continuamente carico applicato e apertura dell'otturatore della valvola pneumatica.

Gli andamenti ricavati nei grafici meato-portata consumata sono pressoché uguali a quelli ottenuti in condizione di massima apertura, con la sola differenza della conseguente diminuzione di portata attraverso la valvola a parità di sollevamento del pattino. Ciò dipende direttamente ed esclusivamente dall'apertura della valvola.

Infatti si può verificare che la portata massima registrata per ogni prova svolta in anello aperto corrisponde all'incirca a quella ottenuta dai test condotti sulla valvola montata sul pattino al 50%, 75% e 100% di apertura al variare della corrente di eccitazione.

Il fenomeno del “tilting” è visibile: a parità di portata la coppia di sensori capacitivi di sinistra risulta più sollevata a inizio prova, mentre dopo i 7 μm risulta essere quella di destra.

In queste ultime prove in anello aperto per garantire la corsa dalla posizione di chiusura dell'otturatore ridotta del 25% e del 50% si è alimentata la bobina della valvola rispettivamente con 72.5 mA e 62 mA per le prove con alimentazione impostata a 5 bar relativi, mentre per quelle a 7 bar relativi con 72 mA e 58 mA.

Tali valori di corrente corrispondono ad un segnale in tensione, proveniente dal pin DAC della scheda elettronica, di 2 V e 1.7 V per le prove con alimentazione a 5 bar relativi e di 2 V e 1.6 V per i test a 7 bar relativi. I valori di tensione ricavati dipendono da come è stato assemblato il circuito ausiliario e dalla sua caratteristica statica.

I valori del segnale di tensione sono stati salvati sulla scheda elettronica tramite un semplice programma Simulink in anello aperto. Collegando la scheda al computer tramite un cavo USB e compilando il codice su di essa, si garantisce che il segnale in tensione sia continuamente inviato al circuito sorgente di corrente e che non cambi finché non si modifica o si ricostruisce il programma salvato sulla Whatsnext Orange.

Si mostrano ora nella figura 4.2.15 i due schemi a blocchi utilizzati per comandare l'apertura parziale della valvola pneumatica.

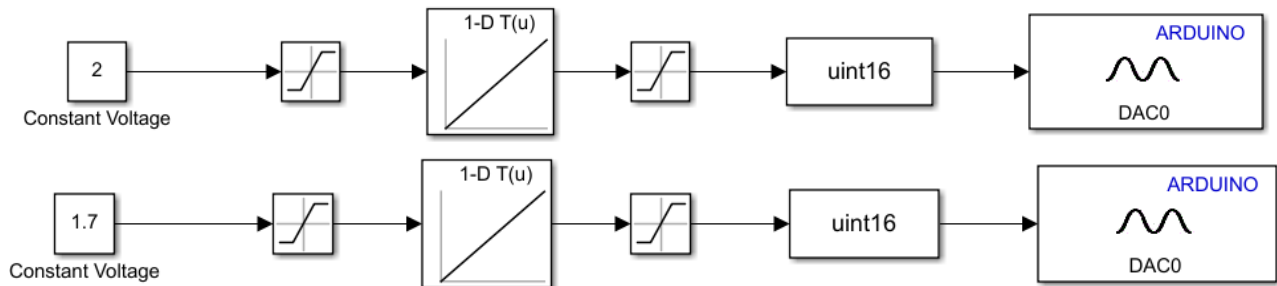


Figura 4.2.15: Schema a blocchi Simulink per test ad anello aperto

Nei due schemi, si imposta il segnale in tensione, che viene inviato in un blocco di saturazione per limitarne il valore qualora superi la soglia di 2.75 V che corrisponde all'uscita massima verificata del pin di uscita analogica DAC della scheda elettronica. Successivamente tramite una look-up table, il valore di tensione viene convertito in uno dei 4096 livelli della risoluzione a 12 bit e inviato ad una saturazione di sicurezza per limitare il livello massimo di 4095. Il blocco uint16 converte il tipo di dato in uno che può essere letto dalla scheda elettronica. Con il blocco di analog output DAC0 si specifica il tipo di uscita e da quale pin si preleva il segnale in tensione voluto. Infine si collega la scheda ai cavi di segnale, il valore di tensione impostato è inviato al circuito ausiliario e così convertito nel corrispettivo valore in corrente.

4.3 Prove sperimentali in anello chiuso

Le prove sperimentali in anello chiuso mostrate in questo paragrafo possono essere svolte utilizzando il medesimo banco di lavoro dei test statici. Tali prove sperimentali sono di tipo puramente dinamico in quanto si vuole osservare il comportamento del pattino pneumostatico attivo durante il funzionamento autonomo al variare del carico applicato.

Lo scopo generale delle prove in anello chiuso è quello di riuscire a mantenere il sollevamento del pattino, ovvero il meato d'aria, costante e uguale a quello indicato dall'operatore nel codice di controllo.

L'allestimento del banco di lavoro in questo caso è identico alle prove precedenti con l'unica differenza che il funzionamento dei sensori a contropressione e dei relativi trasduttori diventa attivo e importante per il controllo della posizione del pattino ad aria. Infatti il compito di tali sensori è quello di calcolare direttamente e inviare, sottoforma di segnale di tensione, lo spessore del meato d'aria sotto al pattino attivo. Il segnale di tensione ricevuto dalla scheda elettronica funziona da retroazione per il sistema di controllo dell'anello chiuso. I cavi elettrici che collegano i trasduttori di pressione al generatore di tensione costante di 5 V sono inseriti non solo nella scheda di acquisizione National Instruments ma anche nella scheda elettronica di controllo Orange grazie all'utilizzo di una giunzione a T. In questo modo le variazioni del medesimo segnale di tensione sono elaborate dal controllore e visualizzate a schermo, con la possibilità di essere salvate.

La chiusura del precedente anello aperto avviene proprio con il collegamento dei cavi di segnale dei trasduttori di pressione alla scheda elettronica.

4.3.1 Acquisizione dei segnali con la scheda elettronica Orange

La scheda elettronica Orange (equivalente di Arduino Due) utilizzata in questo lavoro di tesi ha il compito di chiudere l'anello di controllo elaborando i dati di retroazione ricevuti dai trasduttori di pressione. La scheda elettronica leggendo il feedback relativo allo spessore del meato d'aria è in grado di applicare le condizioni del controllore di tipo PID per fare tendere allo zero l'errore di posizionamento del pattino.

Nello schema di figura 4.3.1 si mostrano i collegamenti effettuati tra i trasduttori di pressione, la scheda elettronica e il circuito ausiliario della valvola proporzionale.

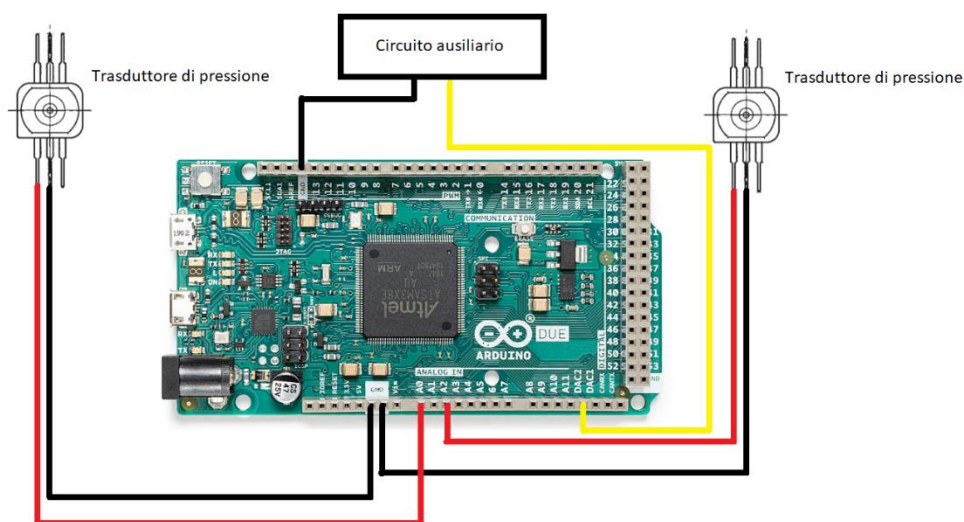


Figura 4.3.1: Schema di collegamento dei cavi di segnale

Nel semplice schema di collegamento si osserva che le terre dei due trasduttori e del circuito ausiliario sono inserite nei pin GND comuni della scheda. I cavi dei segnali di tensione provenienti dai trasduttori di pressione sono inseriti nei pin di input analogico A0 e A2, mentre il cavo relativo al segnale analogico di comando di apertura della valvola diretto al circuito ausiliario è collegato a uno dei due pin DAC (convertitori digital to analog) presenti nelle schede Orange e Arduino Due.

I pin di ingresso analogico di questo modello di scheda elettronica utilizzato presentano una tensione massima di lavoro pari a 3.3 V, cosa che la renderebbe incompatibile con la tensione massima in uscita dai trasduttori di pressione di 4.5 V. Tuttavia si è osservato già dalle prove statiche in anello aperto che il segnale in tensione proveniente dai trasduttori non supera pressoché mai l'1 V; ciò permette di poter utilizzare la scheda Orange.

Per il posizionamento corretto dei trasduttori di pressione si rimanda all'Allegato 1.

Una volta allestiti tutti i collegamenti necessari la scheda elettronica è pronta a essere collegata tramite cavo USB a un computer per essere alimentata a una tensione costante di 5 V circa e perché si possa caricare il codice di controllo di tipo PID.

4.3.2 Controllore PID

L'elaborazione dell'errore che si genera dal confronto tra lo spessore del meato d'aria imposto al pattino dall'operatore e il suo valore reale calcolato dai sensori a contropressione è affidata a un controllore di tipo PID (proporzionale-integrativo-derivativo).

Il controllore PID è uno dei più affidabili, insieme al nuovo controllo fuzzy, a essere utilizzato in campo industriale per l'automazione di piccoli e grandi sistemi o impianti in controllo continuo.

L'errore che si ottiene viene dunque compensato e convertito dal controllore in un nuovo segnale di comando da inviare al processo autonomo utilizzando tre diverse azioni matematiche.

Il segnale di comando che si ottiene controlla il processo affinché il valore di retroazione converga verso quello voluto dall'operatore come SET.

Le azioni matematiche applicate dal controllore PID sul valore numerico dell'errore sono di tipo proporzionale, integrativo e derivativo.

In figura 4.3.2 si mostra uno schema esplicativo delle azioni svolte dal controllore PID.

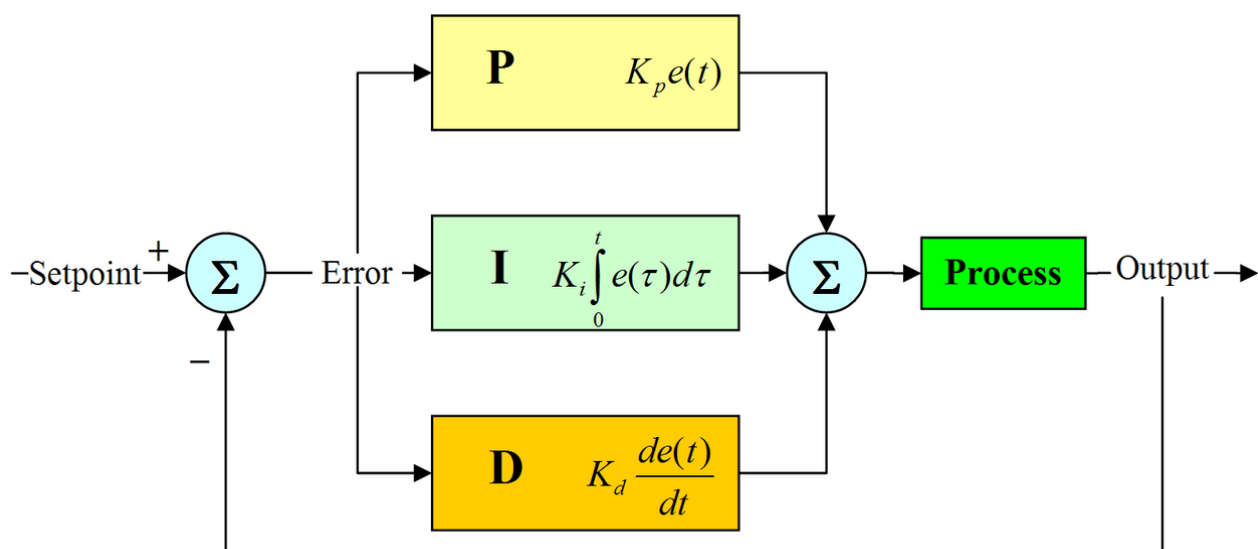


Figura 4.3.2: Schema del controllore PID

Come si può osservare dallo schema vengono calcolate separatamente le tre azioni e i valori ricavati da ognuna vengono successivamente sommati insieme. La variabile che si ottiene dalla somma algebrica viene nominato errore compensato dal controllore PID e rappresenta il segnale di comando da inviare al processo.

Il segnale di controllo osservando lo schema del regolatore PID è ricavato dalla seguente somma algebrica:

$$u_t = u_{p,t} + u_{i,t} + u_{d,t}$$

Si distinguono chiaramente tutte e tre le azioni del controllore PID.

L'azione proporzionale P si ricava dalla moltiplicazione dell'errore con il guadagno proporzionale k_p . Tale azione offre la possibilità di gestire la velocità di recupero dell'errore da parte del processo che però può divenire meno stabile.

$$u_p(t) = k_p e(t)$$

L'azione di tipo integrativo I si ottiene dalla moltiplicazione del guadagno integrale k_i con l'integrale dell'errore nel tempo. L'integrazione permette di far convergere l'errore a zero durante il processo aumentando però l'instabilità.

$$u_i(t) = k_i \int_0^t e(t) dt$$

Infine l'azione di tipo derivativo D si ottiene dal prodotto del guadagno derivativo con la derivata dell'errore nel tempo. Tale azione permette di prevedere l'andamento dell'errore in modo tale da regolare l'uscita del segnale di controllo per garantire una grande stabilità durante il processo eliminando eventuali sovraelongazioni.

$$u_d(t) = k_d \frac{de(t)}{dt}$$

Le tre azioni proporzionale, integrativa e derivativa danno diversi contributi positivi e negativi oltre a quelli già elencati. In seguito si elencano i contributi delle azioni estrapolati dal libro "Automazione dei sistemi meccanici" di V. Viktorov e F. Colombo.

Azione proporzionale P:

- Aumento della banda passante
- Aumento di k_p crea una riduzione del tempo di salita
- Aumento di k_p fa diminuire l'errore statico
- Diminuzione dell'effetto di variazioni parametriche del sistema
- Riduzione del margine di stabilità

Azione integrativa I:

- Azzeramento repentino dell'errore a regime all'aumentare del guadagno k_i
- Riduzione della banda passante
- L'aumento di k_i riduce il margine di stabilità

Azione derivativa D:

- Diminuzione della sovraelongazione e della durata del transitorio iniziale
- Aumento dei margini di stabilità
- Aumento della banda passante
- Amplificazione dei rumori alle alte frequenze

I valori assunti dai tre diversi guadagni influenzano in maniera molto marcata il comportamento del controllore PID e di conseguenza di tutto il processo automatizzato.

La taratura di tali guadagni può essere manuale, il che prevede che la scelta venga fatta per tentativi fino ad ottenere un controllo in continuo soddisfacente del processo.

Siccome tale procedimento può essere molto lungo e lento sono stati studiati e definiti metodi empirici di taratura dei parametri per la veloce messa a punto del controllore PID.

Il metodo di taratura dei parametri utilizzato in questo lavoro di tesi viene descritto qui di seguito.

4.3.3 Taratura dei parametri del controllore PID

Durante le prove di implementazione del codice di anello chiuso nella scheda elettronica Orange si è notato che la taratura per tentativi dei parametri del controllore PID risultava molto lenta e lunga senza dare risultati convincenti nel controllo del processo.

Il metodo empirico per la taratura dei parametri del regolatore PID per il controllo in anello aperto e chiuso è quello messo a punto da Ziegler e Nichols che è uno dei più utilizzati. Tale metodo si basa sull'ipotesi che una qualsiasi risposta dinamica di un processo possa essere approssimata con una funzione di trasferimento del primo ordine con un termine di ritardo.

La funzione di trasferimento di primo grado è caratterizzata da un guadagno statico K , una costante di tempo T e il tempo di ritardo τ :

$$W(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{Ts + 1}$$

Siccome in questo lavoro di tesi il regolatore PID viene utilizzato per controllare un processo in anello chiuso è consigliabile usufruire il metodo Ziegler-Nichols per questo tipo particolare di controllo.

Il metodo di Ziegler-Nichols in anello chiuso basa la ricerca dei valori dei guadagni proporzionale, integrale e derivativo del controllore PID in esame su pochissimi passi:

- Si azzerano tutti i valori dei guadagni del controllore PID
- Si aumenta il valore del solo guadagno k_p fino a quando la risposta del sistema a una piccola perturbazione a gradino porta a un'oscillazione permanente del segnale di uscita
- In queste condizioni si registrano il valore del guadagno proporzionale utilizzato k_{p0} e il periodo delle oscillazioni T_0 .

I due valori ricavati vengono inseriti in un'apposita tabella per il calcolo di tutti i guadagni del controllore PID di anello chiuso. In tabella 4.3.1 si riportano i calcoli necessari per ottenere i tre guadagni.

	k_p	k_p/k_i	k_d/k_p
P	$0.5k_{p0}$	-	-
PI	$0.45k_{p0}$	$T_0/1.2$	-
PID	$0.6k_{p0}$	$T_0/2$	$T_0/8$

Tabella 4.3.1: Calcolo dei parametri del controllo PID in anello chiuso

Si deve aggiungere che tale metodo empirico di taratura dei parametri del controllo PID non deve essere utilizzato per tutti quei sistemi che, una volta raggiunta l'instabilità, possano creare danni a cose o persone.

Nel caso della valvola pneumatica utilizzata per il pattino attivo di questo lavoro di tesi può risultare difficoltoso comprendere quando il suo comportamento raggiunge l'instabilità per poter applicare il metodo Ziegler-Nichols.

Siccome risulta difficile monitorare la valvola, durante il processo di taratura dei parametri si può supporre che essa raggiunga un comportamento non del tutto stabile quando l'apertura del suo otturatore non raggiunge posizioni parziali. Ciò può essere osservato tramite i valori di flusso d'aria consumata o dai segnali di comando che partono dalla scheda elettronica. In questa condizione instabile la valvola proporzionale in esame si comporta come una di tipo digitale, ovvero risulta essere completamente chiusa o totalmente aperta.

In questo modo seguendo le oscillazioni massime e minime della portata d'aria che transita all'interno della valvola o del segnale in tensione di comando, si può valutare con quale valore di guadagno proporzionale il sistema entri in instabilità e così calcolare gli altri parametri del controllo PID.

Nelle pagine dedicate all'esposizione dei risultati ricavati dalle prove in anello chiuso si osserva il comportamento della valvola pneumatica con due diversi guadagni proporzionali utilizzati con lo scopo di raggiungere una condizione stabile per applicare il metodo empirico.

4.3.4 Implementazione del codice di controllo sulla scheda elettronica Orange

La scheda elettronica, come è stato già compiuto con successo durante le prove in anello aperto e lo studio dell'isteresi della valvola, è in grado di leggere ed eseguire un qualsiasi tipo di codice di comando.

Il pacchetto di supporto installato nel software di Matlab e di Simulink, che permette di creare e caricare su diversi tipi e modelli di schede elettroniche codici di controllo, è stato utilizzato anche per le prove sperimentali in anello chiuso. Il toolbox offre la possibilità di creare codici anche molto complessi con l'utilizzo di blocchi funzionali già costituiti senza dover scrivere a parole funzioni o variabili come accade nel software sviluppato da Arduino.

Il codice a blocchi dell'anello chiuso è in grado di leggere i segnali di tensione di retroazione provenienti dai trasduttori di pressione, di convertirli in valore di spessore del meato e di elaborarli attraverso il regolatore PID, opportunamente tarato. Infine esso calcola il giusto segnale di tensione da inviare al circuito ausiliario della valvola posto a valle della scheda elettronica.

Di seguito in figura 4.3.3 si mostra il codice a blocchi implementato sulla scheda elettronica per il controllo dell'anello chiuso. La prima parte è adibita all'acquisizione del segnale di retrazione, segue poi il regolatore PID e infine sono collocati i blocchi per la conversione e per l'invio del segnale di comando.

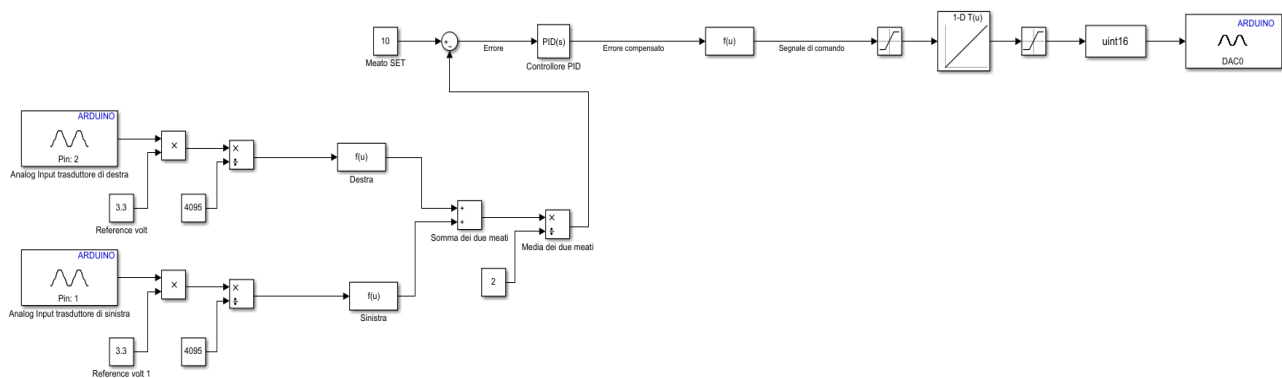


Figura 4.3.3: Schema a blocchi del codice di controllo dell'anello chiuso

Come si è indicato prima lo schema a blocchi del codice di controllo può essere suddiviso in tre parti principali contraddistinte da funzioni specifiche.

La prima parte ha la funzione di leggere i segnali provenienti dai trasduttori di pressione e di convertire il valore digitale trasformato dal processore della scheda elettronica in quello di tensione attraverso la seguente proporzione:

$$\text{Valore di tensione} = (\text{Valore digitale} * 3.3) / 4095$$

Nella proporzione i valori numerici indicano i 3.3 V di alimentazione dei pin analogici di ingresso e i 4095 livelli caratteristici della risoluzione a 12 bit.

La seconda parte del codice di controllo è abilitata alla conversione dei valori di tensione nella misura dello spessore del meato d'aria attraverso le equazioni di terzo grado ottenute dalla interpolazione dei trasduttori di tensione nel paragrafo precedente.

Lo spessore di meato registrato dai sensori a contropressione di destra e sinistra è mediato e confrontato con il SET voluto dall'operatore. L'errore che ne deriva è compensato attraverso le azioni proporzionale, integrale e derivativa del controllore PID.

Il blocco del software Simulink relativo al controllore PID è preconstituito e in esso sono già inserite le tre azioni matematiche. Il programmatore del codice, dunque, deve solamente indicare quale sia la base di tempo e i valori dei tre parametri come è indicato in figura 4.3.4.

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): **-1**

▼ Compensator formula

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: **internal**

Proportional (P): **0.1**

Integral (I): **40**

Derivative (D): **0**

Figura 4.3.4: Finestra di taratura del controllore PID con il software Simulink

La terza e ultima parte del codice ha la funzione di convertire l'errore compensato in micrometri nel corretto valore di tensione del segnale di comando alla valvola proporzionale. Il segnale di comando dipende direttamente dalla caratteristica statica della valvola ed è ricavato con la seguente equazione:

$$\text{Segnale di comando} = 2 + \frac{2.3 - 1.62}{\text{Errore max}} * \text{Err. Comp.}$$

In cui l'errore massimo indicato rappresenta la situazione per la quale il pattino risulta a contatto con la superficie del banco: l'errore positivo massimo che si ottiene è uguale in valore al SET imposto nel codice.

Il valore di tensione del segnale di comando, a questo punto, viene convertito in segnale digitale che può essere letto dalla scheda elettronica.

Elencate le funzioni principali del codice di controllo per l'anello chiuso, si afferma che i blocchi relativi alla media aritmetica dei due valori di spessore di meato, ricavati dai sensori a contropressione, non vengono utilizzati durante i test. Ciò è causato proprio dalla presenza dei due trasduttori, i quali, come è stato già osservato, hanno due curve di interpolazione molto diverse in cui uno risulta molto meno sensibile dell'altro. Tale differenza di sensibilità ha costretto a inserire nel codice di controllo entrambe le curve di interpolazione, tuttavia proprio la grande diversità tra loro, dopo la media aritmetica, può generare valori di spessore di meato d'aria non corretti.

Quindi, durante le prove sperimentali si è deciso di utilizzare il solo trasduttore di sinistra che risulta essere maggiormente sensibile alle variazioni di spessore del meato d'aria.

Qui di seguito in figura 4.3.5 si riporta il codice di controllo utilizzato e privato della media aritmetica e del blocco di input analogico relativo al trasduttore di destra.

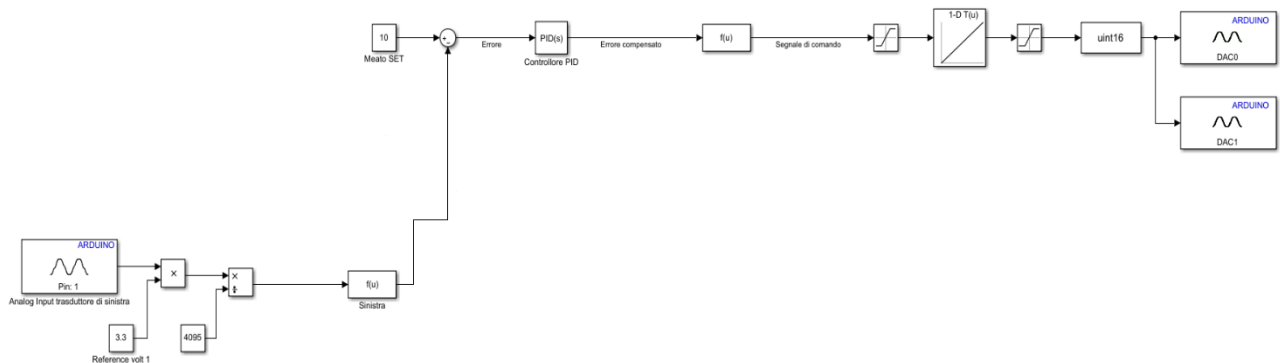


Figura 4.3.5: Codice a blocchi utilizzato per le prove sperimentali in anello chiuso

Come nel codice più completo anche in quello utilizzato si possono osservare i blocchi funzionali di acquisizione del segnale di tensione in arrivo dal trasduttore di pressione di sinistra, di conversione in valore di spessore del meato d'aria, del controllore PID e di trasmissione del segnale di comando al circuito ausiliario da parte del pin DAC0.

La presenza in parallelo del blocco relativo al pin DAC1 della scheda elettronica Orange permette di poter visualizzare e salvare tramite la scheda di acquisizione lo stesso segnale di tensione di comando della valvola proporzionale.

Come si è già detto dal segnale di tensione di comando si può comprendere facilmente come la valvola si comporti e se il tipo di controllo risulta adeguato alla situazione. Nelle prossime pagine si mostreranno i risultati ottenuti da due prove sperimentali e si osserverà dagli andamenti di portata d'aria consumata e di segnale di comando in tensione se la valvola regola in modo corretto l'altezza del meato d'aria.

4.3.5 Analisi dei risultati

In questa sezione verranno analizzati i risultati ottenuti dai test sperimentali di anello chiuso effettuati sul banco di lavoro in uso. Tuttavia prima di presentarli è necessario soffermarsi nuovamente sulla modalità con cui il banco applica il carico sul pattino e come esso è costruito.

A inizio di questo lavoro di tesi si è descritto che il sistema di applicazione del carico da parte del banco di lavoro è costituito da un accoppiamento vite e madrevite collegato alla manovella manuale posta sopra al blocco di granito. Con la rotazione della manovella si permette la discesa del puntale che andrà a contatto con la sfera collocata sul pattino pneumostatico per allineare il carico. Con questo sistema manuale di vite e madrevite, rotazioni di pochissimi gradi possono applicare elevatissime forze sul cuscinetto. A questo punto il banco risulta essere già poco gestibile per imporre gradini o variazioni costanti di carico sul pattino.

La presenza di una molla all'interno dell'incastellatura del sistema di applicazione della forza permette di avere una rigidità non infinita del puntalino; a questo modo il pattino può sollevarsi verticalmente contrastando il carico. Con una rigidità infinita, invece, il sistema non imporrebbe più un carico ma una posizione o uno spessore di meato ben definita e la forza calcolata dalla cella di carico sarebbe la diretta conseguenza.

Siccome i test sperimentali in anello chiuso hanno lo scopo di verificare la costanza dello spessore del meato d'aria imposto al di sotto del pattino a fronte di variazioni di carico applicato, si deve verificare la rigidità della molla presente nel sistema. Una rigidità troppo elevata della molla non permetterebbe al cuscinetto di sollevarsi e il sistema manuale vite-madrevite genererebbe un'imposizione di meato e non più di forza.

Se così fosse il banco utilizzato correttamente per le prove sperimentali in anello aperto non sarebbe adeguato a quelle in anello chiuso.

Per calcolare la rigidità della molla del banco si è svolta una veloce prova sul pattino.

Con un determinato precarico dato dalla rotazione della manovella si schiaccia il pattino sul piatto di acciaio sopra al blocco di granito. L'alimentazione dell'aria compressa deve essere chiusa.

Quando il valore di forza calcolato dalla cella di carico e acquisito dalla scheda National Instruments si stabilizza si apre l'alimentazione di aria compressa a una pressione di 6 bar relativi.

Grazie al passaggio dell'aria attraverso la valvola proporzionale completamente aperta il pattino, contrastando la forza della molla, si solleva fino a stabilizzarsi.

In questo modo l'aumento di carico applicato sul pattino a fronte del suo sollevamento non è dato dalla rotazione della manovella ma dalla resistenza della molla.

Durante la prova si registrano e si salvano per l'elaborazione i valori di carico applicato e di sollevamento del pattino valutato dai sensori capacitivi. Con il software di Matlab si possono ricavare le curve lineari o non lineari dalla quali si calcola la rigidità della molla secondo la seguente equazione

$$k = \frac{F}{x}$$

In cui x indica allo stesso modo il sollevamento del pattino o la contrazione della molla e F il delta di forza applicata.

In figura 4.3.6 si mostra la prova effettuata con un precarico di partenza sul pattino di circa 885 N.

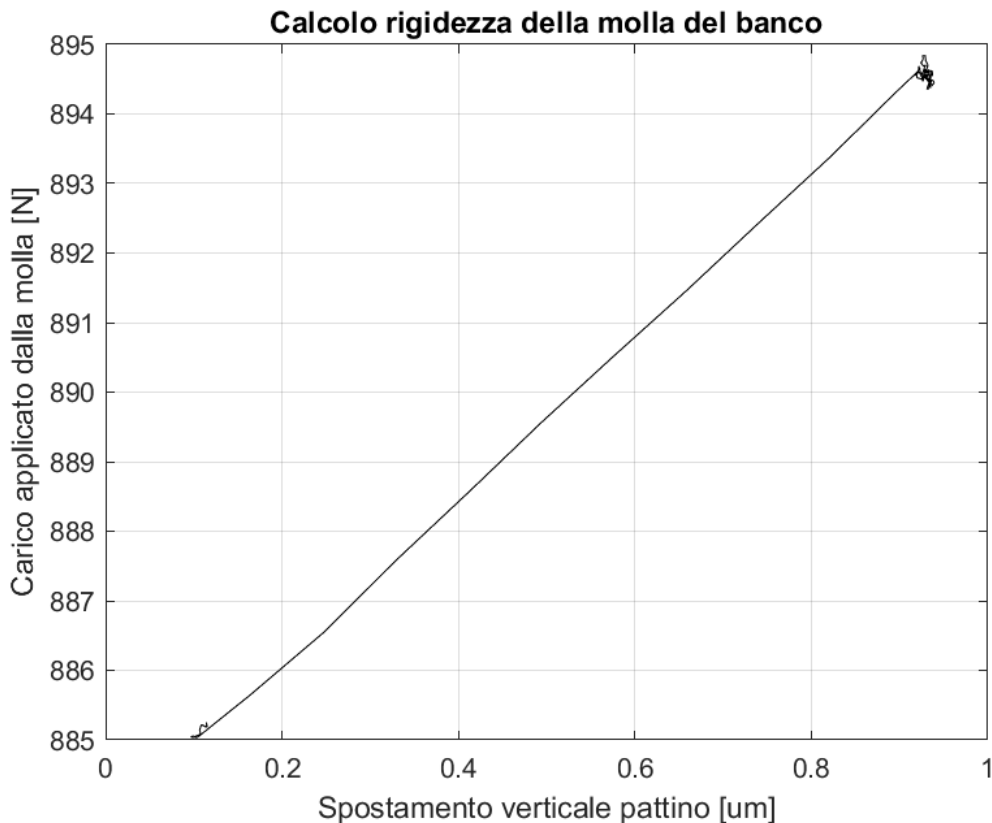


Figura 4.3.6: Calcolo della rigidezza della molla con precarico iniziale di 885 N

In base all'equazione per il calcolo della rigidezza di una molla si ottiene dal grafico, dato questo tipo di precarico, una rigidezza di circa $12 \text{ N}/\mu\text{m}$. Se convertita in metri risulta essere pari a 12000000 N/m , una rigidezza troppo elevata per permettere il sollevamento del pattino.

Se si ripete la prova con diversi precarichi iniziali la rigidezza della molla risulta essere all'incirca costante senza mai raggiungere valori accettabili.

Da questi risultati si comprende che l'utilizzo del banco è molto limitato per i test in anello chiuso in quanto la variazione di forza applicata si traduce quasi sempre in un'imposizione di spessore del meato d'aria, rendendo inutile il funzionamento del codice di controllo.

Siccome la capacità di contrastare la rigidezza della molla da parte del pattino dipende anche da quando la valvola proporzionale è aperta, si può dire che la resistenza del cuscinetto diminuisce al ridursi della corrente di alimentazione della bobina. Ne consegue che poca portata d'aria attraverso il pattino non permette di contrastare la rigidezza elevata della molla andando a ridurre il campo di utilizzo di questo tipo di banco di prova.

Una seconda prova è stata effettuata per individuare un campo di funzionamento del banco in cui l'azione del sistema di imposizione dello spessore del meato fosse meno prevalente, utilizzando il dato di rigidezza della molla.

La prova è stata effettuata a tre diverse aperture della valvola proporzionale che corrispondono al 100%, 75% e 50% della corsa massima dell'otturatore.

Il test consiste nel ripetere le prove in anello aperto da cui si ricavano gli andamenti di forza in funzione del meato d'aria. Una volta ottenuti tali andamenti si vuole intercettare ognuna delle tre curve con la caratteristica della rigidezza della molla, ottenuta nella prova precedente. I punti così individuati delineano un intervallo di spessore di meato d'aria tra le tre curve. Perché il banco manuale possa essere utilizzabile anche per le prove in anello chiuso nell'intorno del carico applicato relativo all'intervallo di meato, la variazione di spostamento verticale deve essere né troppo ampia né troppo

piccola e corrispondere all'incirca al gioco dato dal giunto dell'incastellatura e allo spostamento che deriva dalla resistenza della molla.

Se l'intervallo dovesse essere troppo piccolo risulterebbe che il banco non sarebbe adeguato alle prove in anello chiuso. Infatti la rigidità della molla sarebbe troppo elevata anche a bassi carichi o il posizionamento imposto dalla manovella sarebbe prevalente sull'applicazione del carico registrato. In ogni caso all'aumentare del carico valutato dal sensore, il sistema della manovella manuale interviene imponendo una posizione precisa al pattino, con un leggero aumento della rigidità della molla fino al valore di $16 \text{ N}/\mu\text{m}$.

In figura 4.3.7 si mostrano i tre andamenti di forza in funzione dello spostamento verticale del pattino intercettati dalla caratteristica della molla.

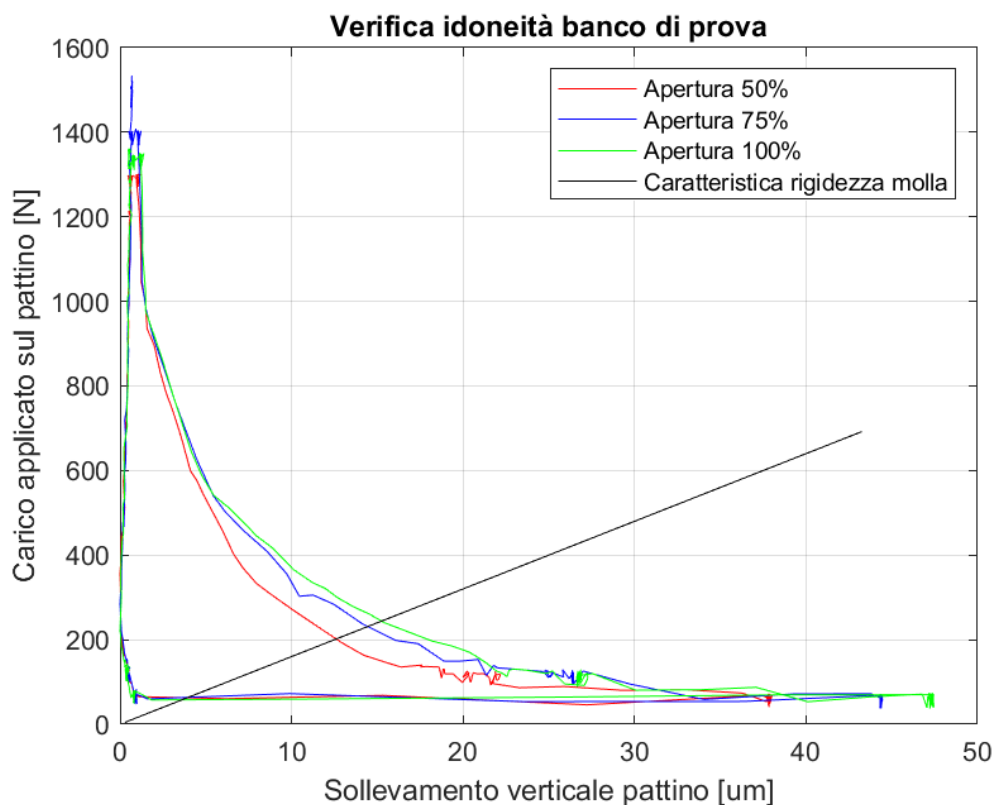


Figura 4.3.7: Grafici di anello aperto per verificare l'idoneità del banco per i test in anello chiuso con la molla in uso

Dal grafico si può osservare che la caratteristica della molla del banco, intercetta le tre curve di forza ad un carico relativo nell'intorno dei 250 N. L'intervallo che si delinea ha un'ampiezza nell'ordine dei 5 μm . In base alla rigidità calcolata di $12 \text{ N}/\mu\text{m}$ e all'intervallo di carico applicato relativo all'intervallo di spostamento verticale, si può considerare che l'ampiezza corrisponda all'incirca con il valore del gioco del giunto del banco.

Dunque, teoricamente, se si dovesse utilizzare il banco manuale con un carico applicato sul pattino pari all'incirca a 200 – 250 N, il puntale non dovrebbe interferire imponendo una posizione e la molla si contrarrebbe senza opporre troppa resistenza. Il pattino si dovrebbe sollevare contrastato dal carico equivalente applicato.

Le tre curve di forza in funzione del meato d'aria possono essere intercettate da una curva orizzontale corrispondente a un carico costante. Nella realtà questa situazione corrisponderebbe al caso ideale, in cui il puntale applicherebbe una forza sempre uguale e costante per ogni posizione assunta dal pattino. In altre parole in questa condizione ideale la molla non avrebbe rigidità e il banco applicherebbe la

forza come se l'accoppiamento vite-madrevite fosse sostituito da pesi liberi di essere collocati o spostati da sopra il pattino.

Questo caso ideale di banco è rappresentato in figura 4.3.8, in cui si intercettano le tre curve con un carico costante.

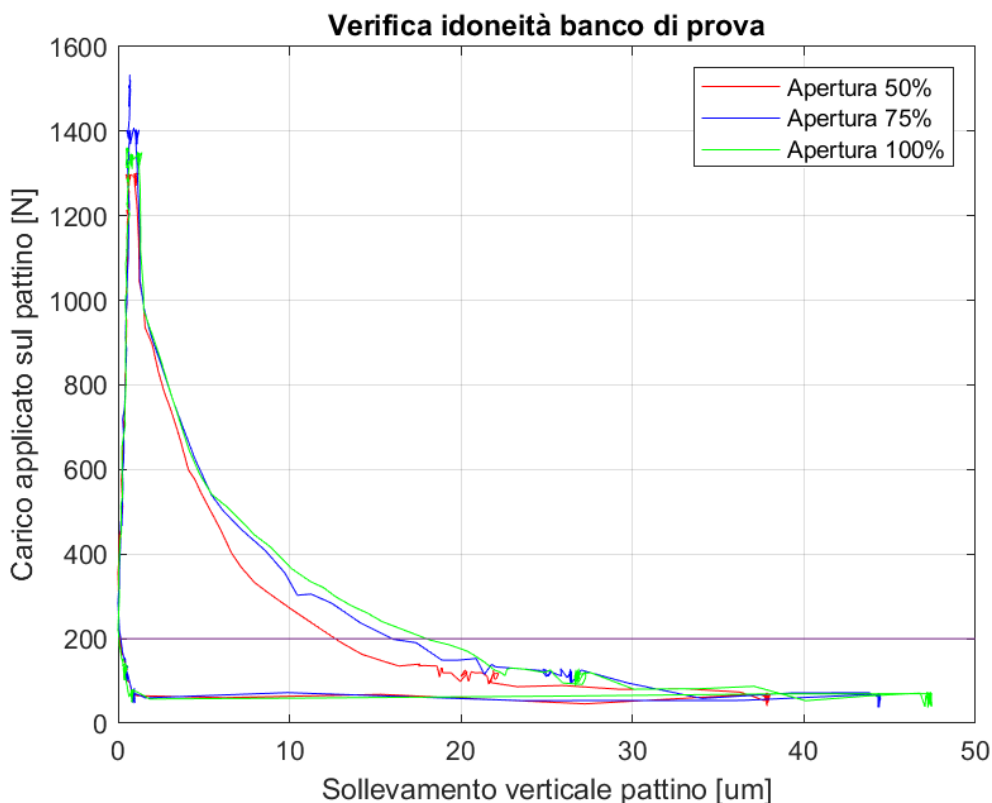


Figura 4.3.8: Grafici di anello aperto per verificare l'idoneità del banco per i test in anello chiuso a carichi bassi costanti

In questo caso rappresentato dal grafico qui sopra, si sono intercettate le curve di forza con un carico di 200 N. L'intervallo che viene così individuato ha un'ampiezza di circa 6 μm , di poco superiore al caso reale. Anche questo intervallo risulta essere adeguato, non è troppo ristretto. Di nuovo si nota che al carico selezionato di 200 N non sembra che il sistema di applicazione della forza intervenga imponendo una posizione e sembra che la rigidità della molla non sia troppo elevata. Ne segue che l'intervallo di sollevamento verticale del pattino individuato in questo caso risulta essere generato dalla sola portanza del pattino.

Verificato che, nell'intorno dei 200 – 250 N applicati, il banco possa funzionare correttamente anche per le prove sperimentali in anello chiuso si sono svolti due test con diversi guadagni proporzionali del controllore PID.

Per entrambi i test si è fissato un meato di SET pari a 15 μm , valore intermedio dell'intervallo di sollevamento a carichi inferiori ai 250 N ottenuti dalla verifica.

Le prove sono state effettuate imponendo in un primo momento un carico inferiore ai 200 N e poi variando la forza nel suo intorno con piccolissime rotazioni del volantino manuale del banco. Le oscillazioni di forza dovrebbero fare variare lo spessore del meato sottostante al pattino. Il valore del meato d'aria verrà calcolato dai sensori a contropressione e inviato dai trasduttori di pressione alla scheda elettronica. Il codice di controllo implementato elabora l'errore e trasmette alla valvola proporzionale il segnale di comando in corrente per far mantenere il pattino vicino alla posizione di 15 μm dalla superficie del piatto d'acciaio.

Di seguito verranno presentati in un intervallo di 10 secondi gli andamenti nel tempo del carico applicato al pattino e della sua posizione rispetto alla superficie del piatto d'acciaio per entrambe le prove. I due test sono stati condotti utilizzando il codice di controllo presentato e due diversi guadagni proporzionali nel controllore PID. Se il banco dovesse risultare adeguato al controllo ad anello chiuso dai grafici si dovrebbe ottenere un comportamento puramente proporzionale della valvola e un controllo abbastanza preciso del meato d'aria al di sotto del pattino.

- **Controllo ad anello chiuso effettuato con $K_p = 0.1$, $K_i = 40$ e $K_d = 0$**

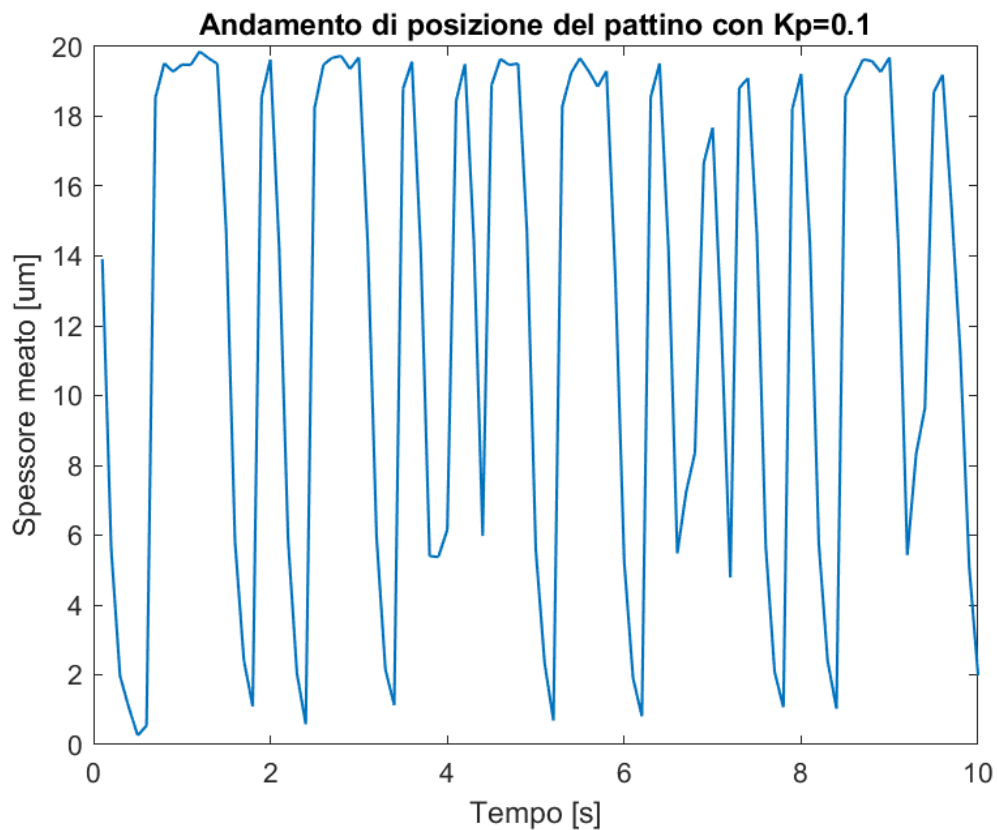


Figura 4.3.9: Andamento nel tempo del sollevamento verticale del pattino

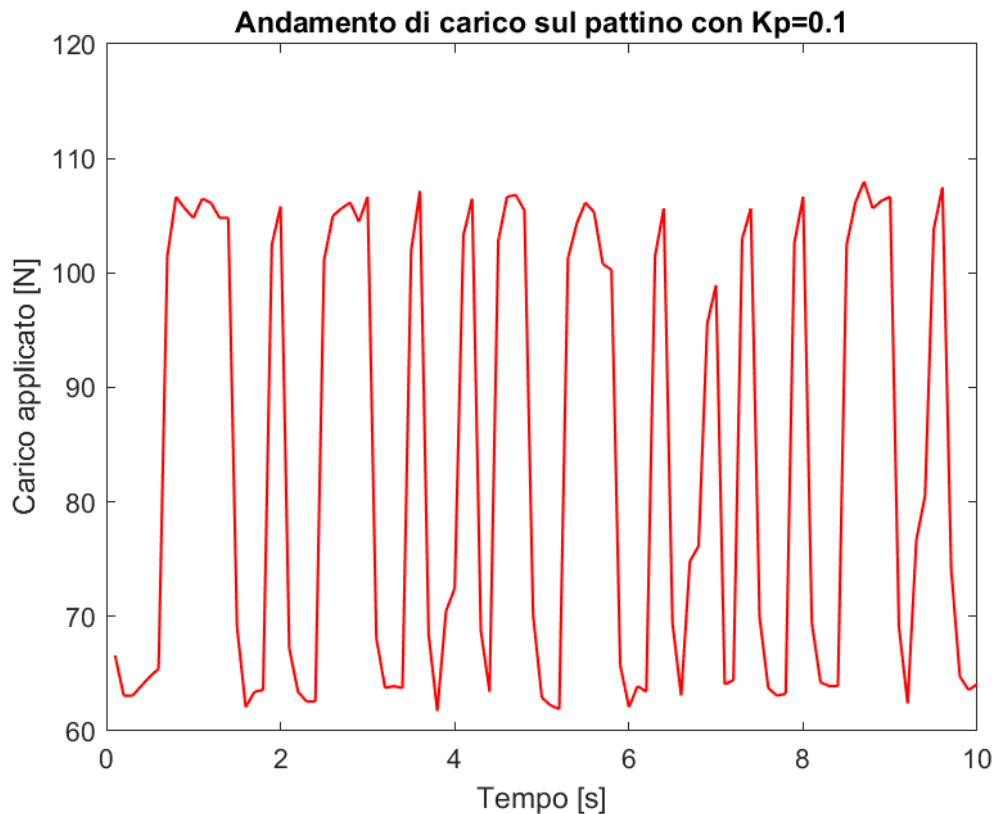


Figura 4.3.10: Andamento nel tempo del carico applicato sul pattino

Con i guadagni proporzionale e integrale impostati nel regolatore PID, risulta che il controllo della posizione del pattino non è preciso e che il comportamento della valvola è molto instabile, come se fosse digitale.

La posizione del pattino oscilla intorno a quella impostata come SET nel codice di controllo, come se il cuscinetto sbattesse contro il puntale facendo contrarre la molla e ritornasse immediatamente a terra chiudendo completamente la valvola. Dunque essendoci instabilità nel sistema la valvola proporzionale non riesce a mantenere un flusso d'aria più o meno costante attraverso il pattino per mantenerlo costantemente a una certa altezza. Occorre modificare il controllo per ridurre l'instabilità, diminuendo il valore del guadagno proporzionale.

Il comportamento del pattino si riflette anche sull'andamento della forza valutata dalla cella di carico, infatti dal minimo applicato dalla rotazione della manovella di circa 60 N si passa immediatamente a un valore maggiore che deriva dalla contrazione della molla e dalla sua rigidità.

Come ultimo si nota ancora che la valvola non essendo di tipo digitale ha tempi di risposta lenti nelle complete apertura e chiusura.

Per essere sicuri del comportamento instabile della sola valvola pneumatica si può osservare nel tempo l'andamento del flusso d'aria che transita al suo interno. In questo modo si verifica che l'otturatore si muove senza mai arrestarsi in una posizione intermedia.

Si presenta nella figura 4.3.11 l'andamento di aria compressa consumata.

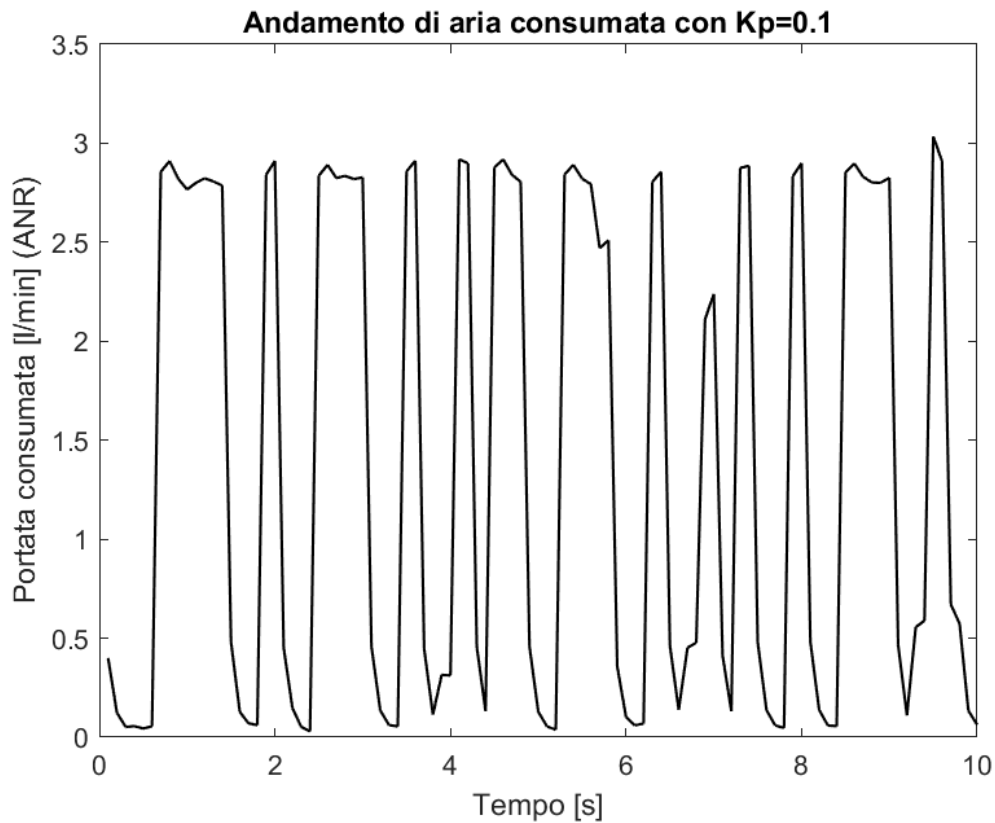


Figura 4.3.11: Andamento nel tempo della portata consumata dalla valvola

Dal grafico si osserva che la valvola si chiude e si apre completamente facendo passare solamente la portata massima e quella minima attraverso il pattino. L'otturatore non si arresta mai in una posizione intermedia diversa da quelle di inizio e di fine corsa.

Appurato il comportamento instabile della valvola si devono modificare i parametri del controllore PID riducendo il guadagno proporzionale e aumentando quello integrale.

- **Controllo ad anello chiuso effettuato con $K_p = 0.05$, $K_i = 50$ e $K_d = 0$**

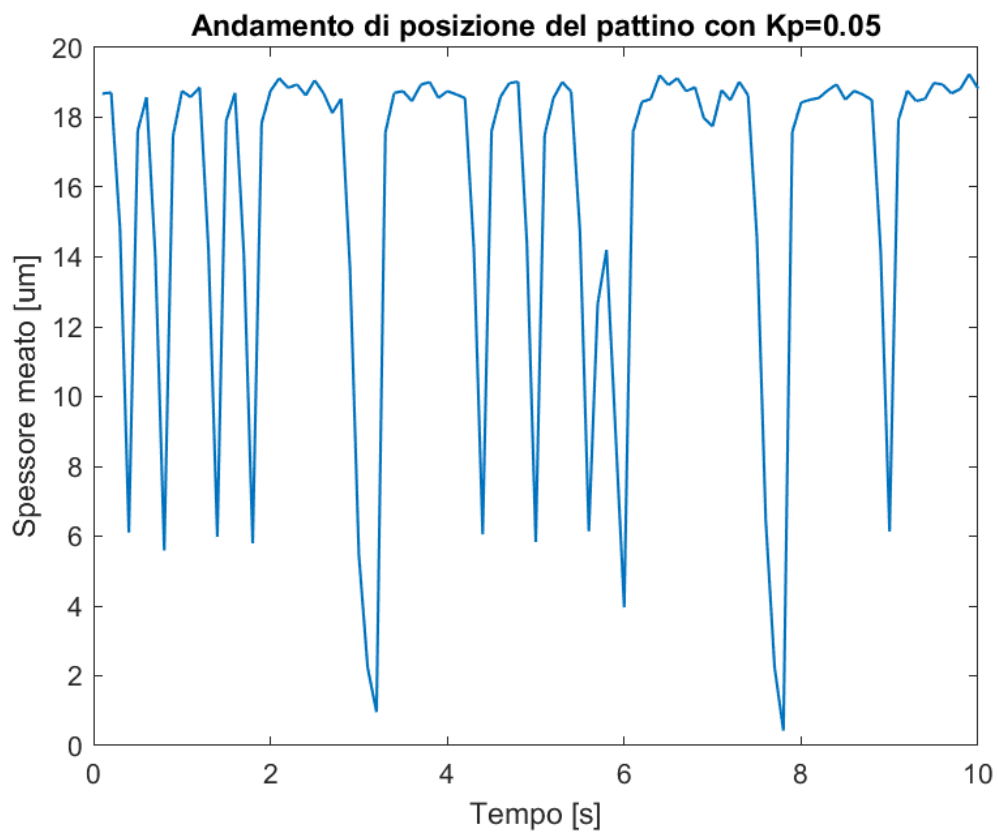


Figura 4.3.12: Andamento nel tempo del sollevamento verticale del pattino

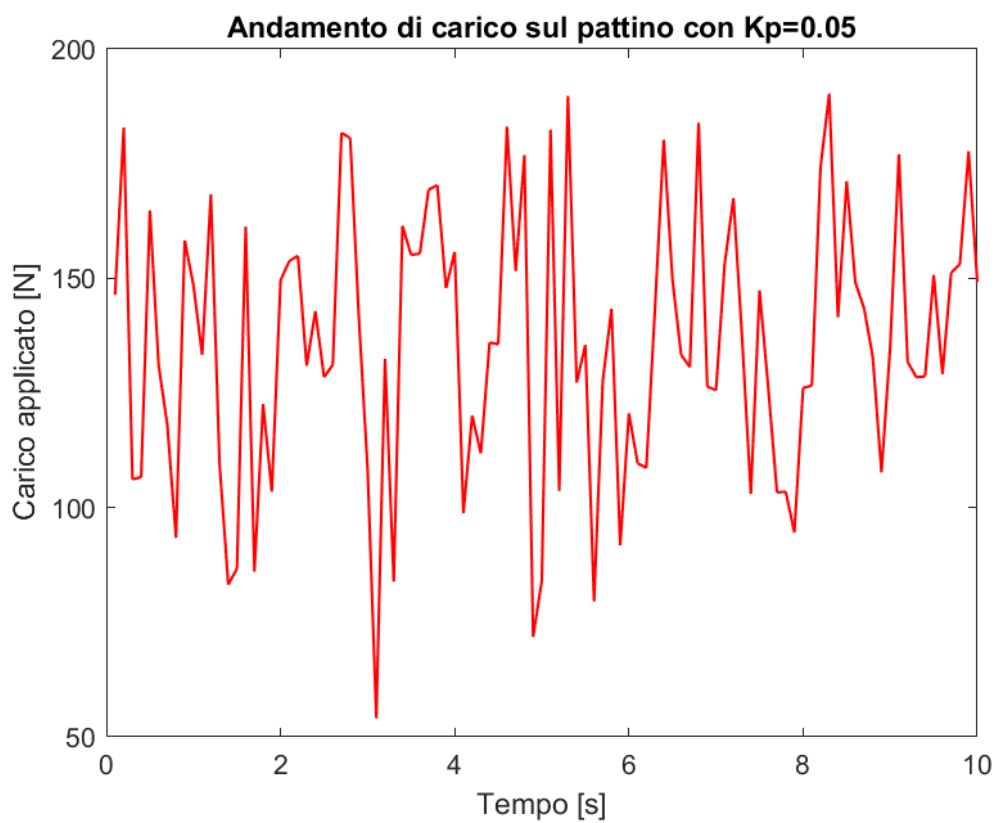


Figura 4.3.13: Andamento nel tempo del carico applicato sul pattino

In questo caso sono stati inseriti nel regolatore PID i nuovi guadagni proporzionale e integrale in modo tale da ridurre l'instabilità della valvola. In particolare il guadagno proporzionale K_p impostato con un valore adimensionale pari a 0.05 risulta essere estremamente basso.

Anche se si è portato il guadagno proporzionale quasi al suo limite inferiore, dai due andamenti di posizione e di carico si osserva che l'instabilità del sistema è stata leggermente ridotta ma non del tutto superata.

Dal grafico di sollevamento verticale si ottiene che il pattino, ad eccezione di alcuni casi, risulta essere sollevato quasi sempre di una quantità minima di circa $6\text{ }\mu\text{m}$. Tuttavia, come prima, nel complesso il sollevamento verticale del pattino oscilla intorno alla posizione impostata come SET: il cuscinetto preme contro il puntale e ritorna immediatamente quasi a contatto con la superficie di appoggio.

Ciò significa che in questo particolare caso la valvola proporzionale, molte volte, non è completamente chiusa e permette al pattino di restare leggermente sollevato. Si ottiene un controllo di poco migliorato del sistema, in cui il cuscinetto tende, senza la necessaria portanza a raggiungere la posizione di SET.

Questo leggero miglioramento è più visibile nel grafico dell'andamento del carico applicato. Diversamente dal primo caso di prova, la forza non oscilla in modo regolare come la posizione del pattino e si può individuare un valore medio di carico. Ciò dà la conferma del fatto che per la maggior parte del tempo di prova il pattino resta sollevato andando a premere contro il puntale facendo contrarre la molla.

Il sollevamento costante del pattino può essere verificato controllando l'andamento del segnale di comando in tensione inviato dalla scheda elettronica al circuito ausiliario riportato in figura 4.3.14.

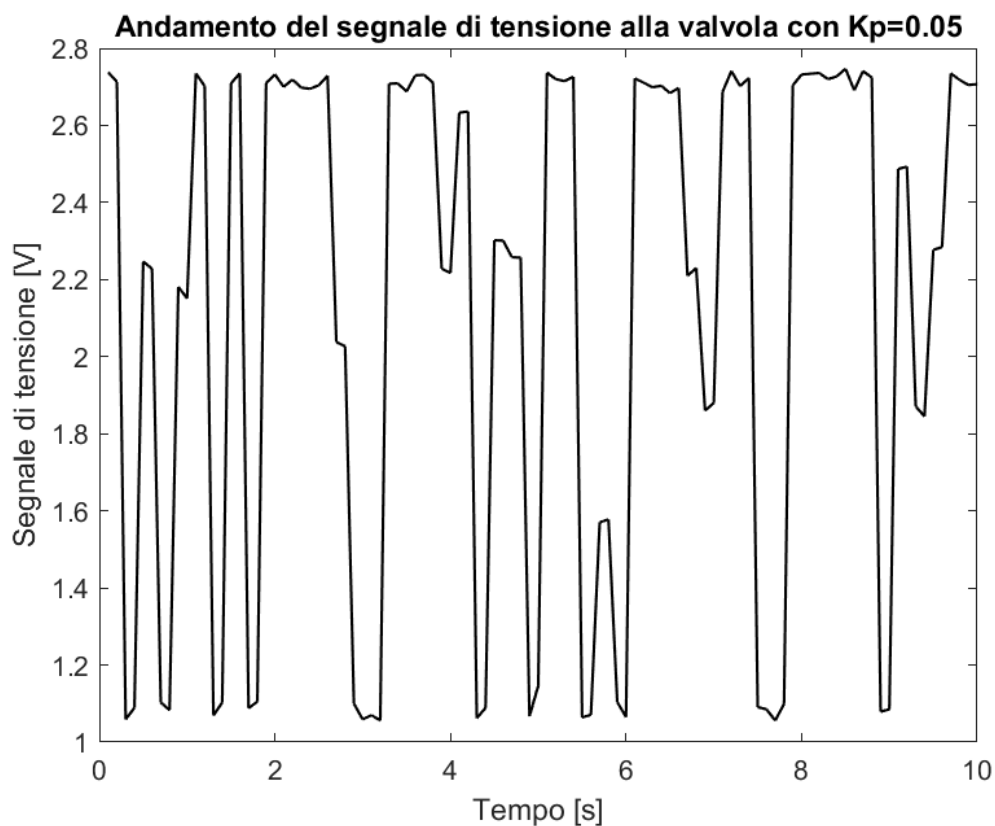


Figura 4.3.14: Andamento nel tempo del segnale di comando in tensione alla valvola

Dall'andamento del segnale di comando si osserva che la valvola riceve una tensione che oscilla molto tra il valore massimo inviabile dalla scheda elettronica, pari a circa 2.75 V e un valore minimo che però non coincide con quello che comanda la completa chiusura dell'otturatore.

Per ogni oscillazione del segnale il valore minimo di tensione inviato alla valvola è di circa 1.1 V. Tale tensione genera un comando per cui l'otturatore permette il passaggio di una piccola quantità d'aria all'interno del pattino. Questo flusso minimo che transita, crea un meato d'aria sotto il pattino dello spessore di 6 μm come è indicato nel grafico relativo allo spostamento verticale.

In entrambe le prove effettuate con diversi valori di guadagni statici, si è notato che, all'aumentare del carico applicato, ruotando la manovella, il comportamento instabile della valvola non cambia, ma la frequenza delle aperture e delle chiusure dell'otturatore aumenta, come se fosse una risposta del sistema di controllo. L'aumento della frequenza di movimento dell'otturatore permette al pattino di cercare una posizione stabile a fronte dell'incremento del carico applicato su di esso, perdendo però ulteriormente la stabilità del sistema.

Concludendo l'analisi dei risultati che derivano dalle due prove si può affermare in generale che anche con carichi applicati bassi o quasi nulli e con la diminuzione del guadagno proporzionale, l'instabilità del sistema e, in particolare, della valvola incide troppo sul controllo e non viene attenuata.

Si sostiene con un certo livello di sicurezza, in base ai risultati ottenuti riguardo alla rigidità elevata della molla presente nel sistema di applicazione del carico, che il banco di prova fino ad ora utilizzato non è adeguato allo sviluppo di un controllo in anello chiuso con questo modello di pattino. Infatti il sistema vite-madrevite impone uno spostamento e non un carico. Con un'imposizione di spostamento, certe volte costante, in entrata al sistema, si può capire che il tipo di controllo sviluppato non deve essere implementato con il banco di prova in uso. Infatti può accadere che il pattino non riesca mai a raggiungere il SET perché bloccato in una posizione dal puntale.

È necessario utilizzare un banco di prova differente che sia in grado di dare variazioni di solo carico applicato sul pattino. Tale banco deve essere adeguato alle prove sperimentali di tipo dinamico.

Il banco necessario a questi particolari test è collocato nello stesso laboratorio ma è ancora in fase di montaggio. Esso è composto da un basamento in acciaio appoggiato a terra tramite quattro piedini regolabili. Sopra il blocco di acciaio viene collocato anche in questo caso un piatto di acciaio rettificato, su cui verrà posto il pattino da testare.

Il carico in questo caso può essere applicato tramite una traversa rigida le cui guide sono inserite in boccole pneumatiche per scorrere senza attrito. Più semplicemente la forza può essere imposta al pattino collocando a mano sopra alla traversa dei pesi noti.

Tra la traversa e il pattino è interposta la sfera di acciaio che ha la funzione di allineare il carico.

In una versione precedente di questo banco di lavoro l'entità di carico applicato sul pattino veniva calcolata da tre trasduttori di forza piezoresistivi disposti su una circonferenza a 120° gli uni dagli altri.

In figura 4.3.15 viene mostrato un'immagine costruttiva della versione precedente del banco utilizzato per le prove di tipo dinamico.

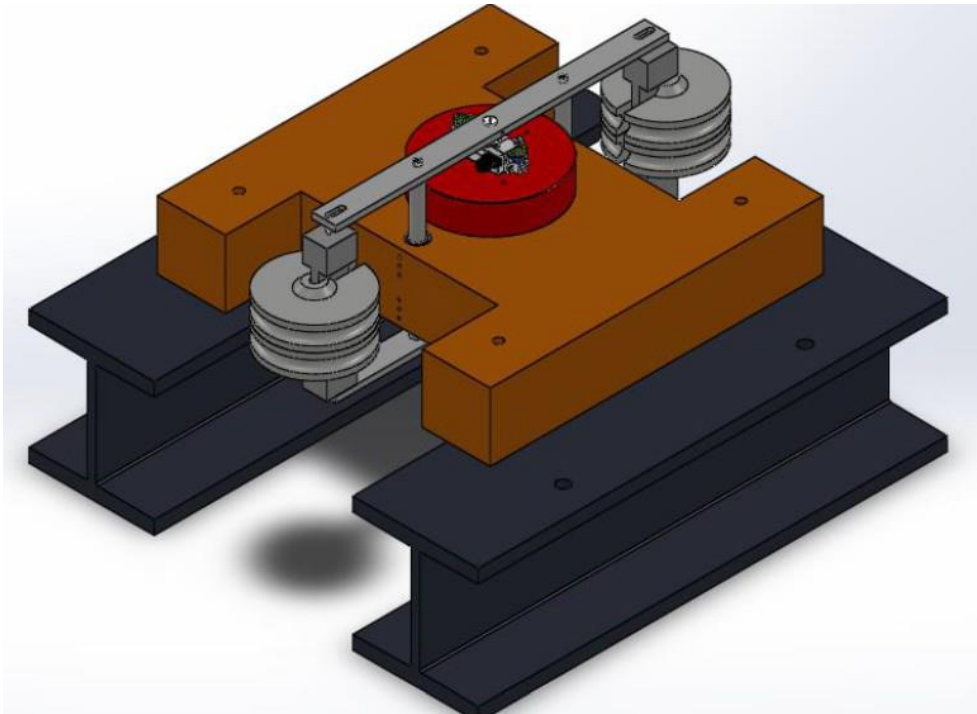


Figura 4.3.15: Banco di prova per test di tipo dinamico

Le celle di carico piezoresistive utilizzate in questo banco sono utili per le prove di tipo dinamico in quanto registrano solo le differenze di forza e non i valori assoluti.

Con questo differente sistema di applicazione della forza si possono generare gradini di carico semplicemente collocando manualmente pesi noti sulla traversa senza costringere il pattino in posizioni precise come accade con il sistema a vite-madrevite.

Dato che il nuovo banco è ancora in fase di assemblaggio si rimanda a un futuro lavoro di tesi il più corretto sviluppo di un sistema di anello chiuso in grado di utilizzare una valvola pneumatica proporzionale per il controllo della posizione del pattino.

Capitolo 5

Modello matematico e simulazione

L'ultima parte di questo lavoro di tesi aprirà la trattazione del modello matematico in grado di simulare i test effettuati sia in anello aperto che in quello chiuso. In base ai risultati ottenuti dai test effettuati sul banco di prova e sul pattino stesso verranno inseriti i dati sperimentali per tarare i modelli matematici su Matlab/Simulink.

I risultati dei codici di simulazione verranno confrontati con gli andamenti ricavati sperimentalmente. Tale comparazione è utile per rendere il modello matematico sempre più vicino al comportamento reale del pattino in modo tale che possa in futuro essere validato ed essere utilizzato al posto dei test su banco prova.

Il modello matematico viene scritto sulla base di tutti gli elementi che compongono il sistema del pattino pneumostatico. Esso è composto dalla valvola pneumatica proporzionale, dal pattino passivo, dai trasduttori di pressione e dalla scheda elettronica di controllo. Ognuno di questi elementi può essere scomposto in una o più equazioni o funzioni di trasferimento nel caso del modello dinamico.

Il modello per l'anello aperto è caratterizzato dalle equazioni caratteristiche della valvola e del pattino, mentre quello per l'anello chiuso conterrà le funzioni di trasferimento dei trasduttori e della scheda di controllo e i modelli caratteristici e dinamici della valvola e del pattino.

Nei prossimi paragrafi si descriveranno i modelli matematici degli elementi elencati costitutivi del sistema pattino attivo.

5.1 Modello matematico della valvola pneumatica proporzionale

La valvola pneumatica proporzionale può essere paragonata a un ugello con la sezione di uscita variabile. Perciò il modello matematico può essere scritto con le stesse relazioni di una resistenza pneumatica variabile grazie alle quali viene calcolata la portata d'aria in uscita dalla valvola.

Il calcolo della portata d'aria espresso poi in l/min (ANR) è ricavato dalle due formule seguenti, distinte dal tipo di flusso attraverso la valvola:

- Flusso sonico, $0 < \frac{P_2}{P_1} < 0.528$: $G = P_1 C$ [kg/s]

- Flusso subsonico, $0.528 < \frac{P_2}{P_1} < 1$: $G = P_1 C \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{P_2}{P_1} - b}{1 - b}\right)^2}$ [kg/s]

Si possono distinguere: P_1 pressione di alimentazione della valvola [bar], P_2 pressione allo scarico della valvola [bar], C conduttanza della valvola [$\frac{kg}{s \cdot bar}$] e b il rapporto critico delle pressioni con valore costante di 0.528.

A livello dinamico, in base ai test condotti nel precedente lavoro di tesi, la valvola può essere paragonata a un sistema del secondo ordine.

La conduttanza della valvola oltre a derivare direttamente dalla portata e dalla pressione di alimentazione dipende anche dalla corrente di eccitazione della bobina che regola l'apertura dell'otturatore della valvola e quindi anche la quantità di flusso. La diretta relazione tra conduttanza e corrente si evince dai grafici sperimentali relativi alla portata consumata dalla valvola in funzione

della corrente. Ciò significa che la valvola proporzionale avrà diversi valori di conduttanza per ogni livello di corrente di eccitazione della bobina. Detto ciò si ricava che la portata d'aria non dipende solamente dai valori di pressione all'alimentazione e allo scarico. È necessario quindi ricavare un modello dinamico matematico che tenga conto dei differenti valori della corrente di riferimento alla bobina della valvola.

L'equazione differenziale di secondo grado è utilizzata per il calcolo dell'area di apertura dell'otturatore della valvola.

$$\frac{d^2 A_v}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dA_v}{dt} + \omega_n^2 A_v = K_s \omega_n^2 I_{ref}$$

Nella relazione sono riportati: il fattore di smorzamento ζ , la frequenza naturale del sistema ω_n , il guadagno statico dell'area di apertura della valvola K_s e la corrente di eccitazione I_{ref} .

Si assume inoltre che la variabile A_v dell'area di apertura della valvola proporzionale possa essere messa in relazione con la conduttanza C e quindi anche alla corrente di eccitazione della bobina, attraverso una relazione lineare.

$$C = K_c A_v = K_c K_s I_{ref} = K_v I_{ref}$$

Dove K_c è un fattore di linearità tra area di apertura e conduttanza e K_v è il guadagno statico di portata. I valori iniziali della conduttanza, necessari per ricavare il guadagno statico di portata e da esso il flusso in uscita dalla valvola, sono ricavati dai test sperimentali di portata, condotti sulla sola valvola con una corrente variabile, alle pressioni di alimentazione di 5 bar e 7 bar. Utilizzare i valori sperimentali di conduttanza è utile per rendere il comportamento del modello matematico simile agli andamenti reali. Attraverso poi un blocco di Simulink si calcolano i valori numerici della conduttanza C in funzione della portata e della corrente di eccitazione della bobina da cui, dividendola per la stessa corrente di riferimento I_{ref} , si ricava il guadagno statico K_v . Esso sarà poi utilizzato per ricavare la portata della valvola attraverso il modello matematico. La portata in uscita calcolata in l/min è messa a confronto con gli andamenti sperimentali per attestare la bontà del modello matematico della sola valvola.

L'equazione differenziale di secondo grado da cui si ricava la conduttanza è riportata qui di seguito:

$$\frac{d^2 C}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dC}{dt} + \omega_n^2 C = K_v \omega_n^2 I_{ref}$$

L'equazione differenziale della conduttanza e le relazioni della condizione del flusso d'aria attraverso la valvola sono utilizzate per completare il modello matematico. Esso è composto di due parti fondamentali: la prima è quella relativa al calcolo della conduttanza della valvola a partire da valori iniziali ricavati sperimentalmente. La seconda è relativa alla condizione del flusso d'aria, grazie alla quale il modello riesce a comprendere, in base ai valori iniziali di pressione del sistema, la direzione dell'aria e se si è in stato sonico o subsonico. Si ricavano così il termine moltiplicativo e il valore della conduttanza per il calcolo della portata in uscita dalla valvola in l/min.

Si riporta il modello a blocchi nella figura 5.1.1.

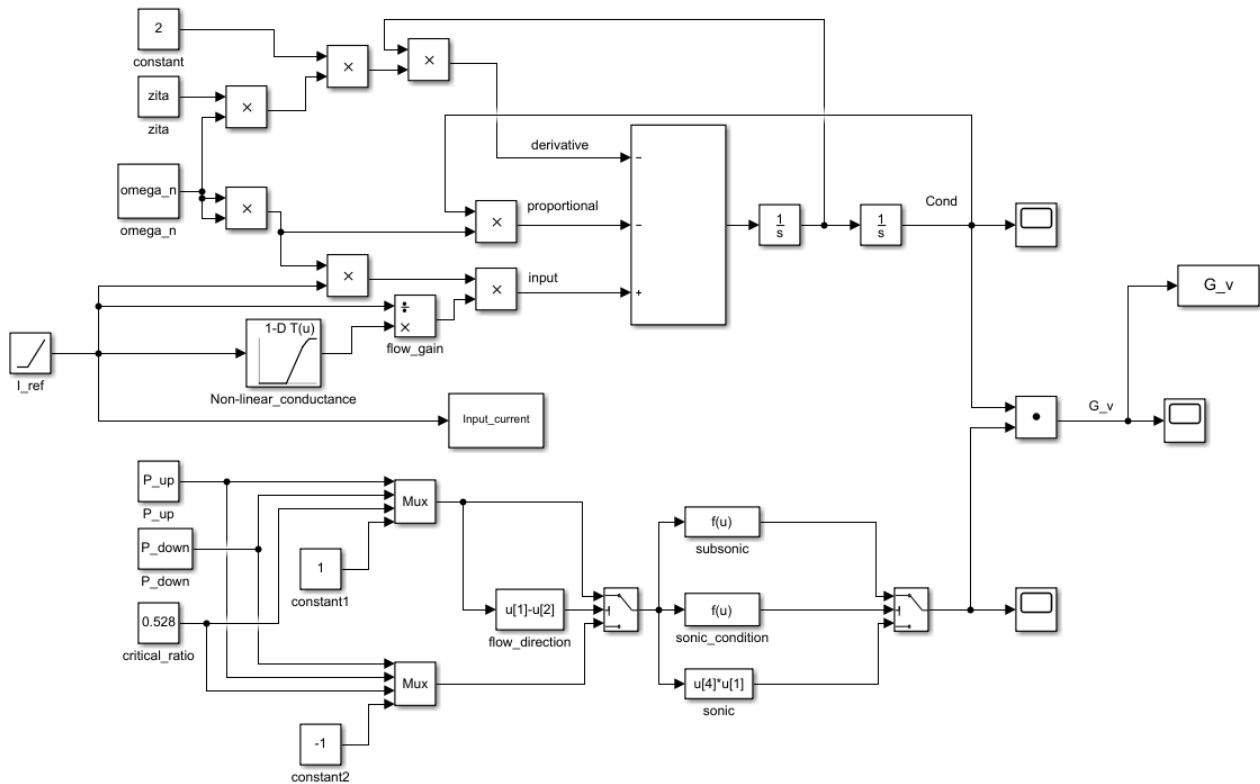


Figura 5.1.1: Modello a blocchi per il calcolo della portata della sola valvola proporzionale

La parte superiore dello schema a blocchi è relativa al calcolo della conduttanza, mentre quella inferiore è relativa all'informazione di flusso sonico o subsonico attraverso la valvola che utilizza il rapporto critico delle pressioni pari a 0.528 come valore discriminante.

I parametri che caratterizzano il modello di secondo ordine sono ricavati da test dinamici condotti in un precedente lavoro di tesi sulla sola valvola e sono il fattore di smorzamento ζ posto pari a 0.2 e la frequenza naturale del sistema ω_n di 35 Hz.

La variabile I_{ref} , oltre a essere utilizzata per ricavare la conduttanza C attraverso il blocco di look-up table e quindi anche il guadagno statico K_v , rappresenta il segnale di comando di apertura alla valvola come avviene nei test sperimentali.

Nel blocco di look-up table si sono inseriti i valori iniziali sperimentali di conduttanza secondo una funzione lineare a tratti in modo tale che il modello matematico rispecchi più fedelmente l'andamento reale di portata in uscita.

Il modello a blocchi di Simulink mostrato fa riferimento a uno script di Matlab in cui sono specificati le variabili utilizzate e i relativi valori; se ne riporta un estratto nella figura 5.1.2 per una migliore comprensione del modello matematico della valvola nel suo insieme.

```

2 %% Parametri modello valvola
3
4 t_sim = 30; %tempo di simulazione
5 t_step = 0.001; %intervallo di tempo simulazione
6 % Input
7 P_up = 6*10^5; %[Pa]
8 P_down = 1*10^5; %[Pa]
9 omega_n = 35*2*pi; %[rad/s]
10 zita = 0.2;
11 %Calcolo della conduttanza a 5 bar al variare della corrente di input alla
12 %valvola
13 conductance_values5 = [0 0 3.2 3.75 4 4]*(0.00002153)/(6*10^5); %valori ricavati dalla caratteristica con isteresi della valvola senza pattino
14 current_values5 = [0 41 65 70 75 85];
15 %Calcolo della conduttanza a 7 bar al variare della corrente di input alla
16 %valvola
17 conductance_values7 = [0 0 2.4 4 5.3 5.3]*(0.00002153)/(8*10^5); %valori ricavati dalla caratteristica con isteresi della valvola senza pattino
18 current_values7 = [0 34 50 62 70 85];
19 %Corrente della funzione rampa
20 I0=1; %corrente iniziale [mA]
21 I_slope=(90-I0)/t_sim; %pendenza rampa corrente [mA/s]
22 %Apertura e run Simulink
23 open('Modello_valvola_proporzionale')
24 sim('Modello_valvola_proporzionale')

```

Figura 5.1.2: Script di Matlab relativo al modello matematico di valvola proporzionale

Nello script, oltre alle variabili necessarie per il modello come la pressione a monte e a valle, le variabili dinamiche della valvola e il segnale lineare di corrente, vengono inseriti anche i dati del tempo complessivo di simulazione e l'intervallo di tempo di integrazione, la quale è stata impostata a passo variabile.

Si possono notare anche i vettori nominati `conductance_values` e `current_values` che esprimono i valori sperimentali relativi alla conduttanza e alla corrente di eccitazione delle prove sperimentali. Questi valori sono utilizzati all'interno della look-up table in una funzione lineare a tratti per ricavare i valori numerici di conduttanza.

I valori di `conductance_values` sono espressi come portata d'aria in kg/s sulla pressione di alimentazione in bar.

Essendo un modello quasi statico, questo utilizzato per descrivere il comportamento della sola valvola al variare della corrente di eccitazione, si ricava la portata in uscita, andando tuttavia ad omettere l'isteresi che si crea nel tratto discendente della curva reale alla chiusura dell'otturatore. Infatti il fenomeno dell'isteresi è legato in modo particolare alla costruzione della valvola, agli attriti interni che si creano durante la fase di apertura e di chiusura e alla pressione di alimentazione che insiste sull'otturatore. In questo semplice modello è complicato esprimere queste variabili intrinseche alla singola valvola, perciò si è deciso di ricavare l'andamento di portata per la sola apertura della valvola. Le curve di portata reale e quella ricavata sono sovrapposte per provare che il modello sia il più possibile vicino al dato sperimentale.

Di seguito verranno mostrati nelle figure 5.1.3 e 5.1.4 i due grafici di portata ricavati dalle prove condotte sulla valvola al variare della corrente di eccitazione della bobina alle pressioni di alimentazione di 5 bar e 7 bar.

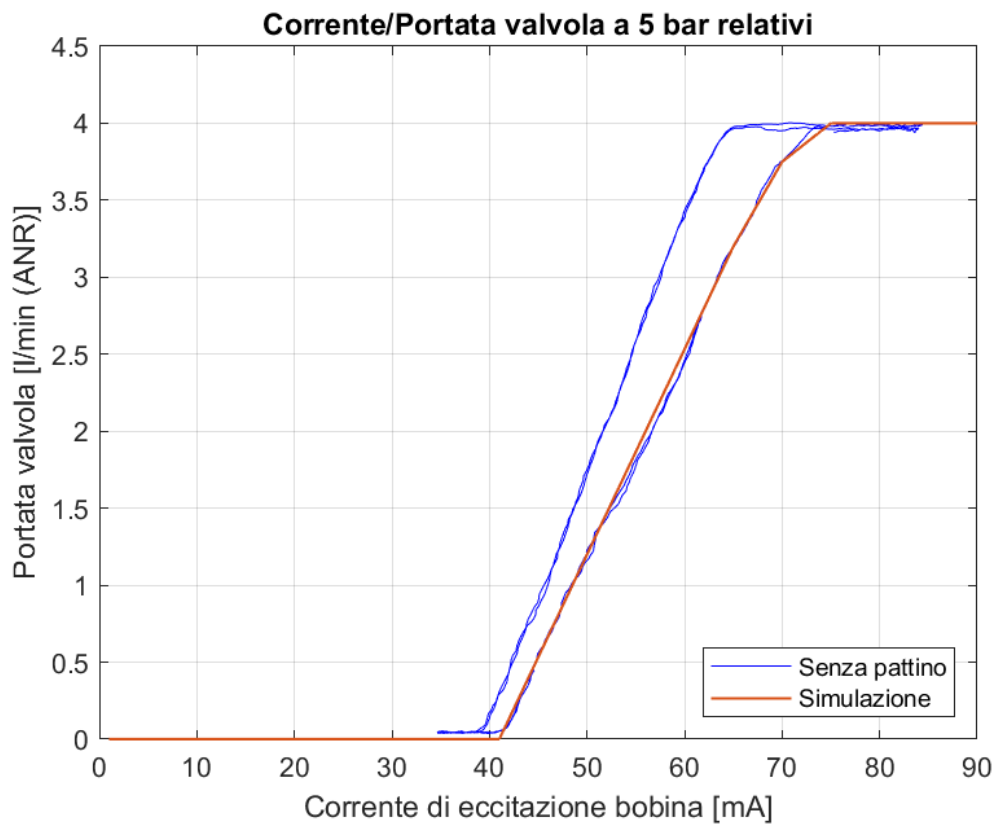


Figura 5.1.3: Confronto andamenti sperimentali e modellizzati per portata in uscita dalla valvola a 5 bar relativi

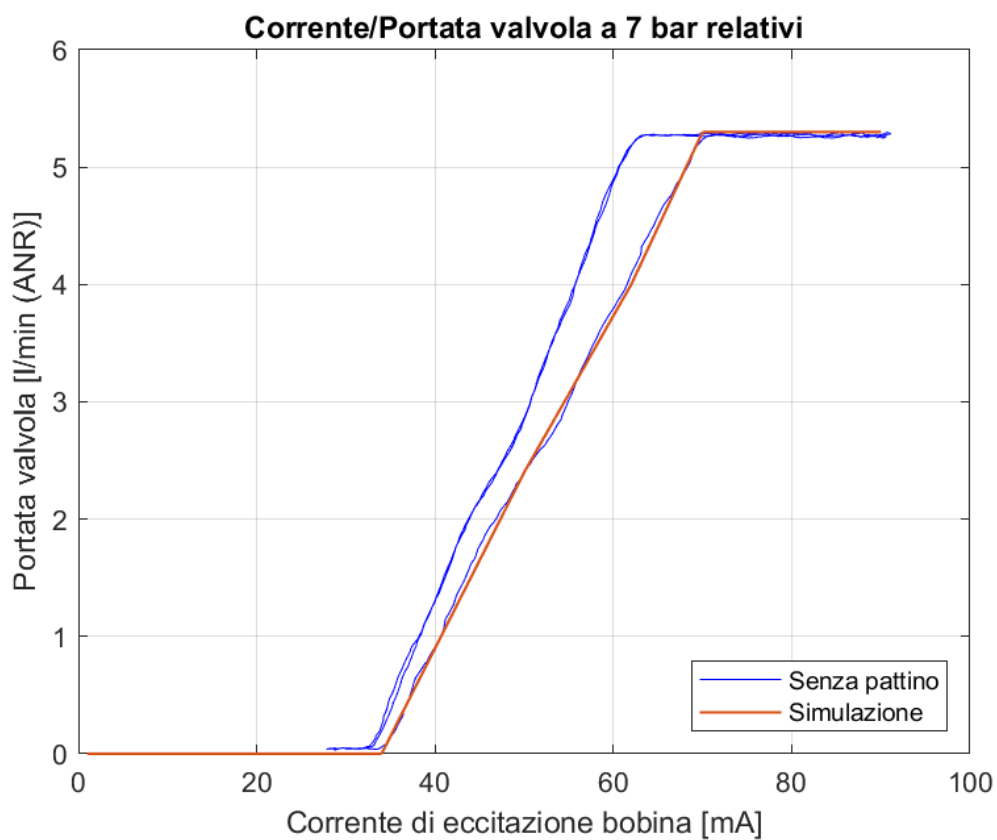


Figura 5.1.4: Confronto andamenti sperimentali e modellizzati per portata in uscita dalla valvola a 7 bar relativi

Dai grafici qui sopra, si può subito notare che le curve di apertura della valvola si sovrappongono correttamente. Ciò sta a indicare che, pur ammettendo che i dati iniziali per ricavare il guadagno statico di portata K_v sono stati presi dagli andamenti sperimentali e posti secondo una funzione lineare a tratti, il semplice modello matematico funziona correttamente. Per ogni tratto di curva, il modello quasi statico calcola valori di portata in uscita dalla valvola, considerata sempre scollegata dal resto del pattino, in linea con quelli reali, senza la presenza di dati anomali.

Considerare la valvola come una resistenza pneumatica o come un ugello dall'area di sbocco variabile è una semplice soluzione per ottenere andamenti corretti. Un modello matematico più complesso, in cui si possono considerare la costruzione interna, gli attriti dell'otturatore e un comportamento più dinamico, è auspicabile per mostrare il comportamento “isterico” della valvola pneumatica.

5.2 Modello matematico di anello aperto

Dopo aver descritto e simulato il modello della valvola pneumatica considerata smontata dal pattino, ora, è opportuno considerare tutto l'insieme. Il sistema così composto verrà modellizzato e successivamente confrontato con gli andamenti ottenuti dai test sperimentali: meato-carico applicato e meato-portata in uscita a differenti pressioni e livelli di corrente di eccitazione della bobina.

Se la valvola proporzionale può essere rappresentata dalle stesse equazioni, il pattino deve essere modellizzato considerandolo suddiviso in quattro differenti sottosistemi. Infatti come è stato brevemente descritto in precedenza, il pattino, in uso per questo lavoro di tesi, è formato da un blocco di metallo il quale presenta internamente una piccola camera, collegata all'alimentazione esterna, seguita da un piccolo ugello collegato all'ambiente di scarico.

Lo stesso ambiente di scarico che si trova al di sotto del pattino stesso può essere visto come una capacità e una resistenza variabili, in quanto il meato che si forma conterrà una quantità d'aria non costante, la quale incontrerà una resistenza per sfuggire da sotto il cuscinetto.

Il modello del pattino pneumostatico può essere così schematizzato con un equivalente pneumatico nella figura 5.2.1:

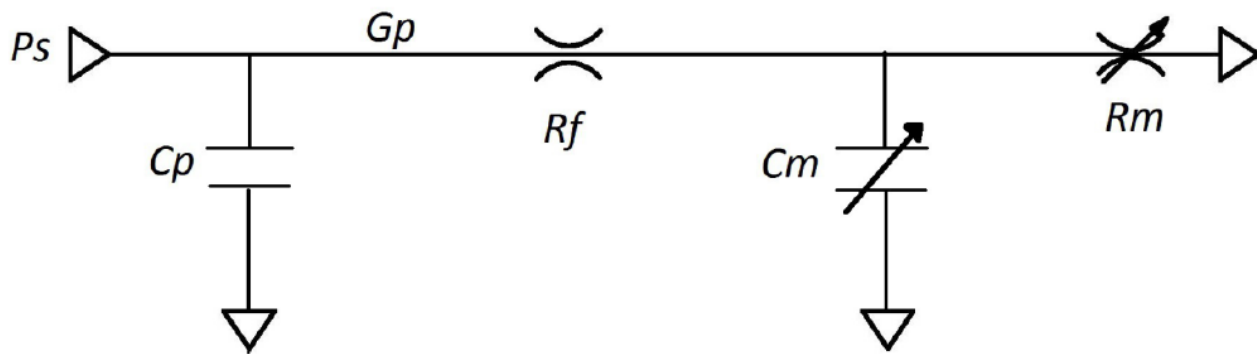


Figura 5.2.1: Schema pneumatico del pattino pneumostatico

I quattro sottosistemi pneumatici sono visibili:

- La capacità pneumatica della camera interna del pattino C_p ;
- La resistenza pneumatica data dal foro di scarico R_f ;
- La capacità pneumatica variabile del meato d'aria C_m ;
- La resistenza pneumatica variabile del meato d'aria R_m .

La pressione di alimentazione del pattino in uscita dalla valvola proporzionale è indicata con P_s , mentre la portata d'aria attraverso il foro di scarico è rappresentata da G_p .

Ogni sottosistema costituente il cuscinetto sarà qui di seguito descritto e modellizzato secondo le equazioni che lo rappresentano. In conclusione tutte le parti pneumatiche saranno unite andando a formare il modello matematico che caratterizza il pattino, il quale insieme a quello relativo alla valvola proporzionale sarà utilizzato per ricavare gli andamenti dei test effettuati in anello aperto.

5.2.1 Capacità pneumatica della camera interna

Si può subito introdurre la definizione di capacità pneumatica:

$$C = \frac{G}{dP/dt}$$

Dove G rappresenta la portata d'aria in kg/s attraverso il volume considerato e P è il valore di pressione media all'interno della capacità. Dunque la capacità pneumatica rappresenta la quantità di portata d'aria che può transitare all'interno di un volume al variare della pressione media all'interno del volume stesso.

In questo particolare caso il volume può essere considerato costante in quanto esso comprende la camera ricavata internamente al pattino, ipotizzando che le pareti abbiano una rigidità elastica tendente all'infinito.

Con queste ipotesi si può scrivere l'equazione della capacità pneumatica:

$$\frac{dP}{dt} = G \frac{nRT}{V} \left(\frac{P}{P_i} \right)^{1-\frac{1}{n}}$$

Dove R rappresenta la costante dei gas ideali (287 J/kgK); V è il volume della camera interna al pattino di valore pari a $739.2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$ ricavato dal catalogo del cuscinetto in uso; n è l'esponente della politropica; P_i è la pressione iniziale all'interno del volume che può essere posta pari alla pressione ambiente.

Siccome il processo all'interno della camera ricavata nel pattino durante i test può essere considerato isoterma l'esponente n ottiene un valore unitario.

Il modello e blocco di Simulink, che raccoglie l'equazione relativa alla capacità pneumatica, è presentato nella figura 5.2.2 seguente.

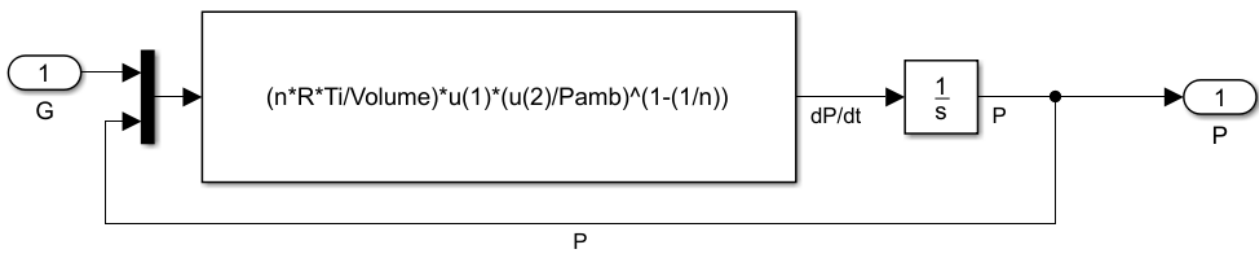


Figura 5.2.2: Blocco Simulink relativo alla capacità pneumatica della camera interna al pattino

5.2.2 Resistenza pneumatica del foro di scarico

Anche in questo caso si può introdurre la definizione di resistenza pneumatica:

$$R = \frac{d\Delta P}{dG}$$

Si usa questa formulazione solo per il moto di tipo laminare. La resistenza induce un salto di pressione che influisce sulla portata transitante. Come prima la portata G è espressa in kg/s.

Come già detto in precedenza il foro di scarico può essere paragonato a un piccolo ugello, perciò si può ricavare la portata transitante attraverso le relazioni di flusso subsonico e flusso sonico.

Come è stato usata per la modellizzazione della valvola proporzionale, la discriminante è il rapporto critico delle pressioni b impostato anche in questo caso pari a 0.528.

Le due relazioni di portata entrante nel foro di scarico del pattino sono:

- Flusso sonico, $0 < \frac{P_2}{P_1} < 0.528$: $G = \frac{\pi d_s^2}{4} \psi P_s c_d$ [kg/s]
- Flusso subsonico, $0.528 < \frac{P_2}{P_1} < 1$: $G = \frac{\pi d_s^2}{4} \psi P_s c_d \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{P_c}{P_s} - b}{1 - b} \right)^2}$ [kg/s]

Si possono distinguere:

- G portata transitante attraverso il foro di scarico;
- d_s diametro foro di scarico, $d_s = 0.25 \cdot 10^{-3}$ m;
- P_s pressione assoluta di alimentazione [Pa];
- P_c pressione assoluta allo scarico [Pa];
- $\psi = \frac{0.685}{\sqrt{RT}}$ con $R = 287$ J/kgK e $T = 288$ K;
- c_d coefficiente di efflusso del foro, $c_d = 0.85 \left(1 - \left(e^{-8.2 \frac{h_s}{d_s}} \right) \right)$

dipende direttamente dalla caratteristica costruttiva del pattino, infatti il termine h_s è la somma tra il meato d'aria al di sotto del pattino e la distanza che vi è tra il foro di scarico e la superficie inferiore del pattino pneumostatico. Dal catalogo del cuscinetto si ricava che la distanza tra foro e la superficie di appoggio al banco di prova è pari a 550 μ m. Siccome il meato d'aria che si forma durante le prove sperimentali ha un valore molto inferiore rispetto alla distanza tra foro e banco, il coefficiente di flusso può essere approssimato a un valore costante di 0.85. Si mostra nella figura 5.2.3 un particolare del foro di scarico del pattino, estratto dal catalogo, in cui se ne mostra la posizione rispetto alla superficie del banco di prova.

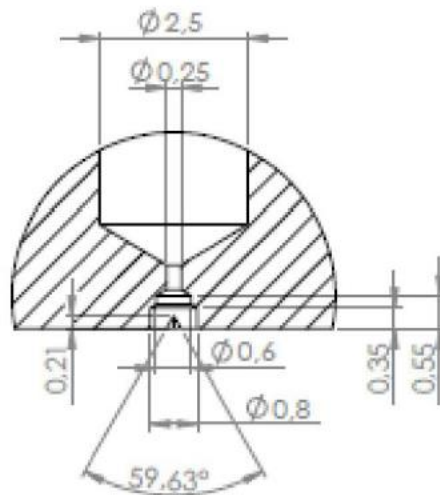


Figura 5.2.3: Particolare del foro di scarico del pattino

Qui di seguito nella figura 5.2.4 viene mostrato il blocco Simulink relativo al modello del foro di scarico. Essendo stato paragonato a un ugello, il foro di scarico avrà un modello matematico strutturato in modo molto simile a quello relativo alla valvola proporzionale: infatti sarà in grado di individuare la direzione del flusso in base ai valori assoluti delle pressioni e lo stato del flusso se subsonico o sonico in base al rapporto critico.

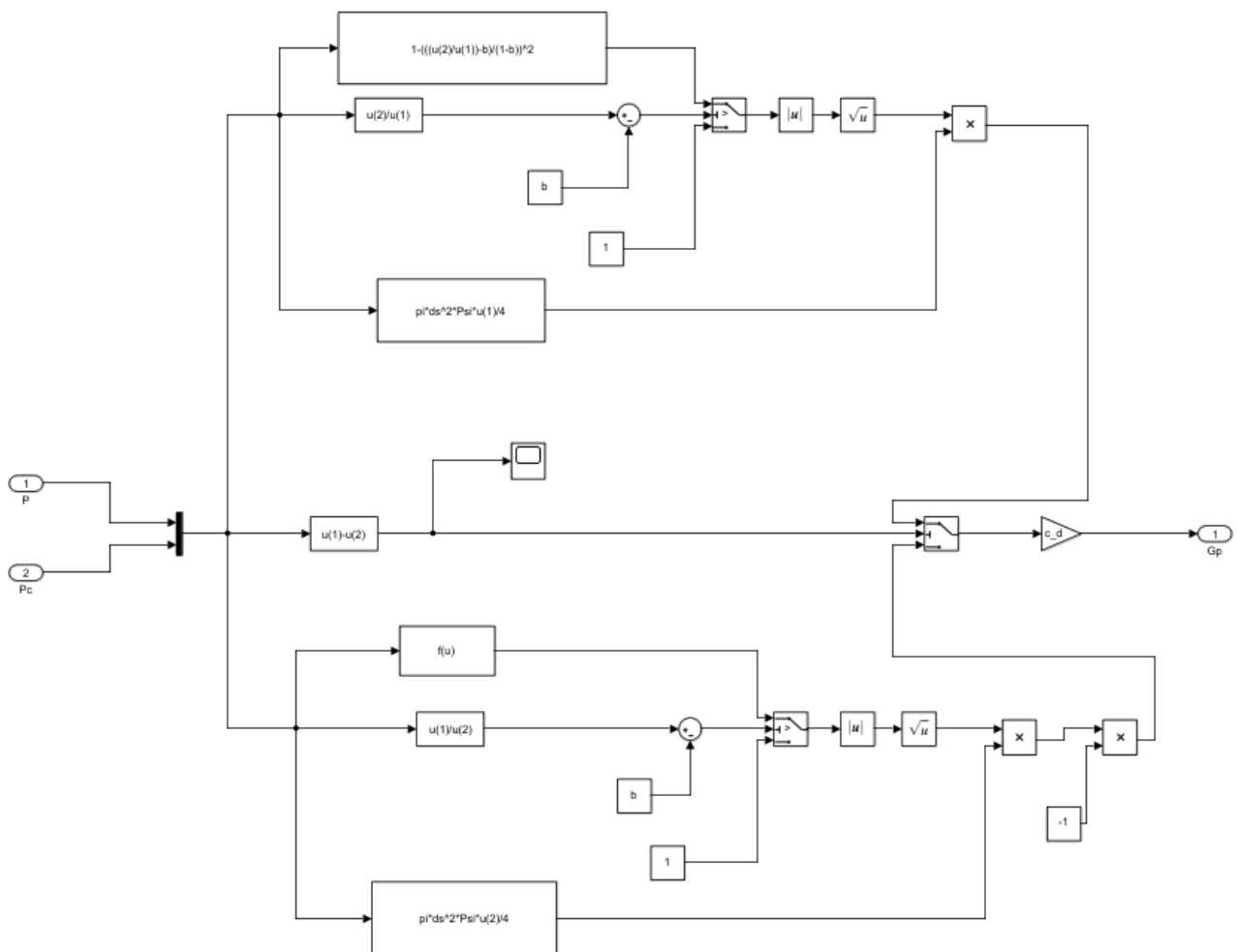


Figura 5.2.4: Blocco Simulink relativo alla resistenza pneumatica del foro di scarico del pattino

5.2.3 Capacità pneumatica variabile del meato d'aria

Rispetto alla capacità della camera interna del pattino, in questo caso si deve tenere conto che il meato d'aria sottostante il pattino non è un volume costante ma varia a seconda dello spessore del meato d'aria stesso. Difatti il volume da considerarsi sotto il pattino è delineato dalla superficie della base del cuscinetto e dallo spessore del meato.

$$V = L_1 L_2 h$$

Dove L_1 e L_2 sono rispettivamente la lunghezza e la larghezza del pattino pneumostatico e h è lo spessore variabile del meato d'aria.

Dai disegni tecnici ricavati dal catalogo del pattino si sa che la lunghezza L_1 è pari a 75 mm, mentre la larghezza L_2 è pari a 50 mm.

Come è stato già specificato, nella definizione di capacità pneumatica si deve utilizzare il valore di pressione media che si ha all'interno del volume. Dunque in questo caso particolare, la pressione media, indicata poi con P_m , dovrà essere diversa dalla pressione che si ha al centro del pattino. Per ricavare la pressione media necessaria si deve considerare una distribuzione piramidale delle pressioni per tutta la superficie inferiore del cuscinetto. La distribuzione piramidale delle pressioni dipende direttamente dalla forma rettangolare della superficie inferiore

Il calcolo della pressione media per questo tipo di distribuzione è il seguente:

$$P_m = \frac{P_c - P_{amb}}{3} + P_{amb}$$

In cui la variabile P_c rappresenta la pressione massima al centro del pattino.

Come nel caso della capacità della camera interna, si può considerare il processo isoterma con il valore unitario dell'esponente della politropica.

Dunque la relazione che si ottiene per il calcolo della capacità variabile del meato d'aria è la seguente:

$$C = \frac{P_m}{RT} L_1 L_2 \frac{dh}{dt} \frac{dt}{dP} + L_1 L_2 \frac{h}{RT}$$

Tuttavia se i test effettuati sul sistema in anello aperto si considerano quasi statici, come è avvenuto per il modello della sola valvola proporzionale, il termine dipendente dal tempo della relazione della capacità variabile è nullo. Quindi la capacità dipenderà solamente dal termine variabile dello spessore del meato d'aria h e la relazione diviene la stessa utilizzata per il modello della capacità della camera interna al pattino.

Anche il modello relativo alla capacità pneumatica del meato sarà simile a quello della camera interna con l'unica differenza che il volume dipenderà direttamente dallo spessore del cuscinetto d'aria.

Si presenta il blocco Simulink relativo nella figura 5.2.5:

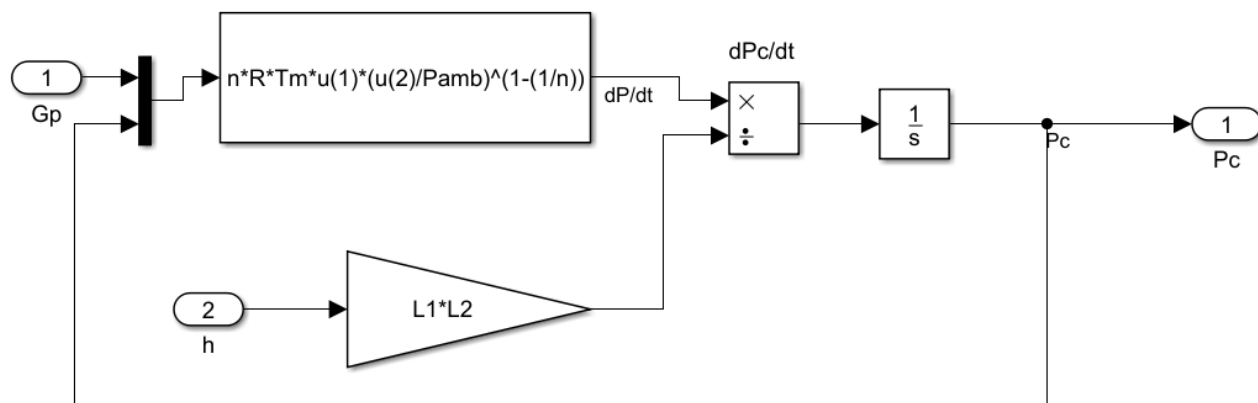


Figura 5.2.5: Blocco Simulink relativo alla capacità pneumatica variabile del meato d'aria

5.2.4 Resistenza pneumatica variabile del meato d'aria

Anche la resistenza relativa al meato d'aria varia a seconda di quanto il pattino sia sollevato rispetto alla superficie del banco di prova. Infatti il flusso d'aria troverà più resistenza al diminuire dello spessore del cuscinetto d'aria sotto al pattino. La portata in uscita verso l'ambiente esterno dipenderà di nuovo solamente dal variare della quantità h come nel caso della capacità appena introdotta.

Per il calcolo della portata è necessario prima ricavare la pressione massima assoluta che si ha al centro del pattino. Se si riprende la relazione usata per il calcolo della pressione media, data da una distribuzione piramidale con valore massimo al centro e minimo ai lati, una volta invertita, si ottiene la pressione massima al centro del pattino.

$$P_c = 3P_m - 2P_{amb}$$

La relazione utilizzata per la portata d'aria in uscita dal meato sottostante il pattino è la seguente:

$$G_{out} = c_h h^3 (P_c^2 - P_{amb}^2)$$

In cui si riscontrano:

- G_{out} portata d'aria in uscita dal meato [kg/s];
- c_h coefficiente relativo al pattino pari a 0.8 s/m²;
- h spessore del meato d'aria [m]
- P_{amb} pressione assoluta ambientale [Pa];
- P_c pressione assoluta al centro del pattino [Pa].

Di seguito in figura 5.2.6 si presenta il blocco Simulink relativo alla resistenza pneumatica del meato d'aria.

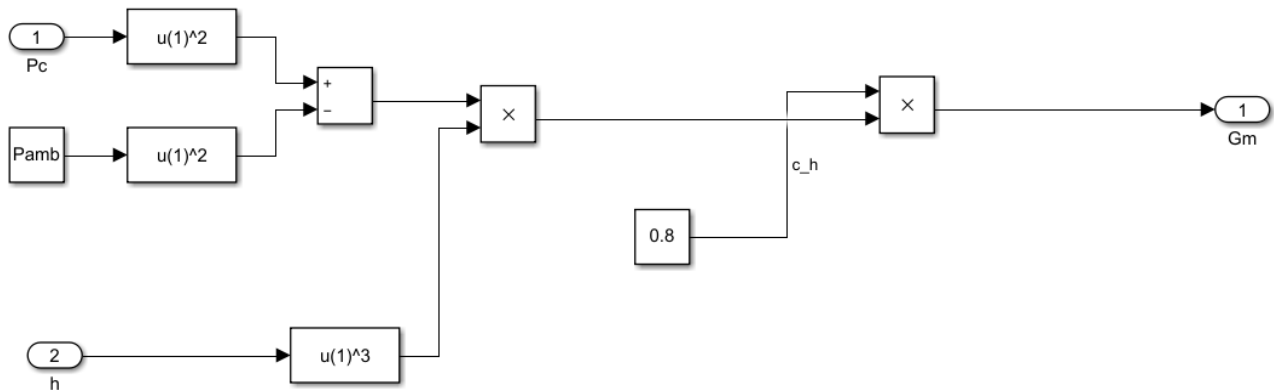


Figura 5.2.6: Blocco Simulink relativo alla resistenza pneumatica variabile del meato d'aria

5.2.5 Calcolo della forza applicata al pattino

L'ultimo sottosistema necessario per simulare il comportamento del sistema in anello aperto è quello relativo al calcolo del carico applicato al centro del pattino.

Se per i test sperimentali si applica in entrata una variazione di forza tramite la vite posta sopra al banco di prova e si ottiene in uscita un sollevamento del pattino tradotto in spessore del meato d'aria sottostante, nella simulazione avviene la cosa opposta. Infatti come variabile in entrata si pone h , lo spessore del meato, e si calcola in uscita il risultato di forza minima che sarebbe necessaria per quel determinato sollevamento del pattino. Questo procedimento inverso si può rivelare utile in quanto è possibile controllare se i risultati sperimentali e quelli calcolati sono compatibili pur avendo in ingresso variabili differenti.

La relazione per il calcolo della forza applicata è la seguente:

$$F = (P_c - P_{amb}) \frac{L_1 L_2}{3}$$

Il carico dipende in questo caso dalla pressione relativa in una distribuzione piramidale presente sotto al pattino.

Si presenta il modello relativo all'ultimo sottosistema nella figura 5.2.7.

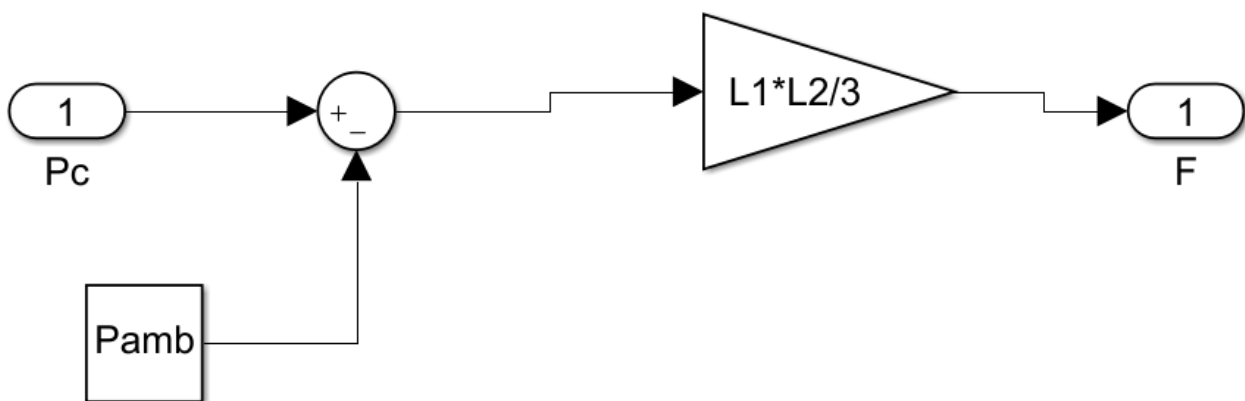


Figura 5.2.7: Blocco Simulink relativo al calcolo della forza applicata al centro della superficie superiore del pattino

5.2.6 Modello matematico complessivo

Fino ad ora si sono introdotti tutti i sottosistemi necessari per comporre il modello in anello aperto. Questo modello è assemblato a partire dalla valvola proporzionale collegata al pattino composto dalle quattro capacità e resistenze pneumatiche, fino ad arrivare al calcolo del carico applicato. Qui di seguito in figura 5.2.8 si presenta il modello Simulink dell'intero anello aperto. Osservandolo è facile individuare la somiglianza con l'equivalente pneumatico della valvola e del pattino pneumostatico. Successivamente si presenteranno i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni affiancate dalle curve ricavate sperimentalmente.

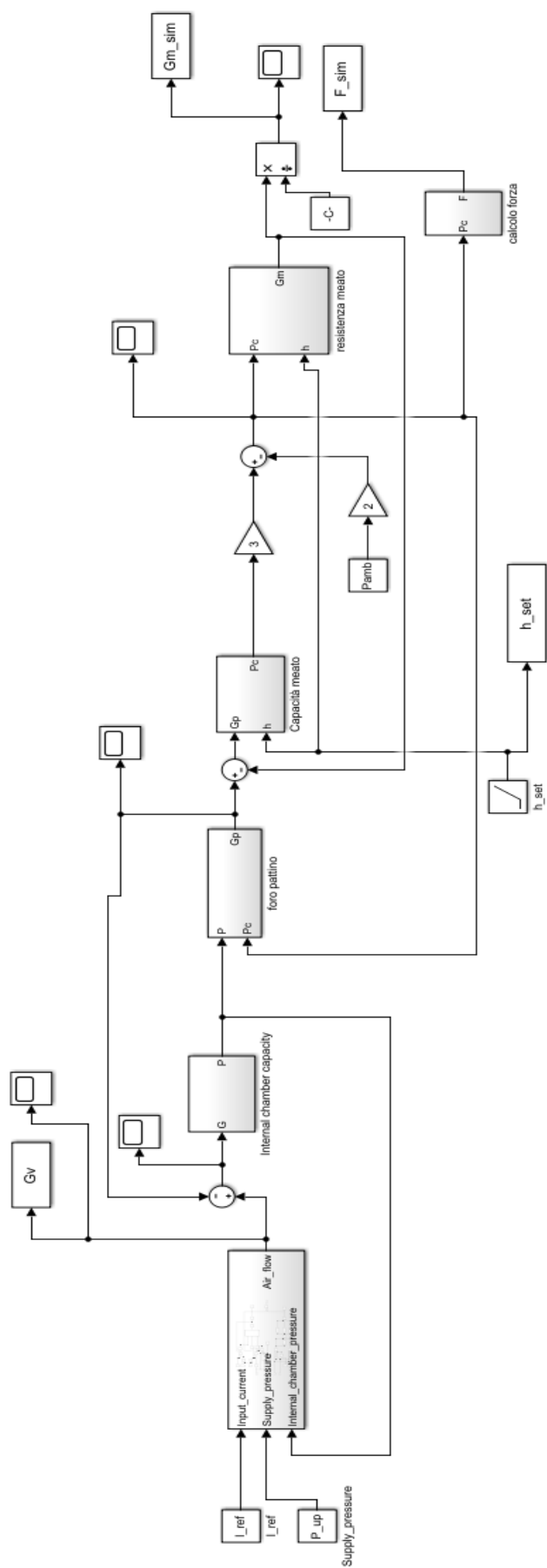


Figura 5.2.8: Modello Simulink complessivo relativo all'anello aperto

Si può notare che gli input al primo blocco relativo alla valvola proporzionale sono la corrente di eccitazione della bobina e le pressioni di monte e di valle alla valvola. La valvola stessa, se si considera l'equivalente pneumatico del pattino, funge da alimentazione P_s , mentre i quattro blocchi successivi rappresentano proprio le capacità e le resistenze in cui è stato suddiviso il cuscinetto. L'ultimo input è quello relativo allo spessore del meato d'aria al di sotto del pattino, usato al posto del carico applicato durante le prove sperimentali effettuate sul banco.

Il modello a blocchi di Simulink relativo alla simulazione dell'anello aperto fa riferimento, come per il caso della valvola smontata dal pattino, a uno script di Matlab in cui sono specificate le variabili utilizzate. In figura 5.2.9 si riporta un estratto del codice utilizzato per comprendere al meglio il modello matematico.

```

4- t_sim = 10; %tempo di simulazione
5- t_step = 0.001; %intervallo di tempo simulazione
6- %Input
7- I_ref = 85; %corrente in input di riferimento [mA]
8- P_up = 6*10^5; %pressione di alimentazione assoluta [Pa]
9- Pamb = 1*10^5; %pressione ambiente assoluta [Pa]
10- b = 0.528; %rapporto critico
11- omega_n = 35*2*pi; %[rad/s]
12- zita = 0.2;
13- %h_Set = 7*10^-6; %meato set [m] per anello_aperto con h costante
14- h0=0.3*10^-6; %meato iniziale per rampa per anello_aperto con h variabile [m]
15- h_slope=((22*10^-6)-h0)/t_sim; %pendenza rampa per anello_aperto con h variabile
16- c_d = 0.85; %coefficiente di flusso
17- L1 = 0.075; %lunghezza pattino [m]
18- L2 = 0.050; %larghezza pattino [m]
19- ds = 0.268*10^-3; %diametro foro pattino [m]
20- Psi = 0.685/(sqrt(287*298)); %costante psi
21- n = 1; %esponente politropica
22- R = 287; %costante gas ideale [J/kgK]
23- Volume = 739.2*10^-9; %volume camera interna [m^3]
24- Ti = 288; %temperatura ambiente [K]
25- Tm = 293; %temperatura meato [K]
26- %Calcolo della conduttanza a 5 bar al variare della corrente di input alla
27- %valvola
28- conductance_values5 = [0 0 3.2 3.75 4 4]*(0.00002153)/(6*10^5); %valori ricavati dalla caratteristica con isteresi della valvola senza pattino [kg/
29- current_values5 = [0 41 65 70 75 85]; %[mA]

```

Figura 5.2.9: Script di Matlab relativo al modello matematico di anello aperto

Si nota subito che lo script mostrato è molto simile a quello utilizzato per la simulazione della portata d'aria attraverso la valvola smontata dal pattino. Infatti esso contiene i parametri dinamici della valvola, i valori del tempo di simulazione, dell'intervallo di integrazione, delle pressioni a monte e a valle e delle grandezze geometriche del pattino. A differenza di prima la corrente di riferimento, come segnale di ingresso al modello, ha ottenuto un valore costante in quanto, come accade nelle prove sperimentali, deve simulare un comando di apertura della valvola fissato al 100%, 75% o 50% alle diverse pressioni di alimentazione.

Un nuovo ingresso al modello matematico è il valore variabile di spessore del meato d'aria. Come è stato spiegato in precedenza, per la simulazione delle prove in anello aperto si pone come terzo ingresso la variabile h relativa al meato d'aria e si valuta in uscita la forza applicata al pattino.

Il valore di carico ottenuto in uscita è inteso come la forza necessaria al centro del cuscinetto per ottenere lo spostamento verticale del pattino dato in ingresso.

Come per il modello del calcolo di portata della valvola smontata dal pattino sono stati inseriti anche i vettori nominati `conductance_values` e `current_values` che esprimono i valori sperimentali relativi alla conduttanza e alla corrente di eccitazione delle prove sperimentali. Come in precedenza, questi valori sono utilizzati all'interno della look-up table in una funzione lineare a tratti per ricavare i valori numerici di conduttanza nel sottoinsieme relativo alla valvola proporzionale.

Come avviene per i test sperimentali molto lenti anche la simulazione dell'anello aperto è intesa quasi statica.

Di seguito verranno presentati i grafici relativi al confronto tra le curve ottenute sperimentalmente e quelle simulate nell'anello aperto. Tale confronto viene svolto per gli andamenti meato-forza applicata e meato-portata consumata ricavati alle tre diverse aperture della valvola a 5 bar e 7 bar

relativi. Inizialmente si mostrano le curve di forza poiché più significative e importanti per la simulazione in quanto vengono utilizzati due ingressi o disturbi differenti al sistema nelle prove sperimentali e in quelle simulate (forza per lo sperimentale e spessore del meato per il modello). Se in questo modo si ottengono andamenti simili risulta che il modello matematico utilizzato è adeguato alle prove sperimentali.

In tutti i grafici di confronto viene escluso lo spessore piccolo del meato d'aria, compreso tra 0 e 4 μm , poiché la simulazione in tale intervallo può dare errori significativi o essere priva di significato. Si presentano i grafici delle prove di carico svolte a 5 bar relativi seguiti da quelli ottenuti a 7 bar relativi alle aperture di valvola del 100%, 75% e 50%.

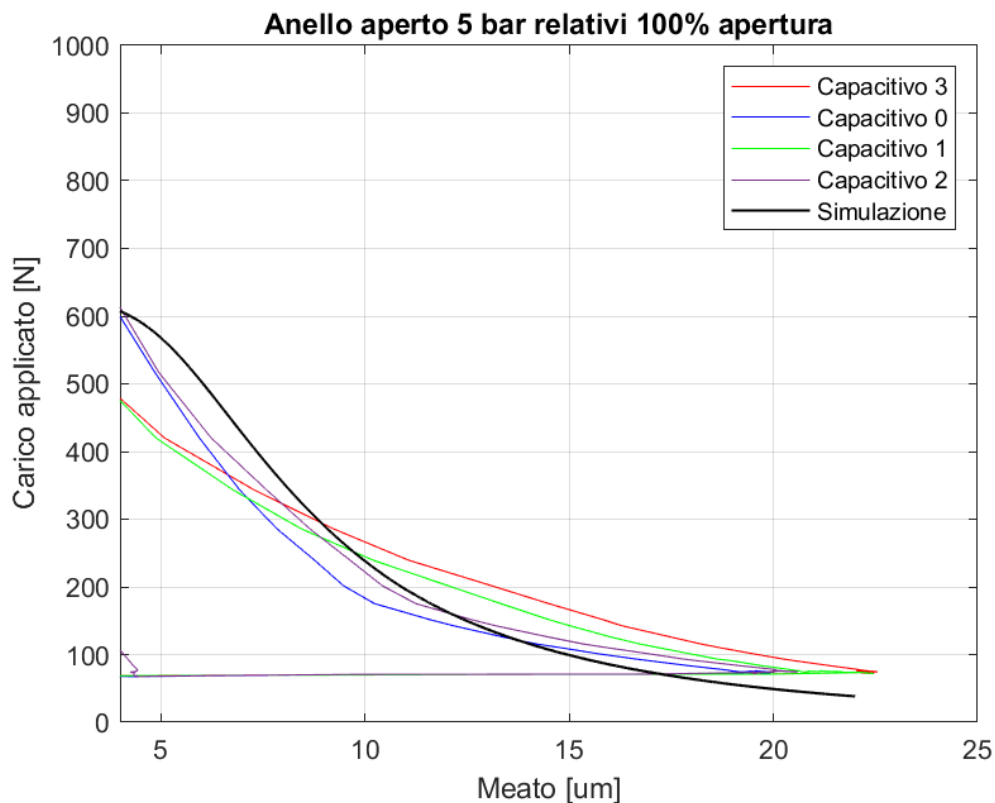


Figura 5.2.10: Confronto andamenti sperimentali e simulati di carico applicato in funzione del meato a 5 bar relativi e 100% apertura

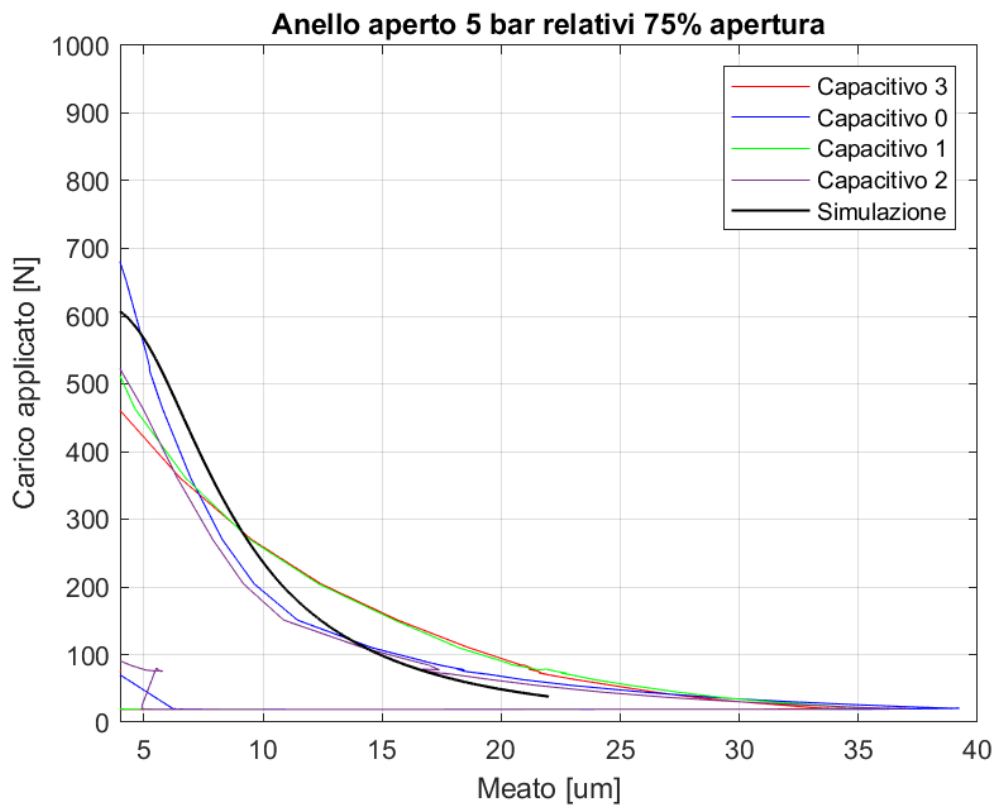


Figura 5.2.11: Confronto andamenti sperimentali e simulati di carico applicato in funzione del meato a 5 bar relativi e 75% apertura

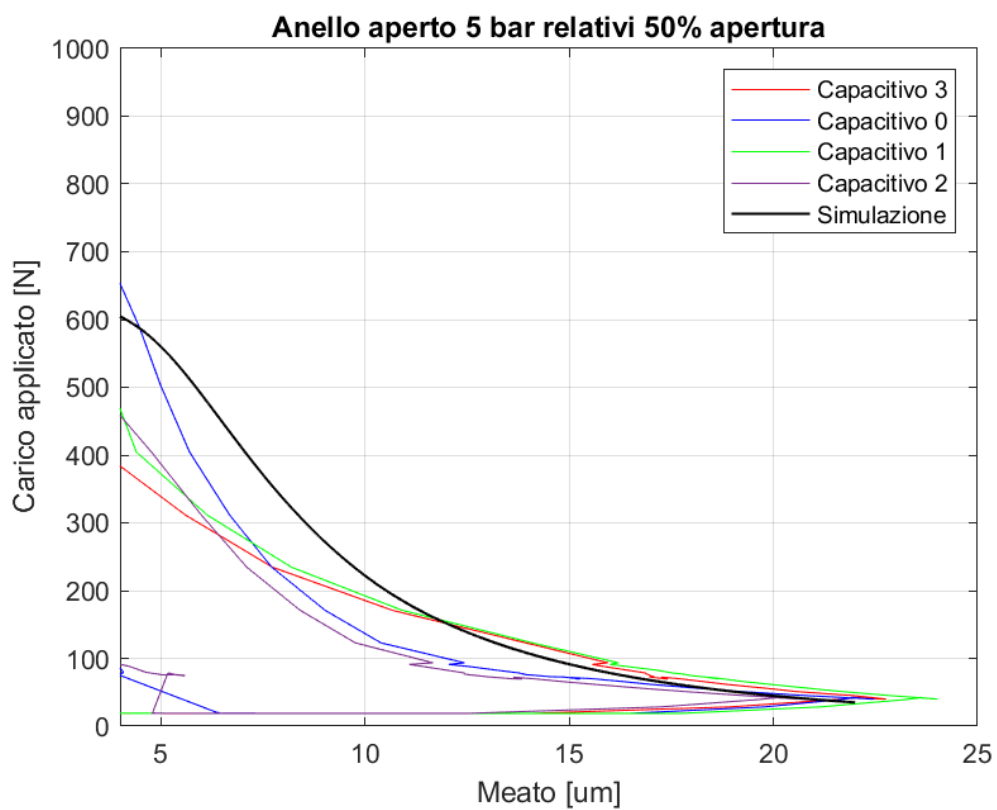


Figura 5.2.12: Confronto andamenti sperimentali e simulati di carico applicato in funzione del meato a 5 bar relativi e 50% apertura

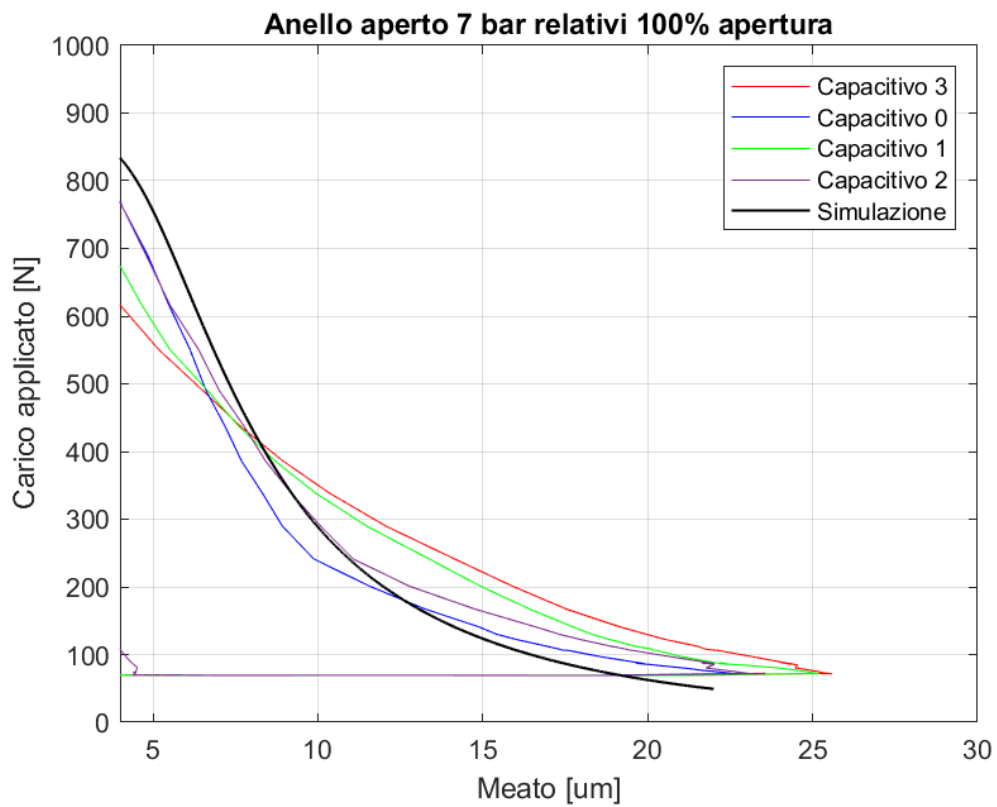


Figura 5.2.13: Confronto andamenti sperimentali e simulati di carico applicato in funzione del meato a 7 bar relativi e 100% apertura

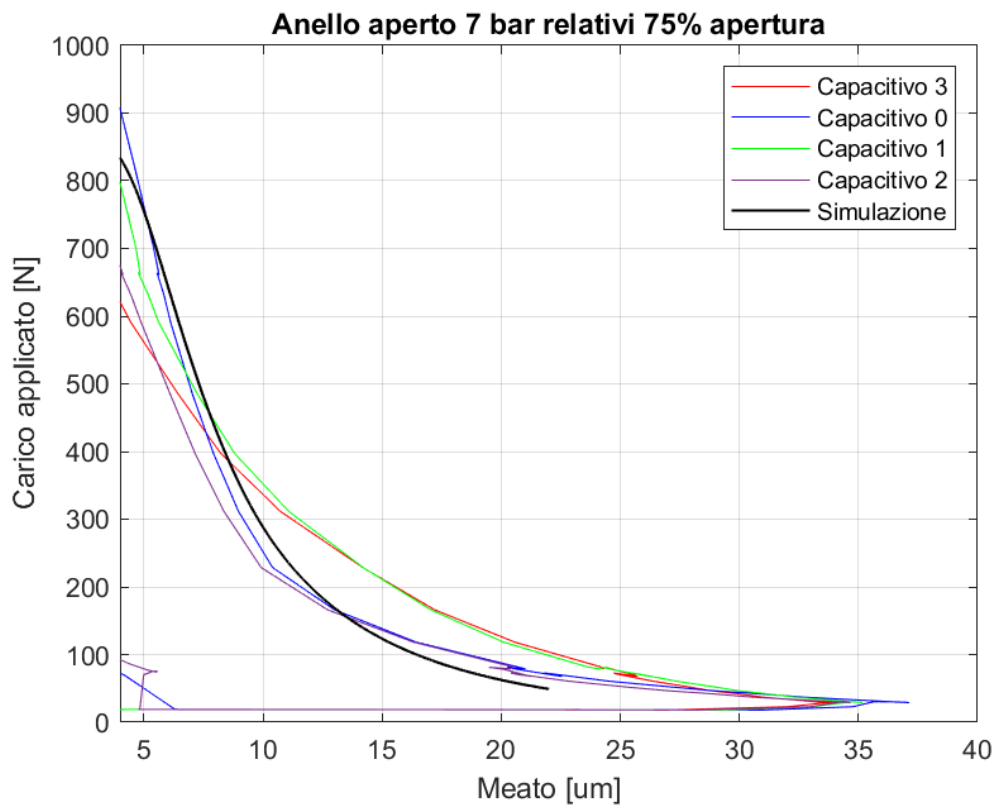


Figura 5.2.14: Confronto andamenti sperimentali e simulati di carico applicato in funzione del meato a 7 bar relativi e 75% apertura

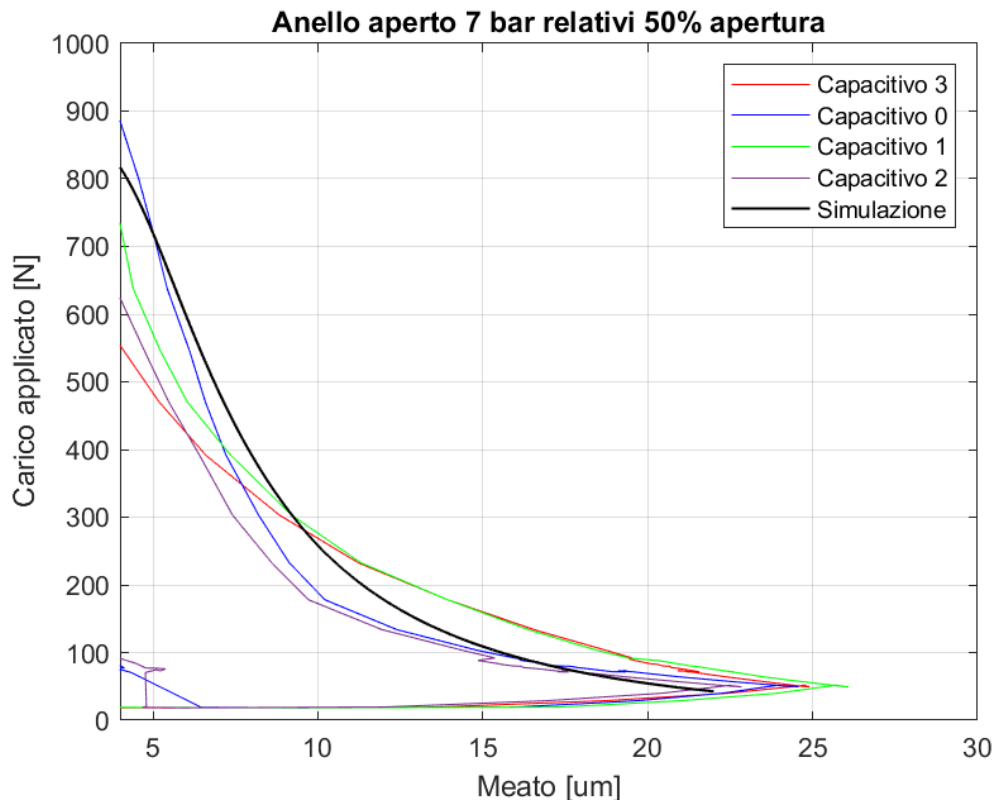


Figura 5.2.15: Confronto andamenti sperimentali e simulati di carico applicato in funzione del meato a 7 bar relativi e 50% apertura

Dai grafici qui sopra si può osservare che dal punto di partenza fissato a 4 μm di spessore del meato d'aria sotto al pattino, la curva ottenuta dalla simulazione del modello di anello aperto segue correttamente gli andamenti sperimentali. In quasi tutti i casi analizzati la curva numerica ha la tendenza a ricopiare la funzione descritta dalla coppia di sensori capacitivi di sinistra formata da Capacitivo 2 e Capacitivo 0.

Si può dunque affermare che il modello a blocchi è adeguato rispetto ai risultati sperimentali ottenuti e che i valori dati alle variabili utilizzate sono validi anche se migliorabili.

Gli stessi variabili e modello sono usati per ricavare gli andamenti numerici per il confronto con la portata sperimentale.

Si premette che è utile osservare il confronto della portata in funzione dello spessore del meato nell'intervallo di funzionamento normale del pattino poiché è possibile che per meati grandi il modello numerico non tenga conto di possibili perdite d'aria tra valvola e pattino. Per rendere migliore il raffronto si possono inserire e simulare tali irregolarità.

Si presentano i grafici delle prove di portata svolte a 5 bar relativi seguiti da quelli ottenuti a 7 bar relativi alle aperture di valvola del 100%, 75% e 50%.

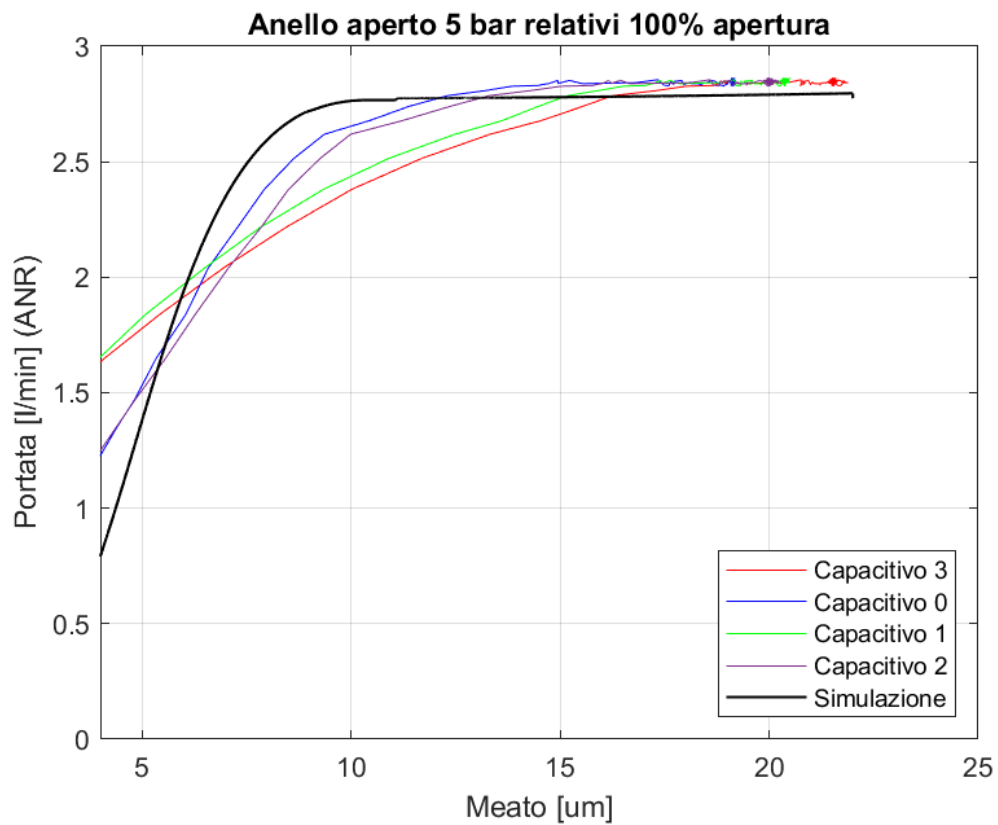


Figura 5.2.16: Confronto andamenti sperimentali e simulati di portata consumata in funzione del meato a 5 bar relativi e 100% apertura

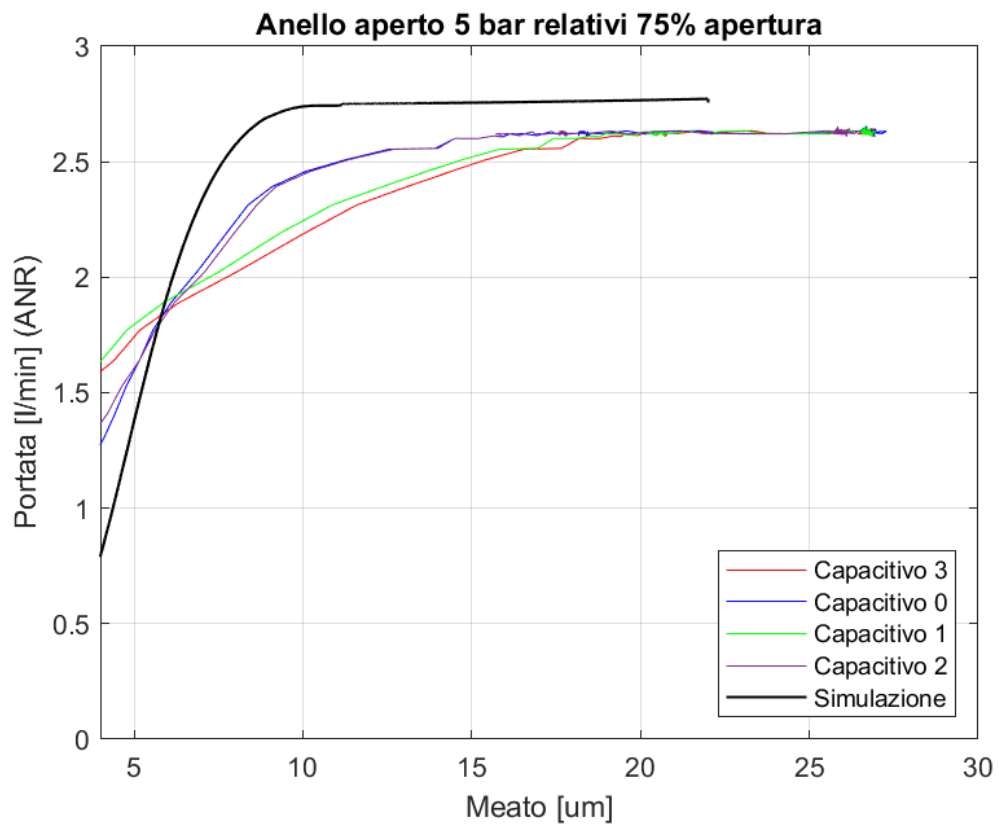


Figura 5.2.17: Confronto andamenti sperimentali e simulati di portata consumata in funzione del meato a 5 bar relativi e 75% apertura

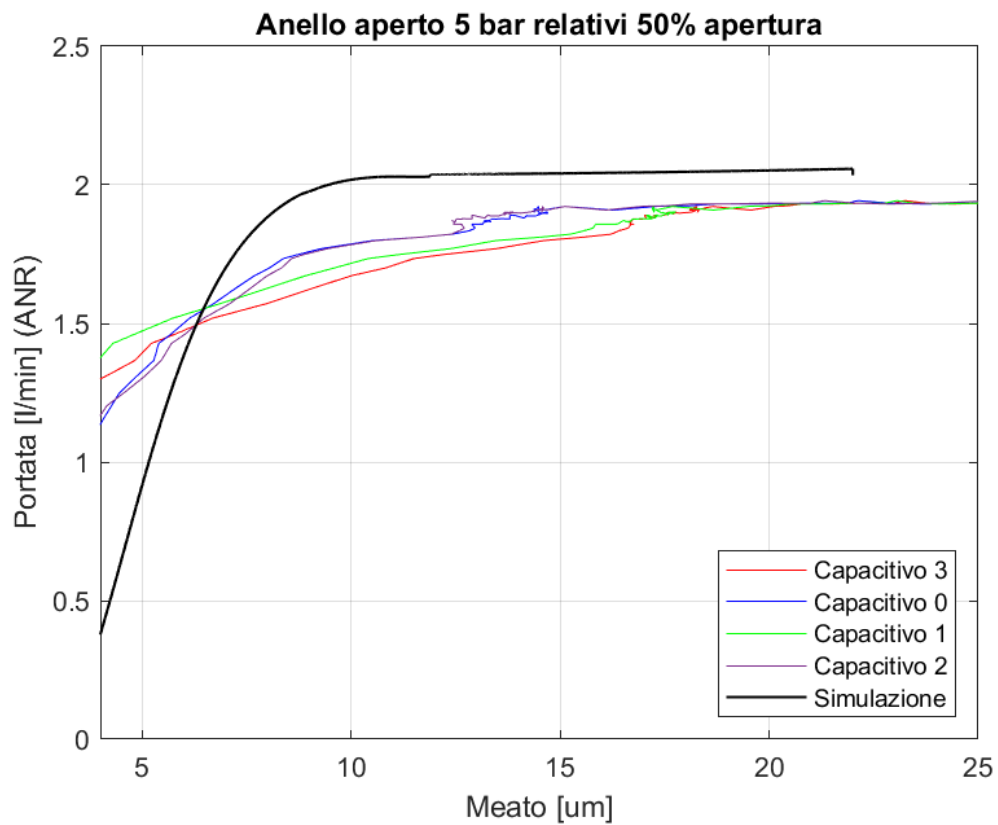


Figura 5.2.18: Confronto andamenti sperimentali e simulati di portata consumata in funzione del meato a 5 bar relativi e 50% apertura

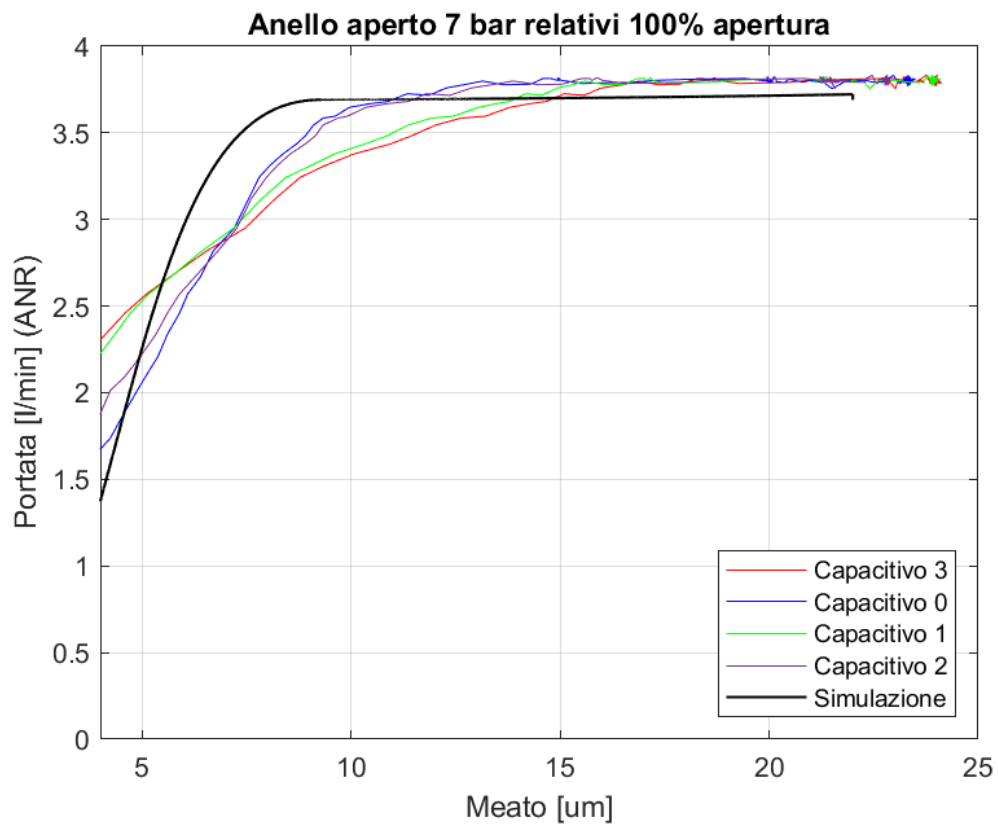


Figura 5.2.19: Confronto andamenti sperimentali e simulati di portata consumata in funzione del meato a 7 bar relativi e 100% apertura

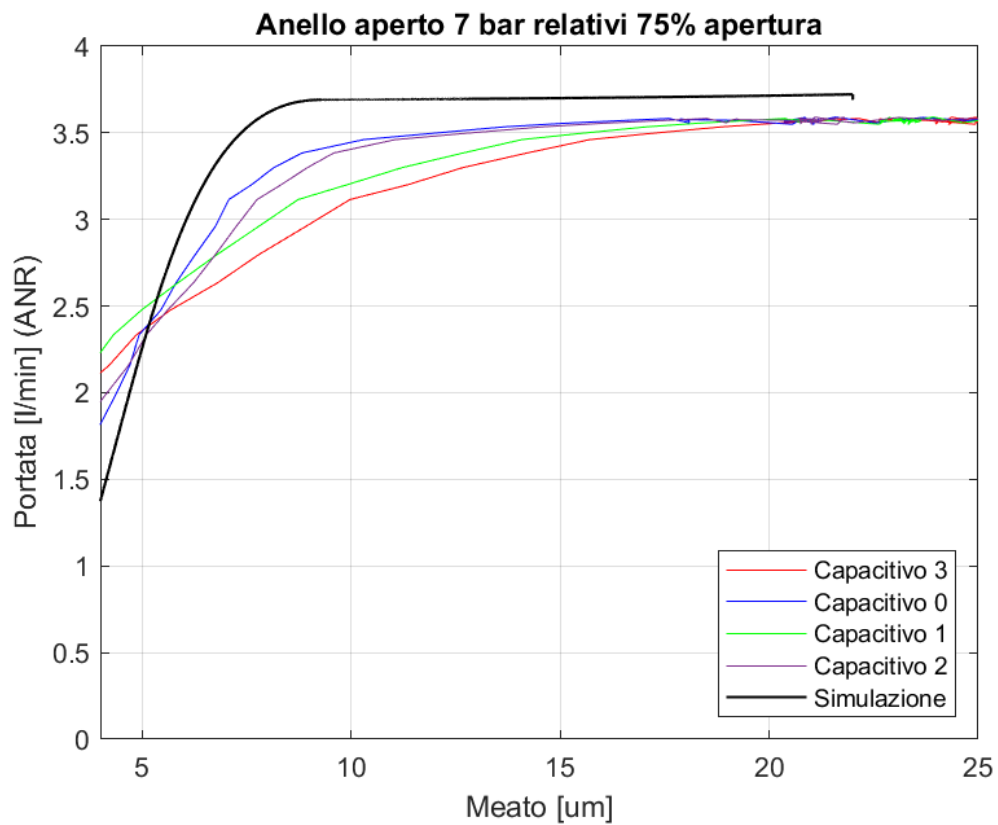


Figura 5.2.20: Confronto andamenti sperimentali e simulati di portata consumata in funzione del meato a 7 bar relativi e 75% apertura

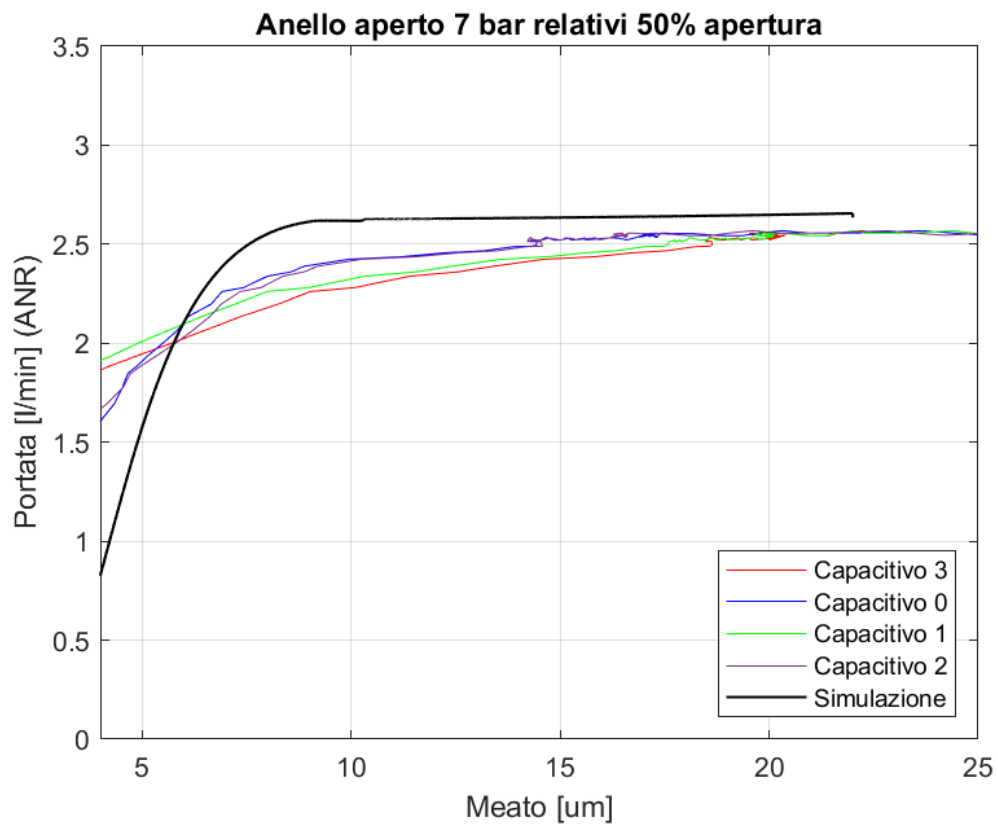


Figura 5.2.21: Confronto andamenti sperimentali e simulati di portata consumata in funzione del meato a 7 bar relativi e 50% apertura

I grafici di portata in funzione dello spessore del meato d'aria, in modo simile a quelli relativi al carico applicato al pattino, mostrano che la curva numerica, ottenuta dal modello di anello aperto, segue gli andamenti sperimentali. Come per i grafici di carico, questi ultimi hanno la tendenza di ripercorrere i dati sperimentali relativi alla coppia di sinistra dei sensori capacitivi, formata da Capacitivo 0 e Capacitivo 2.

Tuttavia si osserva e si comprende che l'andamento numerico non ricopia molto fedelmente quelli sperimentali soprattutto per meati grandi come è successo nel caso della forza applicata. Infatti si ottengono risultati che sottostimano, nel caso del 100% di apertura della valvola, e che sovrastimano, nei restanti casi, la portata massima in uscita dal pattino. Come accennato prima ciò può essere causato dal fatto che nel modello di anello aperto, seppur adeguato ai dati di carico, non si è tenuto conto del possibile maggior effetto ad aperture parziali della valvola di eventuali perdite che si possono formare nel collegamento tra pattino e blocchetti di interfaccia.

Nell'intervallo di meato relativo al funzionamento autonomo si ha che la curva numerica incrocia quelle sperimentali nel punto in cui si inverte l'inclinazione del pattino causata dal tilting.

Dopo aver trattato dei risultati ottenuti nella simulazione si vuole riportare nella tabella 5.2.1 i nomi e i valori delle variabili utilizzate per rendere quanto più fedele il modello matematico di anello aperto rispetto ai dati sperimentali. Le variabili e costanti che saranno di seguito riportate fanno riferimento a quelle relative alla geometria e dinamicità del sistema e al tipo di trasformazioni ipotizzate repute costanti al variare della corrente di comando e della pressione di alimentazione.

Nome	Simbolo	Valore e unità di misura
Rapporto critico	b	0.528
Frequenza naturale	ω_n	70π rad/s
Zita	ζ	0.2
Coefficiente di efflusso	C_d	0.85
Lunghezza pattino	L_1	0.075 m
Larghezza pattino	L_2	0.050 m
Diametro foro di scarico	d_s	$0.268 * 10^{-3}$ m
Volume camera interna	V	$739.2 * 10^{-9}$ m ³
Esponente politropica	n	1
Costante dei gas ideali	R	287 J/kgK
Temperatura ambiente	T_i	288 K
Temperatura del meato	T_m	293 K
Costante ψ	ψ	$0.685/\sqrt{RT_i}$
Coefficiente del pattino	C_h	0.8 s/m ²
Rapporto tra pressioni sotto al pattino	P_m/P_c	1/3

Tabella 5.2.1: Variabili e costanti utilizzate nel modello matematico

I valori riportati sono stati utilizzati per tutte le simulazioni effettuate sia per l'anello aperto che per lo studio della valvola smontata dal pattino. Per ottenere i risultati mostrati l'utilizzo della giusta combinazione di valori è fondamentale. Tale combinazione è stata raggiunta partendo da valori teorici e sperimentali che sono stati via via modificati per rendere il modello più vicino alla realtà. Un esempio è il diametro del foro di scarico del pattino il cui valore reale è pari a 0.25 mm mentre quello utilizzato è pari a 0.268 mm per tenere conto di eventuali perdite.

Altri valori di partenza sono stati mantenuti costanti, come ad esempio quello relativo al rapporto tra le pressioni sotto al pattino che fanno riferimento alla distribuzione di tipo piramidale.

In particolare le variabili relative alla distribuzione delle pressioni e al coefficiente del pattino C_h sono state modificate in diverse combinazioni per osservare come il modello matematico modificasse i risultati rispetto ai dati sperimentali. Tali variabili sono risultate le uniche da poter essere via via modificate per tentativi, insieme al valore del diametro del foro di scarico, in quanto fanno riferimento non a costanti ma a dati reali che possono mutare a seconda della particolare situazione.

Nelle successive figure 5.2.22 e 5.2.23 si nota che la combinazione migliore è quella utilizzata e riportata nella tabella precedente.

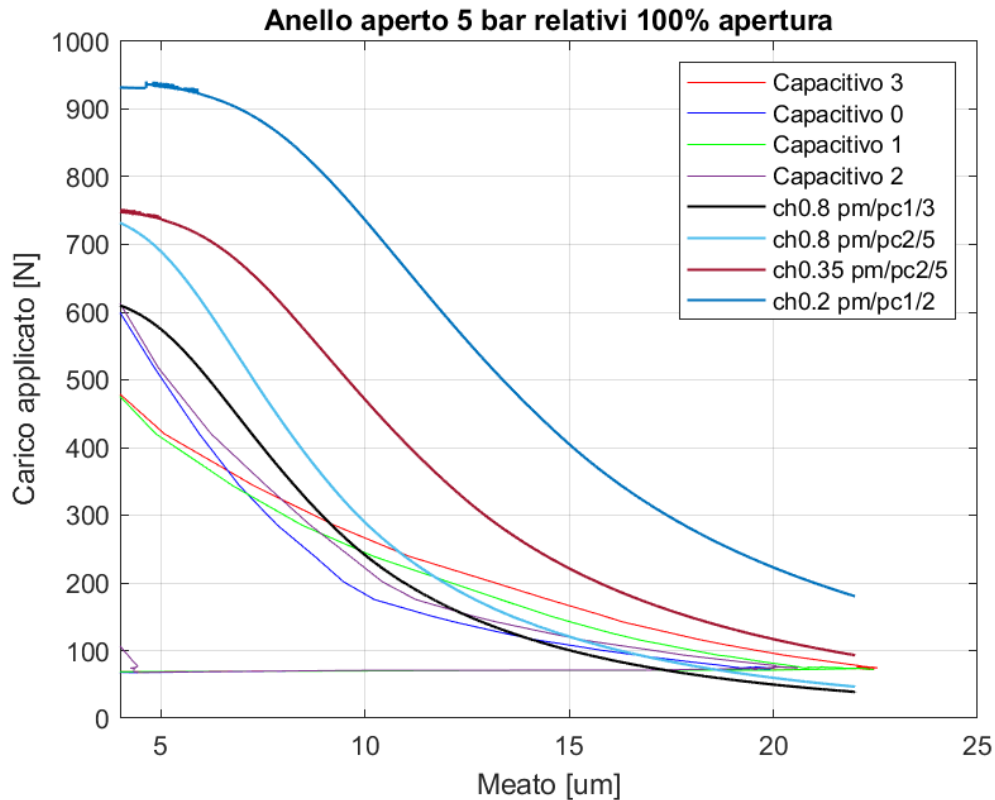


Figura 5.2.22: Confronto andamenti di forza in anello aperto con diversi valori di Ch e Pm/Pc a 5 bar relativi e 100% di apertura

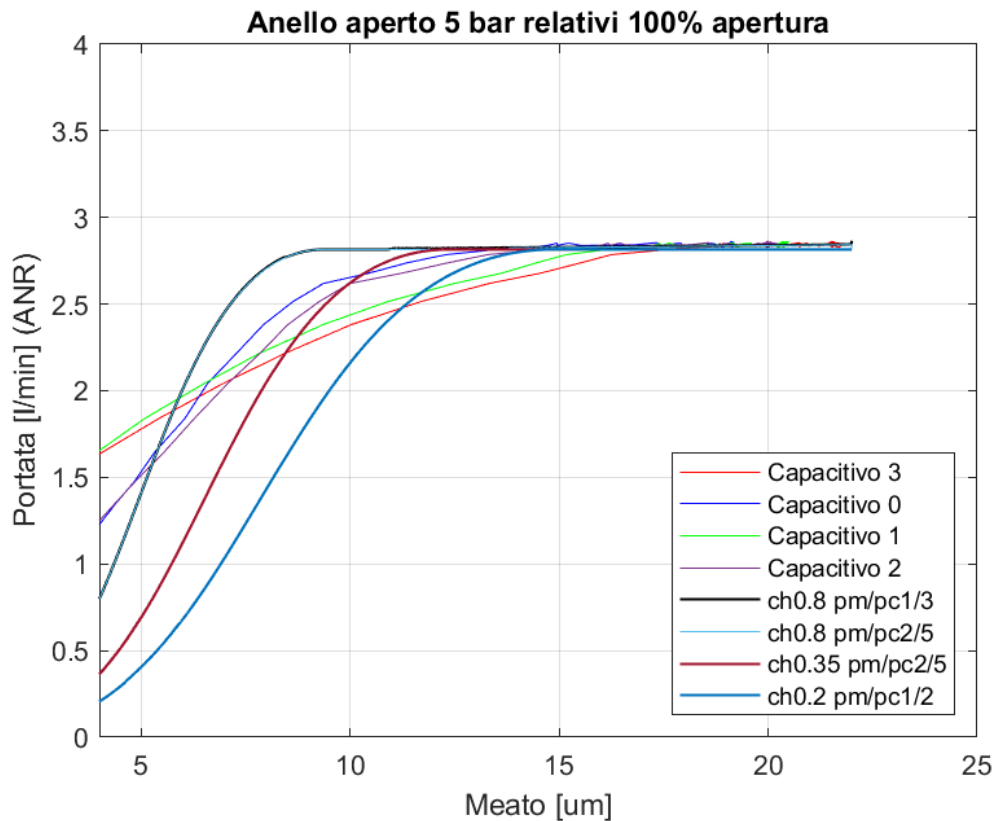


Figura 5.2.23: Confronto andamenti di portata in anello aperto con diversi valori di Ch e Pm/Pc a 5 bar relativi e 100% di apertura

La combinazione che rende il modello vicino al dato sperimentale è proprio quella data da $C_h = 0.8$ e da un rapporto tra pressioni di un $1/3$ relativo a una distribuzione al di sotto del pattino puramente piramidale. Al variare di questi valori il modello dà risultati troppo disuniformi. In particolare al diminuire del valore di C_h e all'aumentare del rapporto nel caso dei grafici di forza si ottiene a parità di meato un carico minimo applicato sempre più alto, mentre nel caso dei grafici di portata un flusso d'aria consumata sempre più basso.

Dati i valori utilizzati alla fine nel modello matematico si sono ottenuti i risultati migliori con un buon confronto tra la parte numerica e quella sperimentale soprattutto nell'intervallo di meato relativo al normale funzionamento in autonomia del pattino attivo compreso tra i $4 \mu m$ e i $20 \mu m$.

5.3 Modello matematico di anello chiuso

Il modello matematico di anello chiuso è sviluppato a partire da quello relativo all'anello aperto. Infatti molti blocchi vengono conservati come quello relativo alla valvola proporzionale e quelli relativi alle resistenze e alla capacità costante del pattino pneumostatico.

Tuttavia esistono differenze sostanziali rispetto all'anello aperto.

Il valore dello spessore del meato d'aria non è più un input ma diviene la retroazione da inviare, dopo il confronto con il SET, al controllore PID.

Il carico applicato non viene più ricavato dall'equazione di forza relativa al pattino ma diventa una funzione di varie forme in ingresso al modello, come avviene nelle prove sperimentali.

Come è stato scritto nel capitolo relativo alle prove sperimentali, l'anello chiuso presuppone test di tipo dinamico e non più statico come per l'anello aperto.

Dunque si devono immettere delle correzioni nelle equazioni della capacità pneumatica variabile del meato d'aria e dell'equilibrio di forza sul pattino.

5.3.1 Resistenza pneumatica variabile del meato d'aria

Nel modello matematico di anello aperto si era considerato un comportamento statico del sistema. In questo modo il termine della capacità del meato d'aria dipendente dal tempo era considerato nullo.

Ora ipotizzando un comportamento dinamico del sistema nella simulazione del controllo in anello chiuso, si considerano tutti i termini dell'equazione per il calcolo della capacità pneumatica. Nelle prove in anello chiuso lo spessore del meato d'aria h varia nel tempo.

L'equazione generale è la seguente, in cui il primo termine dipendente dal tempo non è nullo.

$$G = \frac{dP_m}{dt} \left(\frac{P_m}{RT} L_1 L_2 \frac{dh}{dt} \frac{dt}{dP_m} + L_1 L_2 \frac{h}{RT} \right)$$

Variando lo spessore del meato, varia di conseguenza la capacità relativa. L'equazione di prima può essere riscritta nel seguente modo.

$$\frac{dP_m}{dt} = G \frac{RT}{L_1 L_2 h} - \frac{P_m}{h} \frac{dh}{dt}$$

In base alla riscrittura dell'equazione della capacità pneumatica dipendente nel tempo usata nei test dinamici di anello chiuso, si ricomponi lo schema a blocchi del modello matematico con i software Simulink. Il modello è mostrato in figura 5.3.1.

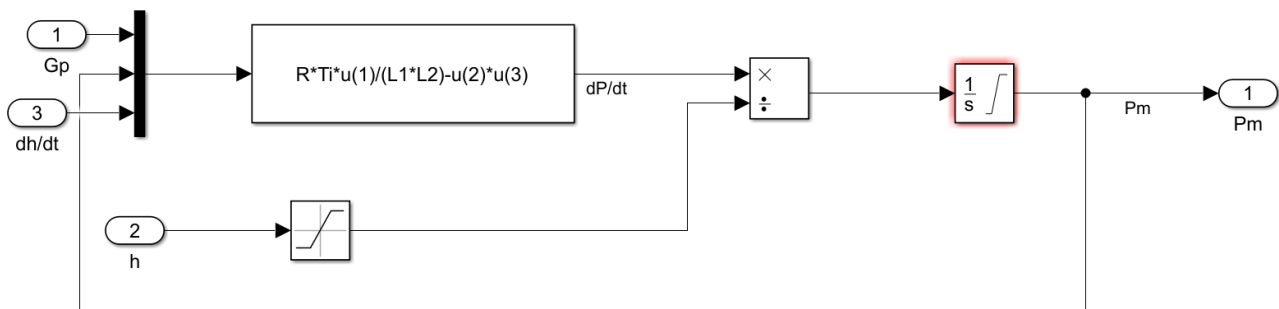


Figura 5.3.1: Blocco Simulink relativo alla capacità pneumatica variabile nel tempo del meato d'aria per l'anello chiuso

Il modello relativo alla capacità pneumatica variabile è molto simile a quello scritto per i test in anello aperto. Dato che lo spessore del meato d'aria varia è necessario inserire un blocco di saturazione per la variabile h affinché non si abbiano valori negativi. Infatti nella realtà il meato può essere al minimo nullo quando il pattino è appoggiato al piatto di acciaio posto sul banco.

5.3.2 Equilibrio verticale di forza sul pattino

La grande differenza che si riscontra tra i test statici e quelli dinamici è senz'altro l'equilibrio verticale di forza. Essendo una simulazione di prove sperimentali dinamiche, entrano in gioco accelerazioni verticali e forze che variano nel tempo.

L'importante funzione che ha il modello dell'equilibrio di forza è quello di ricavare dall'accelerazione verticale del pattino lo spessore del meato d'aria, ovvero la posizione del cuscinetto rispetto al piatto d'acciaio posto sul blocco di granito.

L'equazione dell'equilibrio verticale del pattino è la seguente.

$$(P_c - P_{amb})L_1L_2/3 - (F + mg) - \left(m + \frac{F}{g}\right)\ddot{h} = 0$$

Nella relazione si distinguono i tre termini principali dell'equilibrio verticale dinamico: la portanza del pattino che deriva dalla differenza di pressione del meato d'aria al di sotto di esso; la somma delle forze esterne, il carico applicato e il peso del pattino stesso; i termini di inerzia ottenuti dal prodotto con l'accelerazione verticale del pattino.

I singoli termini che compongono l'equazione sono:

- P_c pressione massima al centro dell'area del pattino;
- P_{amb} pressione dell'ambiente circostante;
- L_1 e L_2 lunghezza e larghezza della superficie inferiore del pattino;
- F carico esterno applicato sul pattino;
- m massa del pattino (circa 0.3 kg);
- g accelerazione di gravità;
- $\ddot{h}$ accelerazione verticale del pattino.

Il modello matematico a blocchi relativo al calcolo dell'accelerazione verticale del pattino è mostrato in figura 5.3.2.

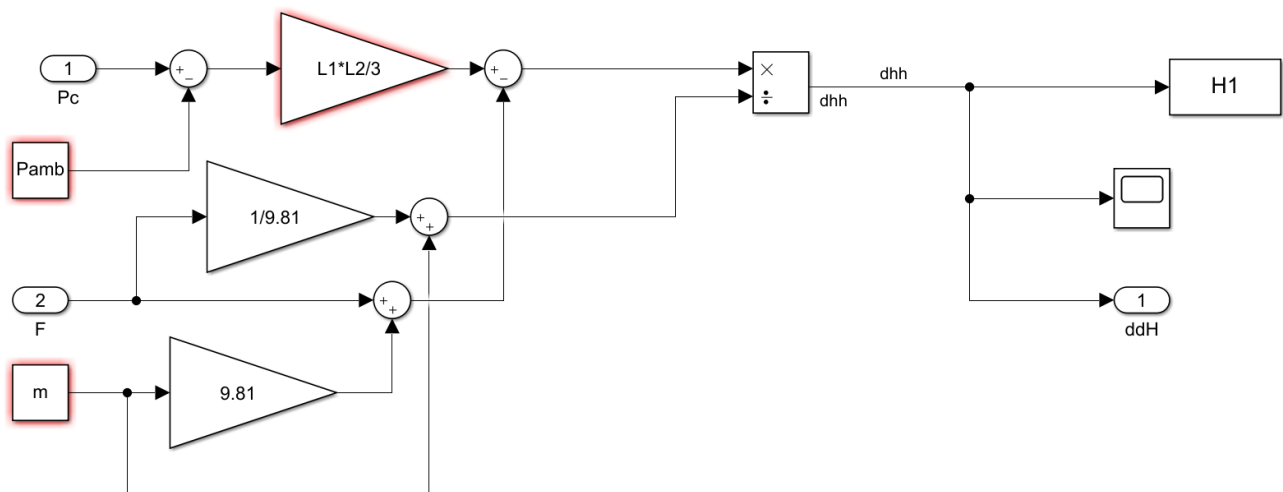


Figura 5.3.2: Blocco Simulink relativo al calcolo dell'accelerazione verticale del pattino per l'anello chiuso

Una volta apportate tutte le modifiche dovute dalla dinamicità del sistema, è possibile assemblare tutti i blocchi funzionali per ottenere l'intero modello matematico per la simulazione dell'anello chiuso.

Nella seguente figura 5.3.3 viene presentato il modello matematico di simulazione dell'anello chiuso. Esso è caratterizzato da due input principali, lo spessore del meato di SET, impostato dall'operatore, e una funzione di forza variabile da applicare nel blocco relativo all'equilibrio verticale del pattino. Input secondari sono la pressione di alimentazione dell'aria compressa e la pressione ambientale. Dall'equilibrio di forza si ricava l'accelerazione verticale del pattino, dalla quale, integrata due volte, si ottiene lo spessore del meato h . Il valore di posizione viene confrontato con l'input di SET e l'errore che deriva dal raffronto viene inviato al regolatore PID.

Il controllore PID viene tarato secondo i risultati ottenuti dalle prove sperimentali condotte sull'apposito banco di prova.

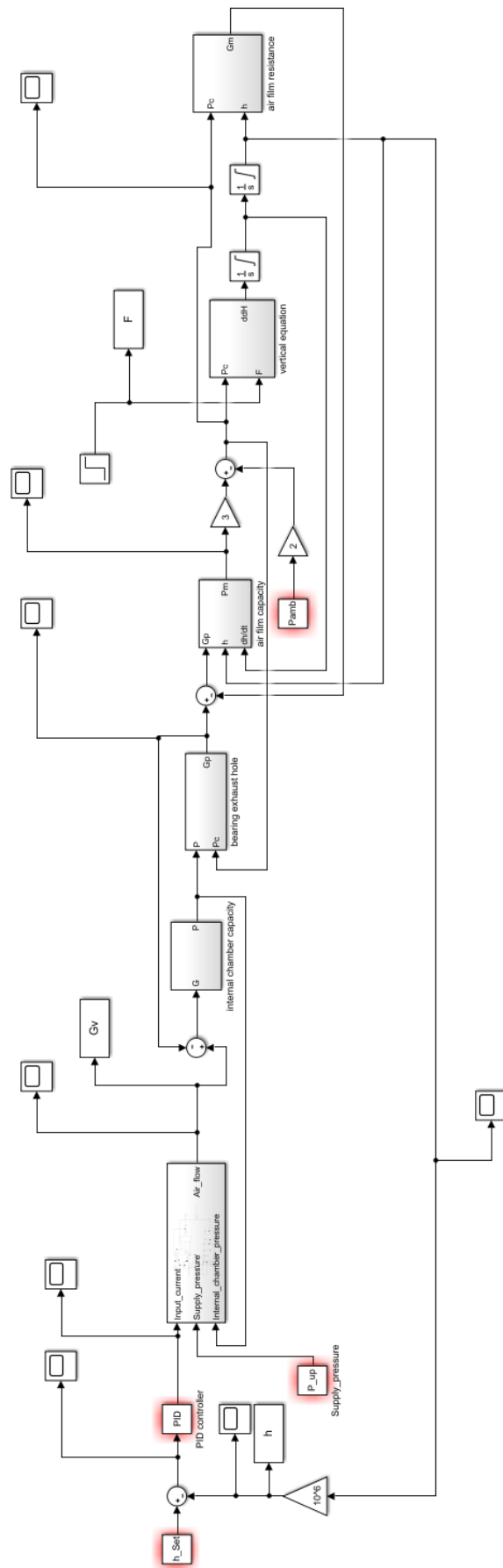


Figura 5.3.3: Modello Simulink complessivo relativo all'anello chiuso

Infine si può facilmente notare che i blocchi relativi alla valvola proporzionale e alle resistenze e capacità del pattino pneumostatico sono rimaste inalterate.

Il modello matematico di anello chiuso ha il compito di generare risultati del comportamento del sistema simili a quelli ottenuti dalle prove sperimentali. Così facendo, lo sviluppo di un codice di simulazione affidabile permetterà di velocizzare la sperimentazione di nuovi modelli di pattino e l'approvazione nuovi sistemi di controllo attivo.

Conclusioni e sviluppi futuri

Lo scopo del lavoro di tesi appena presentato è quello di sviluppare un sistema autonomo di pattino pneumostatico attivo che possa sopportare carichi variabili mantenendo il meato d'aria sottostante pressoché costante durante il suo funzionamento.

Per far ciò, inizialmente, si è dovuto studiare attentamente tutti gli elementi utilizzati come sensori, trasduttori, schede elettronica e di acquisizione, valvola pneumatica proporzionale e pattino pneumostatico passivo, e come essi potessero interagire insieme andando a completare un sistema funzionante.

Il primo passo per la creazione del pattino attivo è stato quello di progettare e creare un circuito ausiliario che funzionasse come una sorgente di corrente. È stato necessario in quanto la valvola pneumatica proporzionale, alimentata a una tensione costante di 24 V, ha bisogno di un segnale di corrente variabile per poter eccitare la bobina interna. Con l'eccitazione della bobina è possibile far muovere di una certa quantità, proporzionale al segnale di corrente, l'otturatore interno permettendo così il passaggio dell'aria compressa. Siccome dalla scheda elettronica di comando i segnali analogici in uscita sono in tensione, il circuito ha lo scopo di convertirli in analoghi segnali in corrente alimentando così la valvola. Prima di essere utilizzato è stato aggiornato con componenti elettronici di protezione (diodi e capacitori) ed è stato sottoposto a test da cui si è ricavata la caratteristica statica. Successivamente, completate le operazioni preliminari e collegati tutti i componenti necessari, si sono svolti test sperimentali sui trasduttori di pressione, sulla valvola e sul pattino attivo in anello aperto e in anello chiuso.

I primi due test hanno avuto lo scopo di determinare con precisione le caratteristiche e il corretto funzionamento dei componenti. In particolare per i trasduttori di pressione, importanti per il funzionamento autonomo del pattino, è stata svolta una taratura per verificarne il corretto funzionamento. Una volta montati in corrispondenza dei sensori a contropressione si è ricavata la caratteristica che lega lo spessore del meato con il segnale in tensione in uscita dai trasduttori.

Per quanto riguarda la valvola proporzionale i test sono stati effettuati per ricavare la caratteristica di funzionamento fissata e smontata dal pattino.

Tali prove hanno portato a risultati soddisfacenti in termini di corretto funzionamento e di prestazioni dei componenti.

I test in anello aperto svolti sul pattino attivo hanno lo scopo di analizzare la capacità portante e la quantità di aria compressa utilizzata a fronte di diversi carichi applicati e a diverse aperture della valvola. Queste prove hanno fatto chiarezza sulla capacità di risposta in termini di portanza reale del pattino utilizzato.

I test in anello chiuso, invece, sono stati svolti sul sistema completo per andare a studiare il comportamento del componente finale al variare del carico applicato.

Tuttavia le prove in anello chiuso non sono state soddisfacenti come ci si aspettava. Infatti il comportamento della valvola non era corretto in quanto, invece di registrare progressive e proporzionali aperture e chiusure dell'otturatore, si è osservato un funzionamento che ricordava quello digitale con repentine oscillazioni agli estremi del campo di variazione di portata consumata e di spessore di meato. La valvola, cioè, si chiude e si apre senza un posizionamento intermedio dell'otturatore e senza un apparente controllo del sistema in generale.

La colpa si può imputare alla scheda elettronica e al circuito ausiliario, troppo lenti a inviare i segnali corretti, ma soprattutto all'utilizzo del banco di prova errato che impone una posizione invece che un carico sul pattino.

Dunque in futuro si potrà affinare il comportamento dinamico andando a sostituire la scheda elettronica e potenziando il circuito ausiliario e si dovrà utilizzare un differente banco di prova già presente in laboratorio. Tale banco, infatti, riesce a imporre sul pattino carichi puri senza schiacciarlo in una posizione definita. La variazione del meato risulterà così indipendente dal carico applicato.

Un altro miglioramento che si può apportare è una maggiore schermatura dei cavi utilizzati nell'invio e nell'acquisizione dei segnali analogici: in questo modo si possono ottenere una qualità superiore e una diminuzione dei rumori.

Per ultimo con i software di Matlab e di Simulink, si è implementato un modello matematico dell'intero sistema del pattino attivo.

Anche in questo caso sono stati analizzati per primi tutti i singoli componenti affinché le prestazioni simulate dell'intero sistema corrispondessero il più possibile a quelle sperimentali.

Tutti i sottomodelli analizzati sono stati assemblati fra di loro per ottenere i modelli finali di anello aperto e di anello chiuso. Sono state simulate le prove sperimentali effettuate. I risultati ottenuti per la simulazione in anello aperto sono soddisfacenti in termini di portanza e di meato tanto da poter validare con una certa sicurezza una prima versione del modello matematico relativo.

Il modello relativo all'anello chiuso potrà essere simulato quando si otterranno buoni risultati dalle relative prove sperimentali.

Bibliografia

- [1] **Matteo Troiano**, “Studio del controllo di un pattino ad aria con valvole pneumatiche integrate” Tesi di laurea, Politecnico di Torino (2016)
- [2] **Marco Maccario**, “Air thrust bearing controlled with air proportional valve” Tesi di laurea, Politecnico di Torino (2019)
- [3] **F. Colombo, D. Maffiodo, T. Raparelli**, “A New Pneumatic Pad Controlled by Means of an Integrated Proportional Valve”, AIMETA 2019, XXIV Conference
- [4] **D. Maffiodo, F. Colombo, T. Raparelli**, “Numerical Model of Digital Valve-Controlled Active Air Bearing”, 2018
- [5] **G. Quaglia, M. Sorli**, “Meccatronica”, Politeko Edizioni
- [6] **V. Viktorov, F. Colombo**, “Automazione dei sistemi meccanici”, Corso di base, Terza edizione, CLUT (2010)
- [7] **C. Ferraresi, T. Raparelli**, “Meccanica applicata”, Terza edizione, CLUT (2007)

Sitografia

- [8] <https://www.arduino.cc/>
- [9] <https://www.analog.com/en/index.html>
- [10] <https://it.mathworks.com/>
- [11] <https://www.ni.com/it-it.html>
- [12] <https://www.smc.eu/it-it>
- [13] <https://www.mager-ab.it/it/>

Allegato 1

In questo allegato al lavoro di tesi riguardante l'attività sperimentale svolta sul pattino pneumostatico attivo, si vuole in modo schematico inserire istruzioni per il collegamento alle alimentazioni di tensione e di aria compressa di tutti i componenti utilizzati come sensori, trasduttori, schede elettronica e di acquisizione e valvola proporzionale.

Per ogni elemento utilizzato si descriveranno dettagliatamente le modalità di collegamento e le posizioni che devono assumere i cavi di alimentazione e di segnale. Per una migliore comprensione si inseriranno immagini esplicative dei procedimenti di collegamento.

- **Flussimetro digitale**

Il flussimetro digitale, utilizzato per misurare la portata d'aria consumata dal pattino pneumostatico a monte di esso, deve essere collegato direttamente alla sorgente di aria compressa e al generatore di tensione di 24 V.

Il flussimetro deve essere posizionato correttamente in modo tale che la freccia disegnata su un suo lato indichi il verso del flusso d'aria proveniente dall'alimentazione di pressione come è mostrato in figura A1. Per una maggiore sicurezza del circuito tra il rubinetto principale di pressione e il flussimetro digitale è collocata una valvola manuale di chiusura dell'alimentazione d'aria del sistema.



Figura A1: Collegamenti e posizione corretta del flussimetro digitale

Il flussimetro deve essere collegato con un capo dell'apposito cavo di alimentazione ad esso incluso al generatore di tensione di 24 V. Il restante capo del cavo con terminazione BNC deve essere inserito nel canale a5 della scheda di acquisizione in dotazione del PC del laboratorio. Nella figura A2 si mostra dove deve essere inserito il cavo di alimentazione nel flussimetro digitale.

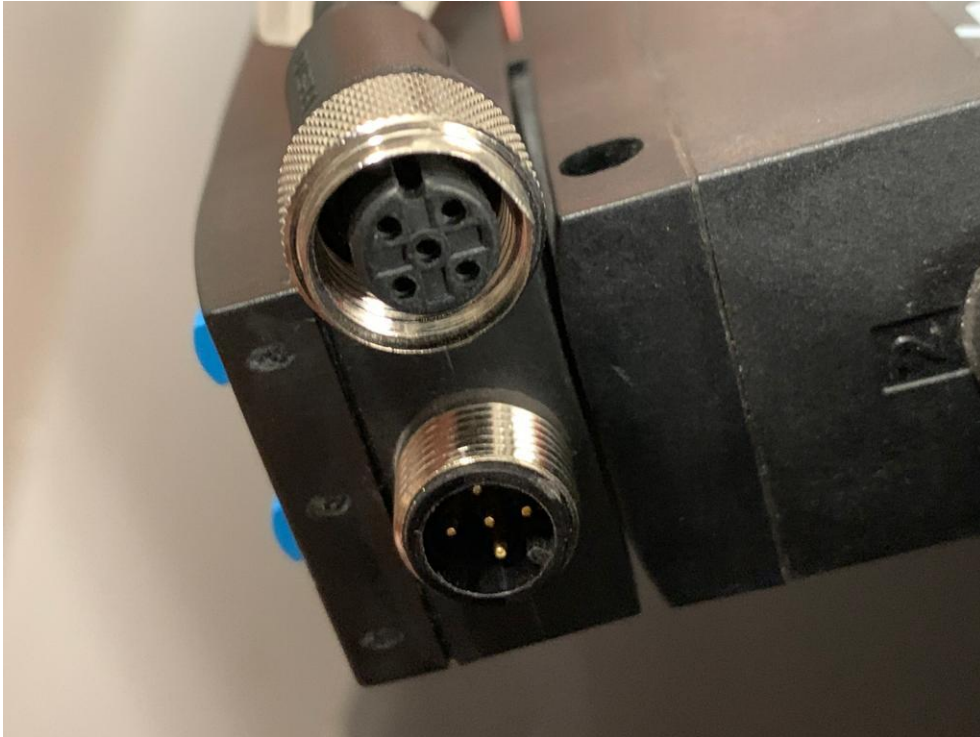


Figura A2: Presa per il cavo di segnale

- **Sensori di posizione capacitivi**

I sensori di posizione capacitivi, utilizzati per la misura indiretta dello spessore del meato d'aria attraverso il sollevamento verticale del pattino, sono collocati e fissati negli appositi alloggiamenti creati nel supporto sopra al cuscinetto. I singoli sensori sono collegati tramite cavi al sistema di condizionamento prodotto da Microepsilon. Il collegamento tra sensori e cavi è del tipo a bottone o plug-in. In figura A3 si mostrano i sensori capacitivi e gli appositi cavi.



Figura A3: Sensori di posizione capacitivi collegati ai cavi diretti al sistema di condizionamento

Il sistema di condizionamento è alimentato da un generatore di tensione da 24 V e dà la possibilità di inviare i segnali di tensione condizionati a una scheda di acquisizione attraverso cavi con terminazione BNC.

Si mostra in figura A4 il particolare dei cavi collegati al condizionatore.



Figura A4: Sistema di condizionamento dei sensori capacitivi

- **Cella di carico**

La cella di carico, utilizzata per la misura della forza di compressione applicata al pattino pneumostatico durante i test in anello aperto e chiuso, è collocata direttamente sulla vite della pressa manuale, subito prima del puntalino, come viene mostrato in figura A5.



Figura A5: Cella di carico installata sulla pressa manuale

Come la maggior parte dei sensori utilizzati anche la cella di carico prodotta da HBM deve essere alimentata da una tensione costante di 24 V.

La cella deve essere collegata tramite l'apposito cavo di segnale e di alimentazione a un sistema di condizionamento e di amplificazione a ponte di Wheatstone come è mostrato nelle figure A6 e A7.

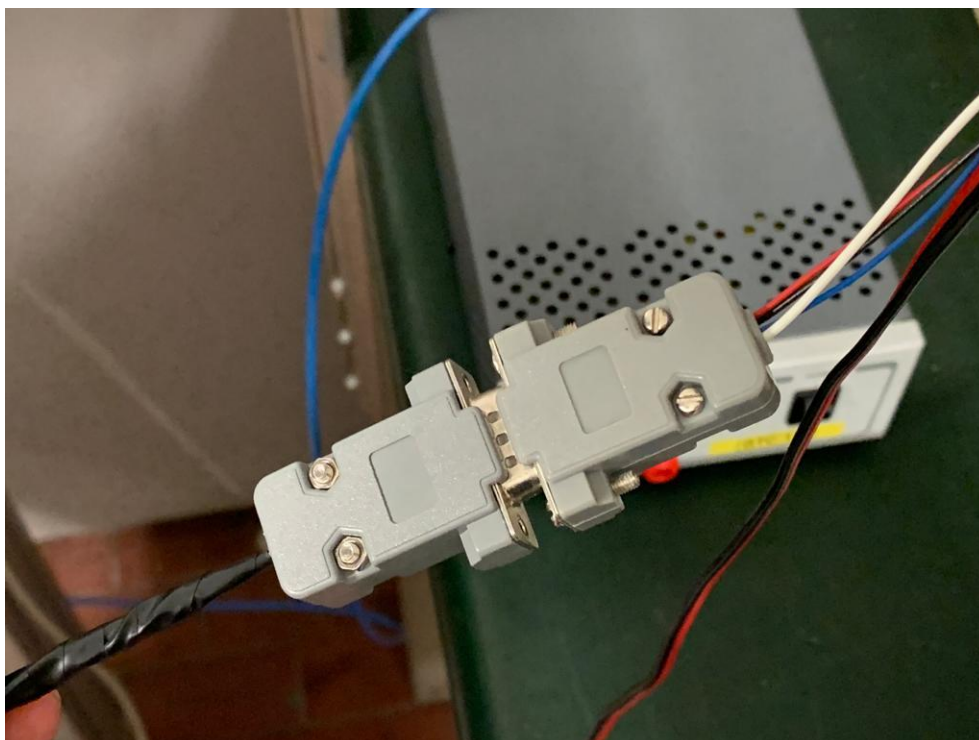


Figura A6: Tipologia di collegamento utilizzata tra la cella di carico e l'amplificatore a ponte di Wheatstone

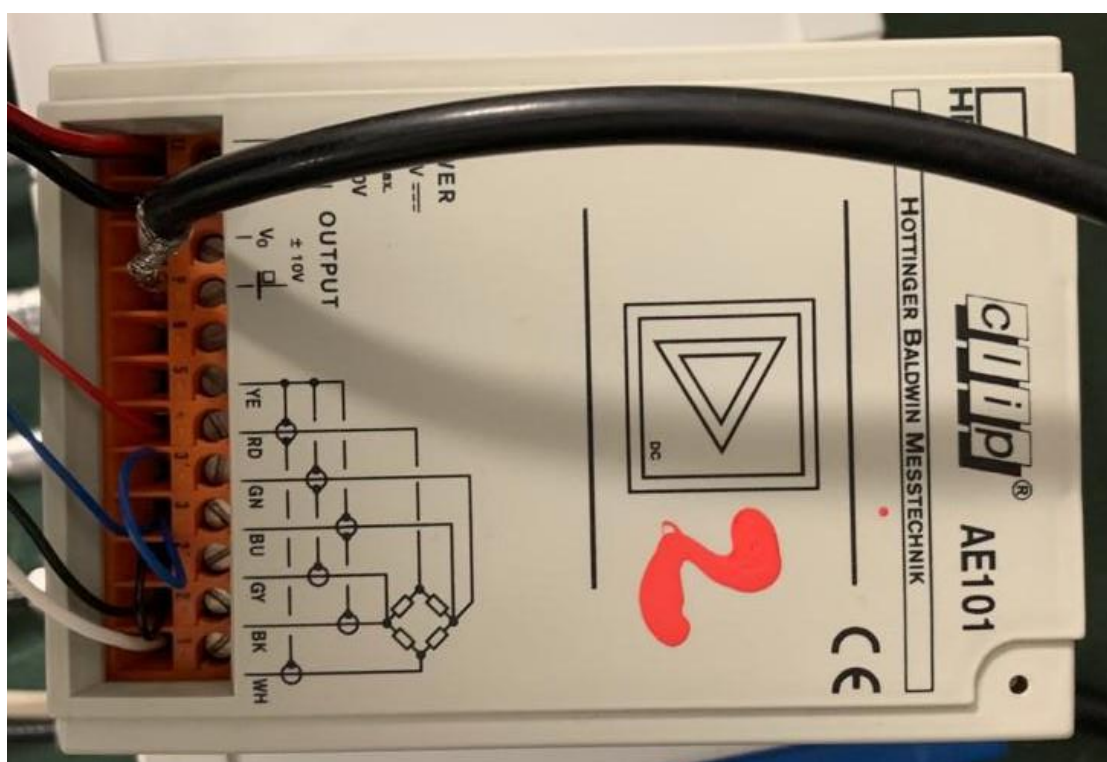


Figura A7: Sistema di condizionamento e di amplificazione a ponte di Wheatstone

Dal sistema di amplificazione partono i cavi di collegamento al generatore di tensione da 24 V e alla scheda per l'acquisizione dei segnali. Prima dell'utilizzo della cella di carico nel banco di prova, occorre tarare l'amplificatore per il particolare modello di sensore e per come viene applicata la forza se in compressione o se in trazione.

- **Sensori di posizione a contropressione e trasduttori di pressione**

I due sensori di posizione a contropressione sono impiegati per la misura diretta dello spessore del meato d'aria sotto al pattino. Essi sono fissati ai lati corti del pattino pneumostatico e sono alimentati a una pressione costante di 4 bar relativi. I tubicini di alimentazione sono bloccati e collegati direttamente all'orifizio di ingresso dei sensori. Per portare la stessa pressione di aria compressa occorre collegare entrambi i tubi attraverso un giunto a T allo stesso rubinetto di alimentazione principale.

I trasduttori di pressione hanno il compito di valutare la pressione presente all'interno della camera di misura dei sensori a contropressione. Perciò i trasduttori sono inseriti all'interno della camera di misura attraverso l'apposito cono metallico, mentre i pin necessari all'alimentazione di tensione da 5 V e all'acquisizione del segnale in uscita sono facilmente raggiungibili come è mostrato in figura A8.

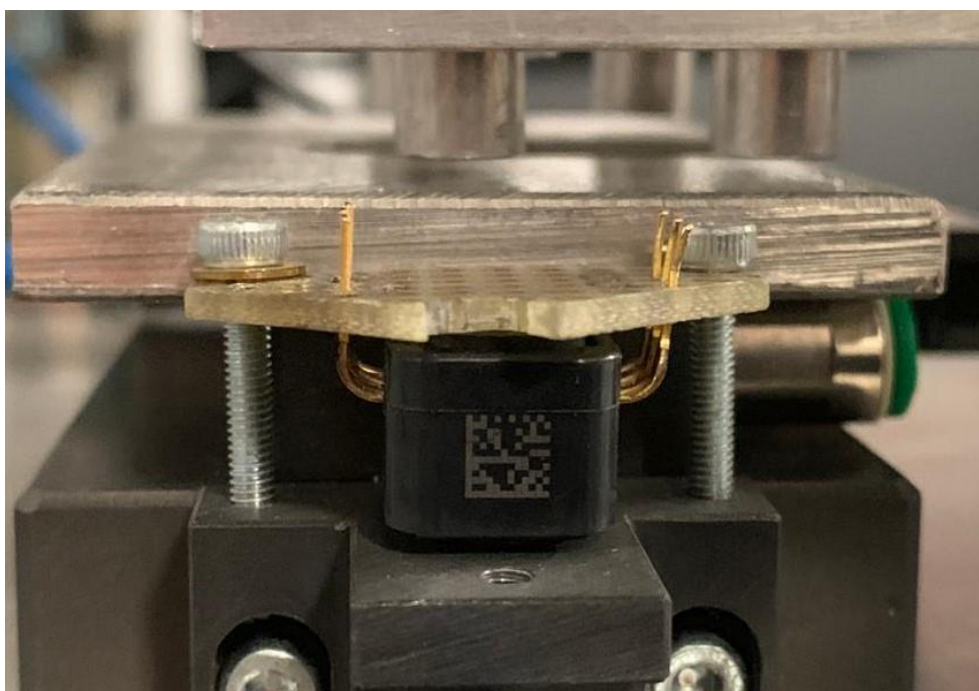


Figura A8: Posizionamento corretto dei trasduttori di pressione in unione con i sensori a contropressione

Si osserva che la posizione dei cavi di alimentazione e di segnale è precisa e dipende dalla funzione dei tre pin dei trasduttori, indicata sul catalogo. Per facilitare il posizionamento corretto dei cavi si sono disegnati due simboli un – e un + sui cavi di colore rosso.

Tali simboli si devono sempre trovare di fronte all'operatore con il – rivolto alla sua sinistra. I tre pin dei due trasduttori utilizzati devono essere gli stessi, in particolare si usano quelli collocati alla destra del codice QR stampato che deve essere sempre esterno e visibile come in figura A8.

Il posizionamento dei due trasduttori rispetto al pattino è il medesimo: il codice QR stampato deve essere visibile e rivolto verso l'esterno del lato corto del cuscinetto come è mostrato nella precedente figura A8.

Nella seguente immagine A9 si mostra come devono essere collocati i cavi di segnale e di alimentazione dei trasduttori di pressione.

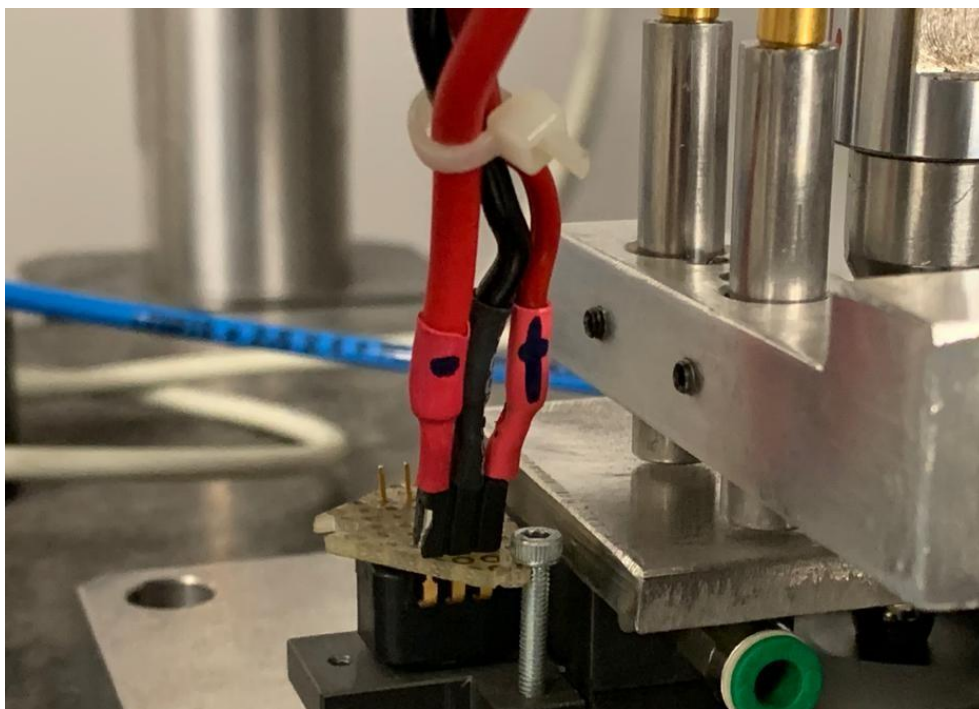


Figura A9: Posizionamento corretto dei cavi di segnale e di alimentazione

Allegato 2

Datasheets

Flow sensors SFAB

FESTO



Flow sensors SFAB

Key features

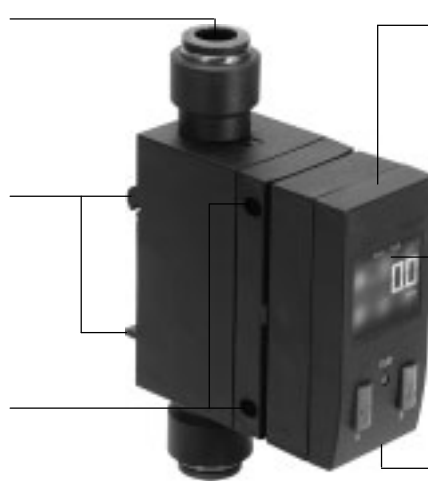
FESTO

At a glance

Quick and secure installation thanks to QS fitting

Manifold assembly of the sensor via H-rail or individual assembly via adapter plate for wall mounting

Plate assembly of the sensor using mounting screws, 5 measuring ranges from 0.1 ... 10 l/min up to 10 ... 100 l/min



Display can be rotated 270°

- High-contrast LCD display with blue background and white 9-segment display
- Bar graph visualises the current measured value
- Switching point-dependent colour change

Central electrical connection via M12 plug

Impressive, simple, reliable

Designed according to the attractive display and operation concept, the flow sensors have produced outstanding results in the areas of:

- Leakage detection in production
- Leakage tightness testing of end products
- Flow monitoring in parts feeding

The sensor supplies:

- Absolute flow rate information
 - with threshold values and
 - convenient switching point adjustment via a display
- Cumulative air consumption measurement
- Patented – adjustable consumption-based switching impulse for the cumulative air consumption measurement via the switching output

Easier to operate

- A large, illuminated LCD display increases the operational safety and makes the currently displayed flow rate or consumption values easy to read
- Measured values outside the measuring range are visualised: flow rate values are shown flashing

- Values falling below or above the threshold can also be detected remotely or, if the sensor is in an inaccessible location, by means of the display changing colour
- Simple checking of the current sensor settings in SHOW mode
- Simple switching between consumption and flow rate display

Flexible installation

This is enabled by the extremely compact design that does away with the need for an upstream and downstream smoothing section; the SFAB has an integrated stabilising flow channel.

Systematically more reliable

The sensor supplies precise information thanks to its very large measuring range, even in the case of fluctuating or unreliable flow rate conditions.

User-friendly

- Quick and easy menu navigation
- Integrated QS fittings
- Ultra-fast teach-in function
- Rotatable display
- Secure connections with extremely short assembly times

- Manual consumption measurement with start/stop and reset functionality

Advantages

For the designer

- During design, minimal information is required regarding the applied flow rate
- Festo plug and work solution
- The same device can be used for different applications
- The sensor covers a large measuring range with a specified accuracy thanks to its high dynamic response of 1:100
- NPN/PNP switching via the software
- Minimal assembly times
- Alternatively with 4 ... 20 mA or 0 ... 10 V analogue output
- Flexible installation without restrictions imposed by smoothing sections, any installation position
- High pneumatic connection variance possible via the modular product system
- Design of more efficient machines

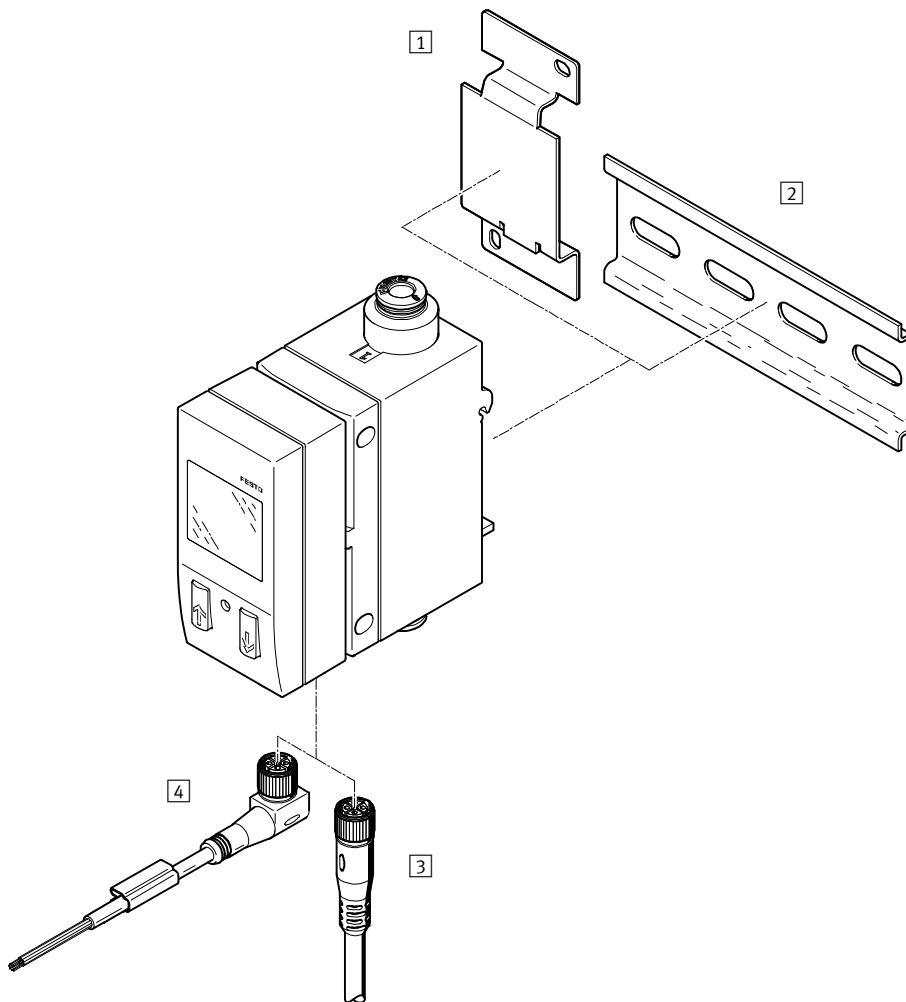
For the machine operator

- Precise information is available even in the event of fluctuating pressure conditions
- Flow rates can be read easily and reliably
- Visualisation (colour change, flashing measured value) of deviations
- Easy operation without the need for training
- Greater system reliability
- Displayed values:
 - Can be displayed for flow rate and consumption for different standard conditions
 - Can be filtered/averaged with highly dynamic measuring independently of the analogue output
- Fast commissioning thanks to easy-to-use, intuitive teach-in function

Flow sensors SFAB

Peripherals overview

FESTO



Accessories	Description	→ Page/Internet
1 Adapter plate SDE1-...-W-...	Included in the scope of delivery with SFAB-...-W...	11
2 Mounting rail	To DIN EN 60715	nrh
3 Connecting cable NEBU-M12G5	Straight socket	11
4 Connecting cable NEBU-M12W5	Angled socket	11

Flow sensors SFAB

FESTO

Type codes

		SFAB	-	600	U	-	H	Q8	-	P2	-	M12
Type												
SFAB	Flow sensor											
Flow measuring range [l/min]												
10	Max. 10											
50	Max. 50											
200	Max. 200											
600	Max. 600											
1000	Max. 1000											
Flow input												
U	Unidirectional											
Type of mounting												
H	Via H-rail											
W	Via wall bracket											
Pneumatic connection												
Q6	Push-in connector 6 mm											
Q8	Push-in connector 8 mm											
Q10	Push-in connector 10 mm											
Electrical output												
2SA	2x PNP or NPN, 1 analogue output 4 ... 20 mA											
2SV	2x PNP or NPN, 1 analogue output 0 ... 10 V											
Electrical connection												
M12	Straight plug, M12x1, 5-pin											

Additional variants can be ordered using the modular system → 10

- Pneumatic connection
- Electrical accessories
- EU certification (ATEX)

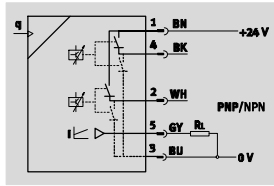
Flow sensors SFAB

Technical data

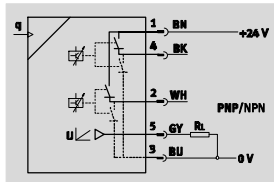
FESTO

Function

Current output 2SA



Voltage output 2SV



- Analogue output 0 ... 10 V, adjustable switching outputs 2x PNP or 2x NPN
- Analogue output 4 ... 20 mA, adjustable switching outputs 2x PNP or 2x NPN
- Freely selectable pulse output for consumption measurement
- Analogue filter for setting the rise time
- Digital filter for smoothing the display values



General technical data						
	-10U	-50U	-200U	-600U	-1000U	
General						
Certification	RCM trademark					
	c UL us - Recognized (OL)					
Certificate issuing authority	UL E322346					
CE mark (see declaration of conformity)	To EU EMC Directive					
	In accordance with EU Explosion Protection Directive (ATEX)					
	To EU RoHS Directive					
Note on materials	RoHS-compliant					
Input signal/measuring element						
Measured variable	Flow rate, consumption					
Direction of flow	Unidirectional P1 → P2					
Measuring principle	Thermal					
Flow measuring range	[l/min]	0.1 ... 10	0.5 ... 50	2 ... 200	6 ... 600	10 ... 1000
Operating pressure	[bar]	0 ... 10				
Nominal pressure	[bar]	6				
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [6:4:4]			Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:4:4]		
	Nitrogen			Nitrogen		
Temperature of medium	[°C]	0 ... 50				
Ambient temperature	[°C]	0 ... 50				
Nominal temperature	[°C]	23				

Flow sensors SFAB

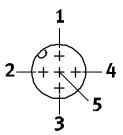
Technical data

FESTO

Electrical data						
		-10U	-50U	-200U	-600U	-1000U
Output, general ^{1), 2)}						
Accuracy of flow rate values		+/- (3% o.m.v. + 0.3% FS)				
Repetition accuracy of zero point ±FS	[%]	0.2				
Repetition accuracy of margin ±FS	[%]	0.8				
Temperature coefficient of margin ±FS/K	[%]	≤0.1				
Pressure dependence of margin ±FS/bar	[%]	0.5				
Switching output						
Switching output		2x PNP or 2x NPN, adjustable				
Switching function		Window comparator or threshold value comparator, adjustable				
Switching element function		N/C or N/O contact, adjustable				
Switch-on time		Adjustable (factory setting: approx. 80 ms)				
Switch-off time		Adjustable (factory setting: approx. 80 ms)				
Max. output current	[mA]	≤100				
Voltage drop	[V]	Max. 1.5				
Inductive protective circuit		Adapted to MZ, MY, ME coils				
Analogue output						
Characteristic flow rate curve	[l/min]	0 ... 10	0 ... 50	0 ... 200	0 ... 600	0 ... 1000
Output characteristic curve for current	[mA]	4 ... 20				
Output characteristic curve for voltage	[V]	0 ... 10				
Rise time	[ms]	Possible settings: 15, 30, 60 (factory setting), 125, 250, 500, 999				
Max. load resistance at current output	[ohms]	500				
Min. load resistance at voltage output	[kohms]	10				
Output, additional data						
Protection against short circuit		Yes				
Protection against overloading		Yes				
Electronic components						
Operating voltage range DC	[v]	15 ... 30				
Protection against polarity reversal		For all electrical connections				
Electromechanical components						
Electrical connection		Straight plug, M12x1, 5-pin				
Max. length of connecting cable	[m]	<10				

1) Accuracy with nominal conditions (6 bar, 23 °C and horizontal installation position).

2) % FS = % of the measuring range final value (full scale).

Pin allocation		
Plug M12x1, 5-pin	Pin	Meaning
	1	Operating voltage +24 V DC
	2	Binary output B
	3	0 V
	4	Binary output A
	5	Analogue output C

Flow sensors SFAB

Technical data

FESTO

Mechanical components		-10U	-50U	-200U	-600U	-1000U
Mounting position		Any				
Pneumatic connection		QS6	QS6	–	–	–
		QS8	QS8	QS8		
		QS10	QS10	QS10	QS10	QS10
		QS12	QS12	QS12	QS12	QS12
		QS1/4	QS1/4	–	–	–
		QS5/16	QS5/16	QS5/16	–	–
		QS3/8	QS3/8	QS3/8	QS3/8	QS3/8
Product weight	[g]	160				
Material: Housing		PA reinforced				

Display/operation						
		-10U	-50U	-200U	-600U	-1000U
Indicator type		Illuminated LCD, blue				
Displayable units		l/min, l/h, scfm, l, m³, scf			l/min, scfm, l, m³, scf	
Setting range for flow rate threshold value		1% FS ... 100% FS				
Setting range for consumption	[l]	0.1 ... 1999.9	0.2 ... 1999.9	1 ... 1999.9	2 ... 1999.9	3 ... 1999.9
impulse threshold value	[m³]	0.01 ... 199.99			0.1 ... 1999.9	1 ... 19999
	[scf]	0.01 ... 199.99		0.03 ... 199.99	0.1 ... 1999.9	
Hysteresis setting range		0% FS ... 90% FS				

Immissions/emissions		-10U	-50U	-200U	-600U	-1000U
Storage temperature	[°C]	–20 ... +80 (characteristic -D: –10 ... +60)				
Degree of protection		IP65				
Pressure drop	[mbar]	<100				
Electrical protection class		III				

Flow sensors SFAB

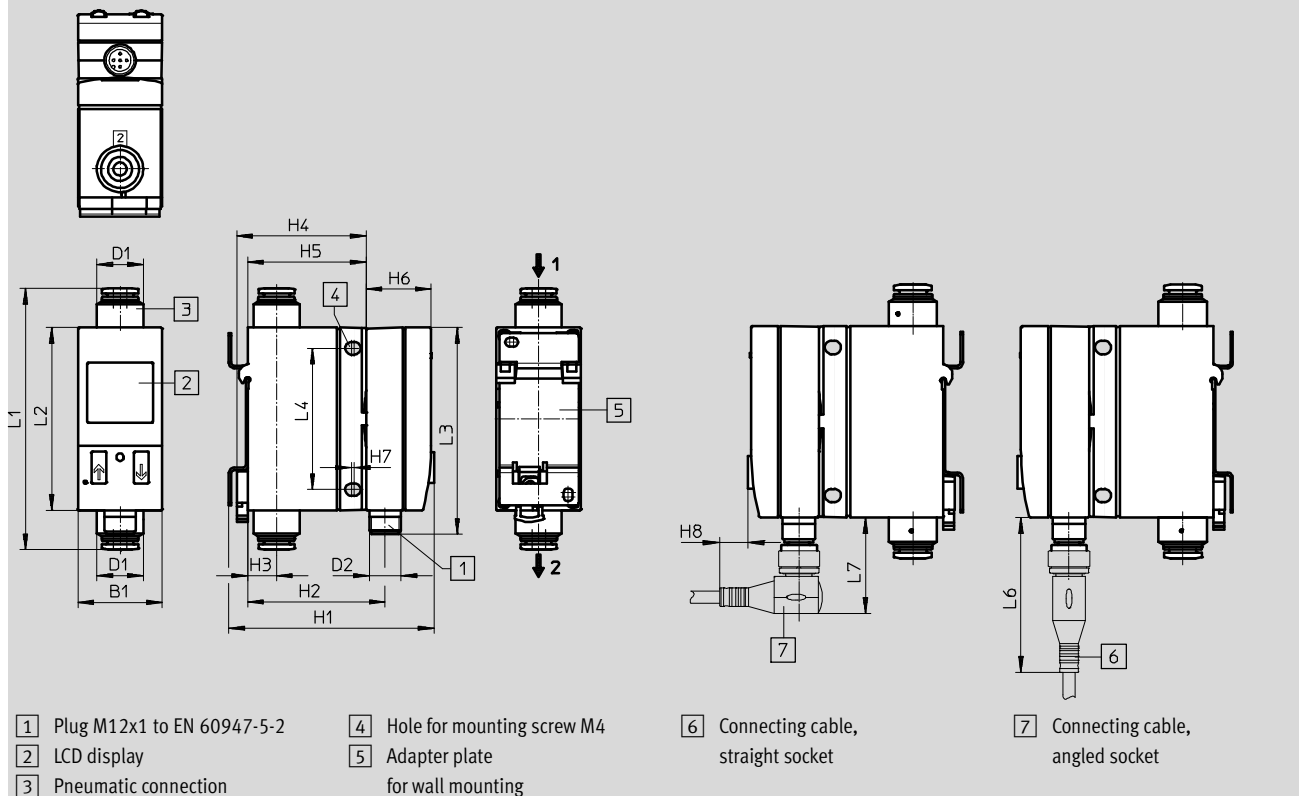
Technical data

FESTO

Dimensions

SFAB-...-H/-W

Download CAD data → www.festo.com



Type	B1	D1	D2	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	L1	L2	L3	L4	L6	L7
SFAB-...-HQ6	32.3	17.7	M12x1	—	51.6	11	48.5	44.3	24.4	1.1	12	95.6	69.8	78.9	54	56	35
SFAB-...-HQ8												99.8					
SFAB-...-HQ10		22										119.8					
SFAB-...-HQ12												124.4					
SFAB-...-WQ6	32.3	17.7	M12x1	79	51.6	11	48.5	44.3	24.4	1.1	12	95.6	69.8	78.9	54	56	35
SFAB-...-WQ8												99.8					
SFAB-...-WQ10		22										119.8					

Flow sensors SFAB

Technical data

FESTO

Ordering data					
Version	Electrical output	Flow measuring range [l/min]	Part No.	Type	
H-rail mounting					
	2x PNP or NPN, 1 analogue output 4 ... 20 mA	0.1 ... 10	565385	SFAB-10U-HQ6-2SA-M12	
		0.5 ... 50	565389	SFAB-50U-HQ6-2SA-M12	
		2 ... 200	565393	SFAB-200U-HQ8-2SA-M12	
		2 ... 200	565397	SFAB-200U-HQ10-2SA-M12	
		6 ... 600	565401	SFAB-600U-HQ10-2SA-M12	
		10 ... 1000	565405	SFAB-1000U-HQ10-2SA-M12	
	2x PNP or NPN, 1 analogue output 0 ... 10 V	0.1 ... 10	565386	SFAB-10U-HQ6-2SV-M12	
		0.5 ... 50	565390	SFAB-50U-HQ6-2SV-M12	
		2 ... 200	565394	SFAB-200U-HQ8-2SV-M12	
		2 ... 200	565398	SFAB-200U-HQ10-2SV-M12	
		6 ... 600	565402	SFAB-600U-HQ10-2SV-M12	
		10 ... 1000	565406	SFAB-1000U-HQ10-2SV-M12	
	Wall or surface mounting				
		2x PNP or NPN, 1 analogue output 4 ... 20 mA	0.1 ... 10	565387	SFAB-10U-WQ6-2SA-M12
0.5 ... 50			565391	SFAB-50U-WQ6-2SA-M12	
2 ... 200			565395	SFAB-200U-WQ8-2SA-M12	
2 ... 200			565399	SFAB-200U-WQ10-2SA-M12	
6 ... 600			565403	SFAB-600U-WQ10-2SA-M12	
10 ... 1000			565407	SFAB-1000U-WQ10-2SA-M12	
2x PNP or NPN, 1 analogue output 0 ... 10 V		0.1 ... 10	565388	SFAB-10U-WQ6-2SV-M12	
		0.5 ... 50	565392	SFAB-50U-WQ6-2SV-M12	
		2 ... 200	565396	SFAB-200U-WQ8-2SV-M12	
		2 ... 200	565400	SFAB-200U-WQ10-2SV-M12	
		6 ... 600	565404	SFAB-600U-WQ10-2SV-M12	
		10 ... 1000	565408	SFAB-1000U-WQ10-2SV-M12	

Flow sensors SFAB

Ordering data – Modular products



Ordering table		Condi- tions	Code	Enter code
M	Module No.	563795		
	Function	Flow sensor	SFAB	-SFAB
			-	
O	Medium	Compressed air	-	
M	Flow measuring range l/min	Max. 10	10	
		Max. 50	50	
		Max. 200	200	
		Max. 600	600	
		Max. 1000	1000	
	Flow input	Unidirectional	U	U
	Type of mounting	H-rail mounting	-H	
		Wall mounting	-W	
	Pneumatic connection	Push-in connector 6 mm	1 Q6	
		Push-in connector 8 mm	2 Q8	
		Push-in connector 10 mm	Q10	
		Push-in connector 12 mm	Q12	
		Push-in connector for 1/4	1 T14	
		Push-in connector for 5/16	2 T516	
		Push-in connector for 3/8	T38	
	Electrical output	2x PNP or NPN, 1 analogue output 4 ... 20 mA	-2SA	
		2x PNP or NPN, 1 analogue output 0 ... 10 V	-2SV	
	Electrical connection	Plug M12, A-coded	-M12	M12
O	Electrical accessories	Not specified		
		Angled plug socket, cable 2.5 m	-2.5A	
		Straight socket, cable 2.5 m	-2.5S	
		Angled plug socket, cable 5 m	-5A	
		Straight socket, cable 5 m	-5S	
	EU certification	Not specified		
		II 3GD	-EX2	

- 1 Q6, T14** Not with flow measuring range 200; 600; 1000
2 Q8, T516 Not with flow measuring range 600; 1000

Transfer order code

563795 SFAB - - -U - - - M12 - - -

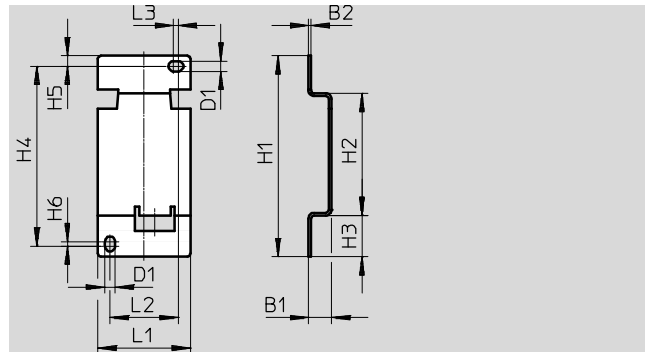
Flow sensors SFAB

Accessories

FESTO

Adapter plate SDE1-...-W...
for wall or surface mounting

Material:
Steel



Ordering data – Adapterplate¹⁾

Type	B1	B2	D1 Ø	H1 ±0.1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	Part No.	Type
SDE1-...-W...	7.5	0.9	3.4	65.8	40	13.5	59	3.4	1.5	30.3	22.3	1.5	194297	SDE1-...-W...

1) Included in the scope of delivery with SFAB-...-W...

Ordering data – One-way flow control valve

				Technical data → Internet: grx-vfoi	
	Pneumatic connection	Suitable for SFAB ¹⁾	Part No.	Type	
	QS-4	SFAB-10U	193967	GR-QS-4	
	QS-6	SFAB-50U	193969	GR-QS-6	
	QS-8	SFAB-200U	193970	GR-QS-8	

1) Additional accessories may be required for adaptation to the pneumatic connection.

Ordering data – Connecting cables

	Number of wires	Cable length [m]	Part No.	Type
M12x1, straight socket				
	5	2.5	541330	NEBU-M12G5-K-2.5-LE5
		5	541331	NEBU-M12G5-K-5-LE5
M12x1, angled socket				
	5	2.5	567843	NEBU-M12W5-K-2.5-LE5
		5	567844	NEBU-M12W5-K-5-LE5

U9C

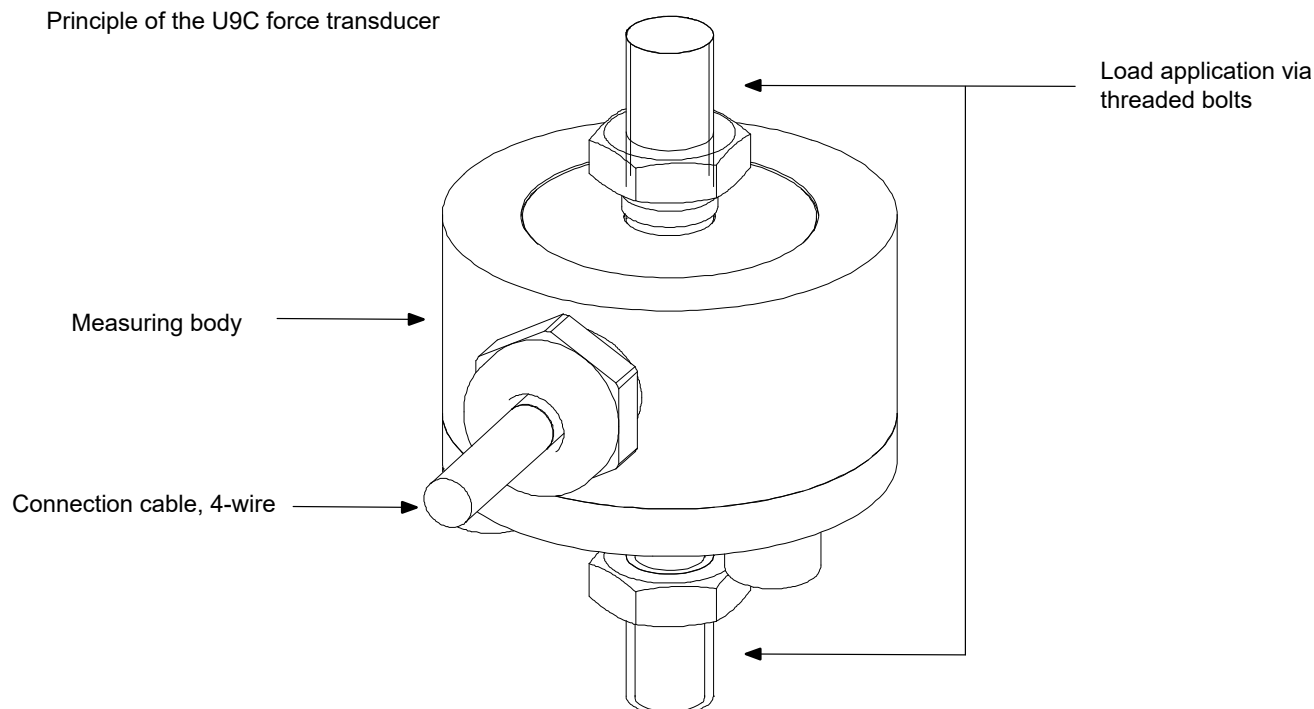
Force Transducer

Special features

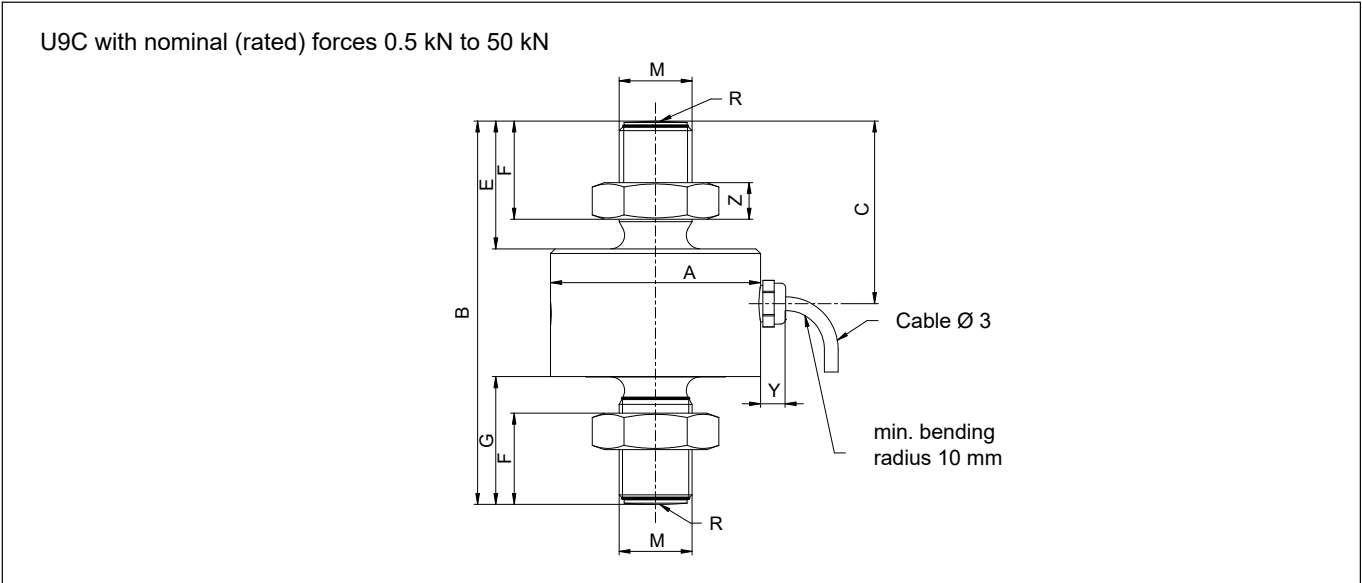
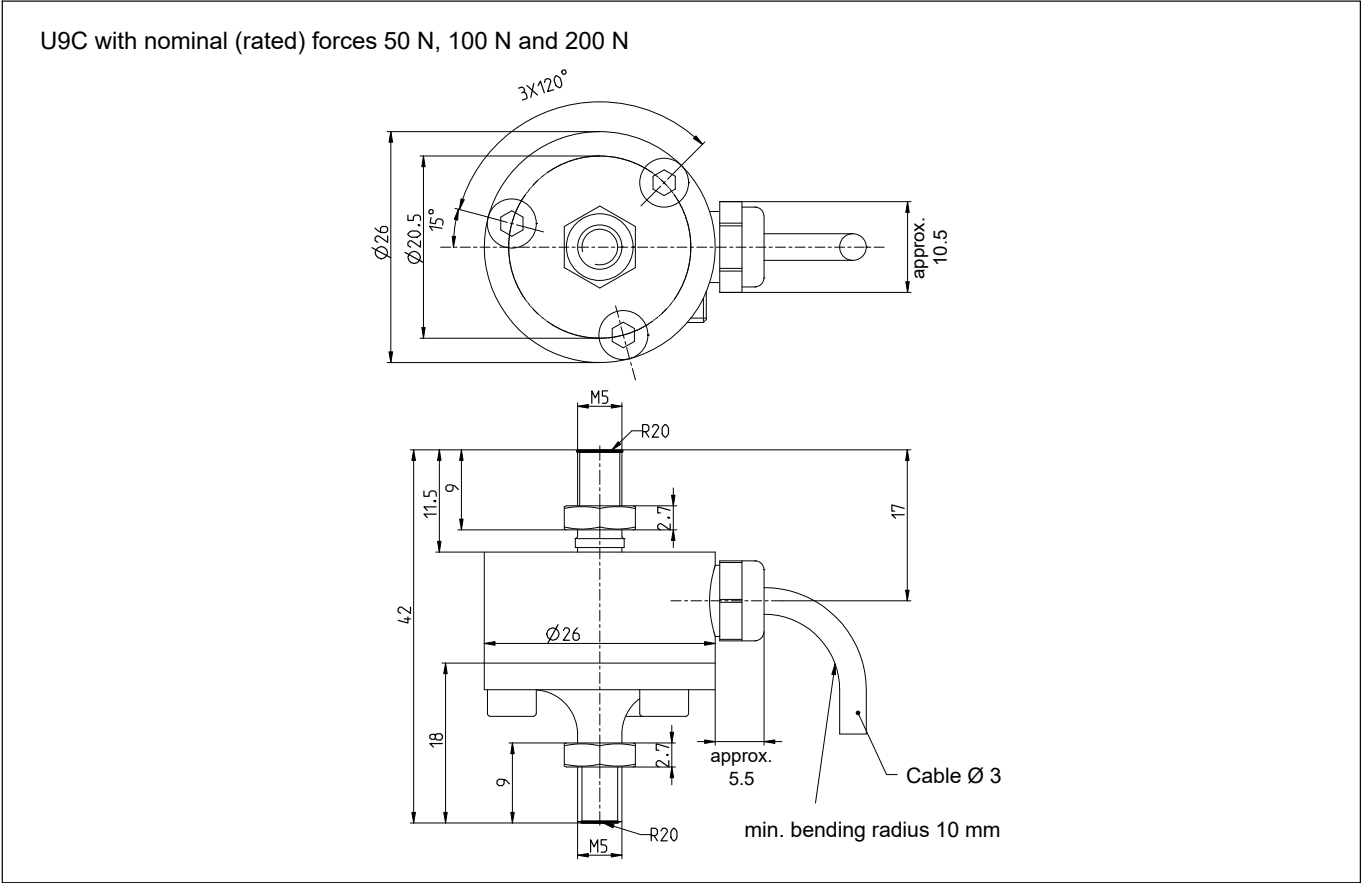
- Tensile/compressive force transducer
- Accuracy class 0.2
- Nominal (rated) forces
50 N – 50 kN
- Non-rusting, protection class
IP67
- Configurable with different cable
lengths, plug assembly on
request
- High rigidity, particularly suited
for dynamic measurement tasks



Principle of the U9C force transducer

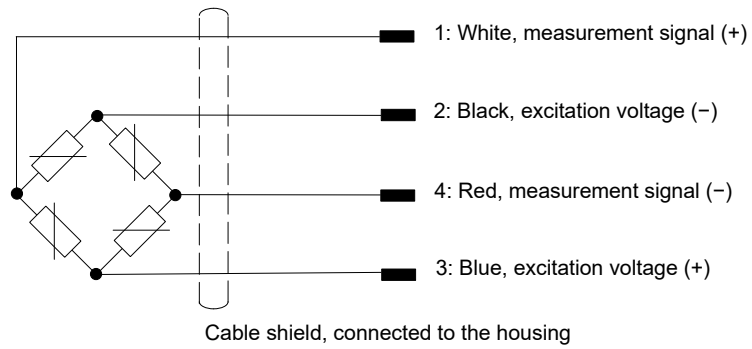


Dimensions (in mm)



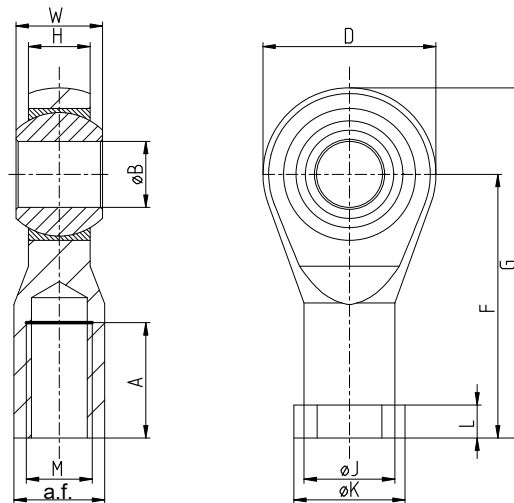
Nominal (rated) force of the U9C	A _{0.1}	B	C	E	F	G	M	R	Y	Z
	[mm]									
0.5 kN to 1 kN	26	44.5	29.5	13	9.9	13.5	M5	20	approx. 5.5	2.7
2 kN to 20 kN	26	60	28.5	21	16	21	M10	40	approx. 5.5	5
50 kN	46	84	40	28	21.5	28	M16 x 1.5	80	approx. 5.5	8

U9C cable diagram



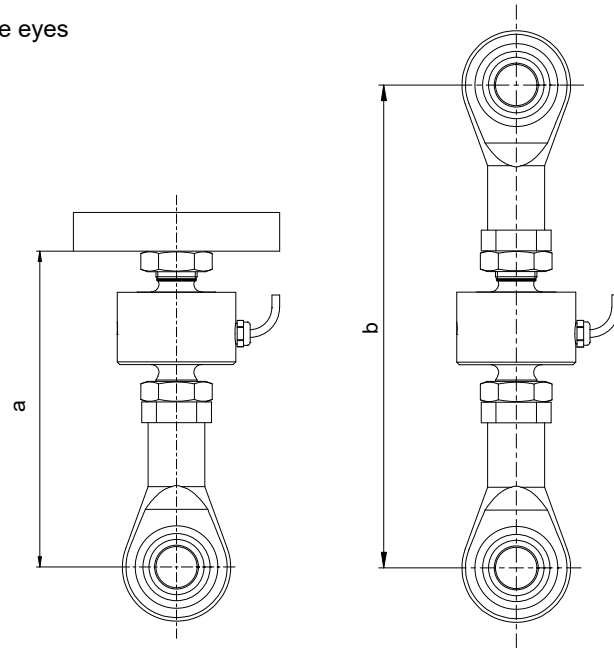
Mounting accessories (dimensions in mm)

Knuckle eyes
(to be ordered separately)



Nominal (rated) forces	Ordering number	A	B ^{H7}	D	F	G	H	J	K	L	M	a.f.	W
		[mm]											
50 N to 1 kN	1-Z8/100kg/ZGW	10	5	18	27	36	6	9	11	4	M5	9	8
2 kN to 20 kN	1-U9/20KN/ZGWR	20	10	28	43	57	10.5	15	19	6.5	M10	17	14
50 kN	1-U9a/50kN/ZGW	28	16	42	64	85	15	22	27	8	M16 x 1.5	22	21

U9C with one or two knuckle eyes



Nominal (rated) force	$a_{\min}$	$a_{\max}$	$b_{\min}$	$b_{\max}$
	[mm]			
50 - 20 N	55	59	82	86
0.5 - 1 kN	56	61	83	88
2 - 20 kN	79	82	122	125
50 kN	116	116	180	180

Mounting dimensions of the U9C when using knuckle eyes

Specifications

Nominal (rated) force	F _{nom}	N	50	100	200							
		kN				0.5	1	2	5	10	20	50
Accuracy												
Accuracy class			0.2									
Relative reproducibility and repeatability errors without rotation	b _{rg}	%	< 0.2									
Relative reversibility error	v _{0.5}	%	< 0.2									
Non-linearity	d _{lin}	%	< 0.2									
Relative creep (30 min)	d _{cr,F}	%	< 0.2				< 0.1					
Effect of the bending moment at 10% F _{nom} * 10 mm (typical)	d _{Mb}	%	0.055		0.045		2.35				2.45	0.5
Effect of temperature on sensitivity												
in the nominal (rated) temperature range	TK _C	% / 10 K	0.2									
in the operating temperature range	TK _C	% / 10 K	< 0.5									
Effect of temperature on the zero signal												
in the nominal (rated) temperature range	TK ₀	% / 10 K	< 0.2									
in the operating temperature range	TK ₀	% / 10 K	< 0.50									
Electrical characteristics												
Nominal (rated) sensitivity	C _{nom}	mV/V	1									
Relative zero signal error	d _{s,0}	mV/V	+/- 0.2									
Sensitivity error	d _c	%	< +/-1 tensile , < +/-2 compressive									
Tensile/compressive sensitivity variation	d _{zd}	%	< 2									
Input resistance	R _i	Ω	250 - 400				300 - 450					
Output resistance	R _o	Ω	200 - 400				145 - 450					
Insulation resistance	R _{is}	Ω	> 1*10 ⁹									
Operating range of the excitation voltage	B _{u,gt}	V	0.5 - 12									
Reference excitation voltage	U _{ref}	V	5									
Connection			4-wire circuit									
Temperature												
Reference temperature	t _{ref}	°C	23									
Nominal (rated) temperature range	B _{t,nom}	°C	-10 to +70									
Operating temperature range	B _{t,g}	°C	-30 to +85									
Storage temperature range	B _{t,S}	°C	-30 to +85									
Characteristic mechanical quantities												
Max. operating force	F _G	% of F _{nom}	200				150					
Limit force	F _L		> 200				> 150					
Breaking force	F _B		> 400									
Limit torque		Nm	1.7	3.4	2.5	3.7	4.5	28	23	11	11	35
Limit bending moment when loading with nominal (rated) force		Nm	0.17	0.7	1.5	3.7	3.8	10.2	14.4	8.2	8.6	28.5
Static lateral limit force when loading with nominal (rated) force ²⁾	F _q	% of F _{nom}	100				50	100	50	18	6	8
Nominal (rated) displacement		mm	0.008				0.018		0.03	0.05	0.09	0.14
Fundamental resonance frequency		kHz	6.5	9.1	12.6	15.3	15.9	13.2	14.5	14.6	14.6	7.2
Relative oscillation width		% of F _{nom}	70				80					70
General information												
Degree of protection per EN 60529 ¹⁾			IP67									
Spring element material			Steel									
Potting material			Silicone									
Cables			Four-wire circuit, PUR insulation									
Cable length		m	1.5, 3, 7, 12									
Weight		g	75				100					400

¹⁾ 1 m water column; 0.5 h

²⁾ Pure lateral force without bending moment

Versions and ordering numbers

Code	Measuring range	Ordering number
0050	50 N	1-U9C/50N
0100	100 N	1-U9C/100N
0200	200 N	1-U9C/200N
00K5	0.5 kN	1-U9C/0.5KN
01k0	1 kN	1-U9C/1KN
02k0	2 kN	1-U9C/2kN
05k0	5 kN	1-U9C/5kN
10k0	10 kN	1-U9C/10kN
20k0	20 kN	1-U9C/20KN
50k0	50 kN	1-U9C/50KN

The ordering numbers shown in gray are preferred types, they can be delivered rapidly.
All force transducers with 1.5 m cable, open ends and without TEDS.

The order no. for the preferred types is 1-U9C...

The order no. for customer-specific designs is K-U9C-...

The ordering number example **K-U9C-05k0-12m0-F-T** shown further below refers to:
a: U9C, 5 kN nominal (rated) force with 12 m cable, 15-pin Sub-D connector and TEDS

Cable length	Plug version	Transducer identification
1.5 m 01m5	Free ends Y	With TEDS T
3 m 03m0	15-pin Sub-D connector F	Without TEDS S
5 m 05m0	MS3106PEMV connector N	
6 m 06m0	15-pin Sub-HD connector Q	
7 m 07m0		
12 m 12m0		

K-U9C-	05k0-	12m0-	F-	T
---------------	--------------	--------------	-----------	----------

All cable lengths can be combined with all plugs.

TEDS can only be ordered in conjunction with a plug option. It is not possible to combine TEDS and free cable ends.

© Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
Subject to modifications. All product descriptions are for general information only. They are not to be understood as a guarantee of quality or durability.

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45 · 64293 Darmstadt · Germany
Tel. +49 6151 803-0 · Fax: +49 6151 803-9100
Email : info@hbm.com · www.hbm.com

measure and predict with confidence

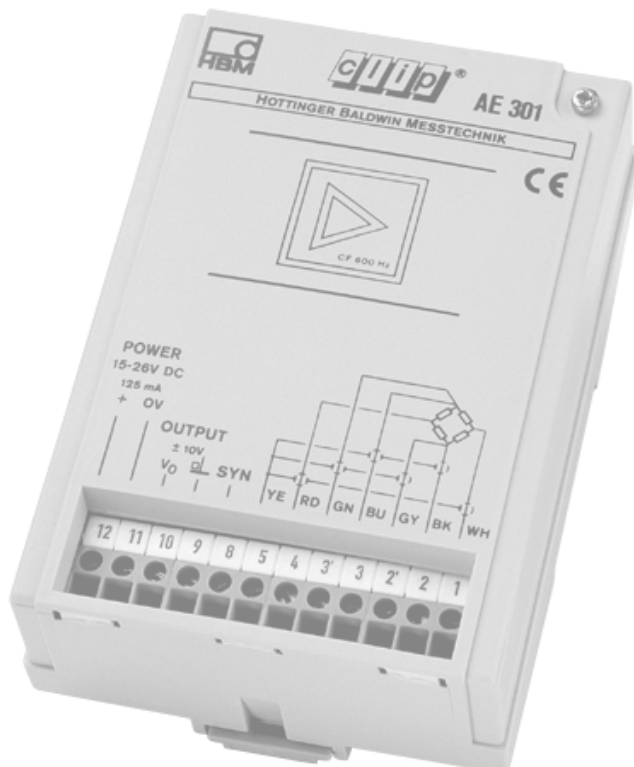


Clip Electronic

Amplifier for installation
onto mounting rails

Clip IG

Industrial amplifier in
cast housing



Contents	Page
Safety instructions	4
1 Application	7
2 Mounting / Dismounting	8
3 Connection	9
3.1 Measuring amplifiers AE101, AE301, AE501	10
3.2 GR201, EM201, EM201K2, TS101 additional units.	12
3.3 NT101A, NT102A Power supply	14
4 Setup	15
4.1 AE101 Measuring amplifiers	15
4.2 AE301 Measuring amplifier	18
4.3 AE501 Measuring amplifier	22
4.4 GR201 Double limit-value switch	25
4.5 EM201 / EM201K2 Output stage	28
5 TS101 Automatic tare and store unit	30
5.1 General	30
5.2 Function	30
5.2.1 Taring	30
5.2.2 Store unit	31
5.3 Connection	33
5.3.1 Voltage supply	34
5.3.2 Inputs / Outputs	34
5.3.3 Control inputs / Control output	34
5.4 Adjustment	36
5.4.1 Factory setup	36
5.4.2 Tare unit adjustment	36
5.4.3 Store unit adjustment	38
5.5 Zero-point balance	40
5.6 Component position diagram	41
6 Safety barriers	42
7 CLIP IG	42
8 Dimensions	43
9 Specifications	45
10 Accessories	51
11 Copy of Declaration of Conformity	52

Safety instructions

The NT101A and NT102A Power Supplies Conform to Protection Class I. The other Clip components correspond to Protection Class III (Symbol )

when they are operated with safety extra-low voltage (SELV circuits).

In order to ensure sufficient immunity from disturbance only use Greenline screening (see HBM's special publication "Greenline" Screening Concept, electromagnetic compatibility of measuring cable, G36.35.0)

Appropriate use

The Clip Electronic with the connected transducers may be used for measurement and directly related control and regulation tasks, only. Any other use is not appropriate.

To ensure safe operation, the Clip Electronic may only be used according to the specifications given in this manual. When using the transducer, the legal and safety regulations for the respective application must also be observed. The same applies if accessories are used.

General dangers in the case of non-observance of the safety instructions

The Clip Electronic complies with the state of the art and is operationally reliable. If the device is used and operated inappropriately by untrained personnel, residual dangers might develop.

Any person charged with device installation, operation, maintenance or repair must in any case have read and understood the operating manual and the safety instructions, in particular.

Conditions on site

Protect the device from moisture or atmospheric influences such as rain, snow, etc.

Maintenance and cleaning

The Clip Electronic are maintenance-free. Please note the following points when cleaning the housing:

- Remove the mains plug from the socket before cleaning.
- Clean the housing with a soft, slightly damp (not wet!) cloth. **Never** use solvents, since they may damage the labelling on the front panel.
- When cleaning, please ensure that no liquid finds its way into the device or onto the contacts.

Residual dangers

The Clip Electronic scope of performance and supply covers part of the measuring-technology, only. The plant designer/constructor/operator must in addition design, realize and take responsibility for the measuring-system's safety such that potential residual dangers are minimized. The respective regulations must in any case be observed. Residual dangers regarding the measuring system must be specified explicitly.

If there is any risk of remaining dangers when working with the, it is pointed out in this introduction by means of the following symbols:



DANGER

Meaning: **Maximum danger level**

Warns of an **imminently** dangerous situation in which failure to comply with safety requirements **will result in** death or serious physical injury.



WARNING

Meaning: **Dangerous situation**

Warns of a **potentially** dangerous situation in which failure to comply with safety requirements **can result in** death or serious physical injury.



CAUTION

Meaning: **Potentially dangerous situation**

Warns of a **potentially** dangerous situation in which failure to comply with safety requirements **could result in** damage to property or some form of physical injury.

Symbols for using advices and helpful information:



Symbol:

NOTE

Means that important information about the product or its handling is being given.



Symbol:

Meaning: **CE mark**

The CE mark enables the manufacturer to guarantee that the product complies with the requirements of the relevant EC directives (see Declaration of Conformity at the end of this document).

Safe operation

Do only quit error messages if the reason for the error has been eliminated and there is no more danger.

Reconstruction and modifications

HBM's express consent is required for modifications regarding the Clip Electronic construction and safety. HBM does not take responsibility for damage resulting from unauthorized modifications.

In particular, repair and soldering works on the boards are prohibited. If complete componentry is replaced use original HBM components, only.

Qualified personnel

The device may be used by qualified personnel, only; the technical data and the special safety regulations must in any case be observed. When using the device, the legal and safety regulations for the respective application must also be observed. The same applies if accessories are used.

Qualified personnel means: personnel familiar with the installation, mounting, start-up and operation of the product, and trained according to their job.

Maintenance and repair work on an open device with the power on should only be undertaken by trained personnel who are aware of the above-mentioned dangers.

1 Application

The measuring amplifiers are suitable for the measurement of mechanical quantities such as force, weight, torque, pressure, displacement, strain and acceleration. Appropriate transducers complying with the international standards can be connected to the measuring amplifiers.

Transducers can be operated in potentially explosive areas, if safety barriers are used.

The individual CLIP components can be arranged as desired and are wired by terminals. Switches and potentiometers for adjustment have been provided on the circuit boards. The accuracy class is 0.1.

The following units are available:

- AE101 (DC), AE301/301S6/301S7 (600 Hz CF), AE501 (4.8 kHz CF),
Measuring amplifier
- GR201 Double limit-value switch
- EM201, EM201K2 Output-stage modules with current output
- NT101A, NT102A Power supply units
- TS101 Automatic Tare and Store Unit

2 Mounting / Dismounting

The housings are installed onto mounting rails to DIN EN 50 022; they are hooked onto the upper edge and snapped into the spring plate on the lower edge.

For dismounting, use a screwdriver to push down the spring plate and unhook the housing.

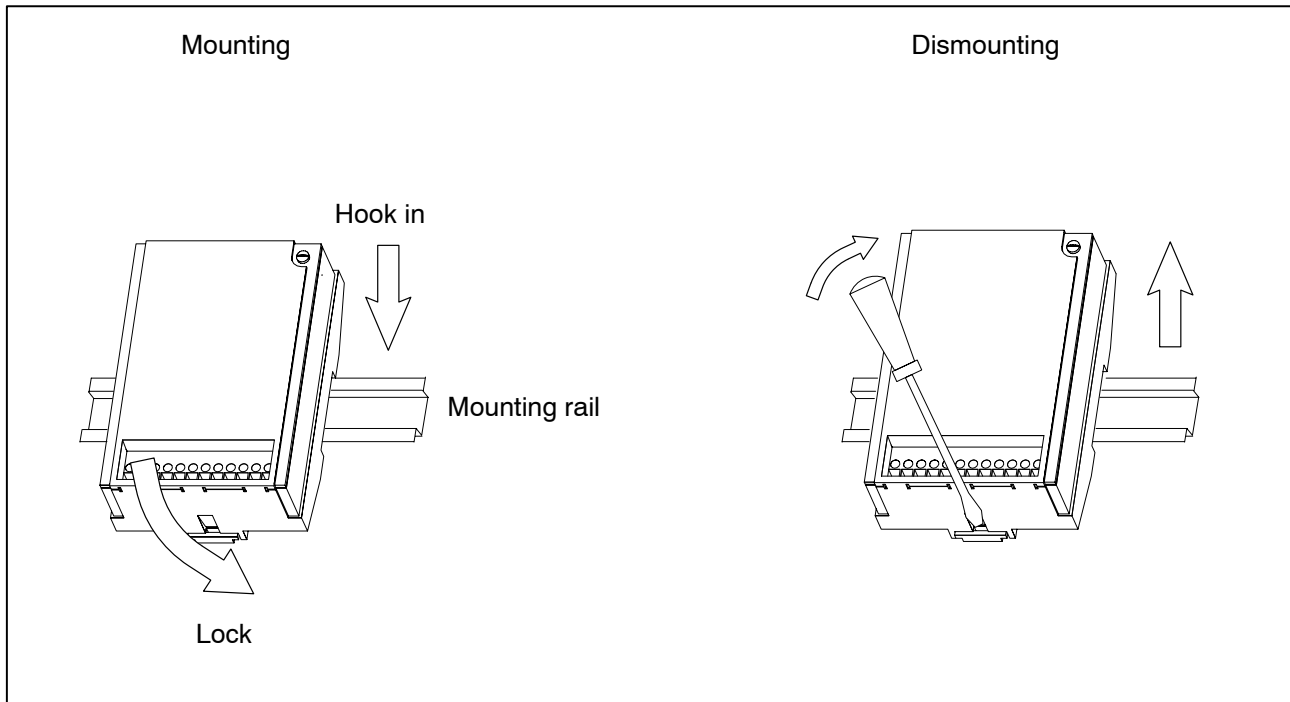


Fig. 2.1: Mounting / Dismounting

3 Connection

Use the 12-pin terminal strip to connect the transducers, to wire the modules with each other and to connect the voltage supply. Individual wires can be clamped in a range of 0.13 mm² ... 1.5 mm². If two conductor lines are to be connected to one terminal, e.g. with internal and external connections, the conductor cross-sections must be matched accordingly. End sleeves (without plastics hoop, length: 10 mm) should be used to connect the cores to the terminals. Cores with or without end sleeves must not be tin-plated. When connecting the lines, measures should be taken to prevent electrostatic discharge.

The subsequent figures give the respective connection diagrams that are printed onto the housing cover.



NOTE

The Clip modules have been designed for installation in closed metallic housings (e. g. control cabinet); they can also be operated without any additional housings.

The transducer connection lines and the analog signal lines (inputs and outputs) have to be screened.

At the control cabinet, the screening must lie on a screen rail.

Supply lines and lines connected to the GR201 relay contacts must be screened if the cable length exceeds 30 m or if the cables are routed outside closed buildings.



NOTE

Only after tightening the clamping screws (ensure good contact) will the output signal be available on the terminals.

3.1 Measuring amplifiers AE101, AE301, AE501

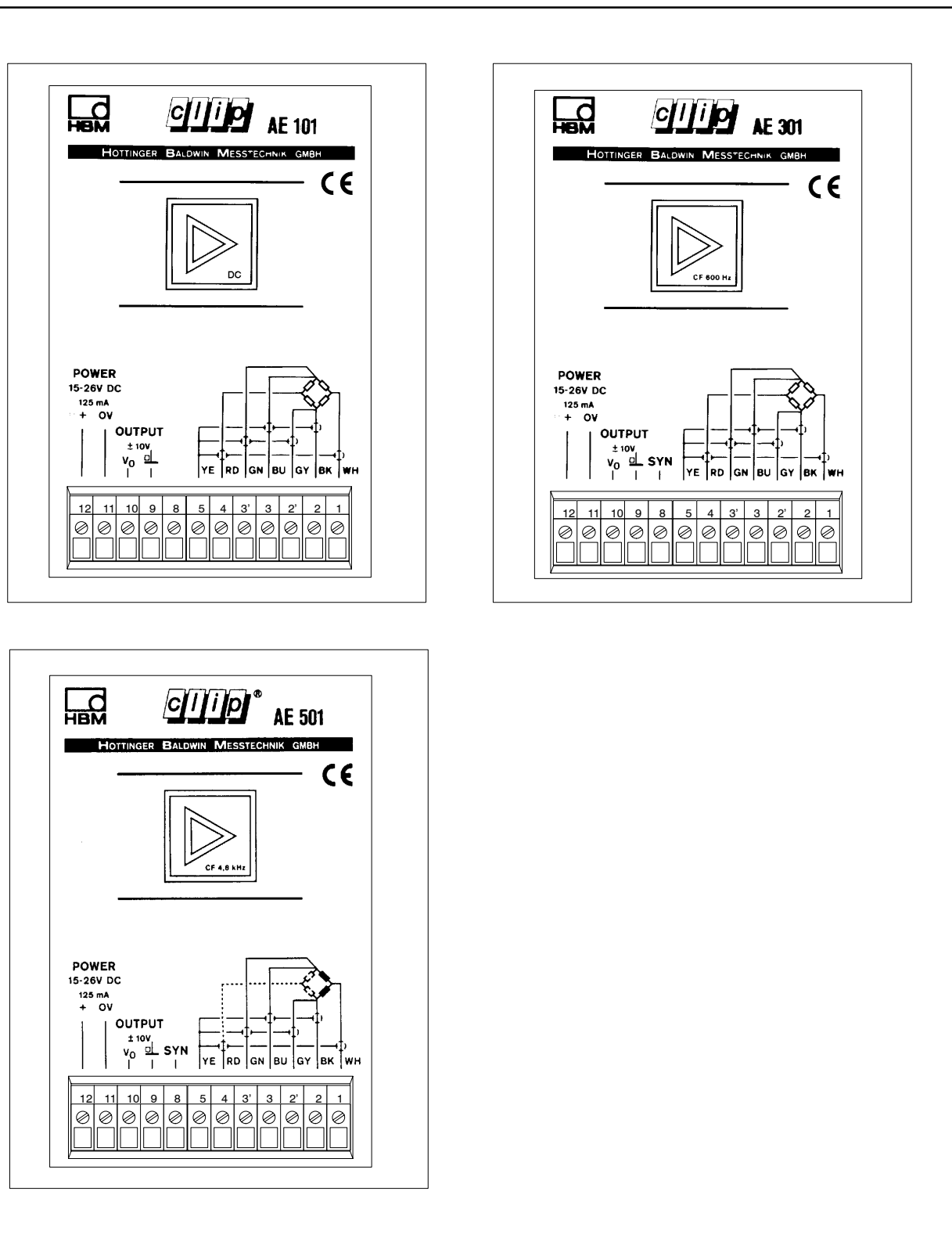


Fig. 3.1: Measuring-amplifier connections

Type	AE101, AE301, AE501	
Terminal	Function	Color (HBM - cable)
1	Measuring signal	WH (white)
2	Bridge excitation voltage	BK (black)
2'	Sensor line	GY (grey)
3	Bridge excitation voltage	BU (blue)
3'	Sensor line	GN (green)
4	Measuring signal	RD (red)
5	Screen/Ground	YE (yellow)
8	Synchronization (not with AE101)	
9	Operating-voltage zero ^{*)}	
10	Output voltage	
11	Supply voltage zero ^{*)}	
12	Supply voltage	

Tab. 3.1: Amplifier connection

^{*)} Operating-voltage zero and supply-voltage are internally connected.

Terminal 5 of the Clip amplifier and the transducer's screen connection should be grounded (e. g. connected to the screen rail). If the transducers are installed in a metallic housing with PG glands (e. g. control cabinet or ClipIG), a large area of the transducer screen must be in contact with the PG gland.

3.2 GR201, EM201, EM201K2, TS101 additional units

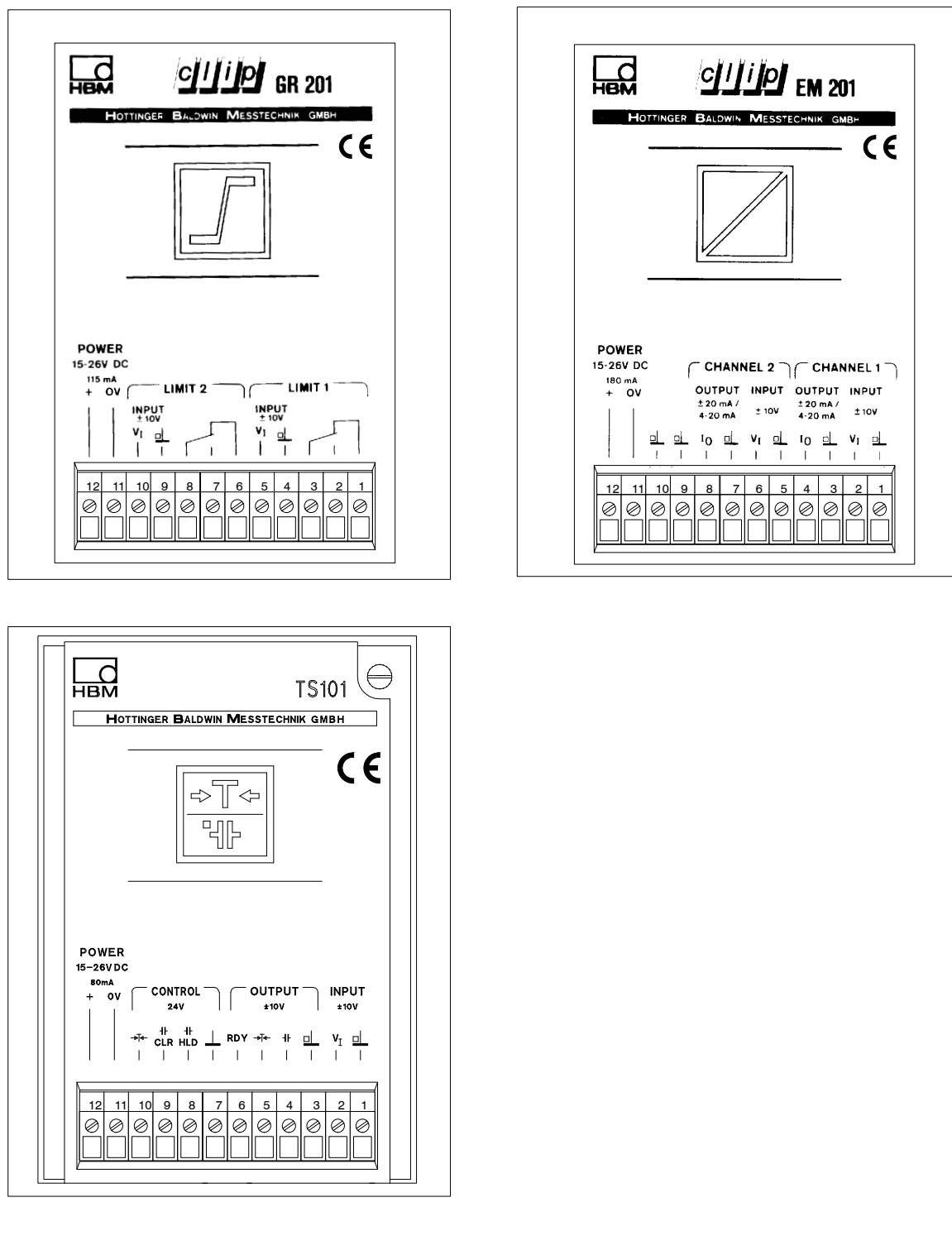


Fig. 3.2: Connection of the additional units

Type	GR201	EM201, EM201K2	TS101
Terminal	Function		
1	Relay 1; Break contact	Input 1; Ground ^{*)}	Input; Ground
2	Relay 1; Make contact	Input 1; ± 10 V	Input ; ± 10 V
3	Relay 1; Center	Output 1; Ground ^{*)}	Output; Ground
4	Input 1; Ground	Output 1; ± 20 mA / 4 ... 20 mA	Output; PVCS ± 10 V
5	Input 1; ± 10 V	Input 2; Ground ^{*)} (only with EM201K2)	Output; TAR ± 10 V
6	Relay 2; Break contact	Input 2; ± 10 V (only with EM201K2)	Output; TAR (24 V DC)
7	Relay 2; Make contact	Output 2; Ground ^{*)} (only with EM201K2)	Control; Ground
8	Relay 2; Center	Output 2; ± 20 mA / 4 ... 20 mA (only with EM201K2)	Control; Run/Hold (24 V DC)
9	Input 2; Ground	Ground ^{*)}	Control; Peak/Clear (24 V DC)
10	Input 2; ± 10 V	Ground ^{*)}	Control; TAR (24 V DC)
11	Supply zero	Supply zero ^{*)}	Supply zero
12	Supply voltage	Supply voltage	Supply voltage

Tab. 3.2: Connection of additional units

^{*)} Ground and supply zero are internally connected. GR201 has differential inputs.

3.3 NT101A, NT102A Power supply

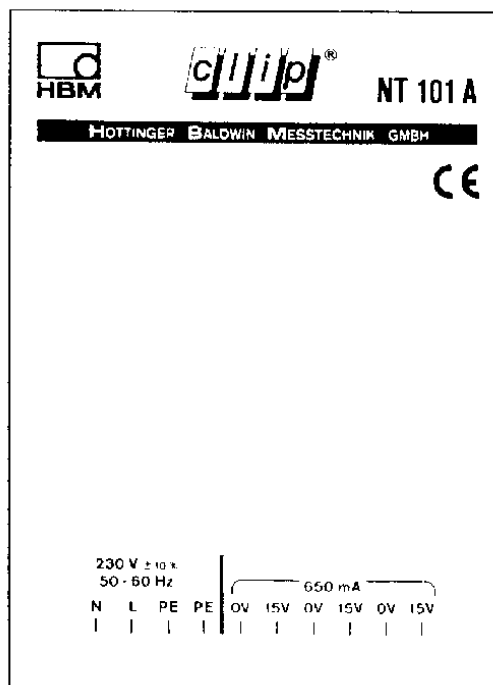


Fig. 3.3: Connection of the power supply

The mains voltage (230 V for NT101A, 115 V for NT102A) must be connected to N and L (phase); the protective ground wire must be connected to $\oplus$. The D.C.-voltage outputs are fed to pairs of internally connected terminals (0 V and 15 V). The max. output current is 650 mA.

4 Setup

If all cables are connected, proceed as follows:

- Connect transducer cable
- Switch on supply voltage.
- Slacken screw on upper right housing edge and hinge down housing cover.

4.1 AE101 Measuring amplifiers

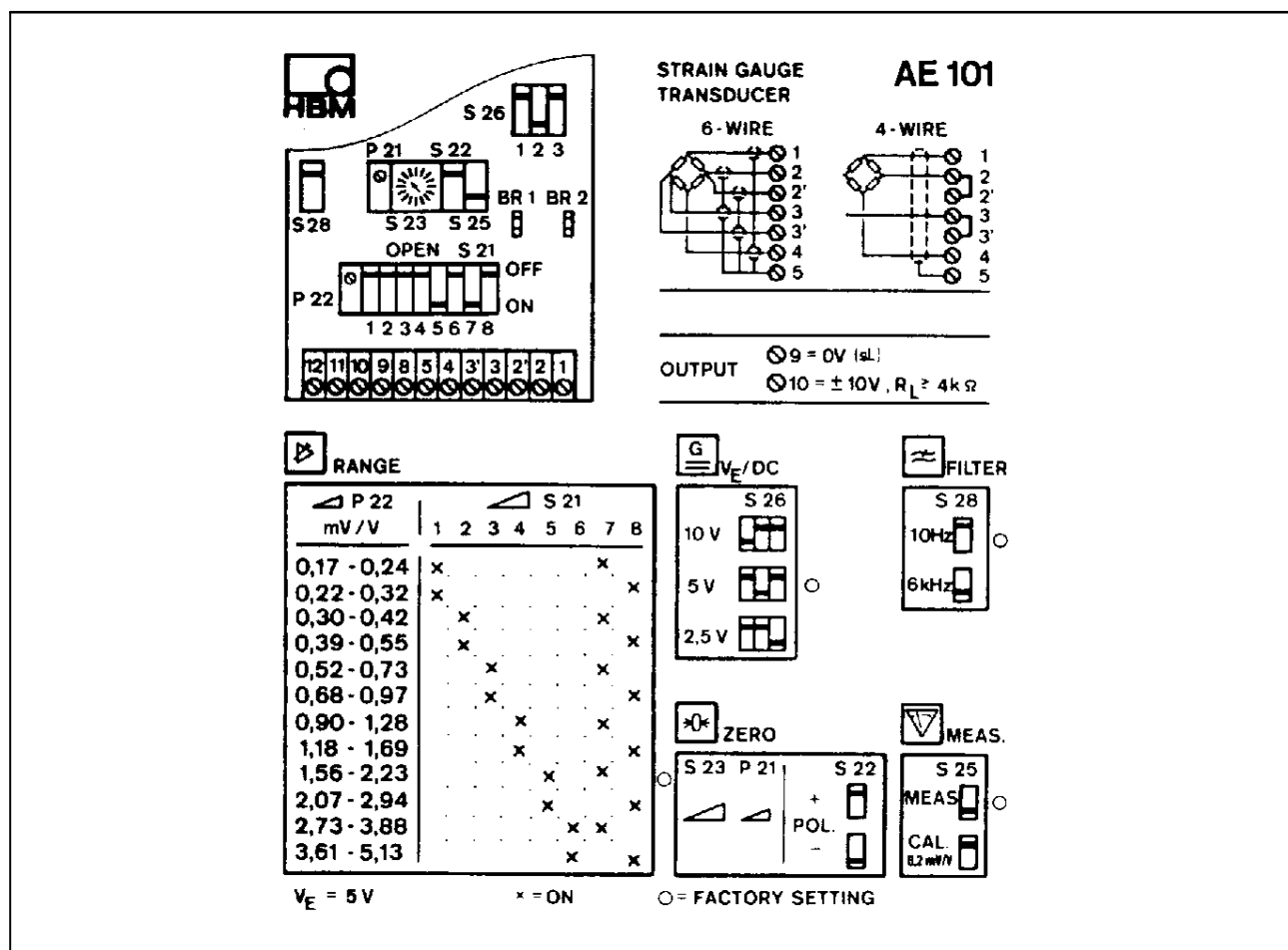


Fig. 4.1: Stick-on label in housing

• Connection method

The standard transducer connection-method is the 6-wire technique (with two sensor lines). If the transducer is to be connected using a 4-wire circuit, the terminals 2 and 2' and 3 and 3' must be provided with jumper wires.

• Bridge excitation voltage

Use switch S26 to select the bridge excitation voltage V_E according to the strain-gauge full-bridge's resistance R_B .

Bridge excitation voltage V_E	Transducer resistance R_B
10 V	340 ... 5000 Ω
5 V	170 ... 5000 Ω
2.5 V	85 ... 5000 Ω

• Measuring frequency range

Use S28 to adjust the measuring frequency range to 10 Hz or 6 kHz.

• Zero point

- Discharge the transducer or charge with preload.
- Use digital voltmeter to measure output voltage, and use rotary switch S23 to adjust minimum indication (if necessary, use S22 to switch polarity); fine balancing with P21 to 0.000 V.

• Measuring range

To obtain the maximum measurement resolution, the max. amplifier output-voltage (± 10 V) should be used.

AE101										
$V_E = 2.5$ V	$V_E = 5$ V	$V_E = 10$ V	switch position S21							
mV/V	mV/V	mV/V	1	2	3	4	5	6	7	8
0.34-0.48	0.17-0.24	0.09-0.12	X						X	
0.44-0.64	0.22-0.32	0.11-0.16	X							X
0.60-0.84	0.30-0.42	0.15-0.21		X					X	
0.78-1.1	0.39-0.55	0.20-0.28		X						X
1.04-1.46	0.52-0.73	0.26-0.37			X				X	
1.36-1.94	0.68-0.97	0.34-0.49			X					X
1.80-2.56	0.90-1.28	0.45-0.64				X			X	
2.36-3.38	1.18-1.69	0.59-0.85				X				X
3.12-4.46	1.56-2.23	0.78-1.12					X		X	
4.14-5.88	2.07-2.94	1.04-1.47					X			X
5.46-7.76	2.73-3.88	1.37-1.94						X	X	
7.22-10.26	3.61-5.13	1.81-2.57						X		X

Tab. 4.1: Nominal measured value depending on the bridge excitation voltage V_E .

Formula:

$$\frac{\text{Part load}}{\text{Nominal load}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{\text{Measuring range in V}} \cdot \text{Sensitivity in mV/V} = \text{Nominal measurement value (Range) in mV/V}$$

Example 1

Force transducer 100 N $\triangleq$ 2 mV/V; measuring range wanted 60 N $\triangleq$ 10 V

$$\frac{60 \text{ N}}{100 \text{ N}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 2 \text{ mV/V} = 1.2 \text{ mV/V}$$

Load transducer with 60 N.

Use S21 to select appropriate interval as given in Tab. 4.1 (page 16) (switch on 4 + 7), and use P22 to adjust the output voltage to 10 V exactly. The measuring range can also be adjusted with no transducer connected by means of a calibration unit (e.g. K 3607) that simulates the transducer signal.

- **Additive calibration signal**

The measuring range can also be adjusted using the additive calibration signal (0.2 mV/V).

Example 2

Force transducer 100 N $\triangleq$ 2 mV/V; measuring range wanted: 60 N $\triangleq$ 10 V

$$\frac{60 \text{ N}}{100 \text{ N}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 2 \text{ mV/V} = 1.2 \text{ mV/V}$$

Calculate nominal measurement value, execute zero balance (see above) and use S21 to select the corresponding measuring-range interval. Connect additive calibration signal (set S25 to CAL) and use P22 to adjust with the transducer under no load. The amplifier has now been calibrated. Adjust S25 to MEAS.

$$\frac{0.2 \text{ mV/V}}{1.2 \text{ mV/V}} \cdot 10 \text{ V} = 1.667 \text{ V}$$

4.2 AE301 Measuring amplifier

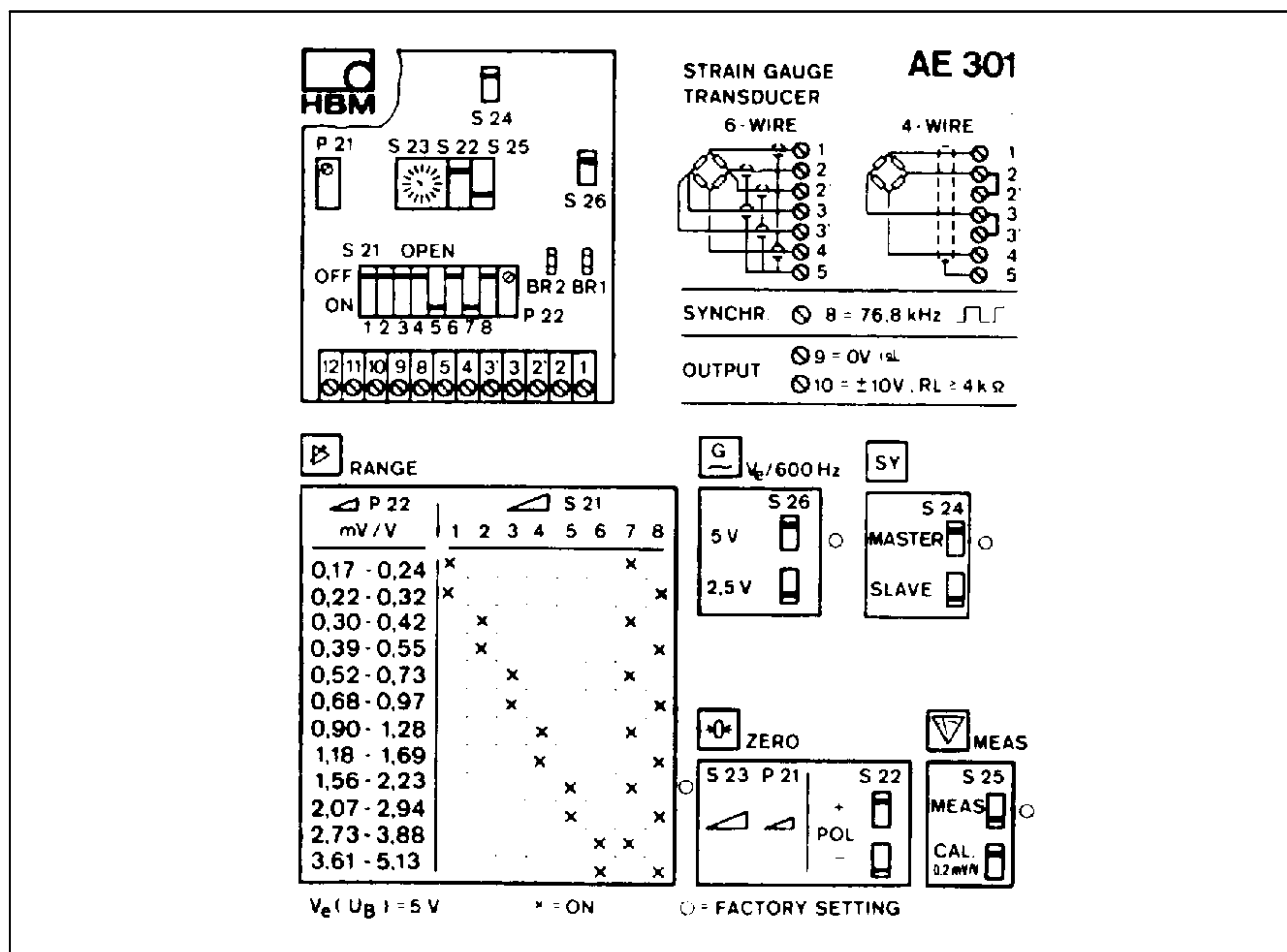


Fig. 4.2: Stick-on label in housing

• Connection method

The standard transducer connection-method is the 6-wire technique (with two sensor lines). Cable lengths > 50 m require one resistor each with half the bridge resistance value ($R_B/2$) to be connected to the sensor line instead of the feedback bridges. If the transducer is to be connected using a 4-wire circuit, the terminals 2 and 2' and 3 and 3' must be provided with jumper wires.

• Bridge excitation voltage

Use switch S26 to select the bridge excitation voltage V_E according to the strain-gauge full-bridge's resistance R_B .

Bridge excitation voltage V_E	Transducer resistance R_B
5 V	170 ... 5000 Ω
2.5 V	85 ... 5000 Ω

- **Measuring frequency range**

The measuring frequency range is 10 Hz.

- **Zero point**

- Discharge the transducer or charge with preload.
- Use digital voltmeter to measure output voltage, and use rotary switch S23 to adjust minimum indication (if necessary, use S22 to switch polarity); fine balancing with P21 to 0.000 V.

- **Measuring range**

To obtain the maximum measurement resolution, the max. amplifier output-voltage (± 10 V) should be used.

AE301									
$V_E = 2.5$ V	$V_E = 5$ V	switch position S21							
mV/V	mV/V	1	2	3	4	5	6	7	8
0.34-0.48	0.17-0.24	X						X	
0.44-0.64	0.22-0.32	X							X
0.60-0.84	0.30-0.42		X					X	
0.78-1.1	0.39-0.55		X						X
1.04-1.46	0.52-0.73			X				X	
1.36-1.94	0.68-0.97			X					X
1.80-2.56	0.90-1.28				X			X	
2.36-3.38	1.18-1.69				X				X
3.12-4.46	1.56-2.23					X		X	
4.14-5.88	2.07-2.94					X			X
5.46-7.76	2.73-3.88						X	X	
7.22-10.26	3.61-5.13						X		X

Tab. 4.2: Nominal measured value depending on the bridge excitation voltage V_E

Factory setting: $V_E = 5$ V; $M_R = 2$ mV/V

AE301S6									
Measuring frequency range: 2 Hz									
Calibration signal: 0.1 mV/V									
$V_E=5\text{ V}$	$V_E=2.5\text{ V}$	switch S21							
mV/V	mV/V	1	2	3	4	5	6	7	8
0.09-0.12	0.17-0.24	X						X	
0.11-0.16	0.22-0.32	X							X
0.15-0.21	0.30-0.42		X					X	
0.20-0.28	0.39-0.55		X						X
0.26-0.37	0.52-0.73			X				X	
0.34-0.49	0.68-0.97			X					X
0.45-0.64	0.90-1.28				X			X	
0.59-0.85	1.18-1.69				X				X
0.78-1.12	1.56-2.23					X		X	
1.04-1.47	2.07-2.94					X			X
1.37-1.94	2.73-3.88						X	X	
1.81-2.57	3.61-5.13						X		X

Factory setting: $V_E = 5\text{ V}$; $M_R = 1\text{ mV/V}$

AE301S7									
Measuring frequency range: 60 Hz									
Calibration signal: 1 mV/V									
$V_E=5\text{ V}$	$V_E=2.5\text{ V}$	switch S21							
mV/V	mV/V	1	2	3	4	5	6	7	8
0.09-0.12	0.17-0.24	X						X	
0.11-0.16	0.22-0.32	X							X
0.15-0.21	0.30-0.42		X					X	
0.20-0.28	0.39-0.55		X						X
0.26-0.37	0.52-0.73			X				X	
0.34-0.49	0.68-0.97			X					X
0.45-0.64	0.90-1.28				X			X	
0.59-0.85	1.18-1.69				X				X
0.78-1.12	1.56-2.23					X		X	
1.04-1.47	2.07-2.94					X			X
1.37-1.94	2.73-3.88						X	X	
1.81-2.57	3.61-5.13						X		X

Factory setting: $V_E = 5\text{ V}$; $M_R = 1\text{ mV/V}$

Formula:

$$\frac{\text{Part load}}{\text{Nominal load}} \cdot \frac{10\text{ V}}{\text{Measuring range in V}} \cdot \text{Sensitivity in mV/V} = \frac{\text{Nominal measurement value (Range) in mV/V}}{\text{mV/V}}$$

Example 3

Force transducer 100 N $\triangleq$ 2 mV/V; measuring range wanted: 60 N $\triangleq$ 10 V

$$\frac{60 \text{ N}}{100 \text{ N}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 2 \text{ mV/V} = 1.2 \text{ mV/V}$$

Load transducer with 60 N.

Use S21 to select appropriate interval as given in Tab. 4.2 (page 19) (switch on 4 + 7), and use P22 to adjust the output voltage to 10 V exactly. The measuring range can also be adjusted with no transducer connected by means of a calibration unit (e.g. K 3607) that simulates the transducer signal.

- **Additive calibration signal**

The measuring range can also be adjusted using the additive calibration signal (0.2 mV/V).

Example 4

Force transducer 100 N $\triangleq$ 2mV/V; measuring range wanted: 60 N $\triangleq$ 10 V

$$\frac{60 \text{ N}}{100 \text{ N}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 2 \text{ mV/V} = 1.2 \text{ mV/V}$$

Calculate nominal measurement value, execute zero balance (see above) and use S21 to select the corresponding measuring-range interval. Connect additive calibration signal (set S25 to CAL) and use P22 to adjust with the transducer under no load. The amplifier has now been calibrated. Adjust S25 to MEAS.

$$\frac{0.2 \text{ mV/V}}{1.2 \text{ mV/V}} \cdot 10 \text{ V} = 1.667 \text{ V}$$

- **Synchronization**

For synchronization of several CF amplifiers, one master device must be defined by adjusting S24 to MASTER. The other devices must be set to SLAVE using S24. Then, interconnect terminals 8. Synchronization is also possible with AE501 measuring amplifiers.

4.3 AE501 Measuring amplifier

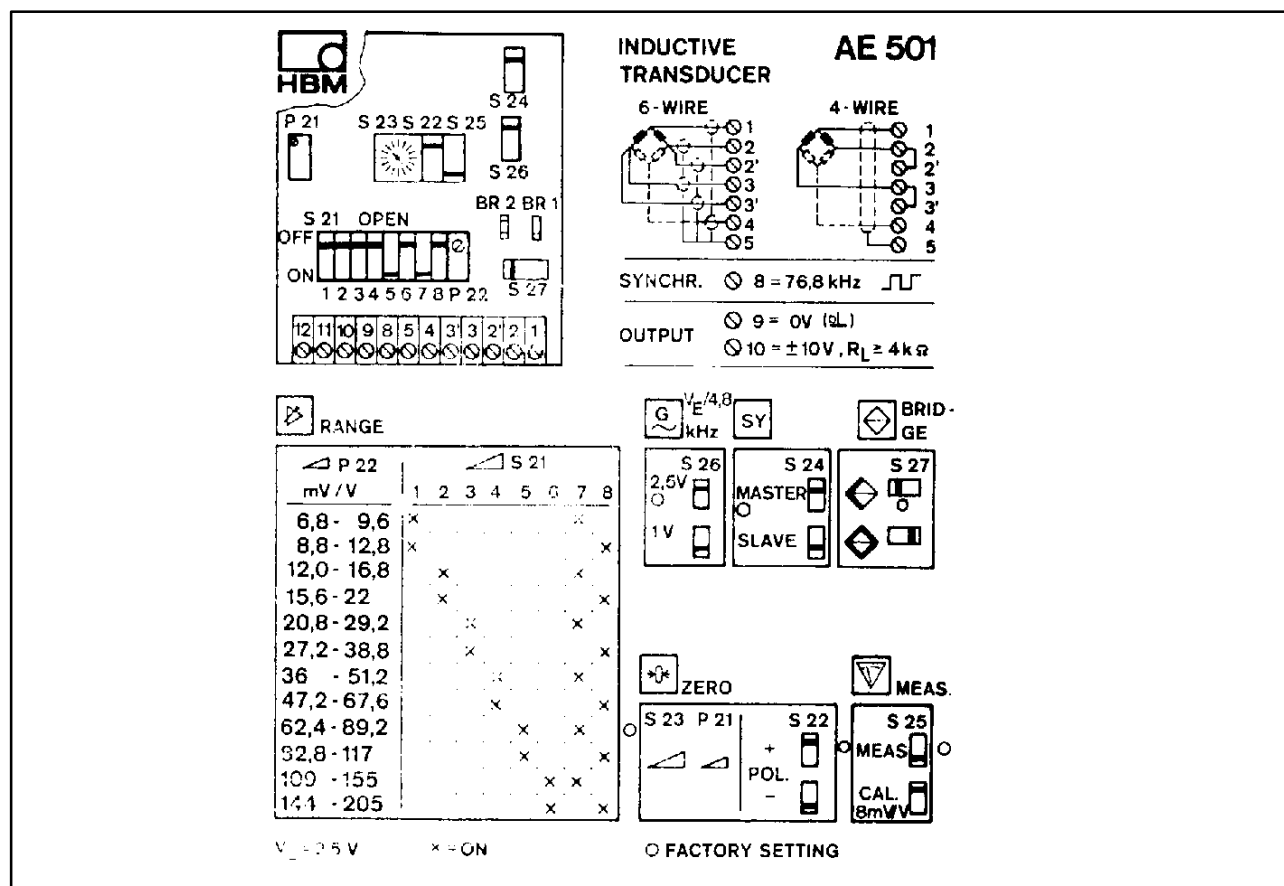


Fig. 4.3: Stick-on label in housing

• Connection method

The standard transducer connection-method for inductive halfbridges is the 5-wire technique for inductive fullbridges the 6-wire technique. If the transducer is to be connected using a 3-wire circuit (inductive half bridge) or a 4-wire circuit (inductive full bridge), the terminals 2 and 2' and 3 and 3' must be provided with jumper wires.

• Bridge type

Use switch S27 to select the bridge type (inductive half bridge, inductive full bridge).

• Bridge excitation voltage

Use switch S26 to select the bridge excitation voltage V_E according to the inductance L_B of the half-bridge or full-bridge transducer. When using SI01 safety barriers, the bridge excitation voltage **must** in any case be adjusted to 1 V.

Bridge excitation voltage V_E	Transducer inductance L_B
2.5 V	2.5 ... 20 mH
1 V	6 ... 19 mH

- **Measuring frequency range**

The measuring frequency range is 10 Hz.

- **Zero point**

- Bring transducer into initial position (e.g. mechanical center position).
- Use digital voltmeter to measure output voltage, and use rotary switch S23 to adjust minimum indication (if necessary, use S22 to switch polarity); fine balancing with P21 to 0.000 V.

- **Measuring range**

To obtain the maximum measurement resolution, the max. amplifier output-voltage (± 10 V) should be used.

AE501								
$V_E = 1$ V	$V_E = 2.5$ V	switch position S21						
mV/V	mV/V	1	2	3	4	5	6	7
17.0-24.0	6.8-9.6	X						X
22.0-32.0	8.8-12.8	X						X
30.0-42.0	12.0-16.8		X					X
39.0-55.0	15.6-22.0		X					X
52.0-73.0	20.8-29.2			X				X
68.0-97.0	27.2-38.8			X				X
90.0-128.0	36.0-51.2				X			X
118.0-169.0	47.2-67.6				X			X
156.0-223.0	62.4-89.2					X		X
207.0-292.5	82.8-117.0					X		X
272.0-387.5	109.0-155.0						X	X
360.0-512.5	144.0-205.0						X	X

Tab. 4.3: Nominal displacement depending on the bridge excitation voltage V_E

Formula:

$$\frac{\text{Part load}}{\text{Nominal load}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{\text{Measuring range in V}} \cdot \text{Sensitivity in mV/V} = \text{Nominal measurement value (Range) in mV/V}$$

Example 5

Displacement transducer, nominal displacement $\pm 20 \text{ mm} \triangleq \pm 80 \text{ mV/V}$
 Measuring range wanted: $16 \text{ mm} \triangleq 10 \text{ V}$

$$\frac{16 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 80 \text{ mV/V} = 64 \text{ mV/V}$$

Position transducer to 16mm displacement, e.g. using gauge blocks. Use S21 to select the appropriate interval as given in Tab. 4.3 (page 23) (switch on 4 + 8), and use P22 to adjust the output voltage to 10V exactly. The measuring range can also be adjusted with no transducer connected by means of a calibration unit (e.g. BN 4800) that simulates the transducer signal.

- **Additive calibration signal**

The measuring range can also be adjusted using the additive calibration signal (8mV/V).

Example 6

Displacement transducer, nominal displacement $\pm 20\text{mm} \triangleq \pm 80\text{mV/V}$;
 Measuring range wanted: $16\text{mm} \triangleq 10\text{V}$.

$$\frac{16 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \cdot \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 80 \text{ mV/V} = 64 \text{ mV/V}$$

Calculate nominal measurement, execute zero balance (see above) and use S21 to select the corresponding measuring-range interval. Activate additive calibration signal (set S25 to CAL) and use P22 to adjust with the transducer in displaced position. The amplifier has now been calibrated. Adjust S25 to MEAS.

$$\frac{8 \text{ mV/V}}{64 \text{ mV/V}} \cdot 10 \text{ V} = 1.250 \text{ V}$$

- **Synchronization**

The maximum number of modules that can be synchronized is 16.

For synchronization of several CF amplifiers, one master device must be defined by adjusting S24 to MASTER; the other devices must be set to SLAVE using S24. Then, interconnect terminals 8. Synchronization is also possible with AE301 measuring amplifiers.

4.4 GR201 Double limit-value switch

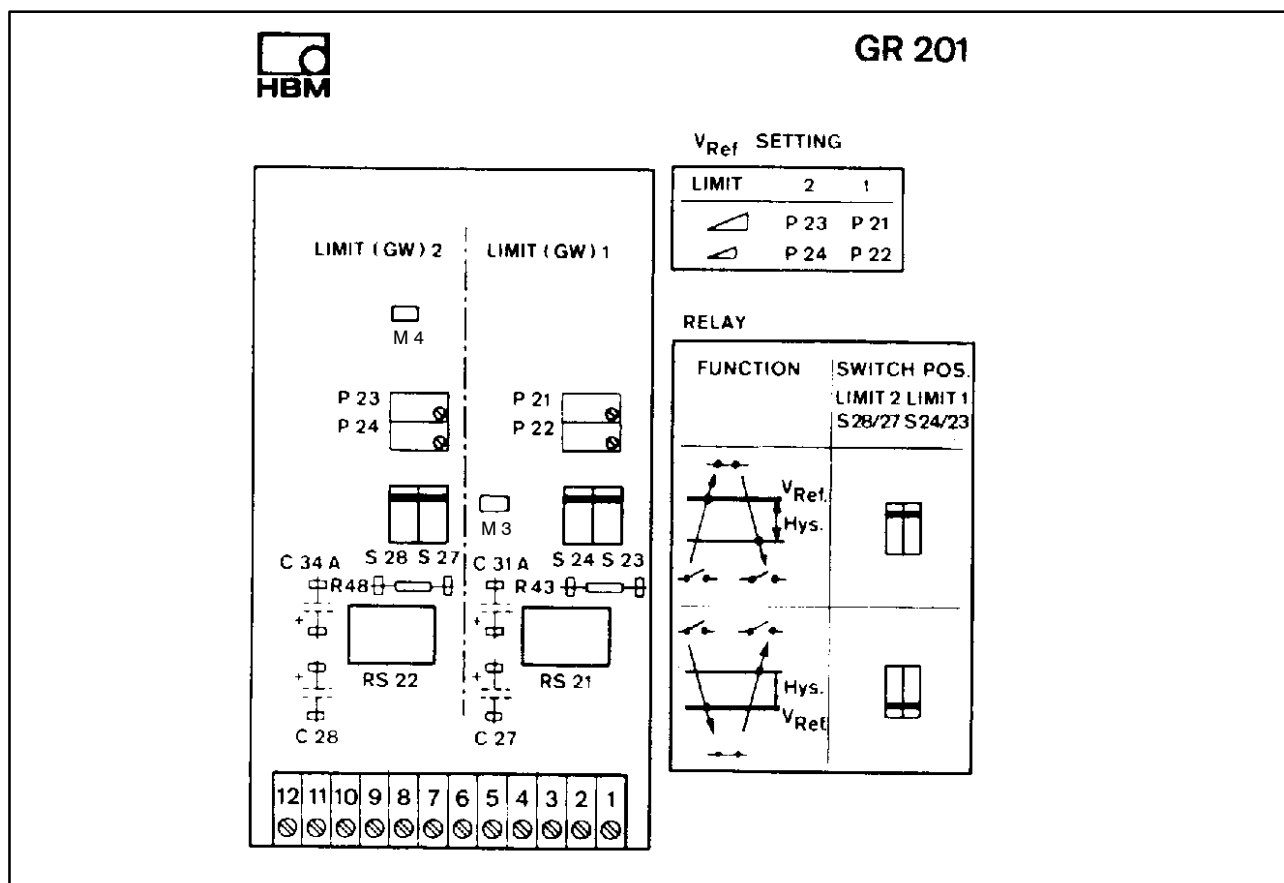


Fig. 4.4: Stick-on label in housing

• Reference voltage

Use the potentiometers P21 (coarse) and P22 (fine) for limit 1 or P23 (coarse) and P24 (fine) for limit 2 to adjust the relay response point (reference voltages V_{Ref1} and V_{Ref2}). The reference voltages V_{Ref1} and V_{Ref2} are available at the measuring points M4 (for limit1) and M5 (for limit 2). Connect a digital voltmeter to adjust the reference voltages as follows:

Limit 1 to measuring point M4 and terminal 4

Limit 2 to measuring point M3 and terminal 9



CAUTION

When the amplifier and limit value switch are supplied from several power supply units their ground connections have to be interconnected.

- **Switching direction**

There are two possible switching directions.

1. S23/24 and S27/28 in upper position

The make contact (terminal 2 or 7) closes upon exceeding of reference voltage V_{Ref} and opens upon falling below reference voltage V_{Ref} minus the hysteresis voltage V_{Hys} .

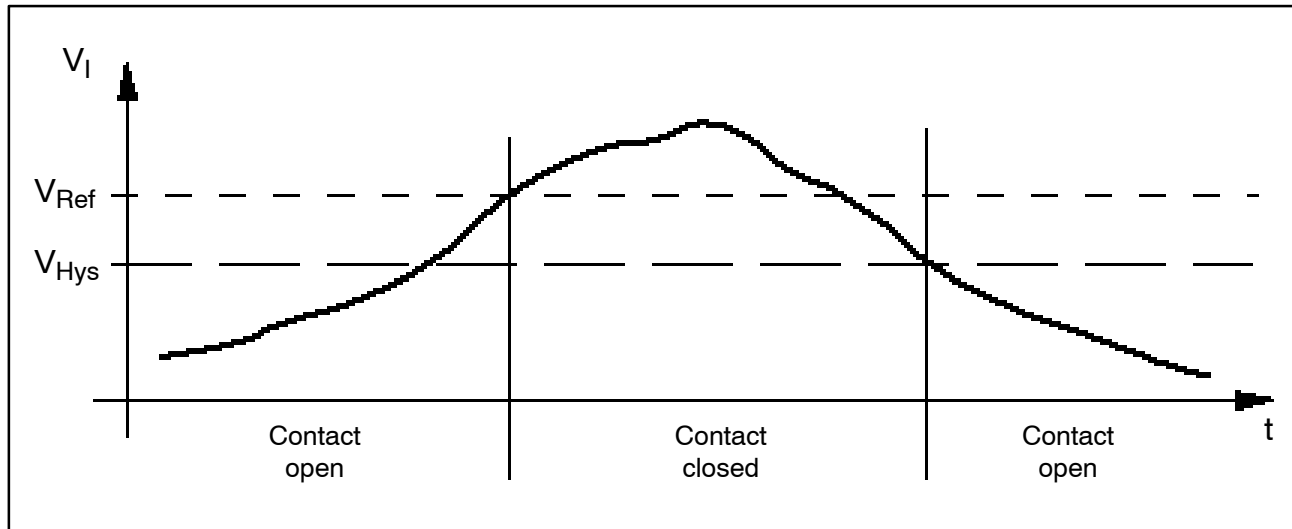


Fig. 4.5: GR201 Switching behavior, S23/24 and S27/28 in upper position

2. S23/24 or S27/28 in lower position

The make contact (terminal 2 or 7) closes upon falling below reference voltage V_{Ref} and opens upon exceeding of reference voltage V_{Ref} plus the hysteresis voltage V_{Hys} .

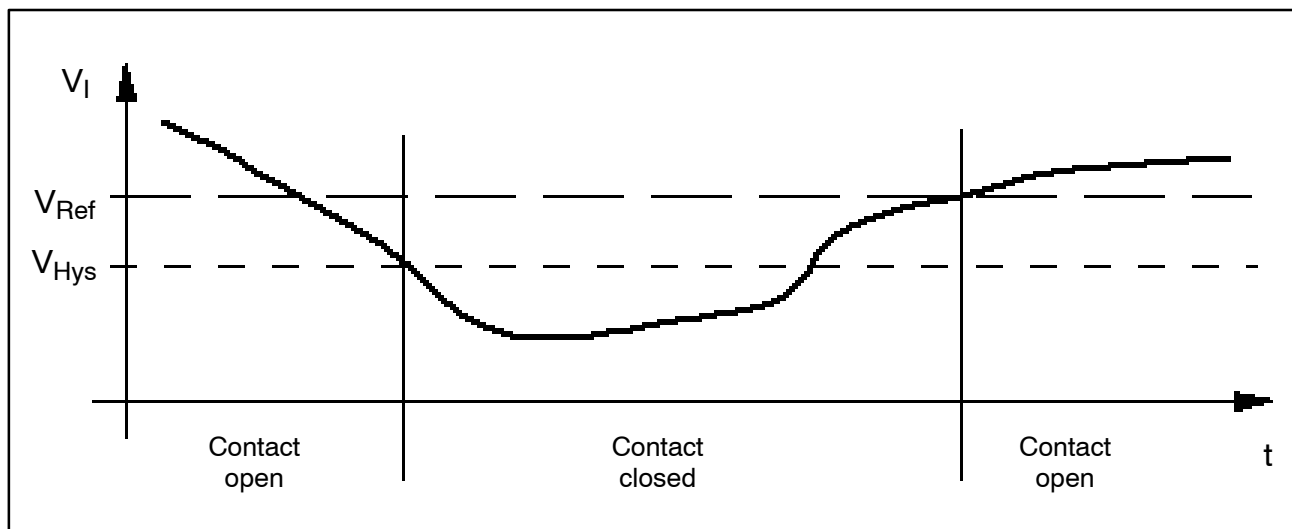


Fig. 4.6: GR201 Switching behavior, S23/24 and S27/28 in lower position



NOTE

Under normal operating conditions, the relays switch as described at V_{Ref} or V_{Hys} respectively. With signal levels in the hysteresis range ($V_{Ref} - V_{Hys}$ or $V_{Hys} - V_{Ref}$), EMC influences may cause the relays to switch before V_{Ref} or V_{Hys} has been reached. Outside the hysteresis range the switching states are always unambiguous.

- **Changing the hysteresis voltage**

The hysteresis voltage is 220 mV. It can be varied by changing R43 resp. R48. The following applies:

$$R43 (R48) = \frac{670 \text{ mV}}{V_{Hys} [\text{mV}]} \text{ k}\Omega$$

- **Changing the response and releasing times**

The response/releasing time (t_{rise} , t_{fall}) is less than 5ms. It can be varied by changing C31a/C34a and C27/C28 (max. 6.8 μ F). The capacitor's dielectric strength must be ≥ 35 V. The following applies:

$$t_{rise} = \frac{18 \text{ ms} \cdot C31a (C34a)}{\mu\text{F}} + 3 \text{ ms}$$

$$t_{fall} = \frac{710 \text{ ms} \cdot C31a (C34a)}{\mu\text{F}} + 3 \text{ ms}$$

- **Changing the releasing time only**

Change C27 (C28) to vary the relay releasing times (max. 47 μ F). The following applies:

$$t_{fall} = \frac{6 \text{ ms} \cdot C27 (C28)}{\mu\text{F}} + 3 \text{ ms}$$

4.5 EM201 / EM201K2 Output stage

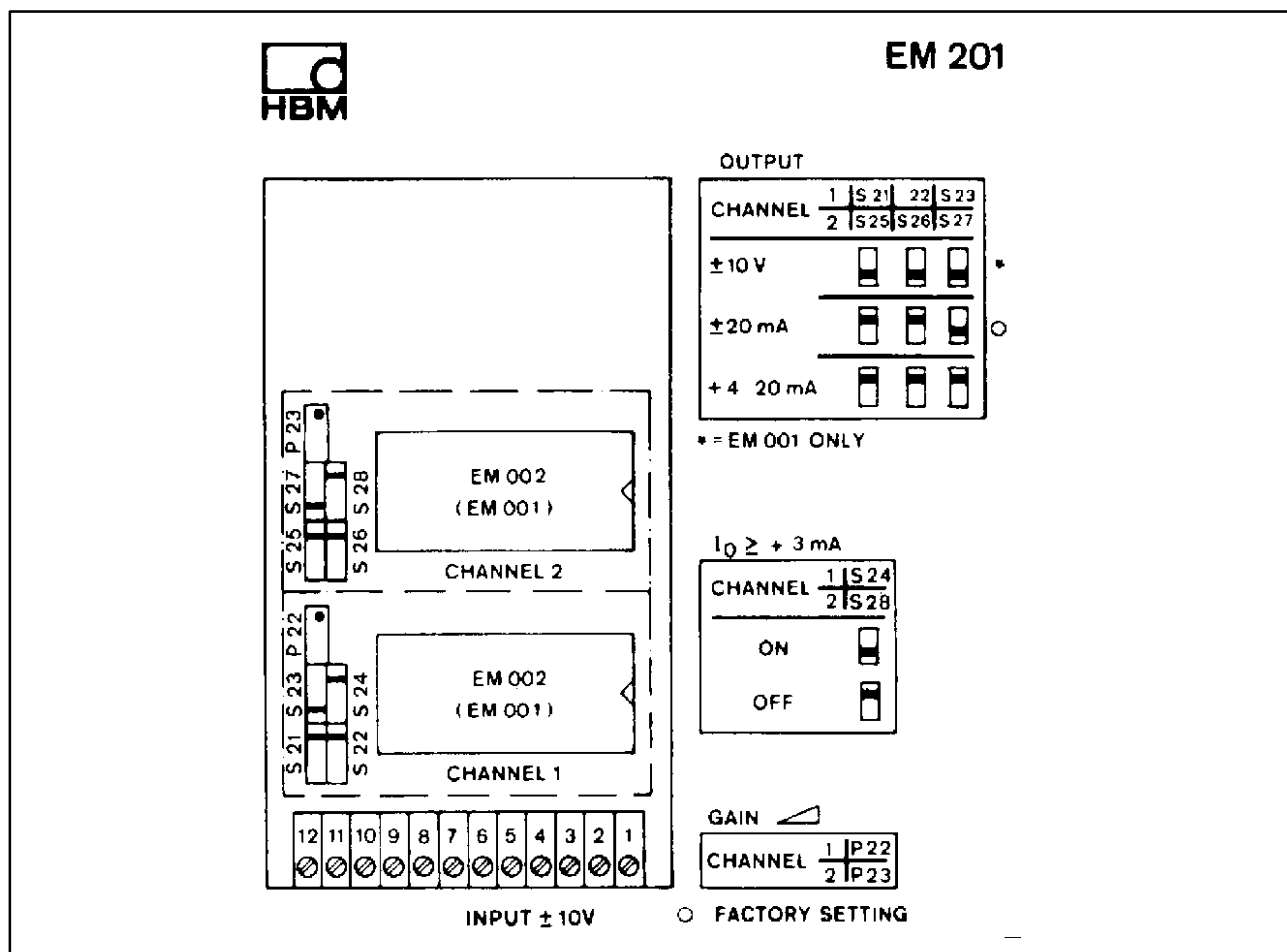


Fig. 4.7: Stick-on label in housing

The EM201 Output stage has been equipped with *one* EM002 module, the EM201K2 Output stage has been equipped with *two* EM002 modules. The EM002 module converts the amplifier output-voltage into a proportional current signal. For both versions the same housing has been used. Depending on the switch positions, the following current outputs are available:

- **$\pm 20mA$ current output**

S21/22 (S25/26) in upper position

S23 (S27) in lower position

S24 (S28) in OFF position

- **4 ... 20mA current output**

S21/22 (S25/26) in upper position

S23 (S27) in upper position

S24 (S28) in ON/OFF position

With S24 (S28) ON, the minimum output current is 3 mA. Even with negative input voltages, this value will not be fallen below. Consequently, a following device that monitors an interruption of cable, for example, will not respond erroneously, or an externally supplied following device will be supplied continuously.

- **Gain**

Use P22 (P23) to adjust the gain for both output stages in the range of 0.9 ... 1.1. Instead of the EM002 module, the EM001 module can also be used. It makes available an additional ± 10 V/20 mA voltage output. A separate zero balance is also possible.

- **Zero balance**

Since a zero balance is not provided in the EM002 module, the zero point has to be adjusted on the amplifier.

5 TS101 Automatic tare and store unit

5.1 General

The TS101 automatic tare and store unit is an additional Clip electronics module for further signal processing. The TS101 enables signals supplied by an amplifier connected in series to be tared and stored.

5.2 Function

The TS101 enables the below functions to be activated **at the same time**:

- tare **and** save a current value or a peak value (Minimum value or maximum value or peak-to-peak-value or envelope curve)

or

- save minimum value and maximum value (no taring)

5.2.1 Taring

Use the "Tare" control input (terminal 10) to start taring. To ensure correct acquisition of the tare value even in the case of unstable input signals, an adjustable low-pass can be used to filter the tare unit's input signal. In addition, the net signal can be amplified.

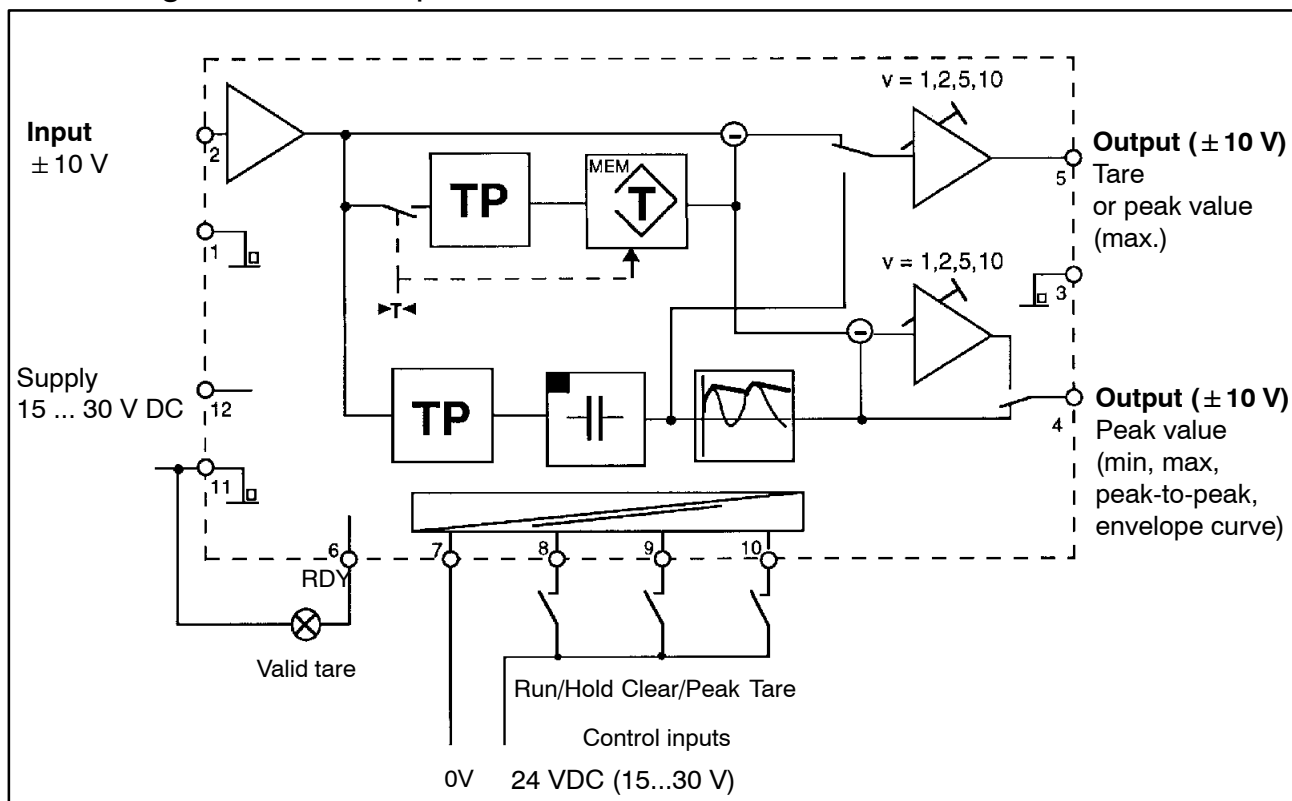


Fig. 5.1: Block diagram

5.2.2 Store unit

Upon storage, you can select as input signal for the store unit either the amplifier signal (gross signal) or the tare unit's output signal (net signal, not amplified). The selected input signal as well can be filtered and amplified. Use terminals 8 and 9 to control the store unit's operating mode (current value/peak value) and the Run/Hold function. With the "High" level the control output (RDY) signals a valid tare value.

- **Current value operating-mode**

When the store unit is used to acquire current values, the store contents is permanently kept up to date ("Run" function). Use the "Hold" control contact to hold the store contents; then, the value is present at the output as an analog signal.



NOTE

With the "Run" function, the TS101 output signal does correspond to the amplifier's output signal up to a frequency of 15 Hz.

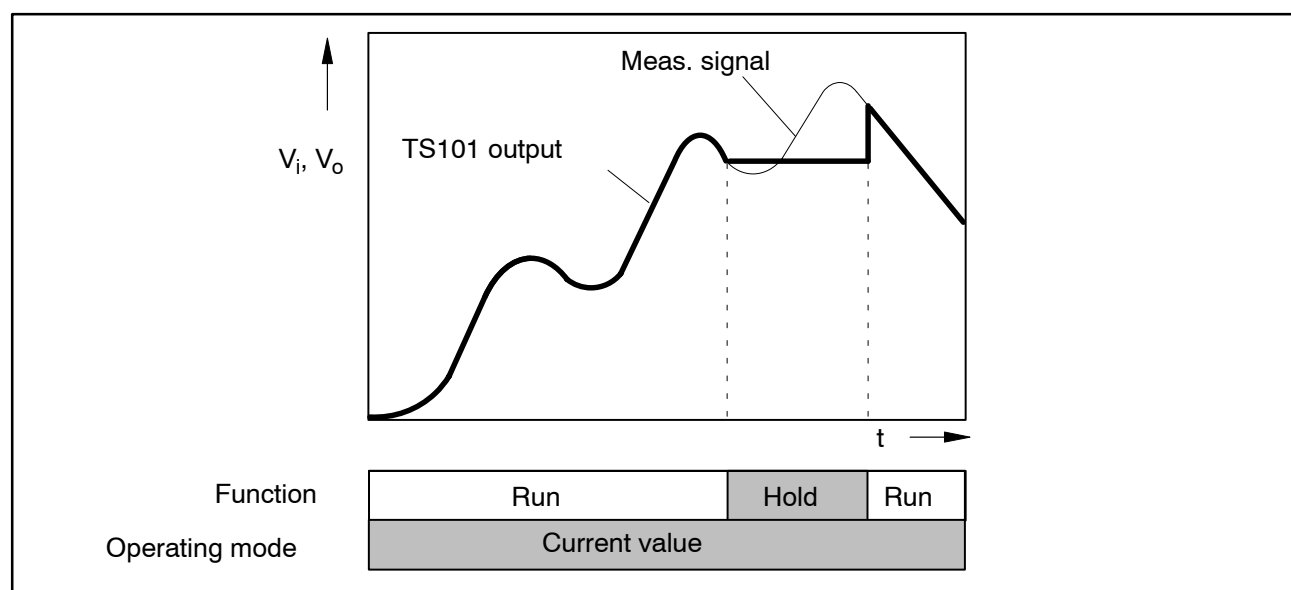


Fig. 5.2: Current value operating-mode (Clear)

Peak value operating-mode

The peak value operating-mode enables the below values to be acquired:

- minimum value or
- maximum value or
- peak-to-peak values

Use the "Hold" control contact to hold the store contents.

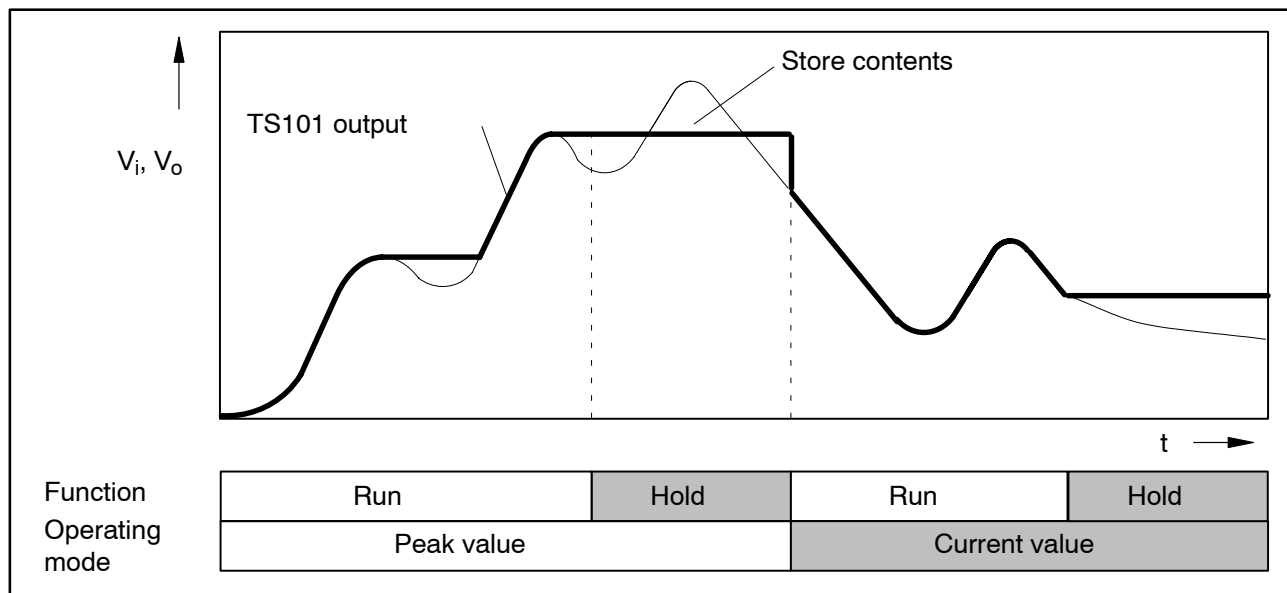


Fig. 5.3: Peak values operating-mode (PEAK)

Upon acquisition of peak values, enabling and adjusting the discharge rate enables an envelope-curve function to be prepared (Fig. 5.4 and Fig. 5.5). By adjusting the discharge rate you determine the speed of linear discharging of the peak-value store to the current value.

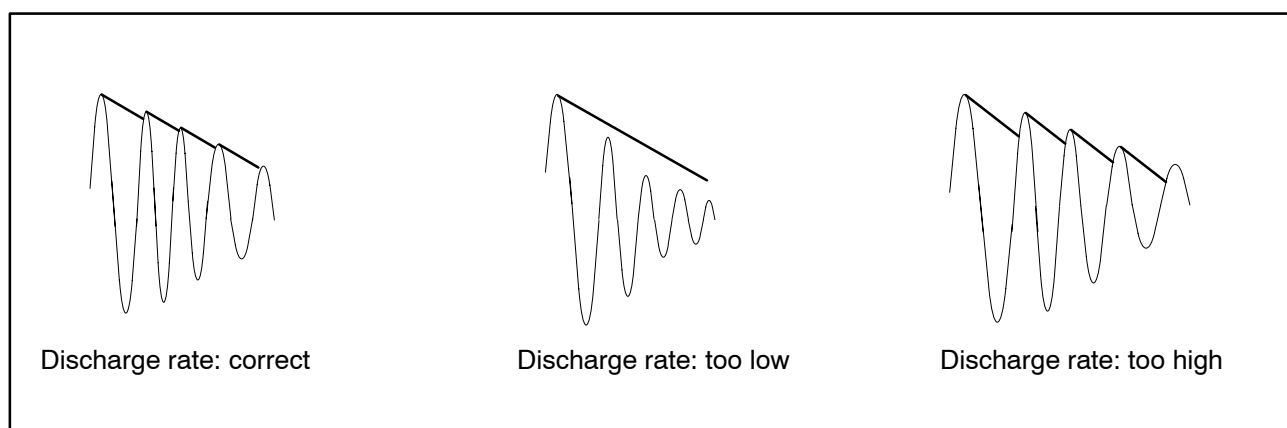


Fig. 5.4: Envelope-curve function

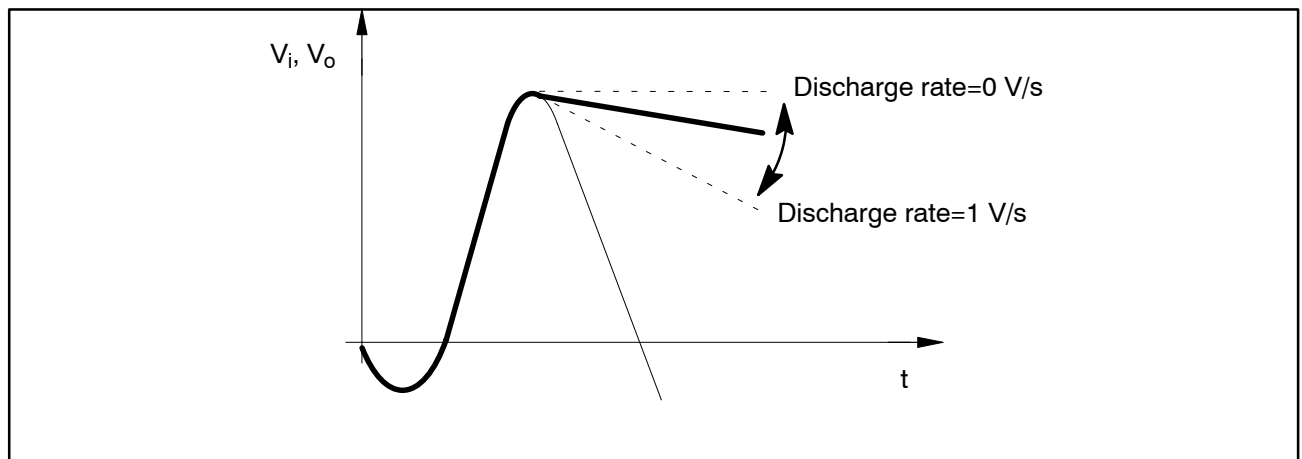


Fig. 5.5: Adjusting the discharge rate

5.3 Connection

Before starting up the device, read the safety instructions on page 4.

12 series terminals for wire diameters from 0.13 ... 1.5 mm (10 mm end sleeves for strands) are used to connect the TS101.

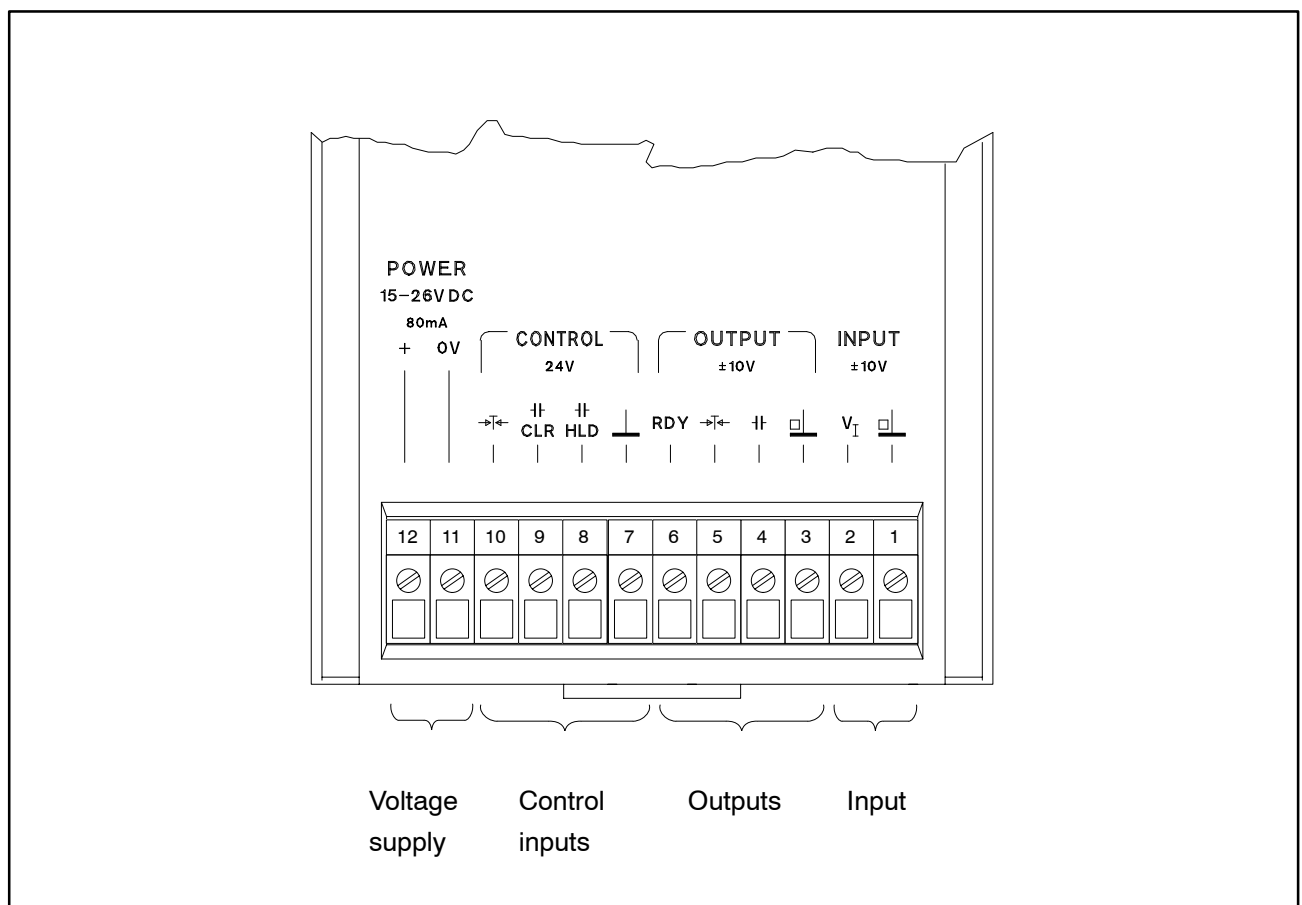


Fig. 5.6: TS101 connection terminals

Terminal	Function
1	Operating-voltage zero
2	Input voltage ± 10 V
3	Operating-voltage zero
4	Peak-value store output-voltage ± 10 V
5	Tare unit output-voltage ± 10 V
6	Control output: valid tare (24 V DC)
7	Ground (external for control inputs)
8	Run/Hold peak-value store (24 V DC) control input
9	Peak/Clear peak-value store (24 V DC control input)
10	Tare (24 V DC control input)
11	Supply voltage 0 V
12	Supply voltage 15 ... 30 V DC (unregulated)

Tab. 5.1: Terminal assignment

5.3.1 Voltage supply

The automatic tare and store unit must be supplied with an external supply voltage of 15 V to 30 V. Terminals 11 and 12 are used for connection.

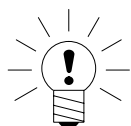
5.3.2 Inputs / Outputs

Inputs

Connect to terminals 1 and 2 the output signal supplied by the amplifier connected in series.

Outputs

The TS101 output signals can be picked up at terminal 4 (peak value) and terminal 5 (net value). They can be used as the input signal for an indicator (load resistance >5 k Ω) as shown in Fig. 5.7.



NOTE

Screened cable should be used for the analog input and output signals to ensure proper functioning even if the components are exposed to high EMC-levels.

5.3.3 Control inputs / Control output

The control inputs (terminals 7 ... 10) are electrically isolated from the processor. They must be connected to an external ground (e.g. PLC) and 24 V (as control signal).

Open control contacts correspond to the "Low" state ("Peak values" operating mode; "Run" function).

The RDY control output (terminal 6) signals a valid tare value. The signal level corresponds to the level of the supplied voltage (15 ... 26 V).

Fig. 5.7 shows the connections required for TS101 operation. For the terminal assignment refer to table Tab. 5.1.

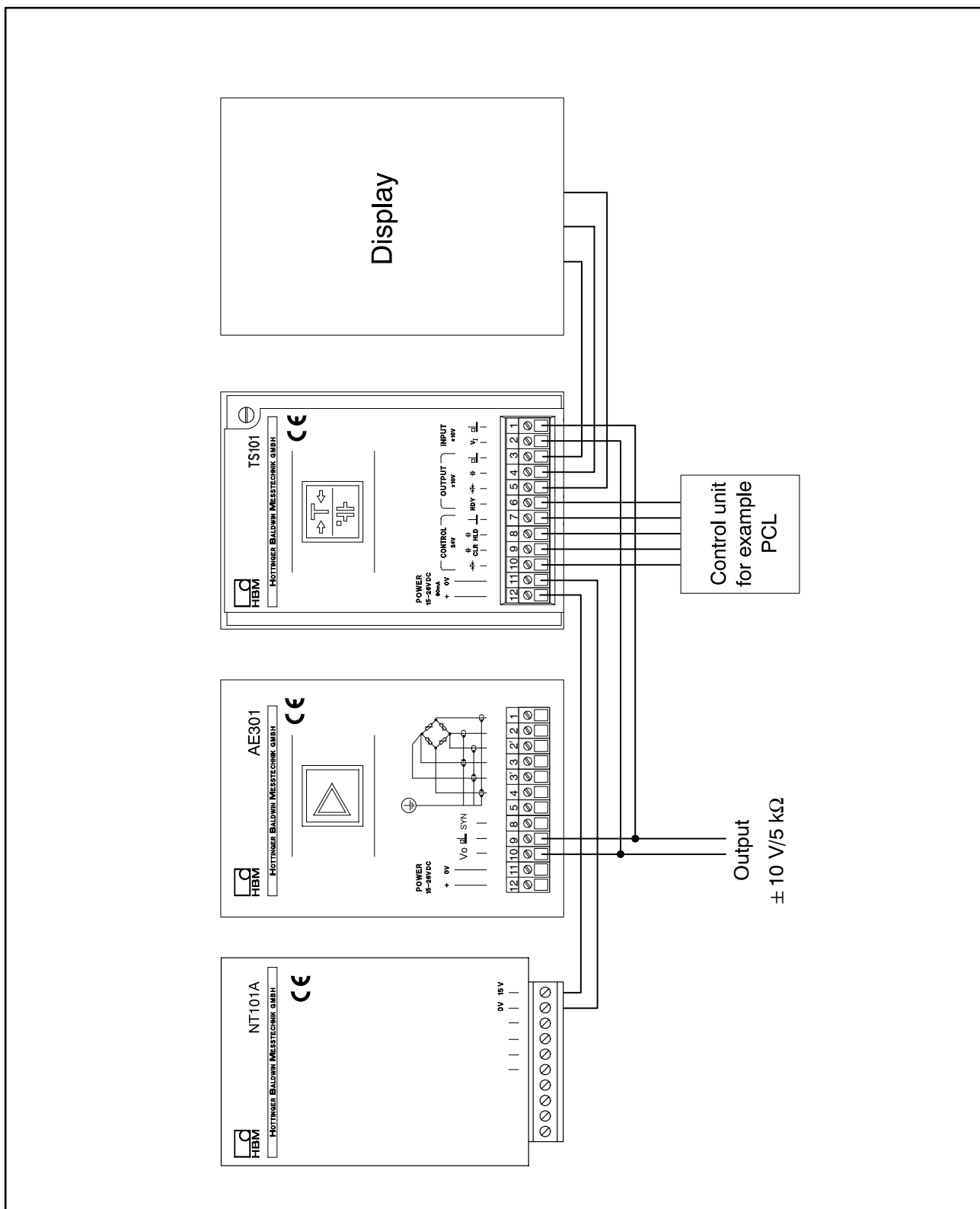


Fig. 5.7: TS101 connection (example)

5.4 Adjustment

5.4.1 Factory setup

See below for the automatic tare and store unit's factory setup:

Tare unit: Tare value will not be stored upon power failure

Low-pass filter active (0.4 Hz ... 12.5 Hz)

Amplification $v=1$

Store unit: Peak-value store (maximum value) on

Low-pass filter off

Amplification $v=1$

Envelope curve off

5.4.2 Tare unit adjustment

Taring is started when the voltage level on terminal 10 changes over from 0 V to 24 V (positive edge). The tare value is held during voltage supply, even if the voltage level goes down to 0 V again (also refer to next chapter).



NOTE

Taring with input voltages greater than ± 10.5 V is not possible due to amplifier overflow. A valid tare value (<10.5 V) is signalled by an LED on the board and the "High" voltage level on terminal 6.

- **Save tare value and protect it from power failure**

The tare value can be stored for reuse after a power failure or after power-off. For this, set switch S100/6 to "ON" position before taring.

Switch	Switch position	Effect
S100/6	OFF	Tare value will be lost upon power-off *)
	ON	Tare value will be permanently stored in EEPROM

*) Factory setup

• Signal amplification

The net signal can be amplified to obtain a sufficiently high resolution even with measurement tasks with great initial load. Use switch S101 to adjust the amplification in four steps:

S101/2	S101/3	S101/4	S101/5	Amplification
ON	OFF	OFF	OFF	v=1
OFF	ON	OFF	OFF	v=2
OFF	OFF	ON	OFF	v=5
OFF	OFF	OFF	ON	v=10

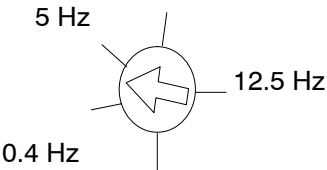
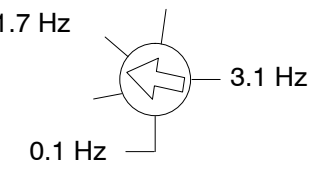
Example

A load cell with 10 kg nominal load is used with an initial load of 4 kg. The mass to be weighed is 1 kg.

To avoid amplifier overload the amplifier's measuring range must be adjusted to maximum signal (here 5 kg=10 V output voltage). The automatic tare unit connected in series is used to tare the initial load (4 kg=8 V). The remaining residual signal of 1 kg corresponds to an output voltage of 2 V. Subsequent amplification by factor 5 enables the residual signal to be raised to 10 V.

• Low-pass filter adjustment

Use switch S100/5 to activate the filter for the automatic tare unit, only, or also for the peak-value store. Upon taring, the low-pass filter influences the input signal. However, it has no effect on the tare output's bandwidth.

S100/5	Position P1 (cutoff frequency)	Influences
OFF		tare unit
ON		tare and store unit

Tab. 5.2: Low-pass filter

Procedure

- ☐ Set switch S100/7 to "OFF" position
- ☐ To activate the filter for the peak value as well, set switch S100/5 to "ON" position
- ☐ Push and hold switch S6 and turn potentiometer P1. Refer to [Tab. 5.2](#) for the cutoff frequency and the appropriate potentiometer position.



NOTE

The filter frequencies for taring and peak value always bear a constant relationship and cannot be adjusted independently of each other.

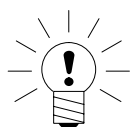
5.4.3 Store unit adjustment

• Adjust operating mode

Use the signal levels on terminals 8 and 9 to select the operating mode (current value/peak value) and the Run/Hold function.

Terminal	Level	Function	Effect
8	High	Run	Store contents is permanently kept up to date
	Low	Hold	Store contents is held
9	High	Peak	Peak value operating-mode
	Low	Reset	Current value operating-mode

High=24 V; Low=0 V



NOTE

The peak-value store is cleared by switching from the peak value operating-mode to current value.

- **Select peak value and amplification**

Use the switches S100/1... 4 and S101/1 to define the type of peak value to be stored (min/max, peak-peak) and the amplification.

S101/1	S100/1	S100/2	S100/3	S100/4	Function
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	Peak value minimum
ON	ON	OFF	OFF	OFF	Peak value maximum ^{*)}
ON	OFF	ON	OFF	OFF	Peak-to-peak
ON	ON	ON	OFF	OFF	(Peak-to-peak) x 0.5
ON	OFF	OFF	ON	OFF	Tared minimum value (v=1)
ON	ON	OFF	ON	OFF	Tared maximum value (v=1)
ON	OFF	ON	ON	OFF	Tared minimum value (v=2)
ON	ON	ON	ON	OFF	Tared maximum value (v=2)
ON	OFF	OFF	OFF	ON	Tared minimum value (v=5)
ON	ON	OFF	OFF	ON	Tared maximum value (v=5)
ON	OFF	ON	OFF	ON	Tared minimum value (v=10)
ON	ON	ON	OFF	ON	Tared maximum value (v=10)
OFF	OFF	OFF	ON	ON	Minimum value (peak-value output) and maximum value (tare output)

Tab. 5.3: Adjust peak value and amplification

^{*)} Factory setup



NOTE

With the minimum and maximum value setup selected, no taring is possible due to the fact that the tare output is used for output of the maximum value. Please make sure that for the maximum value (tare output) amplification v=1 has been adjusted (switches S101/2...5, see page 37).

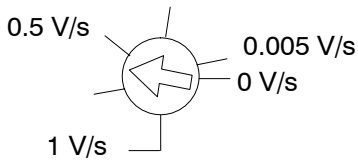
- **Adjust envelope curve**

Use switch S100/7 and potentiometer P1 to adjust the envelope curve operating-mode.

Procedure:

- ☐ First make sure that the "Peak value" operating mode has been adjusted (see page 38).
- ☐ Make sure that the type of peak value to be stored has been adjusted (see Tab. 5.3).
- ☐ Set switch S100/7 to "ON" position.
- ☐ Push and hold switch S6 and turn potentiometer P1.

Refer to [Tab. 5.4](#) for the discharge rate and the appropriate potentiometer position. For more precise acquisition of the change in discharge rate use an oscilloscope.

Switch S100/7	P1	Envelope-curve function
ON	At right-hand stop	Off
ON	Turn anticlockwise from right-hand stop	Discharge rate 0.005...1 V/s 
OFF	No effect	Off

Tab. 5.4: Envelope-curve adjustment

• Low-pass filter

It is possible to filter the peak-value store's input signal. Refer to [Tab. 5.2](#), page [37](#) for the required setups. Please remember that the filter frequencies cannot be adjusted independently of each other because they bear a constant relationship.

5.5 Zero-point balance

A zero-point balance has been made at the factory. Should the output signals for tare unit and store unit vary from zero, it is possible to correct them. Use switches S100/1... 4 and S101/1 to define the output to be corrected.

S101/1	S100/1	S100/2	S100/3	S100/4	Function
ON	ON	OFF	ON	ON	Tare output (terminal 5)
ON	OFF	ON	ON	ON	Peak-value output (terminal 4)

Procedure

- ☐ Push and hold key S6.
- ☐ Use potentiometer P1 to adjust the zero point.

Should the balancing range available not be sufficient:

- ☐ Release key S6.
- ☐ Turn potentiometer to initial position.
- ☐ Restart the balancing procedure.

5.6 Component position diagram

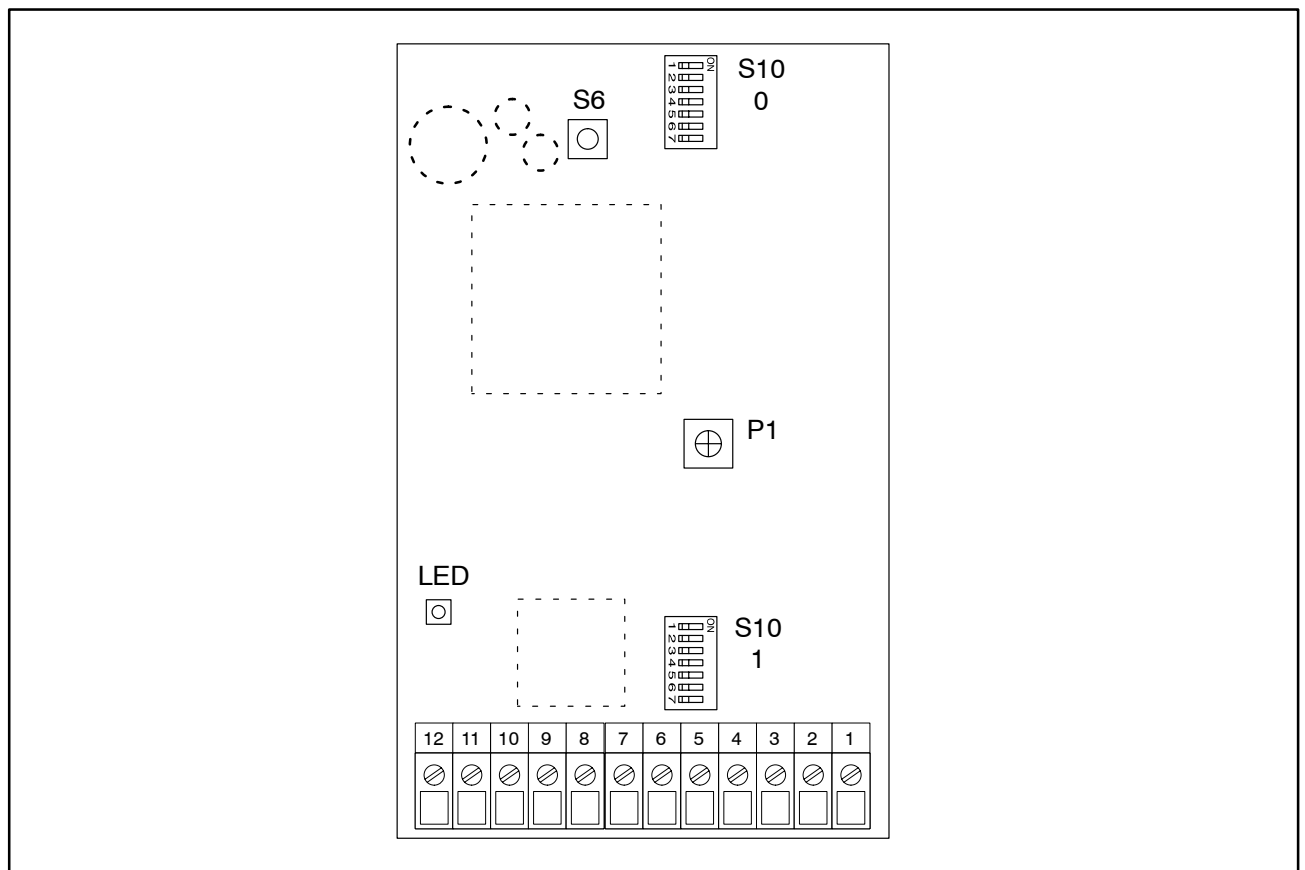


Fig. 5.8: TS101 tare and store unit

6 Safety barriers

Connect HBM safety barriers to obtain intrinsically safe measuring circuits [EEx ia] IIC. A test certificate is required for transducers used in such applications.

Measuring amplifier	Safety barrier
AE101	SD01A
AE301	SD01A

Due to the safety barriers' high internal resistance, the bridge excitation voltage V_E must be reduced according to the transducer resistance R_B or the transducer inductance L_B respectively. Refer to the below table to obtain the minimum permissible transducer resistance.

Measuring amplifier	V_E	$R_{B(\text{minimum})}^*)$, L_B
AE101	10 V	not permissible
	5 V	320 Ω
	2.5 V	130 Ω
AE301	5 V	320 Ω
	2.5 V	130 Ω

*) With longer cables the supply-line resistance must be added.

7 CLIP IG

For use in industrial environments, the CLIP modules can be installed in an aluminium-die-cast wall housing. The degree of protection is IP65. The housing enables max. 4 modules incl. power supply unit to be inserted; it is also possible to insert two measuring amplifiers with safety barriers.

The wall-housing version is particularly suitable for rough environments. It is protected from electromagnetic interference in the surroundings.

The CLIP IG devices are mounted at the factory and wired internally.

All combinations are available on request.

Attached to CLIP IG devices accessory bags 2-9278.0339 are delivered including a standard set of earthing bushes, end sleeves for strands (0.5 mm², 10mm long) and non-buckling bushes that fit HBM cables of type

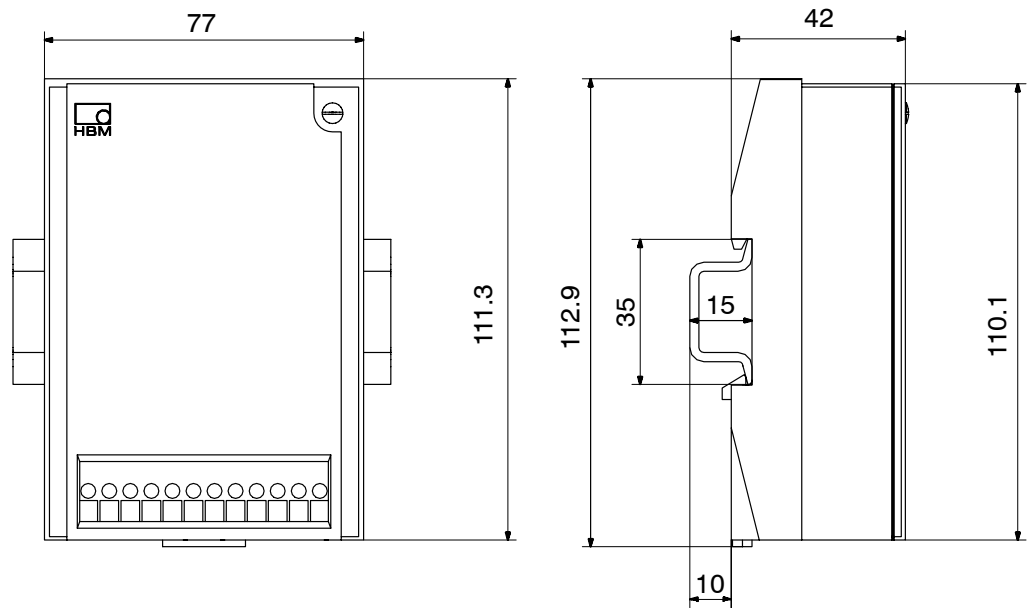
KAB8/00-2/2/2 (6 x 0.14 mm²) or

Order No. 4-3301.0082, blue (6 x 0.14 mm²) or

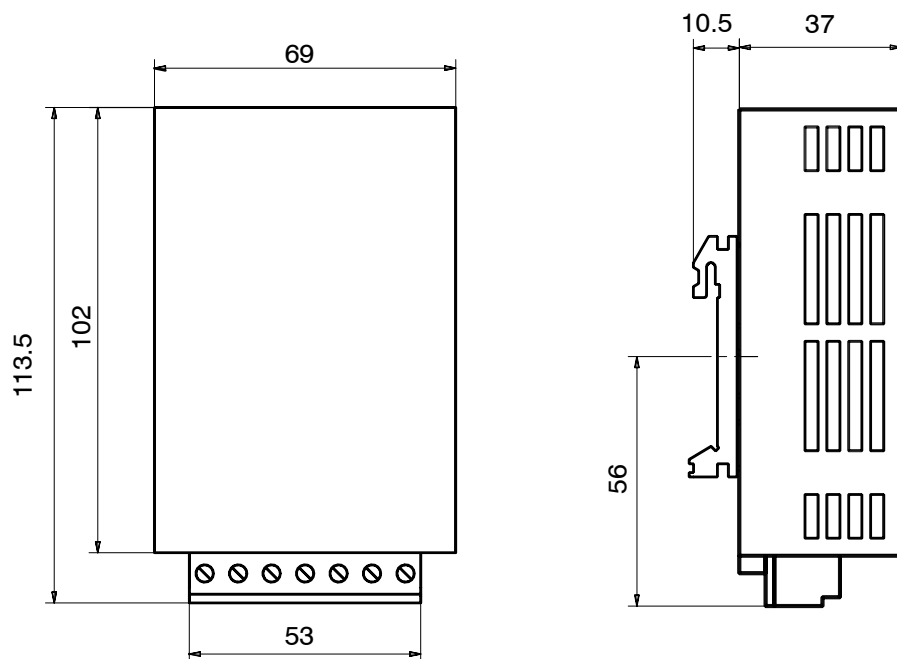
4-3301.0071, gray (6 x 0.14 mm²)

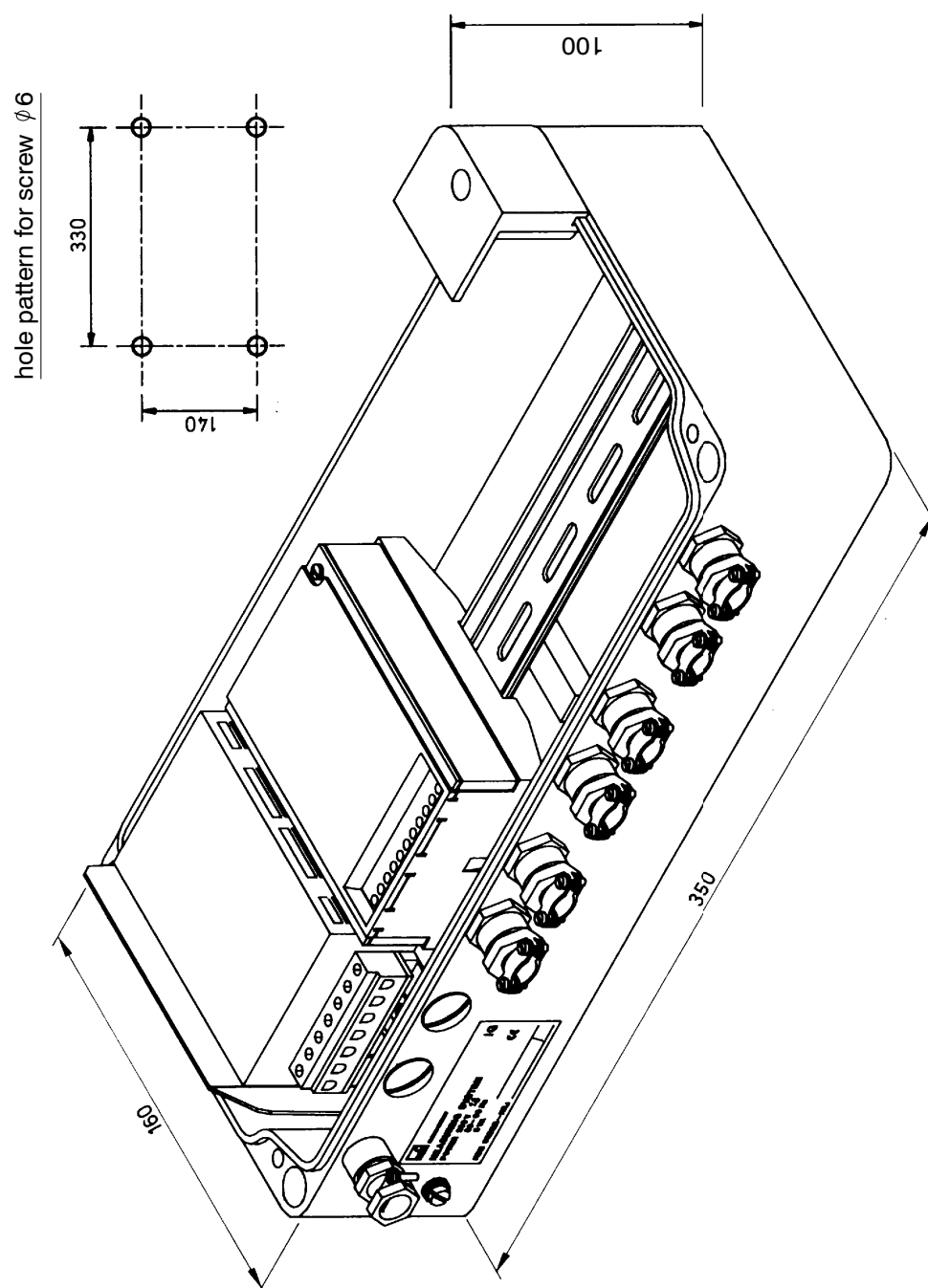
8 Dimensions

AE101
AE301
AE501
EM201
EM201K2
GR201
TS101



NT101A
NT102A



Clip IG

Weight of housing: 3.2kg

9 Specifications

Clip IG

Type of protection		IP65
Wight approx.	kg	4.3
Wight (empty)	kg	3.2
Ambient temperature	°C	-20 ... +50
Operating voltage with Power supply unit 101A (Type WG 010) with Power supply unit NT 102A (Type WG 011) without Power supply unit (Type WG 012)	V V V DC	230 ± 10 % 115 ± 10 % 15 ... 30
Mechanical strain (examination similar DIN IEC 68) Oscillate (30 min each direction)	m/s ²	50 (5 ... 65 Hz)
Impact (3 times each direction, impact duration 6ms)	m/s ²	350

AE101, AE 301, AE501 Measuring amplifiers

Type		AE101	AE301	AE501
Accuracy class		0.1	0.1	0.1
Transducers that may be connected strain gauge full bridge				
V _E = 10 V	Ω	340 ... 5000	-	-
V _E = 5 V	Ω	170 ... 5000	170 ... 5000	-
V _E = 2.5 V	Ω	85 ... 5000	85 ... 5000	-
Inductive half/full bridge				
V _E = 5 V	mH	-	-	5 ... 20
V _E = 2.5 V	mH	-	-	2.5 ... 20
V _E = 1 V	mH	-	-	1 ... 20
Bridge excitation voltage V _E (sym- metrical)	V	10	5	2.5
	V	5	2.5	1
	V	2.5	-	-
Permissible cable length between transducer and amplifier	m	500		
Carrier frequency	Hz	DC	600	4800
Bridge zero balance				
coarse approx.	mV/V	± 2	± 1	± 80
fine approx.	mV/V	± 0.08	± 0.05	± 3.2
Measuring ranges				
V _E = 10 V	mV/V	0.1 ... 2	-	-
V _E = 5 V	mV/V	0.2 ... 4	0.2 ... 4 ¹⁾	-
V _E = 2.5 V	mV/V	0.4 ... 8	0.4 ... 8 ²⁾	8 ... 160
V _E = 1 V	mV/V	-	-	20 ... 400
Calibration signal, in addition to the meas. signal	mV/V	+ 0.2 ± 1 %	+ 0.2 ± 1 %	+ 8 ± 1 %
Input impedance	MΩ	>10 / 2 nF	> 1 / 3 nF	> 1 / 1.5 nF
Common mode voltage. max. perm.	V _{pp}	± 10 V	± 5 V	
Common mode rejection				
0... 300 Hz	dB	> 100	> 100	
> 300 Hz	dB	> 85	-	
Linearity deviation	% full scale	< 0.05 typ 0.03		< 0.1 typ 0.05
Output voltage	V	± 10	± 10	
Slew rate. max.	V/μs	0.4	-	
Load resistance	kΩ	≥ 4		
Internal resistance	Ω	< 2		

¹⁾ AE301S6 and AE301S7: 0.1...2

²⁾ AE301S6 and AE301S7: 0.2...4

³⁾ AE301S6 and AE301S7: 0.2...4

Technical data continued

Type		AE101	AE301	AE501
Measuring frequency range 3rd-order changeover low-pass filter. Bessel (-1 dB) 3rd-order low-pass filter Bessel (-1 dB)	Hz kHz Hz	0 ... 10 0 ... 6 -	- - 0 ... 10 ³⁾	- - 0 ... 10
Phase velocity with 0...10 Hz filter with 0...6 kHz filter	ms μs	< 18 < 20	< 16 ⁴⁾ -	< 17 -
Rise time with 0...10 Hz filter	ms	25 ⁵⁾		
Overshoot in the case of voltage surge with 0 ... 10 Hz filter with 0 ... 6 kHz filter	% %	0 < 10	< 2 -	
Noise voltage measuring range 0.2 mV/V (10 Hz) measuring range 2 mV/V (10 Hz) measuring range 1 mV/V (10 Hz) measuring range 10 mV/V (10 Hz) measuring range 8 mV/V (10 Hz) measuring range 80 mV/V (10 Hz) measuring range 0.2 mV/V (6 kHz) measuring range 2 mV/V (6 kHz)	mV _{rms} mV _{rms} mV _{rms} mV _{rms} mV _{rms} mV _{rms} mV _{rms} mV _{rms}	< 4 < 4 - - - - < 30 < 6	< 4 < 4 - - - - - -	- - - - - - - -
Long term drift over 48 hours (after 1 h warm-up time)	μV/V	< 0.2	< 0.1	< 0.8
Effect of a 10 K-change in ambient temperature on sensitivity on zero point measuring range 0.2 mV/V measuring range 2 mV/V meas. range 8 mV/V (1 mV/V) meas. range 80 mV/V (10 mV/V)	% full scale mV mV mV mV	< 0.1 typ 0.05 < 60 < 10 - -	< 0.1 typ 0.05 < 10 < 4 - -	< 0.1 typ 0.05 - - < 10 < 4
Effect of a +15 ... 30 V change in operating voltage on sensitivity zero point (350 Ω bridge resistance)	mV mV	< 1 < 1		
5V-synchronization (square wave)	kHz	-	76.8	
Residual carrier voltage	mV	-	< 5	
Operating voltage (DC)	V	+15 ... 30		
Power consumption	mA	≤ 125		≤ 100
Nominal temperature range	°C	-20 ... +60		
Service temperature range	°C	-20 ... +60		
Storage temperature range	°C	-25 ... +70		
Degree of protection		IP20		
Weight	g	200		

3) AE301S6: 0...2 (-1dB)

AE301S7: 0...60 (-1dB)

4) AE301S6: <80 (filter frequency 2 Hz)
AE301S7: <2,8 (filter frequency 60 Hz)5) Rise time with AE301S7 6 ms
Rise time with AE301S6 200 ms

GR201 Limit value switch

Accuracy class		0.1
Differential input Voltage Impedance	V kΩ	± 10 > 50
Reference voltage coarse approx. fine approx.	V V	± 10 ± 0.5
Switching hysteresis Factory setting: R43, R48 to be changed by R43 and R48	mV kΩ kΩ	220 3.01 $\frac{670 \text{ mV}}{V_{\text{Hyst.}}}$
Influence of a 10K-change in ambient temperature on the switching point	%	< 0.05 full scale
Switching-point error	%	< 0.05 full scale
Relay capacity max. voltage max. current max. power	V A W	45 (Protective low voltage) 1 30 (25 VA)
Switching times (Factory setting) Response time Releasing time Use C31a. C34a to change the response or releasing time Response time Releasing time Use C27. C28 to change the releasing time only Releasing time	ms ms ms ms ms	< 5 < 5 $\frac{18 \cdot C31a (C34a) + 3}{\mu F}$ $\frac{710 \cdot C31a (34a) + 3}{\mu F}$ $\frac{6 \cdot C27 (C28) + 3}{\mu F}$
Operating voltage	V DC	+15 ... 30
Power consumption	mA	< 100 (20 mA no relay closed)
Nominal temperature range	°C	- 20 ... + 60
Service temperature range	°C	- 20 ... + 60
Storage temperature range	°C	- 25 ... + 70
Degree of protection		IP20
Weight	g	200

EM201 Output stage module (with one module EM002)

EM201K2 Output stage module (with two modules EM002)

Accuracy class		0.1	
Input Voltage Impedance	V kΩ	± 10 (0 ... + 10 V) > 11.5	
Operating voltage	V DC	+15 ... 30	
Power consumption (fully assembled with 2 x EM002)	mA	< 180	
Nominal temperature range	°C	- 20 ... + 60	
Service temperature range	°C	- 20 ... + 60	
Storage temperature range	°C	- 25 ... + 75	
Weight	g	200	
EM002			
Output signal. selectable	mA	± 20	4 ... 20
Output current with V _E = 10 V with V _E = 0 V	mA mA	20 ± 0.02 < ± 0.04	20 ± 0.5 4 ± 0.2
Output current limit	-	-	> 3 (switchable)
Permissible load resistance	Ω	< 500	
Linearity deviation	% full scale	< 0.05	
Internal resistance	kΩ	> 100	
Measuring frequency range	kHz	3 (-1 dB)	
Degree of protection		IP20	

NT 101A, NT 102A*) power supply

Type		NT101A	NT102A
Input voltage	V	230 $\pm$ 10 %	115 $\pm$ 10 %
Permissible frequency range	Hz	47 ... 63	
Output voltage	V_{DC}	15.3 $\pm$ 2 %	
Output current at >25° ... +60°	A_{DC}	0.4	
Output power	W	6.75	
Efficiency approx.	%	60	
Current limiter (protected against sustained short circuit) at		1.2 x I_n (permanently adjusted)	
Residual ripple	mV _{pp}	≤ 10	
Maximum permissible cable length between NT101A or NT102A and Clip module	m	3	
Ambient temperature	°C	- 20 ... + 60	
Excess-temperature protection	°C	typ.105 (trafo temperature)	
Test voltage	kV _{eff}	3.75 (prim/sec and prim/housing)	
Degree of protection		IP20	
Weight	g	420	

*) Version to DIN -VDE0551, EN60742 Protection class 1.
The maximum permissible continuous current is 450 mA.

TS101 tare and store unit

Accuracy class		0.1
Input voltage	V	± 10
Input impedance	k Ω	100
Output voltage	V	± 10
Permissible load resistance	k Ω	≥ 5
Linearity deviation	%	< 0.04 of full scale
Effect of a 10 K-change of the ambient temperature	%	< 0.1 of full scale
Effect of a 15 ... 26 V-change of the operating voltage	%	< 0.01 of full scale
Long-term drift over 48 h (after 1 hour warm-up time)	%	< 0.02 of full scale
Noise voltage of the output	mV _{pp}	< 20
Control inputs (floating) High signal level Low signal level	V V	11...30 (24 V nominal) 0 ... 5
Control output High signal level Low signal level	V V	V _b -2 <1
Output current	mA	<500
Tare unit		
Output	ms	Net value (alternatively pos. peak val.)
Net-value amplification		1, 2, 5, 10-fold, selectable in steps, for taring of major initial loads
Tare error (with v=1)	mV	<4
transient time for the output voltage after taring	ms	40 (to 99.9 %)
Low-pass filter (before taring)	Hz	0.1 ... 12.5; adjustable
Transmission bandwidth	kHz	>10
Storage time for tare value		Unlimited as long as V _b is present (alternatively, storage in EEPROM)
Control input		Taring with rising edge
Delay time for taring	ms	<1
Control output		Valid taring

Technical data continued

Peak-value store unit		
Output		Peak value (alternatively, pos./neg. peak, peak/peak 0.5 x peak/peak or current value or envelope-curve value, tared and amplified (1, 2, 5, 10-fold))
Peak-value store update-rate	ms	<1.3
Accuracy	%	0.25 (in 6 ms)
	%	0.05 (in 20 ms)
Transmission bandwidth	Hz	15 (-1 dB)
Transient time for the output voltage	ms	40 (to 99.9 %)
Discharge rate for envelope curve	mV/s	5 ... 1000, adjustable
Control inputs		Run/Hold; (clear/peak)
Delay time for the control signals	ms	<8
Connection		12 series terminals for wire $\varnothing$ 0.13 ... 1.5 mm ² ; 10 mm end sleeves for strands
Operating voltage V_b	V DC	15...30, unstabilized
Power consumption	mA	<90
Nominal temperature range	°C	-20 to +60
Service temperature range	°C	-20 to +60
Storage temperature range	°C	-25 to +70
Weight	g	ca. 200
Protection to EN60529		IP20
Mounting		On mounting rails to EN 50022

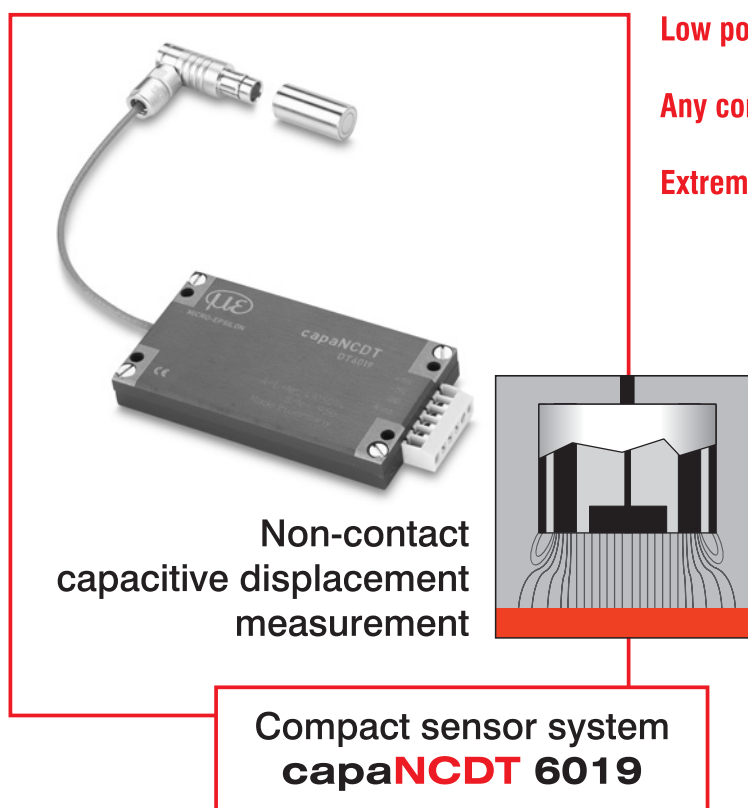
10 Accessories

To be ordered separately:

- Brackets 3-6450.0001

World's smallest
capacitive controller
capaNCDT 6019

capaNCDT



Low power consumption

Any conductive target

Extreme stability

Non-contact
capacitive displacement
measurement

Compact sensor system
capaNCDT 6019

Measuring principle

The operating principle of non-contact capacitive displacement measurement used by the capaNCDT system (capacitive Non-Contact Displacement Transducer) is based on the ideal parallel plate capacitor. The two plate electrodes are formed by the sensor and the target opposite. If an AC current with constant amplitude flows through the sensor capacitor, the amplitude of the AC voltage on the sensor is proportional to the distance between the capacitor electrodes; an adjustable compensating voltage is simultaneously generated in the amplifier electronics. After demodulation of both AC voltages the difference is amplified and output as an analog signal.

Electrical conductors as targets

The linear characteristic of the measurement signal is achieved without extra electronic linearization when measuring against targets made of electrically-conductive materials (metals). Changes in the conductivity do not affect sensitivity or linearity.

Linearization and calibration

capaNCDT 6019 system is factory-calibrated for metallic targets (output 0-10 Volt). In critical sensor mounting conditions, the rated range of the output characteristic can be adjusted and optimized, through the use of the zero and gain potentiometers.

Tri-Electrode technology with active guarding

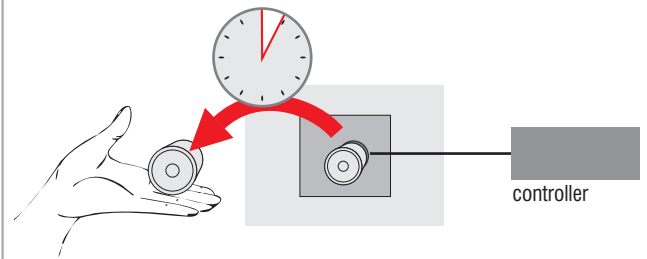
Due to the unique design of the MICRO-EPSILON Tri-Electrode sensor probes in conjunction with the active guarding technology the capaNCDT 6019 system enables extreme signal stability and immunity.

For machine integration

The non-contact capacitive displacement measuring system capaNCDT 6019 is developed for machine and facility integration. The compact design, the special performed technical data and the low cost prices make the system ideally suited for OEM applications. The capacitive principle allows to measure against any conductive target - furthermore, it ensures very stable and very accurate measuring results. Typical applications can be found in positioning, wear measurements, gap measurements, displacement, roundness and other.

Instant sensor swap within 5 seconds!

Replace any capaNCDT controller and any capaNCDT sensor within seconds without recalibration !

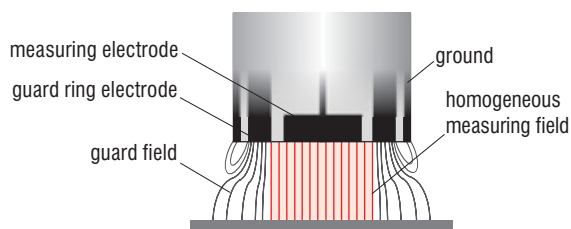


Instant sensor swap without recalibration

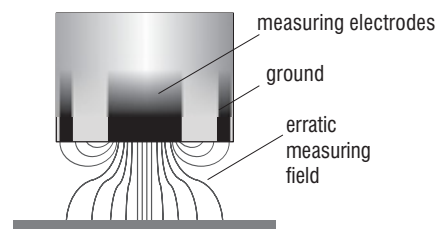
The unique MICRO-EPSILON capacitive technology allows changing any capaNCDT sensor in seconds! Replacing sensors with different measuring ranges and any capaNCDT controller without recalibration. A sensor swap with capaNCDT needs no more than 5 seconds, while other capacitive systems are not designed for replacing components without the need of individual calibration and linearization.

Active guarding for stable measuring results

MICRO-EPSILON capaNCDT sensor



Common capacitive sensor



capaNCDT 6019: single channel system (SMD-model with integral sensor connecting cable)								
	Model	S601-0.2	S600-0.5	S600-1	CS2	CS3	CS5	CS10
Measuring range		0.2 mm	0.5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	5 mm	10 mm
Resolution (static)		≤ 0.01% FSO						
Linearity		≤ 1% FSO						
Frequency response		500 Hz (-3dB)						
Active measuring area (diameter)		2.3 mm	3.9 mm	5.5 mm	7.9 mm	9.8 mm	12.6 mm	17.8 mm
Guard ring width		1 mm	1.4 mm	1.5 mm	4 mm	8.1 mm	11.8 mm	18.1 mm
Sensor connecting cable		120mm, triax angle connector						
Storage temperature		-10°C to 70°C						
Operation temperature		10 °C to 50 °C						
Air humidity		5% to 95% r.H., non-condensing						
Min. load resistance		2 kOhm						
Output		0 to 10V (within measuring range)						
Power supply		± 15V DC						
Max. permissible power supply voltage		± 18V DC						
Min. required power supply voltage		± 12V DC						
Current consumption (± 15V)		max. -7 mA / +10 mA (end of measuring range)						
Voltage output		short circuit proof						
Temperature stability		≤ 0.05% FSO / °C (+10°C to +50°C)						
Weigth	Sensors	2 g	4 g	8 g	48 g	65 g	95 g	180 g
	Controller	60g						
Measuring target		any conductive target						

FSO = Full scale output

Technical specifications are valid for electrical conductors (metal) as reference material at 20 °C (68 °F) ambient temperature and for the standard length (0,12 m) of the sensor cable.

The high linearity is in the measuring principle

The capaNCDT system evaluates the reactance X_c of the capacitor which changes strictly in proportion to the distance:

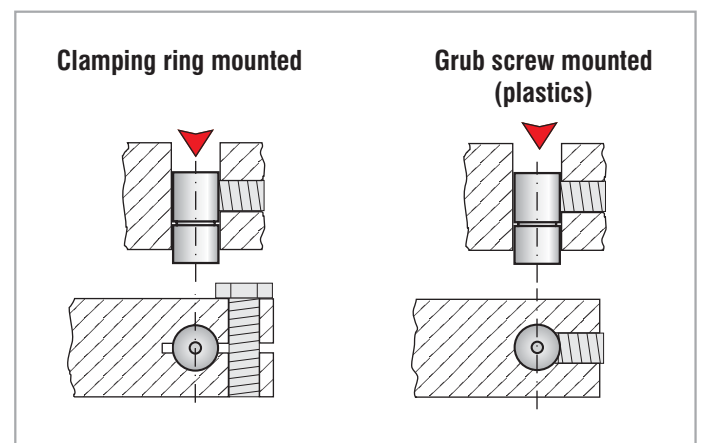
$$X_c = \frac{1}{j \omega C} \quad \text{capacitance } C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\text{area}}{\text{distance}}$$

$$X_c = \text{constant} \cdot \text{distance}$$

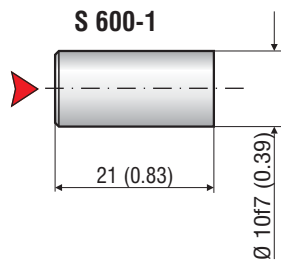
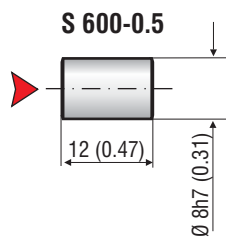
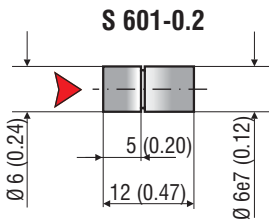
This theoretical relationship is put into practice by constructing the sensors as guard ring capacitors.

Sensor installation

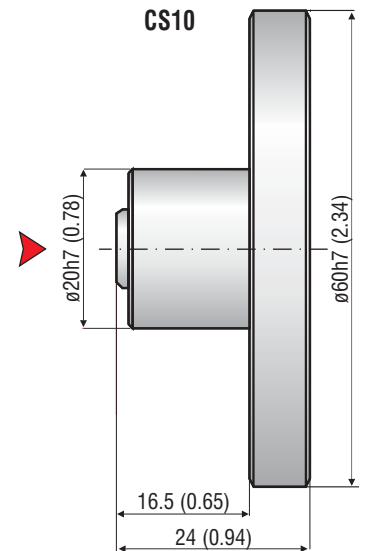
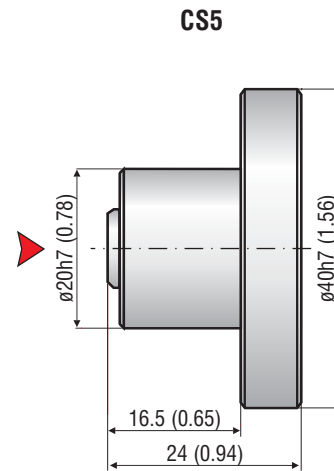
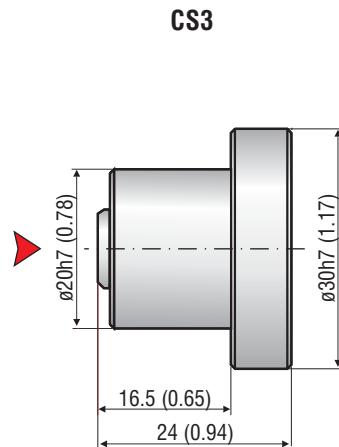
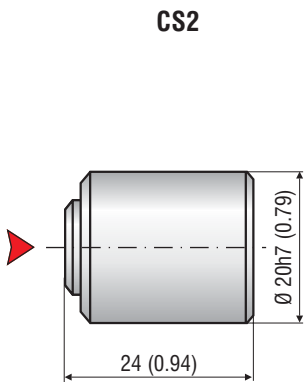
All sensors can be installed free-standing or flush and are secured by clamping or with a chuck.



capaNCDT 6019 Sensors and Controller - dimensions in mm (rounded inch), not to scale

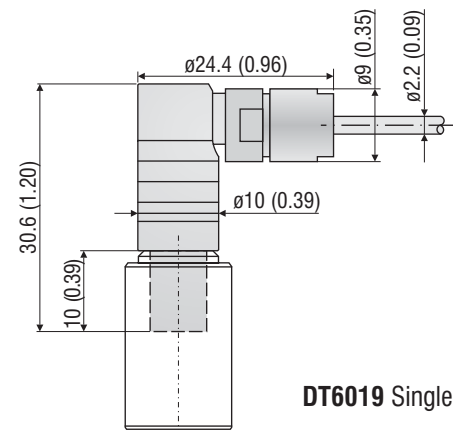


Dimension	Fit tolerance (μm)
7 h7	0 -15
7 f7	- 13 -28
8 h7	0 -15
20 h7	0 -21
6 f7	- 10 -22
6 e7	- 20 -32
10 f7	- 13 -28

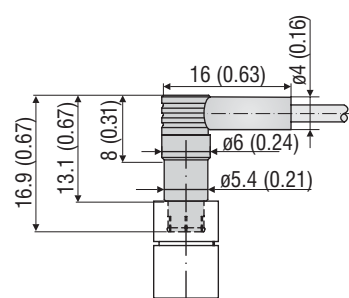


➤ = connector

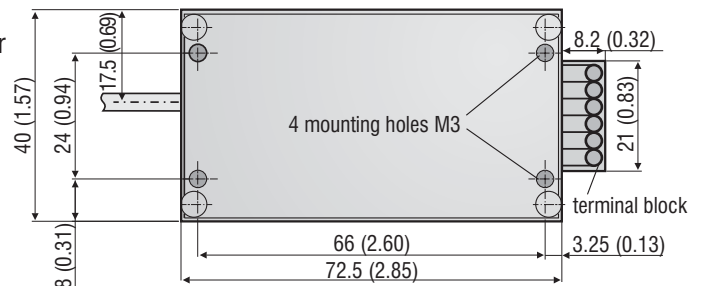
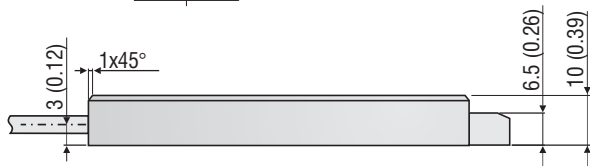
DT6019-B with angle connector for sensors S 600-1 - CS10



DT6019-C with angle connector for sensors S 601-0.2 and 600-0.5



DT6019 Single-Channel-Controller



MICRO-EPSILON

info@micro-epsilon.com
www.micro-epsilon.com

info@micro-epsilon.co.uk
www.micro-epsilon.co.uk

info@micro-epsilon.us
www.micro-epsilon.us

certified DIN EN ISO 9001 : 2000
modifications reserved / Y9761169-A010075MLO





Quick Manual
capa**NCDT** 6200

DT6220
DT6222
DT6230

MICRO-EPSILON
MESSTECHNIK
GmbH & Co. KG
Koenigbacher Str. 15

94496 Ortenburg / Germany

Tel. +49 (0) 8542 / 168-0
Fax +49 (0) 8542 / 168-90
e-mail info@micro-epsilon.com
www.micro-epsilon.com

You can find more information about the measurement system in the operating instructions. They are available online at:

www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--capaNCDT-6200--en.pdf

www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--capaNCDT-6222--en.pdf

or on the CD supplied.

General

Symbols Used

The following symbols are used in this document:



Indicates a hazardous situation which, if not avoided, may result in minor or moderate injury.

NOTICE

Indicates a situation that may result in property damage if not avoided.



Indicates a user action.



Indicates a tip for users.

Measure

Indicates hardware or a software button/menu.



Sensor measurement direction

Warnings



Disconnect the power supply before touching the sensor surface.

> Risk of injury, static discharge

Connect the power supply and the display/output device according to the safety regulations for electrical equipment.

> Risk of injury, damage to or destruction of the sensor and/or the controller

NOTICE

Avoid shocks and impacts to the sensor and the controller.

> Damage to or destruction of the sensor and/or the controller

The supply voltage must not exceed the specified limits.

> Damage to or destruction of the sensor and/or the controller

Protect the sensor cable against damage.

> Destruction of the sensor, failure of the measurement system.

Intended Use

- The measuring system is designed for use in an industrial environment. It is used for
 - measuring displacement, distance, movement and thickness,
 - measuring the position of parts or machine components.
 - The measuring system must only be operated within the limits specified in the technical data.
- ➡ The measuring system must be used in such a way that no persons are endangered or machines and other material goods are damaged in the event of malfunction or total failure of the controller..
- ➡ Take additional precautions for safety and damage prevention in case of safety-related applications.

Proper Environment

Temperature range controller	Operation		Storage
	+10 ... +60 °C (+50 ... +140 °F)		-10 ... +75 °C (+14 ... +167 °F)
Temperature range sensor	Operation		Storage
CS005, CS02, CS05, CS08, CS1, CS2, CS3, CS5, CS10 CSH02, CSH05, CSH1, CSH1.2, CSH2 CSH02FL, CSH05FL, CSH1FL, CSH1.2FL, CSH2FL, CSH3FL CSE05, CSE1, CSE2 CS1HP	-50 ... +200 °C (-58 ... +392 °F)		-50 ... +200 °C (-58 ... +392 °F)
CSG0.50, CSG1.00			
	-50 ... +100 °C (-58 ... +212 °F)		-50 ... +100 °C (-58 ... +212 °F)
Temperature range sensor cable	Operation		Storage
	Up to 10,000 operating hours	Permanent	
CCgxC, CCgxC/90 CCgxB, CCgxB/90	-20 ... +100 °C (-4 ... +212 °F)	-20 ... +80 °C (-4 ... +176 °F)	-50 ... +80 °C (-58 ... +176 °F)
CCmxC, CCmxC/90 CCmxB, CCmxB/90			
		-100 ... +200 °C (-148 ... +392 °F)	-50 ... +200 °C (-58 ... +392 °F)

Protection class IP 40

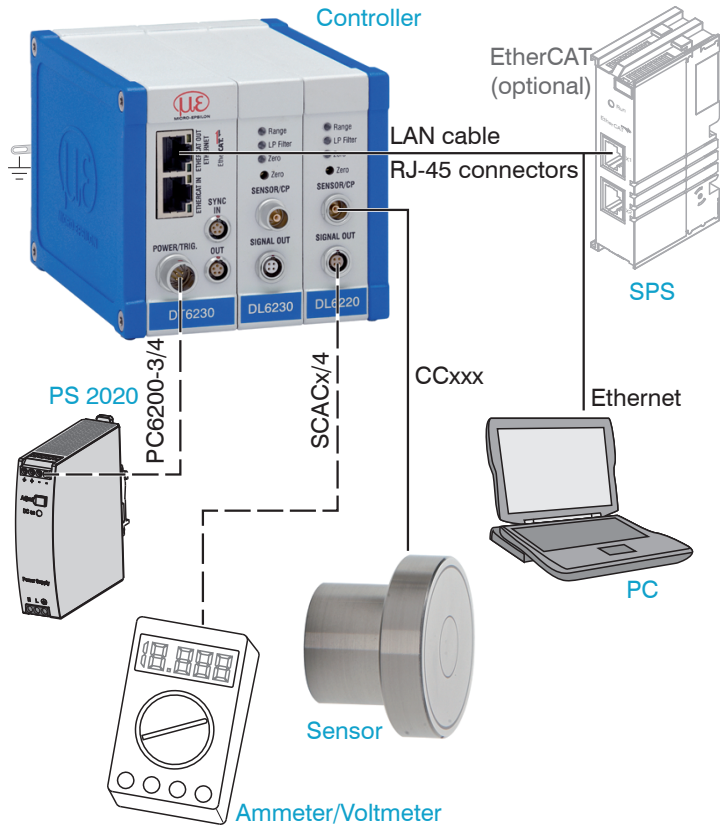
Humidity 5 - 95 % (non-condensing)

Ambient pressure Atmospheric pressure

The space between sensor surface and target must have an unchanging dielectric constant.

Setup, Connection Options

Power supply and signal output are provided via plug connectors on the front of the controller.



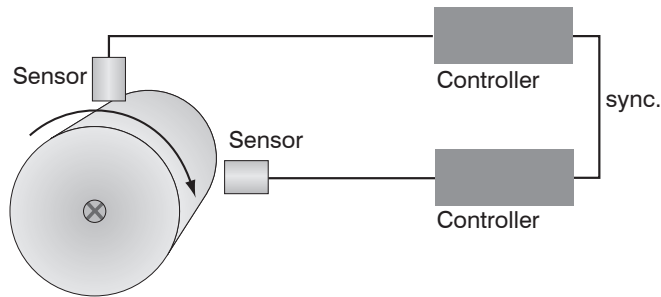
Ground Connection, Grounding

- ➡ Ensure sufficient grounding of the target, for example, by connecting it to the sensor or the power supply ground. If necessary, use the grounding connection on the housing cover. The grounding connection is included in the conversion kit supplied in the scope of delivery.

Non-contact target grounding

Grounding the target is very difficult or even impossible in many applications. Unlike common systems, the target does not need to be grounded if two DL62xx demodulators are synchronized.

The schematic diagram below shows two synchronized capaNCDT sensors that measure against a roll. Since the sensors are connected by MICRO-EPSILON's unique synchronization technology, grounding of the target is not required in most cases.



Position and imbalance measurement with two measurement systems



Grounding connection on the housing cover (1)

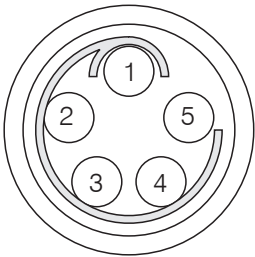
Target grounding is not required with synchronized capaNCDT sensors by Micro-Epsilon.

Synchronization

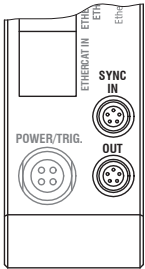
All sensors are synchronized with each other within one DT6220/6222/6230 controller. Several capaNCDT 6230 series controllers can be operated simultaneously as a multi-channel system. Synchronizing the controllers prevents interference of the sensors with each other.

External synchronization DT6230

PIN	Assignment	Insulation	Color
1	n.c.	-	-
2	Twisted pair 1	1	white 1
3	Twisted pair 1	blue	blue
4	Twisted pair 2	2	white 2
5	Twisted pair 2	orange	orange



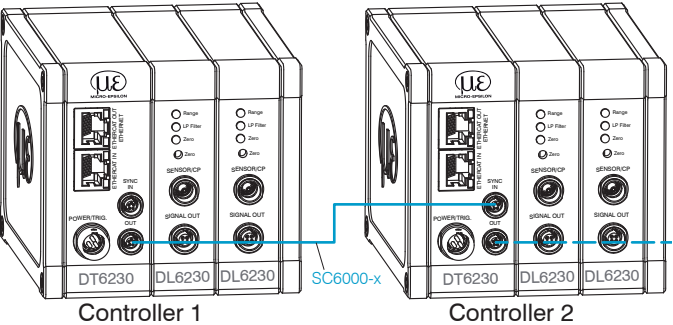
View: solder side,
5-pin ODU male cable
connector



IN/OUT sync on the
controller, 5-pin female
connector

- ➡ Plug the SC6000-x synchronization cable into the SYNC OUT port (output) on Controller 1.
- ➡ Plug the connector of the SC6000-x into the SYNC IN port (input) on Controller 2.

i Automatic synchronization, each controller can be the master.



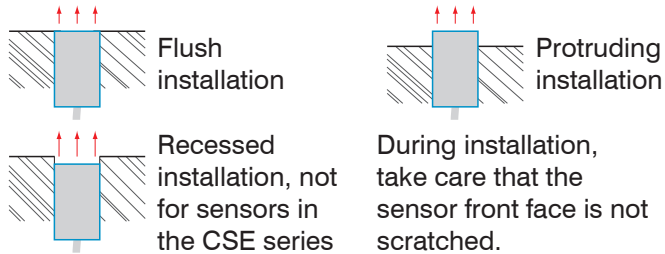
Synchronization of a second DT6230 controller
capaNCDT 6220/6222/6230

Assembly

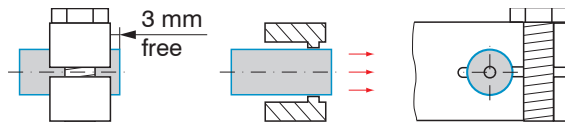
No sharp or heavy objects should be allowed to affect the cable sheath.

i A damaged cable cannot be repaired. Tension on the cable is not permitted!

Sensor



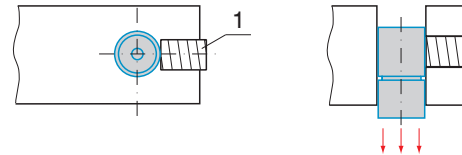
Clamping Around Circumference, Cylindrical Sensors



Clamping around circumference, assembly with clamping collet

- High reliability
- Flat clamping across cylindrical housing
- Recommended assembly for e.g., machines, production facilities, etc.

Radial Spot Clamping with Grub Screw, Cylindrical Sensors

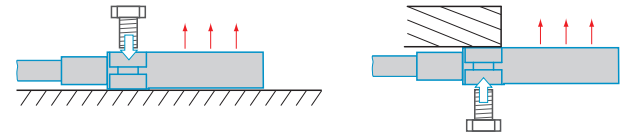


Radial spot clamping with grub screw (1)

- Simple mounting option
- Recommended assembly only for installation locations that are free of impact or vibration
- The grub screw must be made of plastic

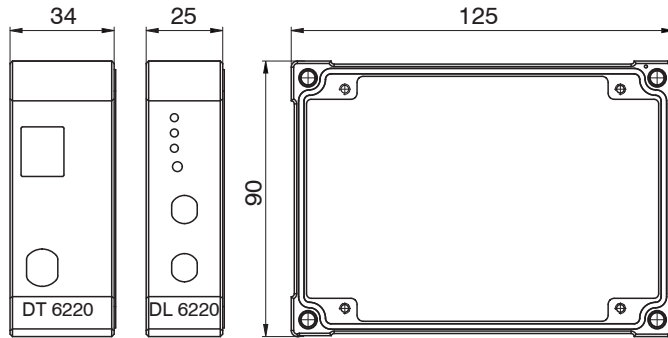
Do not use metal grub screws!
> Risk of damage to the sensor

Flat Sensors



Screwed connection from top

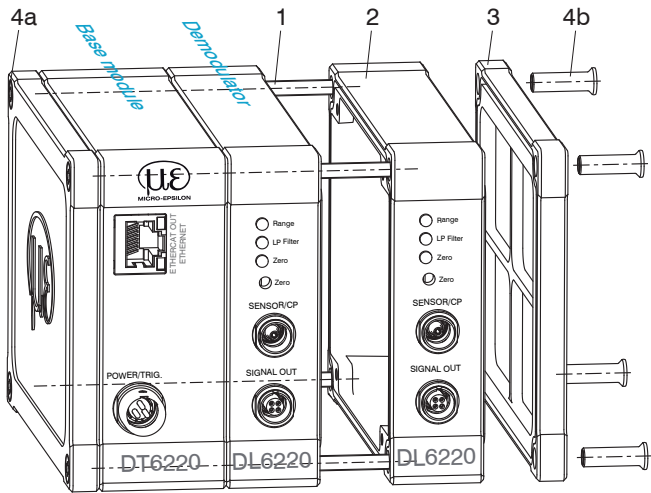
Screwed connection from bottom



Technical drawing of a rectangular plate (Fig. 1). The plate has a width of 125 mm and a height of 90 mm. It features a central logo consisting of the letters 'E' and 'M' inside an oval. The plate is mounted on a wall using four screws (M4) at the corners. The distance between the screws is 50 mm. The plate has a thickness of 8 mm. The mounting holes are 4 mm in diameter. The plate is shown in two views: a top view and a side view. The side view shows the plate's thickness and the location of the mounting holes. The top view shows the plate's dimensions, the central logo, and the location of the mounting holes. The mounting holes are located at the corners of the plate, with a distance of 50 mm between them. The plate has a thickness of 8 mm. The mounting holes are 4 mm in diameter. The plate is shown in two views: a top view and a side view. The side view shows the plate's thickness and the location of the mounting holes. The top view shows the plate's dimensions, the central logo, and the location of the mounting holes.

Inserting Demodulator Module

- ➡ Loosen the sleeve nuts (4b) on the right side of the controller, remove the right housing cover (3).
- ➡ Pull out a sleeve nut (4a), including the threaded rod (1).
- ➡ Replace the threaded rod (1) with the next-longest threaded rod in the conversion kit supplied. Push the new threaded rod, including sleeve nut (4a), through the modules.
- ➡ Replace the remaining 3 threaded rods in the same manner.
- ➡ Attach the additional demodulator module.

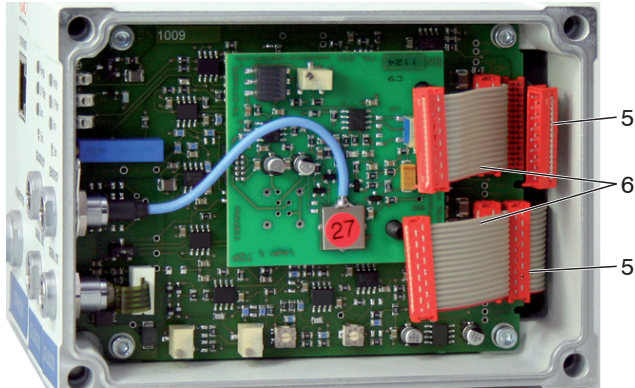


Number of demodulator modules	Length of threaded rod M4
1	59 mm
2	84 mm
3	109 mm
4	134 mm

Controller mechanical parts

i Only touch the demodulator modules on the housing, not on the electronics. This avoids electrostatic discharges onto the electronics.

- Connect both flat strip connections (5) of the previous demodulator module to the new demodulator module (6).



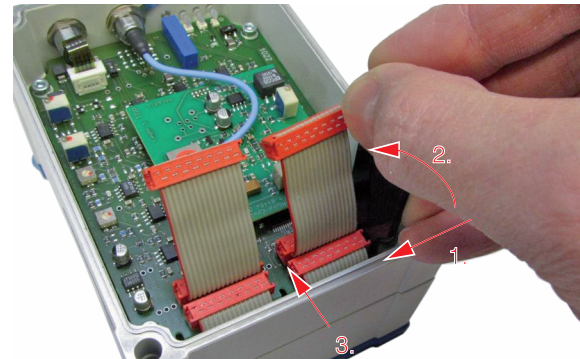
Wiring of demodulator modules

- 5 Wiring of previous demodulator module
- 6 Wiring of next demodulator module

- Attach the right housing cover (3).
- Screw the sleeve nuts (4b) onto the threaded rods on the right side of the controller and tighten the sleeve nuts.

Wiring to the previous demodulator module (5) can be released by using the supplied unplugging tool – see Accessories – as follows:

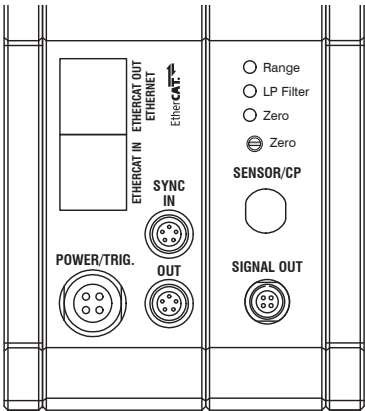
- 1. Push the unplugging tool with the cutout side-ways onto the plug (5).
- 2. Remove the plug with a lever movement.
- 3. Release the other side of the plug in the same manner.



Use of the unplugging tool for wiring of the demodulator elements

Commissioning

LEDs



1) LP filter can only be switched via Ethernet.

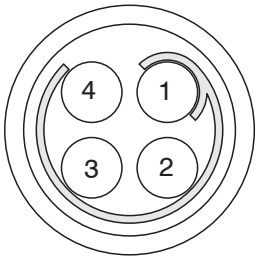
LED	Color		Function
Range		green	Target within the measuring range
		red	Measuring range exceeded
LP filter ¹		off	Default strip width active
		red	20 Hz low-pass filter at analog outputs enabled.
Zero		off	Zero potentiometer in base position (right-hand stop)
		red	Zero potentiometer misaligned

Pin Assignment Supply, Trigger

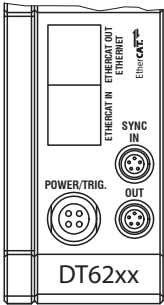
PIN	Wire color PC6200-3/4	Signal	Description
1	brown	+24VIN	+24 VDC supply
2	white	Zero VIN	GND supply
3	yellow	TRI_IN+	Trigger IN+, TTL level
4	green	TRI_IN-	Trigger IN-

Shield

PC6200-3/4 is an assembled supply and trigger cable that is 3 m long.



View: solder side, 4-pin ODU female connector



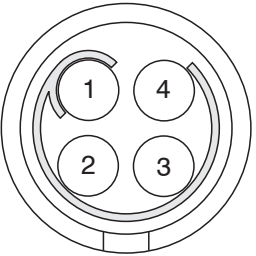
Supply input on controller, 4-pin plug

Pin Assignment of Analog Output

Pin	Wire color SCACx/4	Signal	Description
1	brown	U-out	U_{OUT} (Load min. 10 kOhm)
2	yellow	I-out	I_{OUT} (Load max. 500 Ohm)
3	gray	AGND	Analog ground
4	white	AGND	Analog ground

Shield

Analog grounds are connected internally. SCACx/4 is a 4-wire output cable that is 3 m long. It is supplied as an optional accessory.

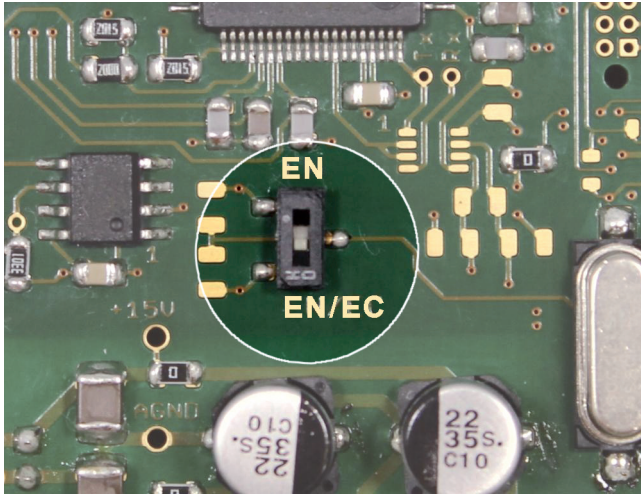


View: soldering pin side, 4-pin male cable connector



Signal output on controller, 4-pin port

Ethernet/EtherCAT Switching DT6230

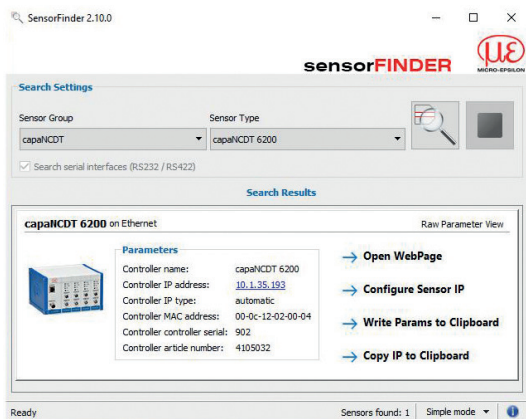


Switch for changing between Ethernet and EtherCAT

You can change between Ethernet and EtherCAT by using the hardware switch on the DT6230 base module or in the software.

If the switch is in the **EN** (Ethernet) position, the Ethernet interface is always active irrespective of the software setting. If the switch is in the **EN/EC** (Ethernet/EtherCAT) position, the interface set by the software is active. Any change to the interface only takes effect after restarting the controller.

Commissioning, IP Address



The controller is shipped with the factory-set IP address **169.254.168.150**.

You can query the IP addresses of the controllers that are connected to a PC or network by using the SensorFinder.exe program. You will find this program on the supplied CD.

➡ Start the SensorFinder and click the  button.

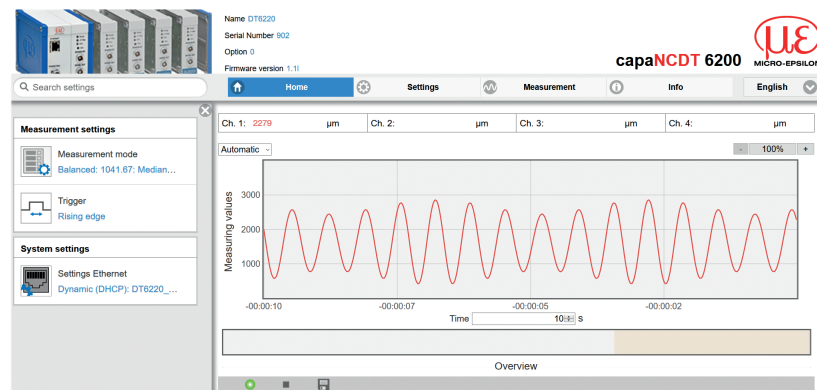
➡ Select the correct controller from the list.

➡ Click the **Open WebPage** button to connect the sensor to your default browser.

OR: If DHCP is active and the DHCP server is linked to the DNS server, access is also possible by using e.g., **DT6200_SN01234567** (where “01234567” is the serial number of your controller).

➡ Start a web browser on your PC. Enter **DT6200_Serial_number** in the address bar of your browser.

The controller supports UPnP. If you have an operating system where the UPnP service is enabled, e.g. by default in Windows 7, the controller is automatically listed in Explorer under network devices and can be accessed from there, e.g. if you have forgotten its IP address.



First interactive web page after calling the IP address

Additional help functions (e.g. Settings) are available in the top navigation bar. All settings on the web page are implemented in the controller immediately.

Parallel operation with web browser and Telnet commands is possible; the last setting applies.

The appearance of the web pages can change depending on the functions and the peripherals. Each page contains parameter descriptions and thus tips for configuring the controller.

Channel Information, Measuring Range

The measuring ranges of the connected sensors must be specified manually. After replacing a sensor, don't forget to specify its new measuring range.

➡ Go to the Settings > Channel n > Channel information menu.

➡ Specify the measuring range of the sensor.

Data channel	1/2/3/4	Value
--------------	---------	-------

Value range between 0 and 1000000 μ m Value range between 0 and 1000000 μ m

Math Function

This function permits scaling of a measuring channel and mathematical linking of individual measuring channels.

Formula: Data channel = Offset + Factor Measuring channel 1 + Factor Measuring channel 2 + Factor Measuring channel 3 + Factor Measuring channel 4.

Data channel = digital values

Measuring channel = analog value of a demodulator module

➡ Go to the Settings > Channel n > Math function menu.

➡ Specify the values for Offset and Factor.

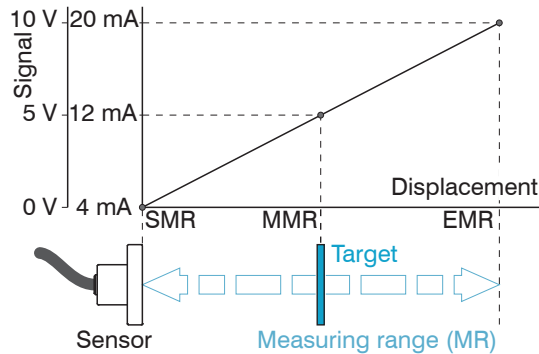
		Offset	Value
Data channel	1/2/3/4	Factor measuring channel	Value

Value range for Offset: max. ± 8 times MR

Value range for Factor: measuring channel between -9.9 and +9.9

Positioning the Target

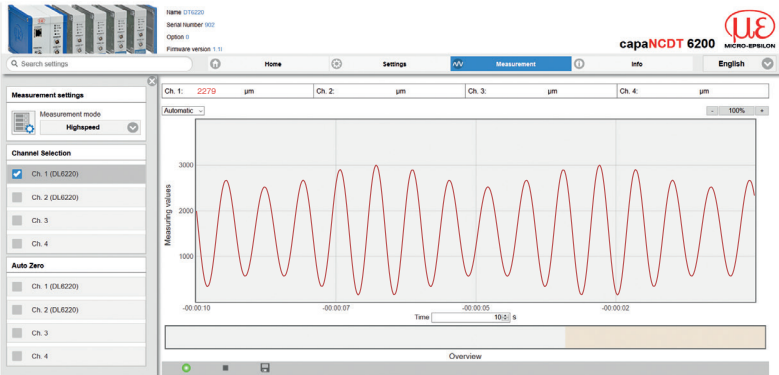
➡ Position the target within the sensor measuring range.



SMR Start of measuring range
MMR Mid of measuring range
EMR End of measuring range

Distance Measurements

- ➡ Switch to the Measurement menu.
- ➡ Click the Start measuring button.



Operation and Maintenance

Please note for operation and maintenance:

- ➡ Ensure that the sensor surface is always clean.
- ➡ Before cleaning, turn off the supply voltage.
- ➡ Clean with a damp cloth and then rub the sensor surface dry.

If the target has been changed or operating periods are very long, minor losses in operating quality are possible. You can correct these long-term errors by recalibrating.

- ➡ Disconnect the power supply before touching the sensor surface.

> Static discharge, danger of injury

If the cause of a fault cannot be clearly determined, always send the complete measurement system. In case of a defect in the controller, the sensor or the sensor cable, send the affected parts for repair or exchange.

MICRO-EPSILON MESSTECHNIK

GmbH & Co. KG

Koenigbacher Str. 15

94496 Ortenburg / Germany

Tel. +49 (0) 8542 / 168-0 / Fax +49 (0) 8542 / 168-90

info@micro-epsilon.com / www.micro-epsilon.com

Liability for Material Defects

All components of the device have been checked and tested for functionality at the factory. However, if defects occur despite our careful quality control, MICRO-EPSILON or your dealer must be notified immediately.

The liability for material defects is 12 months from delivery. Within this period, defective parts, except for wearing parts, will be repaired or replaced free of charge, if the device is returned to MICRO-EPSILON with shipping costs prepaid. Any damage that is caused by improper handling, the use of force or by repairs or modifications by third parties is not covered by the liability for material defects.

Repairs are carried out exclusively by MICRO-EPSILON.

Further claims can not be made. Claims arising from the purchase contract remain unaffected. In particular, MICRO-EPSILON shall not be liable for any consequential, special, indirect or incidental damage. In the interest of further development, MICRO-EPSILON reserves the right to make design changes without notification.

For translations into other languages, the German version shall prevail.



MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co. KG
Koenigbacher Str. 15 · 94496 Ortenburg / Germany
Tel. +49 (0) 8542 / 168-0 · Fax +49 (0) 8542 / 168-90
info@micro-epsilon.com · www.micro-epsilon.com

X9691298-A021129SWE

© MICRO-EPSILON MESSTECHNIK



200mA 2-Terminal Programmable Current Source

FEATURES

- Programmable 2-Terminal Current Source
- Maximum Output Current: 200mA
- Wide Input Voltage Range: 1.2V to 40V
- Input/Output Capacitors Not Required
- Resistor Ratio Sets Output Current
- Initial Set Pin Current Accuracy: 1%
- Reverse-Voltage Protection
- Reverse-Current Protection
- <0.001%/V Line Regulation Typical
- Current Limit and Thermal Shutdown Protection
- Available in 8-Lead SOT-23, 3-Lead SOT-223 and 8-Lead 3mm × 3mm DFN Packages

APPLICATIONS

- 2-Terminal Floating Current Source
- GND Referred Current Source
- Variable Current Source
- In-Line Limiter
- Intrinsic Safety Circuits

DESCRIPTION

The **LT®3092** is a programmable 2-terminal current source. It requires only two resistors to set an output current between 0.5mA and 200mA. A multitude of analog techniques lend themselves to actively programming the output current. The LT3092 is stable without input and output capacitors, offering high DC and AC impedance. This feature allows operation in intrinsically safe applications.

The SET pin features 1% initial accuracy and low temperature coefficient. Current regulation is better than 10ppm/V from 1.5V to 40V.

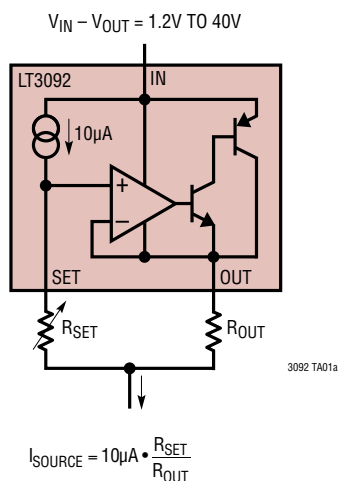
The LT3092 can operate in a 2-terminal current source configuration in series with signal lines. It is ideal for driving sensors, remote supplies, and as a precision current limiter for local supplies.

Internal protection circuitry includes reverse-battery and reverse-current protection, current limiting and thermal limiting. The LT3092 is offered in the 8-lead TSOT-23, 3-lead SOT-223 and 8-lead 3mm × 3mm DFN packages.

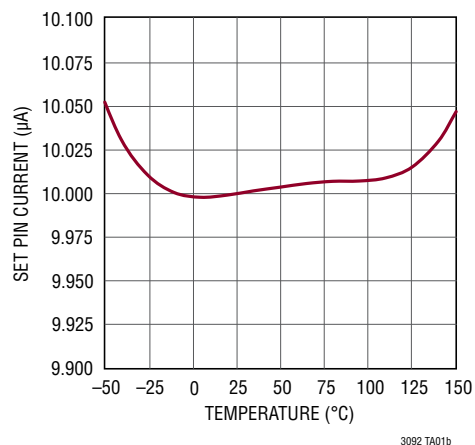
LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

TYPICAL APPLICATION

Adjustable 2-Terminal Current Source



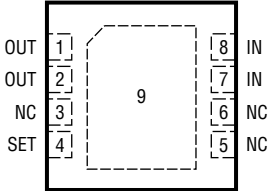
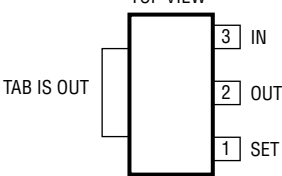
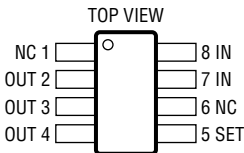
SET Pin Current vs Temperature



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1) All Voltages Relative to V_{OUT}

IN Pin Voltage Relative to SET, OUT.....	±40V	Operating Junction Temperature Range (Notes 2, 8)	
SET Pin Current (Note 6)	±15mA	E, I Grades	−40°C to 125°C
SET Pin Voltage (Relative to OUT, Note 6)	±10V	MP Grade.....	−55°C to 125°C
Output Short-Circuit Duration	Indefinite	Storage Temperature Range	−65°C to 150°C
		Lead Temperature (ST, TS8 Packages Only)	
		Soldering, 10 sec	300°C

PIN CONFIGURATION

TOP VIEW  DD PACKAGE 8-LEAD (3mm × 3mm) PLASTIC DFN $T_{JMAX} = 125^{\circ}\text{C}$, $\theta_{JA} = 28^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 10^{\circ}\text{C/W}$ EXPOSED PAD (PIN 9) IS OUT, MUST BE SOLDERED TO OUT ON THE PCB. SEE THE APPLICATIONS INFORMATION SECTION.	TOP VIEW  ST PACKAGE 3-LEAD PLASTIC SOT-223 $T_{JMAX} = 125^{\circ}\text{C}$, $\theta_{JA} = 24^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 15^{\circ}\text{C/W}$ TAB IS OUT, MUST BE SOLDERED TO OUT ON THE PCB. SEE THE APPLICATIONS INFORMATION SECTION.	TOP VIEW  TS8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC TSOT-23 $T_{JMAX} = 125^{\circ}\text{C}$, $\theta_{JA} = 57^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 15^{\circ}\text{C/W}$
---	---	--

ORDER INFORMATION <http://www.linear.com/product/LT3092#orderinfo>

LEAD FREE FINISH	TAPE AND REEL	PART MARKING*	PACKAGE DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE
LT3092EDD#PBF	LT3092EDD#TRPBF	LFJD	8-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	–40°C to 125°C
LT3092IDD#PBF	LT3092IDD#TRPBF	LFJD	8-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	–40°C to 125°C
LT3092EST#PBF	LT3092EST#TRPBF	3092	3-Lead Plastic SOT-223	–40°C to 125°C
LT3092IST#PBF	LT3092IST#TRPBF	3092	3-Lead Plastic SOT-223	–40°C to 125°C
LT3092MPST#PBF	LT3092MPST#TRPBF	3092MP	3-Lead Plastic SOT-223	–55°C to 125°C
LT3092ETS8#PBF	LT3092ETS8#TRPBF	LTFJW	8-Lead Plastic SOT-23	–40°C to 125°C
LT3092ITS8#PBF	LT3092ITS8#TRPBF	LTFJW	8-Lead Plastic SOT-23	–40°C to 125°C
LEAD BASED FINISH	TAPE AND REEL	PART MARKING*	PACKAGE DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE
LT3092EDD	LT3092EDD#TR	LFJD	8-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	–40°C to 125°C
LT3092IDD	LT3092IDD#TR	LFJD	8-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	–40°C to 125°C
LT3092EST	LT3092EST#TR	3092	3-Lead Plastic SOT-223	–40°C to 125°C
LT3092IST	LT3092IST#TR	3092	3-Lead Plastic SOT-223	–40°C to 125°C
LT3092MPST	LT3092MPST#TR	3092MP	3-Lead Plastic SOT-223	–55°C to 125°C
LT3092ETS8	LT3092ETS8#TR	LTFJW	8-Lead Plastic SOT-23	–40°C to 125°C
LT3092ITS8	LT3092ITS8#TR	LTFJW	8-Lead Plastic SOT-23	–40°C to 125°C

Consult LTC Marketing for parts specified with wider operating temperature ranges. *The temperature grade is identified by a label on the shipping container.

For more information on lead free part marking, go to: <http://www.linear.com/leadfree/>

For more information on tape and reel specifications, go to: <http://www.linear.com/tapeandreeel/>. Some packages are available in 500 unit reels through designated sales channels with #TRMPBF suffix.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_J = 25^\circ\text{C}$. (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SET Pin Current I_{SET}	$V_{\text{IN}} = 2\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$ $2\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$, $1\text{mA} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 200\text{mA}$	9.9 9.8	10 10	10.1 10.2	μA μA
Offset Voltage ($V_{\text{OUT}} - V_{\text{SET}}$) V_{OS}	$V_{\text{IN}} = 2\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$ $V_{\text{IN}} = 2\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$	-2 -4		2 4	mV mV
Current Regulation (Note 7) ΔI_{SET} ΔV_{OS}	$\Delta I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$ to 200mA $\Delta I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$ to 200mA		-0.1 -0.5	-2	nA mV
Line Regulation ΔI_{SET} ΔV_{OS}	$\Delta V_{\text{IN}} = 2\text{V}$ to 40V, $I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$ $\Delta V_{\text{IN}} = 2\text{V}$ to 40V, $I_{\text{LOAD}} = 1\text{mA}$		0.03 0.003	0.2 0.010	nA/V mV/V
Minimum Load Current (Note 3)	$2\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$		300	500	μA
Dropout Voltage (Note 4)	$I_{\text{LOAD}} = 10\text{mA}$ $I_{\text{LOAD}} = 200\text{mA}$		1.22 1.3	1.45 1.65	V V
Current Limit	$V_{\text{IN}} = 5\text{V}$, $V_{\text{SET}} = 0\text{V}$, $V_{\text{OUT}} = -0.1\text{V}$	200	300		mA
Reference Current RMS Output Noise (Note 5)	$10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{kHz}$		0.7		nA _{RMS}
Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$, $V_{\text{RIPPLE}} = 0.5\text{V}_{\text{P-P}}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.1\text{A}$, $C_{\text{SET}} = 0.1\mu\text{F}$, $C_{\text{OUT}} = 2.2\mu\text{F}$ $f = 10\text{kHz}$ $f = 1\text{MHz}$		90 75 20		dB dB dB
Thermal Regulation I_{SET}	10ms Pulse		0.003		%/W

Note 1: Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. Exposure to any Absolute Maximum Rating condition for extended periods may affect device reliability and lifetime.

Note 2: Unless otherwise specified, all voltages are with respect to V_{OUT} . The LT3092E is tested and specified under pulse load conditions such that $T_J \approx T_A$. The LT3092E is 100% tested at $T_A = 25^\circ\text{C}$. Performance at -40°C and 125°C is assured by design, characterization, and correlation with statistical process controls. The LT3092I is guaranteed to meet all data sheet specifications over the full -40°C to 125°C operating junction temperature range. The LT3092MP is 100% tested and guaranteed over the -55°C to 125°C operating junction temperature range.

Note 3: Minimum load current is equivalent to the quiescent current of the part. Since all quiescent and drive current is delivered to the output of the part, the minimum load current is the minimum current required to maintain regulation.

Note 4: For the LT3092, dropout is specified as the minimum input-to-output voltage differential required supplying a given output current.

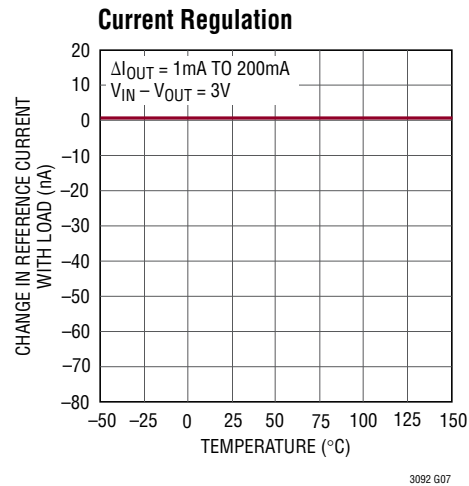
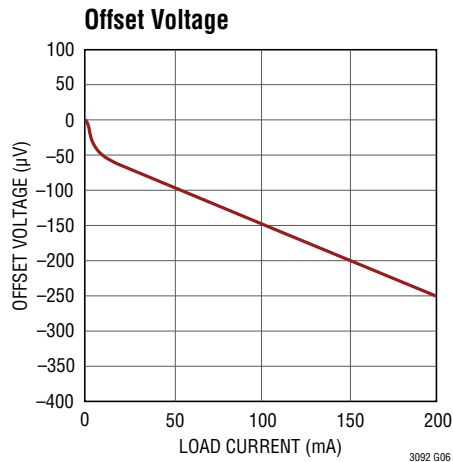
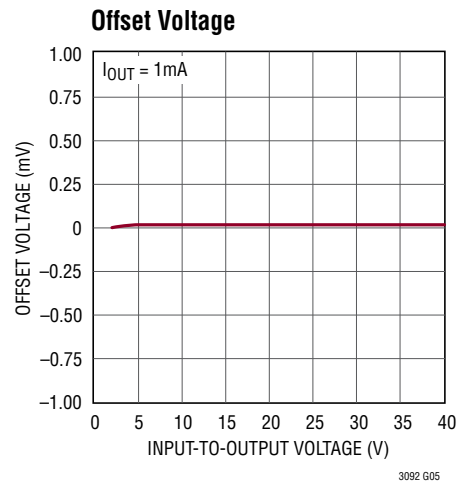
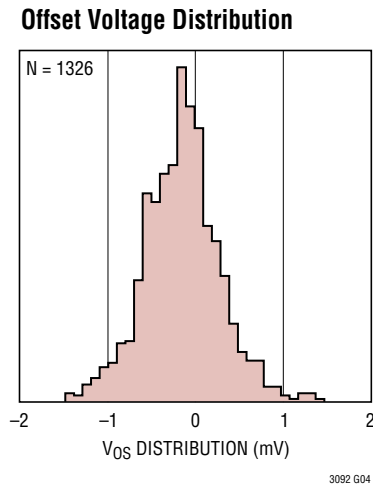
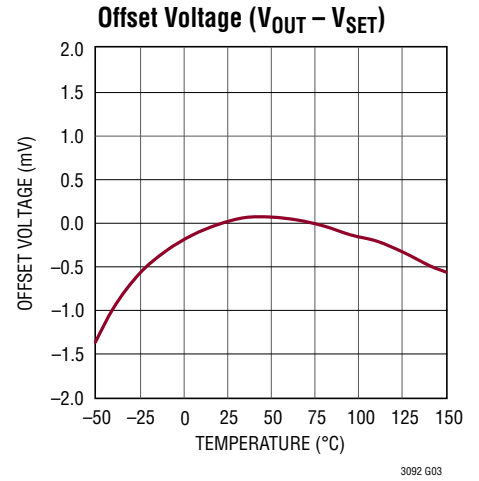
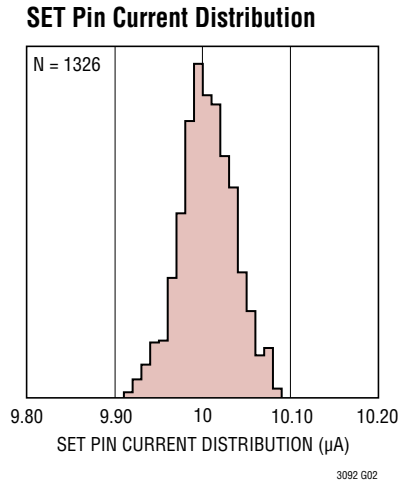
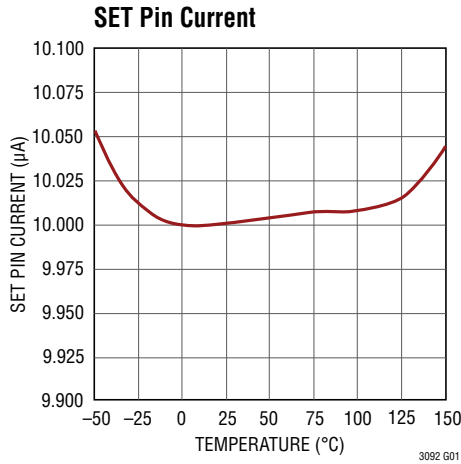
Note 5: Adding a small capacitor across the reference current resistor lowers output noise. Adding this capacitor bypasses the resistor shot noise and reference current noise (see the Applications Information section).

Note 6: Diodes with series 1k resistors clamp the SET pin to the OUT pin. These diodes and resistors only carry current under transient overloads.

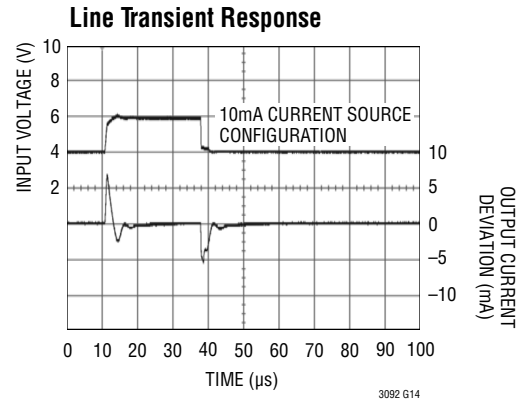
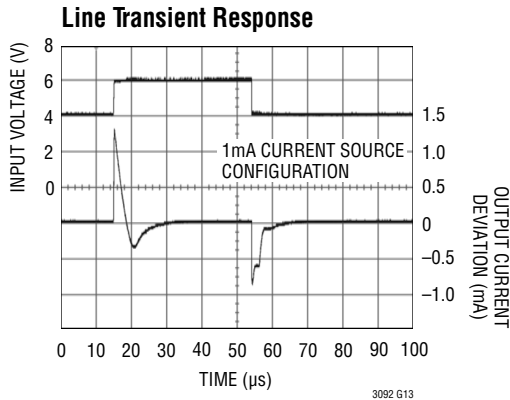
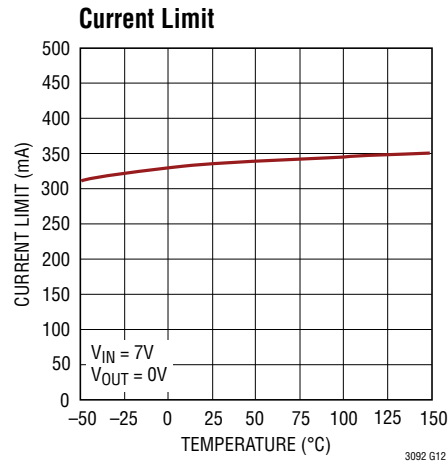
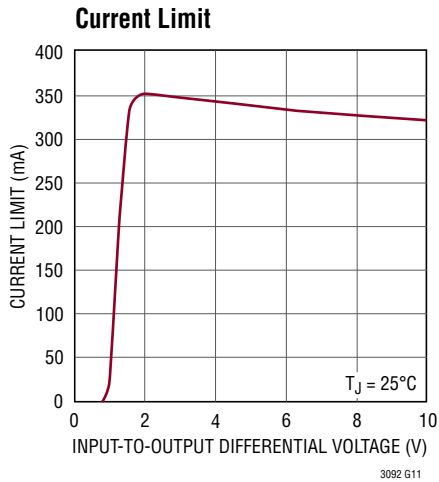
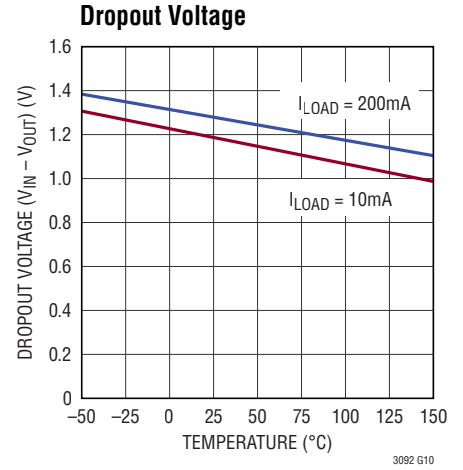
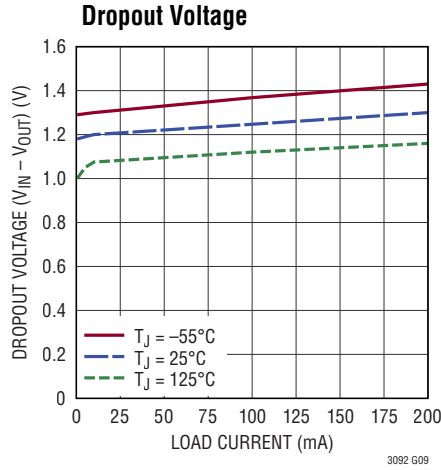
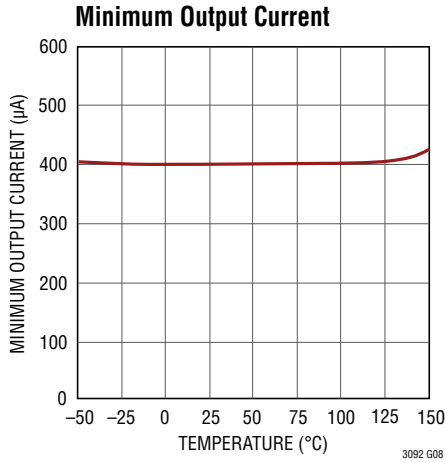
Note 7: Current regulation is Kelvin-sensed at the package.

Note 8: This IC includes overtemperature protection that protects the device during momentary overload conditions. Junction temperature exceeds the maximum operating junction temperature when overtemperature protection is active. Continuous operation above the specified maximum operating junction temperature may impair device reliability.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

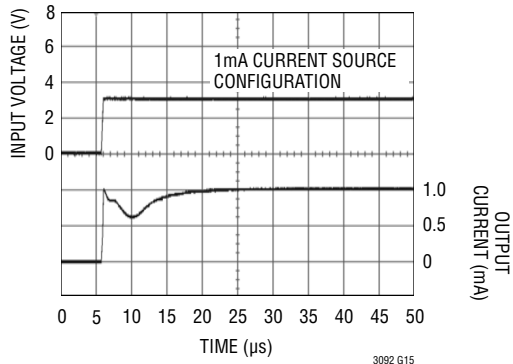


TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

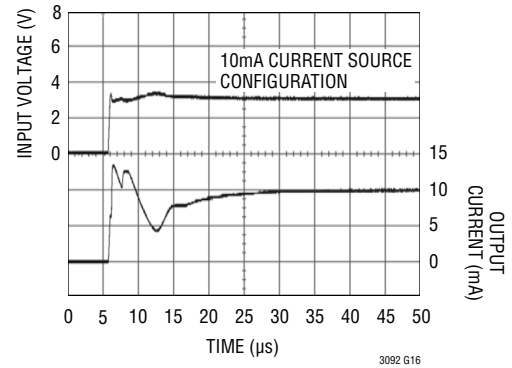


TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

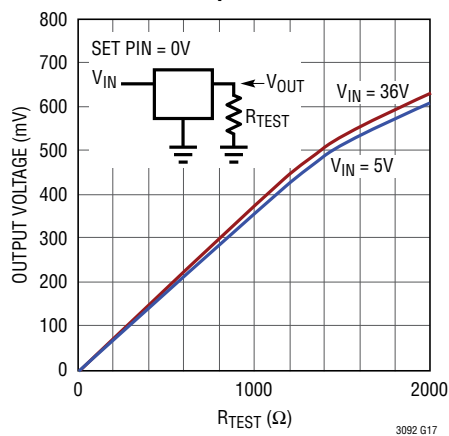
Turn-On Response



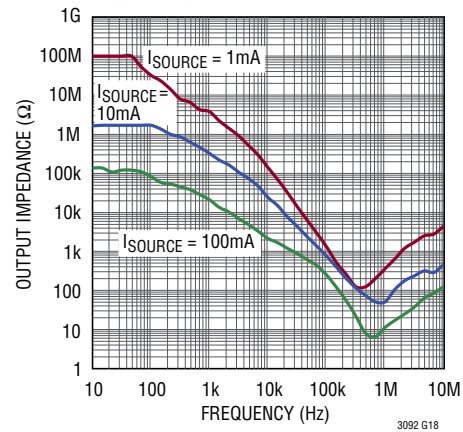
Turn-On Response



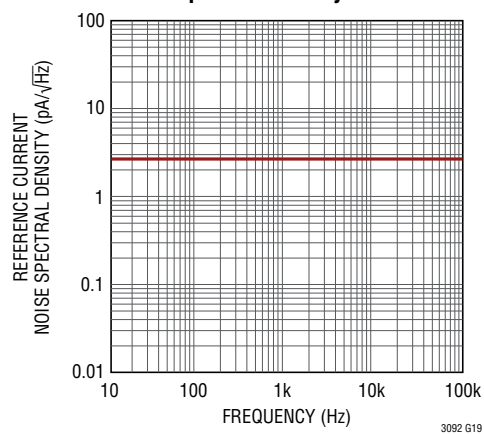
Residual Output for Less Than Minimum Output Current



Output Impedance



Noise Spectral Density



PIN FUNCTIONS (DD/ST/TS8)

IN (Pins 7, 8/Pin 3/Pins 7, 8): Input. This pin supplies power to bias internal circuitry and supply output load current. For the device to operate properly and regulate, the voltage on this pin must be 1.2V to 1.4V above the OUT pin (depending on output load current—see the dropout voltage specifications in the Electrical Characteristics table).

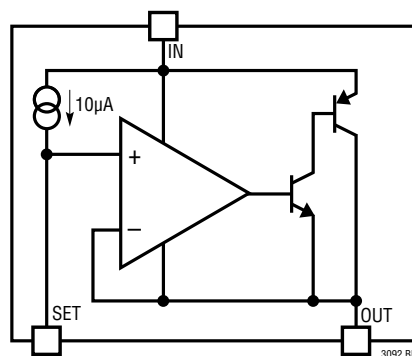
NC (Pins 3, 5, 6/NA/Pins 1, 6): No Connection. These pins have no connection to internal circuitry and may be tied to IN, OUT, GND or floated.

OUT (Pins 1, 2/Pin 2/Pins 2, 3, 4): Output. This is the power output of the device. The minimum current source value to which the LT3092 can be set is 0.5mA or the device will not regulate.

SET (Pin 4/Pin 1/Pin 5): Set. This pin is the error amplifier's noninverting input and also sets the operating bias point of the circuit. A fixed 10 μ A current source flows out of this pin. Two resistors program I_{OUT} as a function of the resistor ratio relative to 10 μ A. Output current range is 0.5mA to the maximum rated 200mA level.

Exposed Pad/Tab (Pin 9/Tab/NA): Output. The Exposed Pad of the DFN package and the Tab of the SOT-223 package are tied internally to OUT. Tie them directly to the OUT pins (Pins 1, 2/Pin 2) at the PCB. The amount of copper area and planes connected to OUT determine the effective thermal resistance of the packages (see the Applications Information section).

BLOCK DIAGRAM



APPLICATIONS INFORMATION

Introduction

The LT3092 is a versatile IC that operates as a 2-terminal programmable current source with the addition of only two external resistors; no external bypass capacitors are needed for stability.

The LT3092 is easy to use and has all the protection features expected in high performance products. Included are reverse-voltage protection, reverse-current protection, short-circuit protection and thermal shutdown with hysteresis.

The LT3092 operates with or without input and output capacitors. The simplest current source application requires only two discrete resistors to set a constant output current up to 200mA. A variety of analog techniques lend themselves to regulating and varying the current source value.

The device utilizes a precision “0” TC 10μA reference current source to program output current. This 10μA current source connects to the noninverting input of a power operational amplifier. The power operational amplifier provides a low impedance buffered output of the voltage on the noninverting input.

Many application areas exist in which operation without input and output capacitors is advantageous. A few of these applications include sensitive circuits that cannot endure surge currents under fault or overload conditions and intrinsic safety applications in which safety regulations limit energy storage devices that may spark or arc.

Programming Output Current in 2-Terminal Current Source Mode

Setting the LT3092 to operate as a 2-terminal current source is a simple matter. The 10μA reference current from the SET pin is used with one resistor to generate a small voltage, usually in the range of 100mV to 1V (200mV is a level that will help reject offset voltage, line regulation, and other errors without being excessively large). This voltage is then applied across a second resistor that connects from OUT to the first resistor. Figure 1 shows connections and formulas to calculate a basic current source configuration.

With a 10μA current source generating the reference that gains up to set output current, leakage paths to or from the SET pin can create errors in the reference and output currents. High quality insulation should be used (e.g., Teflon, Kel-F). The cleaning of all insulating surfaces to remove fluxes and other residues may be required. Surface coating may be necessary to provide a moisture barrier in high humidity environments.

Minimize board leakage by encircling the SET pin and circuitry with a guard ring operated at a potential close to itself; tie the guard ring to the OUT pin. Guarding both sides of the circuit board is required. Bulk leakage reduction depends on the guard ring width. Ten nano-amperes of leakage into or out of the SET pin and its associated circuitry creates a 0.1% reference current error. Leakages of this magnitude, coupled with other sources of leakage, can cause significant offset voltage and reference current drift, especially over the possible operating temperature range.

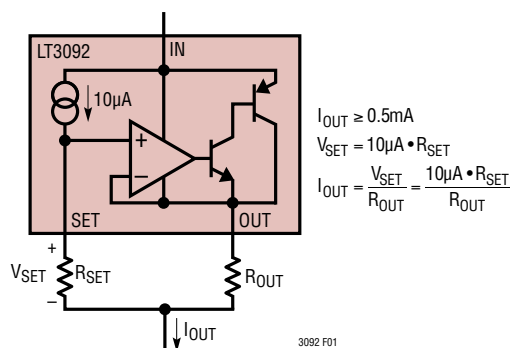


Figure 1. Using the LT3092 as a Current Source

Selecting R_{SET} and R_{OUT}

In Figure 1, both resistors R_{SET} and R_{OUT} program the value of the output current. The question now arises: the ratio of these resistors is known, but what value should each resistor be?

The first resistor to select is R_{SET} . The value selected should generate enough voltage to minimize the error caused by the offset between the SET and OUT pins. A reasonable starting level is 200mV of voltage across R_{SET} (R_{SET} equal to 20k). Resultant errors due to offset voltage are a few percent. The lower the voltage across R_{SET} becomes, the higher the error term due to the offset.

3092fc

APPLICATIONS INFORMATION

From this point, selecting R_{OUT} is easy, as it is a straightforward calculation from R_{SET} . Take note, however, resistor errors must be accounted for as well. While larger voltage drops across R_{SET} minimize the error due to offset, they also increase the required operating headroom.

Obtaining the best temperature coefficient does not require the use of expensive resistors with low ppm temperature coefficients. Instead, since the output current of the LT3092 is determined by the ratio of R_{SET} to R_{OUT} , those resistors should have matching temperature characteristics. Less expensive resistors made from the same material will provide matching temperature coefficients. See resistor manufacturers' data sheets for more details.

Stability and Frequency Compensation

The LT3092 does not require input or output capacitors for stability in many current-source applications. Clean, tight PCB layouts provide a low reactance, well controlled operating environment for the LT3092 without requiring capacitors to frequency-compensate the circuit. The front page Typical Application circuit illustrates the simplicity of using the LT3092.

Some current source applications will use a capacitor connected in parallel with the SET pin resistor to lower the current source's noise. This capacitor also provides a soft-start function for the current source. This capacitor connection is depicted in Figure 7 (see the Quieting the Noise section).

When operating with a capacitor across the SET pin resistor, external compensation is usually required to maintain stability and compensate for the introduced pole. The following paragraphs discuss methods for stabilizing the LT3092 for either this capacitance or other complex impedances that may be presented to the device. Linear Technology strongly recommends testing stability in situ with final components before beginning production.

Although the LT3092's design strives to be stable without any capacitors over a wide variety of operating conditions, it is not possible to test for all possible combinations of input and output impedances that the LT3092 will encounter. These impedances may include resistive, capacitive and

inductive components and may be complex distributed networks. In addition, the current source's value will differ between applications and its connection may be GND referenced, power supply referenced or floating in a signal line path. Linear Technology strongly recommends that stability be tested in situ for any LT3092 application.

In LT3092 applications with long wires or PCB traces, the inductive reactance may cause instability. In some cases, adding series resistance to the input and output lines (as shown in Figure 2) may sufficiently dampen these possible high-Q lines and provide stability. The user must evaluate the required resistor values against the design's headroom constraints. In general, operation at low output current levels (< 5mA) automatically requires higher values of programming resistors and may provide the necessary damping without additional series impedance.

If the line impedances in series with the LT3092 are complex enough such that series damping resistors are not sufficient, a frequency compensation network may be necessary. Several options may be considered.

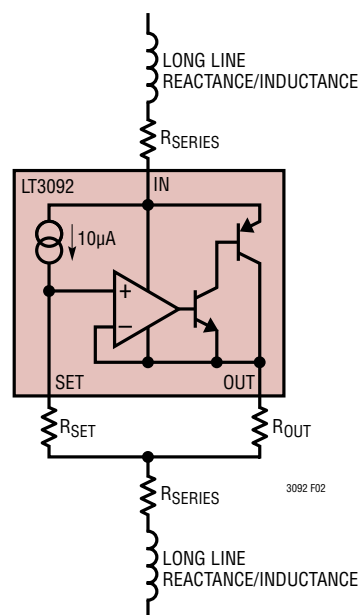


Figure 2. Adding Series Resistor Decouples and Dampens Long Line Reactances

APPLICATIONS INFORMATION

Figure 3 depicts the simplest frequency compensation network as a single capacitor connected across the two terminals of the current source. In this case, either a capacitor with a value less than 1000pF, or greater than 1 μ F (ESR < 0.5 Ω), may stabilize the circuit. Some applications may use the small value capacitor to stand off DC voltage, but allow the transfer of data down a signal line.

For some applications, this capacitance range may be unacceptable or present a design constraint. One circuit example typifying this is an “intrinsically-safe” circuit in which an overload or fault condition potentially allows the capacitor’s stored energy to create a spark or arc. For applications in which a single capacitor is unacceptable, Figure 3 alternately shows a series RC network connected across the two terminals of the current source. This network has two benefits. First, it limits the potential discharge current of the capacitor under a fault condition, preventing sparks or arcs. Second, it bridges the gap between the upper bound of 1000pF for small capacitors to the lower bound of 1 μ F for large capacitors such that almost any value capacitor can be used. This allows the user greater flexibility for frequency compensating the loop and fine tuning the RC network for complex impedance networks. In many instances, a series RC network is the best solution for stabilizing the application circuit. Typical resistor values will range from 100 Ω to about 5k, especially for capacitor values in between 1000pF and 1 μ F. Once again, Linear

Technology strongly recommends testing stability in situ for any LT3092 application across all operating conditions, especially ones that present complex impedance networks at the input and output of the current source.

If an application refers the bottom of the LT3092 current source to GND, it may be necessary to bypass the top of the current source with a capacitor to GND. In some cases, this capacitor may already exist and no additional capacitance is required. For example, if the LT3092 was used as a variable current source on the output of a power supply, the output bypass capacitance would suffice to provide LT3092 stability. Other applications may require the addition of a bypass capacitor. Once again, the same capacitor value requirements previously mentioned apply in that an upper bound of 1000pF exists for small values of capacitance, and a lower bound of 1 μ F (ESR < 0.5 Ω) exists for large value capacitors. A series RC network may also be used as necessary, and depends on the application requirements.

In some extreme cases, capacitors or series RC networks may be required on both the LT3092’s input and output to stabilize the circuit. Figure 4 depicts a general application using input and output capacitor networks, rather than an input-to-output capacitor. As the input of the current source tends to be high impedance, placing a capacitor on the input does not have the same effect as placing a capacitor on the lower impedance output, and the same

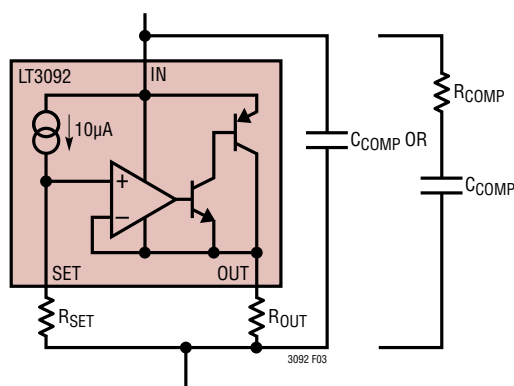


Figure 3. Compensation From Input to Output of Current Source Provides Stability

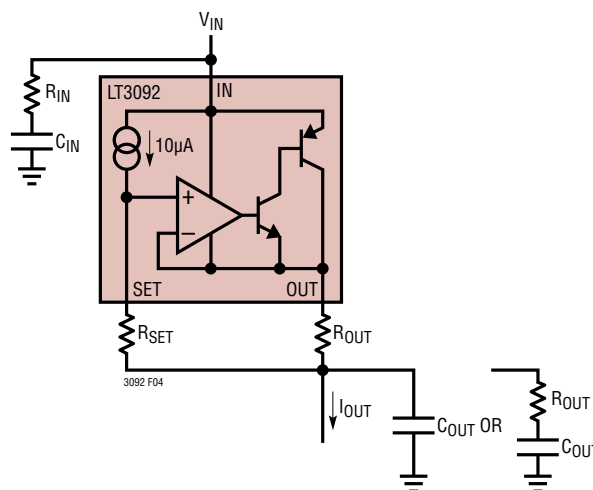


Figure 4. Input and/or Output Capacitors May Be Used for Compensation

APPLICATIONS INFORMATION

restrictions do not apply. Capacitors in the range of 0.1 μF to 1 μF usually provide sufficient bypassing on the input, and the value of input capacitance may be increased without limit.

If an application uses GND referred capacitors on the input or output (particularly the input), pay attention to the length of the lines powering and returning ground from the circuit. In the case where long power supply and return lines are coupled with low ESR input capacitors, application-specific voltage spikes, oscillations and reliability concerns may be seen. This is not an issue with LT3092 stability, but rather the low ESR capacitor forming a high-Q resonant tank circuit with the inductance of the input wires. Adding series resistance with the input of the LT3092, or with the input capacitor, often solves this. Resistor values of 0.1 Ω to 1 Ω are often sufficient to dampen this resonance.

Give extra consideration to the use of ceramic capacitors. Ceramic capacitors are manufactured with a variety of dielectrics, each with different behavior across temperature and applied voltage. The most common dielectrics used are specified with EIA temperature characteristic codes of Z5U, Y5V, X5R and X7R. The Z5U and Y5V dielectrics are good for providing high capacitances in a small package, but they tend to have strong voltage and temperature

coefficients as shown in Figures 5 and 6. When used with a 5V regulator, a 16V 10 μF Y5V capacitor can exhibit an effective value as low as 1 μF to 2 μF for the DC bias voltage applied and over the operating temperature range. The X5R and X7R dielectrics result in more stable characteristics and are more suitable for use as the output capacitor. The X7R type has better stability across temperature, while the X5R is less expensive and is available in higher values. Care still must be exercised when using X5R and X7R capacitors; the X5R and X7R codes only specify operating temperature range and maximum capacitance change over temperature. Capacitance change due to DC bias with X5R and X7R capacitors is better than Y5V and Z5U capacitors, but can still be significant enough to drop capacitor values below appropriate levels. Capacitor DC bias characteristics tend to improve as component case size increases, but expected capacitance at operating voltage should be verified.

Voltage and temperature coefficients are not the only sources of problems. Some ceramic capacitors have a piezoelectric response. A piezoelectric device generates voltage across its terminals due to mechanical stress. In a ceramic capacitor the stress can be induced by vibrations in the system or thermal transients.

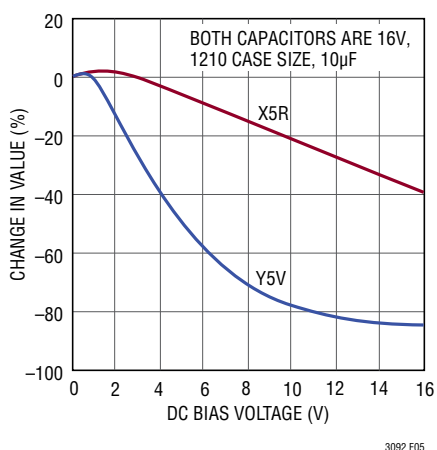


Figure 5. Ceramic Capacitor DC Bias Characteristics

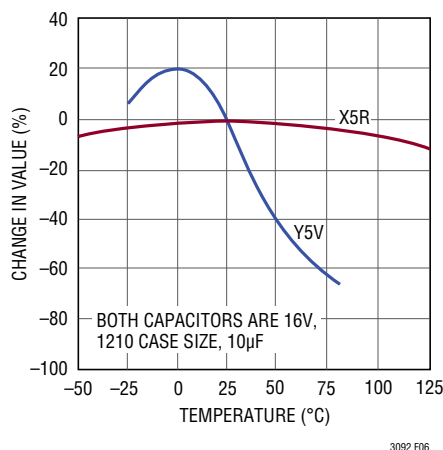


Figure 6. Ceramic Capacitor Temperature Characteristics

APPLICATIONS INFORMATION

Quieting the Noise

When a reduction in the noise of the current source is desired, a small capacitor can be placed across R_{SET} (C_{SET} in Figure 7). Normally, the $10\mu A$ reference current source generates noise current levels of $2.7pA/\sqrt{Hz}$ ($0.7nA_{RMS}$ over the 10Hz to 100kHz bandwidth). The SET pin resistor generates a spot noise equal to $i_n = \sqrt{4kT/R}$ (k = Boltzmann's constant, $1.38 \cdot 10^{-23} J/^{\circ}K$, and T is absolute temperature) which is RMS-summed with the noise generated by the $10\mu A$ reference current source. Placing a C_{SET} capacitor across R_{SET} (as shown in Figure 7) bypasses this noise current. Note that this noise reduction capacitor increases start-up time as a factor of the time constant formed by $R_{SET} \cdot C_{SET}$. When using a capacitor across the SET pin resistor, the external pole introduced usually requires compensation to maintain stability. See the Stability and Frequency Compensation section for detailed descriptions on compensating LT3092 circuits.

A curve in the Typical Performance Characteristics section depicts noise spectral density for the reference current over a 10Hz to 100kHz bandwidth.

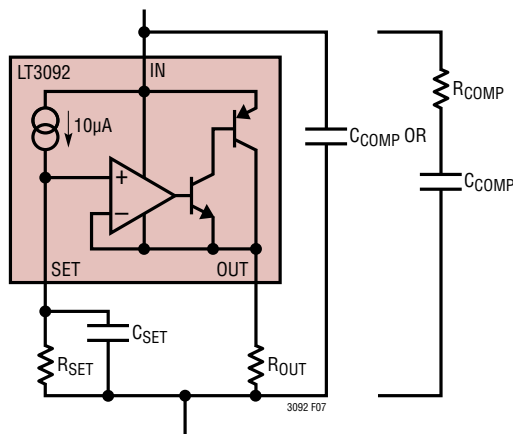


Figure 7. Adding C_{SET} Lowers Current Noise

Paralleling Devices

Obtain higher output current by paralleling multiple LT3092's together. The simplest application is to run two current sources side by side and tie their inputs together and their outputs together, as shown in Figure 8. This allows the sum of the current sources to deliver more output current than a single device is capable of delivering.

Another method of paralleling devices requires fewer components and helps to share power between devices. Tie the individual SET pins together and tie the individual IN pins together. Connect the outputs in common using small pieces of PC trace as ballast resistors to promote equal current sharing. PC trace resistance in milliohms/inch is shown in Table 1. Ballasting requires only a tiny area on the PCB.

Table 1. PC Board Trace Resistance

WEIGHT (oz)	10mil WIDTH	20mil WIDTH
1	54.3	27.1
2	27.1	13.6

Trace resistance is measured in $m\Omega/in$

The worst-case room temperature offset, only $\pm 2mV$ between the SET pin and the OUT pin, allows the use of very small ballast resistors.

As shown in Figure 9, each LT3092 has a small $40m\Omega$ ballast resistor, which at full output current gives better than 80% equalized sharing of the current. The external resistance of $40m\Omega$ ($20m\Omega$ for the two devices in parallel) only adds about $8mV$ of output voltage compliance at an output of $0.4A$. Of course, paralleling more than two LT3092's yields even higher output current. Spreading the device on the PC board also spreads the heat. Series input resistors can further spread the heat if the input-to-output difference is high.

Thermal Considerations

The LT3092's internal power and thermal limiting circuitry protects itself under overload conditions. For continuous normal load conditions, do not exceed the $125^{\circ}C$ maximum junction temperature. Carefully consider all sources of thermal resistance from junction-to-ambient. This includes (but is not limited to) junction-to-case, case-to-heat sink

APPLICATIONS INFORMATION

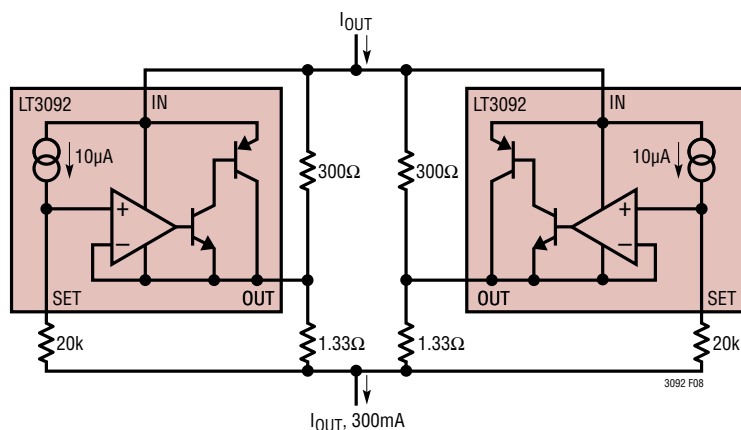


Figure 8. Connect Two LT3092s for Higher Current

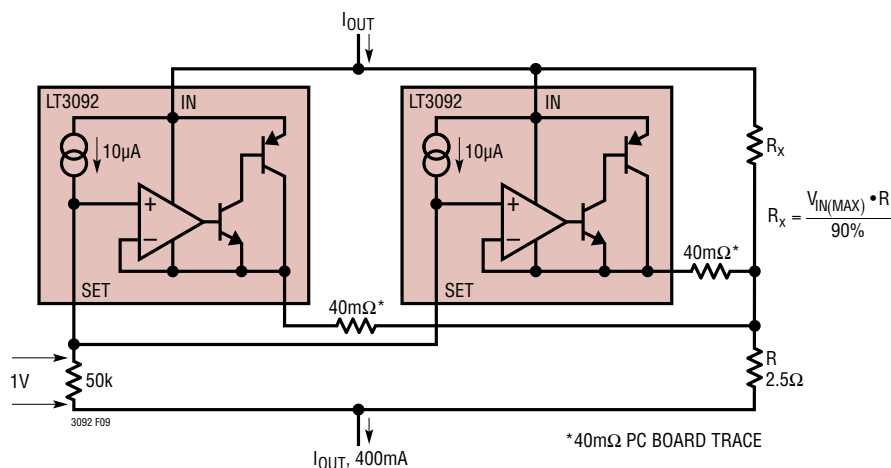


Figure 9. Parallel Devices

interface, heat sink resistance or circuit board-to-ambient as the application dictates. Consider all additional, adjacent heat generating sources in proximity on the PCB.

Surface mount packages provide the necessary heat sinking by using the heat spreading capabilities of the PC board, copper traces and planes. Surface mount heat sinks, plated through-holes and solder filled vias can also spread the heat generated by power devices.

Junction-to-case thermal resistance is specified from the IC junction to the bottom of the case directly, or the bottom of the pin most directly, in the heat path. This is the lowest thermal resistance path for heat flow. Only proper device mounting ensures the best possible thermal flow from this area of the package to the heat sinking material.

Note that the Exposed Pad of the DFN package and the Tab of the SOT-223 package are electrically connected to the output (V_{OUT}).

The following tables list thermal resistance as a function of copper areas in a fixed board size. All measurements were taken in still air on a four-layer FR-4 board with 1oz solid internal planes and 2oz external trace planes with a total finished board thickness of 1.6mm.

PCB layers, copper weight, board layout and thermal vias affect the resultant thermal resistance. Please reference JEDEC standard JESD51-7 for further information on high thermal conductivity test boards. Achieving low thermal resistance necessitates attention to detail and careful layout.

APPLICATIONS INFORMATION

Demo circuit 1531A's board layout using multiple inner V_{OUT} planes and multiple thermal vias achieves 28°C/W performance for the DFN package.

Table 2. DD Package, 8-Lead DFN

COPPER AREA		BOARD AREA	THERMAL RESISTANCE (JUNCTION-TO-AMBIENT)
TOPSIDE*	BACKSIDE		
2500mm ²	2500mm ²	2500mm ²	25°C/W
1000mm ²	2500mm ²	2500mm ²	25°C/W
225mm ²	2500mm ²	2500mm ²	28°C/W
100mm ²	2500mm ²	2500mm ²	32°C/W

*Device is mounted on topside

Table 3. TS8 Package, 8-Lead SOT-23

COPPER AREA		BOARD AREA	THERMAL RESISTANCE (JUNCTION-TO-AMBIENT)
TOPSIDE*	BACKSIDE		
2500mm ²	2500mm ²	2500mm ²	54°C/W
1000mm ²	2500mm ²	2500mm ²	54°C/W
225mm ²	2500mm ²	2500mm ²	57°C/W
100mm ²	2500mm ²	2500mm ²	63°C/W

*Device is mounted on topside

Table 4. ST Package, 3-Lead SOT-223

COPPER AREA		BOARD AREA	THERMAL RESISTANCE (JUNCTION-TO-AMBIENT)
TOPSIDE*	BACKSIDE		
2500mm ²	2500mm ²	2500mm ²	20°C/W
1000mm ²	2500mm ²	2500mm ²	20°C/W
225mm ²	2500mm ²	2500mm ²	24°C/W
100mm ²	2500mm ²	2500mm ²	29°C/W

*Device is mounted on topside

For further information on thermal resistance and using thermal information, refer to JEDEC standard JESD51, notably JESD51-12.

Calculating Junction Temperature

Example: Given an industrial factory application with an input voltage of 15V ±10%, an output voltage of 12V ±5%, an output current of 200mA and a maximum ambient temperature of 50°C, what would be the maximum junction temperature for a DFN package?

The total circuit power equals:

$$P_{TOTAL} = (V_{IN} - V_{OUT})(I_{OUT})$$

The SET pin current is negligible and can be ignored.

$$V_{IN(MAX CONTINUOUS)} = 16.5 (15V + 10\%)$$

$$V_{OUT(MIN CONTINUOUS)} = 11.4V (12V - 5\%)$$

$$I_{OUT} = 200mA$$

Power dissipation under these conditions equals:

$$P_{TOTAL} = (16.5 - 11.4V)(200mA) = 1.02W$$

Junction temperature equals:

$$T_J = T_A + P_{TOTAL} \cdot \theta_{JA}$$

$$T_J = 50^\circ C + (1.02W \cdot 30^\circ C/W) = 80.6^\circ C$$

In this example, the junction temperature is below the maximum rating, ensuring reliable operation.

Protection Features

The LT3092 incorporates several protection features ideal for battery-powered circuits, among other applications. In addition to normal circuit protection features such as current limiting and thermal limiting, the LT3092 protects itself against reverse-input voltages, reverse-output voltages, and reverse OUT-to-SET pin voltages.

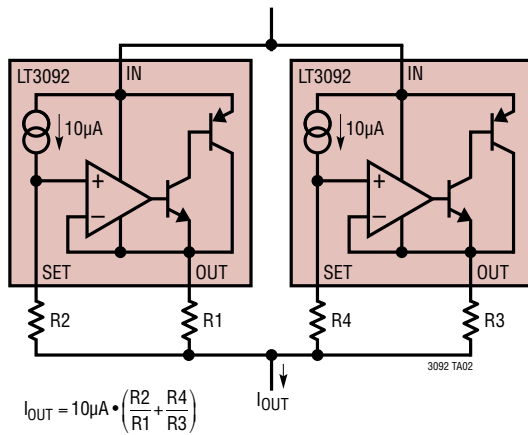
Current limit protection and thermal overload protection protect the IC against output current overload conditions. For normal operation, do not exceed a junction temperature of 125°C. The thermal shutdown circuit's typical temperature threshold is 165°C and has about 5°C of hysteresis.

The LT3092's IN pin withstands ±40V voltages with respect to the SET and OUT pins. Reverse-current flow, if OUT is greater than IN, is less than 1mA (typically under 100μA), protecting the LT3092 and sensitive loads.

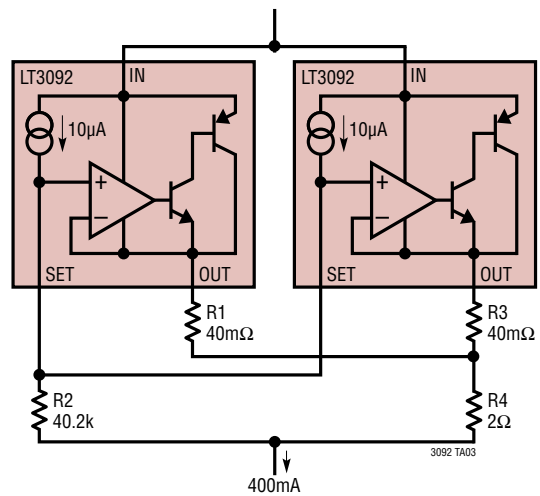
Clamping diodes and 1k limiting resistors protect the LT3092's SET pin relative to the OUT pin voltage. These protection components typically only carry current under transient overload conditions. These devices are sized to handle ±10V differential voltages and ±15mA crosspin current flow without concern.

TYPICAL APPLICATIONS

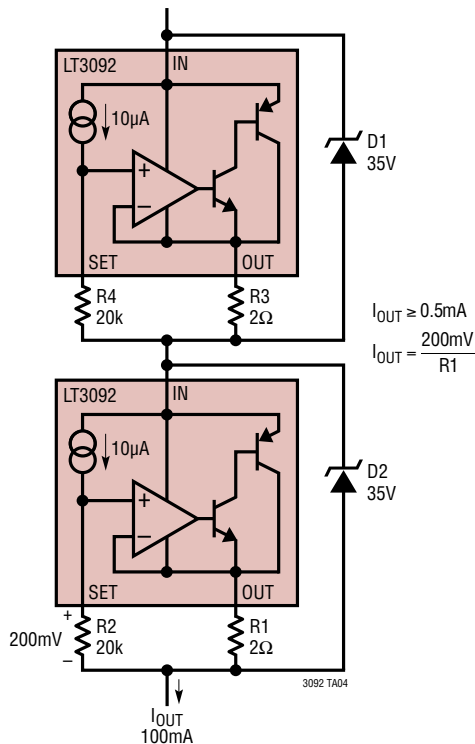
Paralleling Current Sources for Higher Current



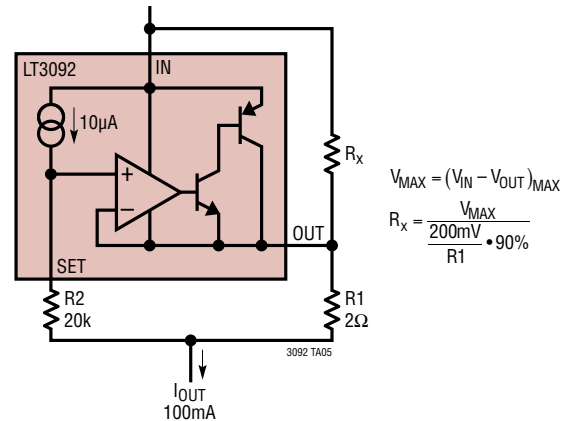
Paralleling LT3092s with Ballast Resistor



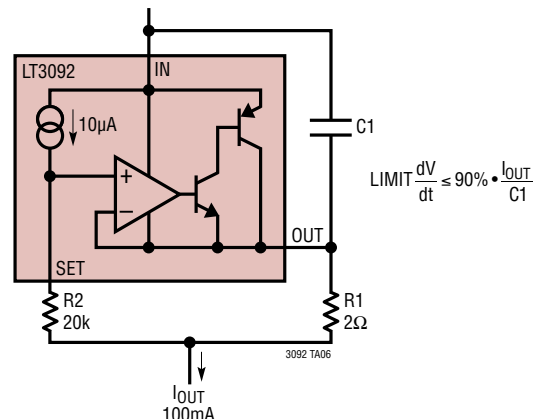
High Voltage Current Source



Decreasing Power Dissipation in LT3092 100mA Current Source

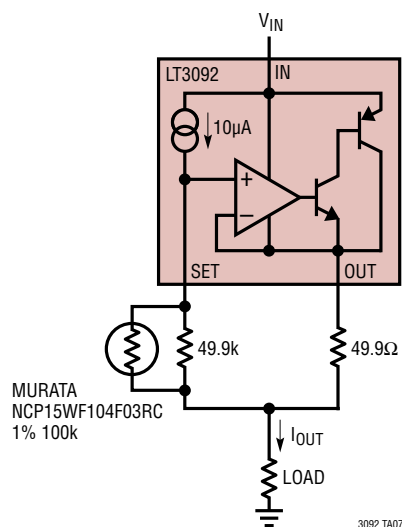


Capacitor Adds Stability, But Limits Slew Rate

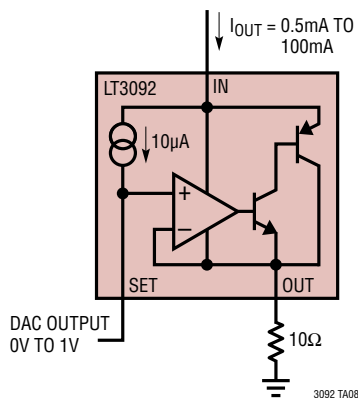


TYPICAL APPLICATIONS

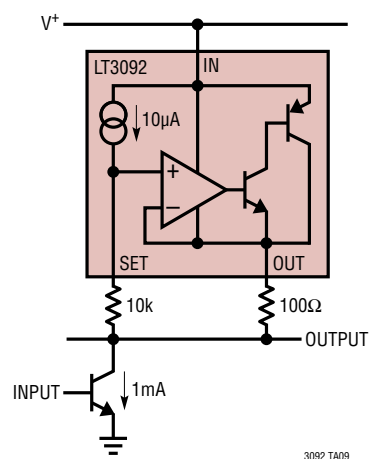
Remote Temperature Sensor



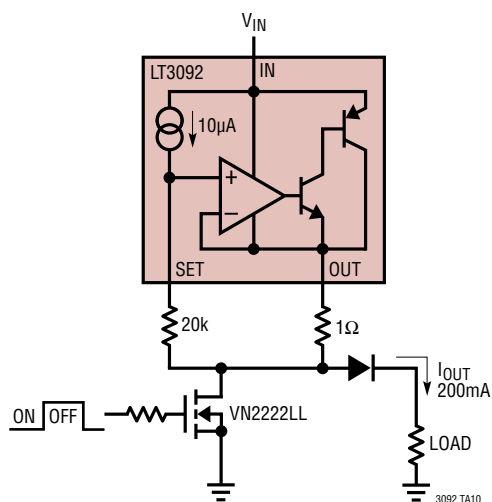
DAC Controlled Current Source



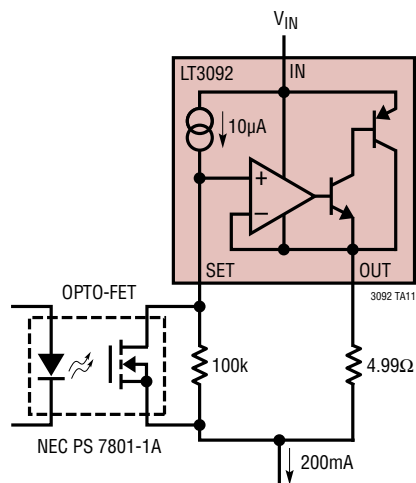
Active Load



Pulsed Current Source, Load to Ground

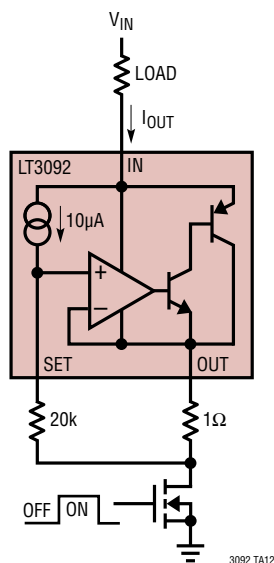


Fully Floating Current Source Switches From 200mA to Quiescent Current

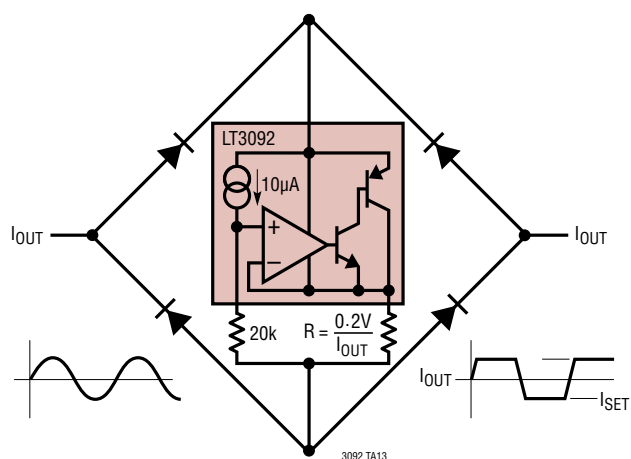


TYPICAL APPLICATIONS

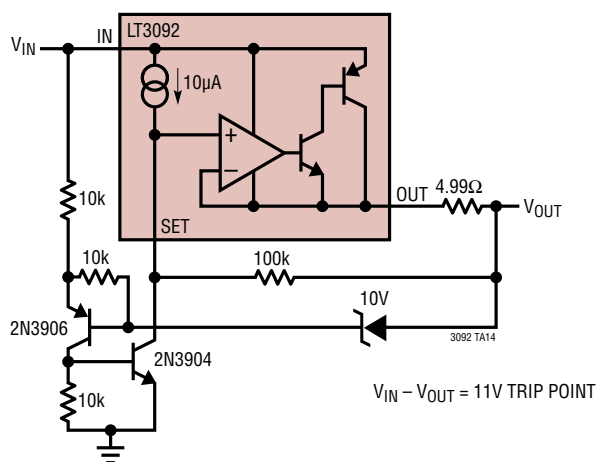
Pulsed Current Source, Load to V_{IN}



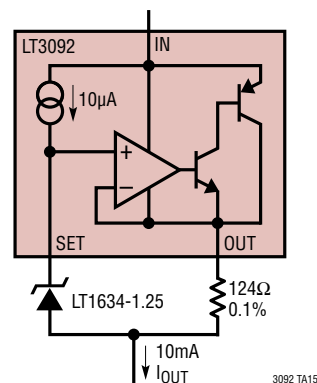
2-Terminal AC Current Limiter



Voltage Clamp

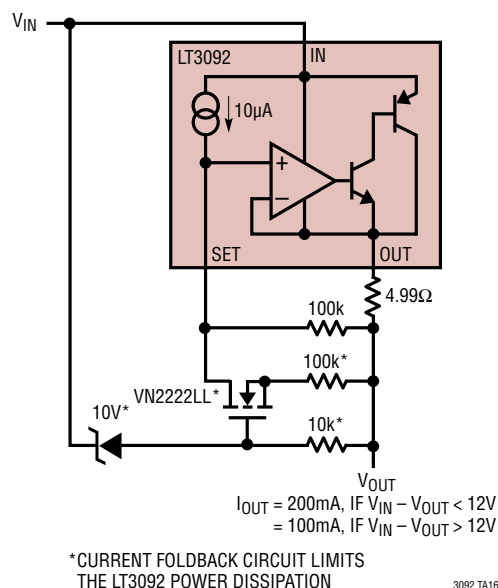


High Accuracy Current Source

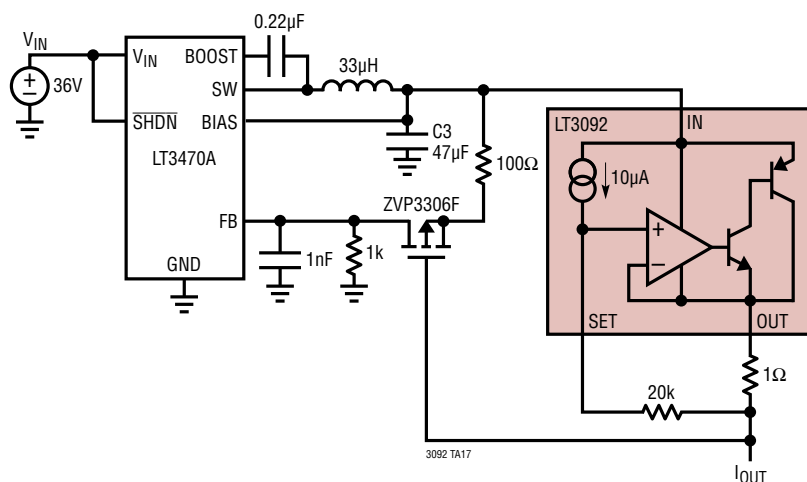


TYPICAL APPLICATIONS

2-Level Current Source



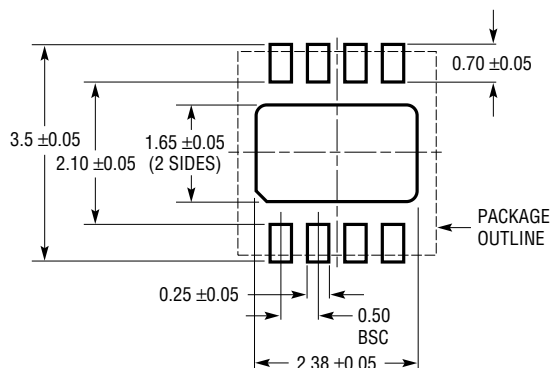
More Efficient Current Source



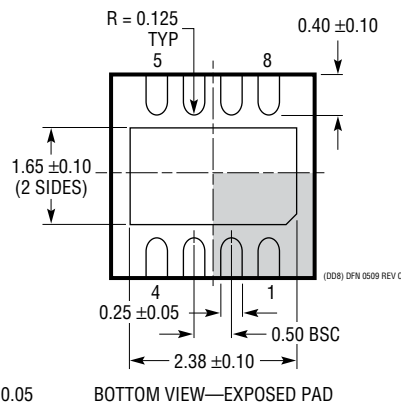
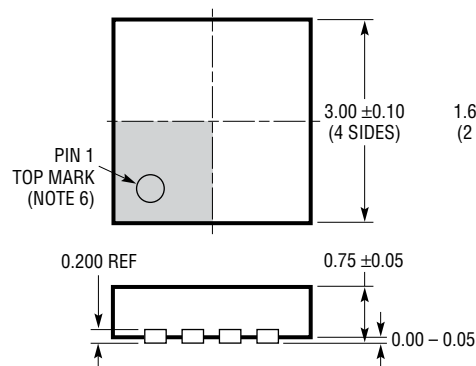
PACKAGE DESCRIPTION

Please refer to <http://www.linear.com/product/LT3092#packaging> for the most recent package drawings.

DD Package 8-Lead Plastic DFN (3mm × 3mm) (Reference LTC DWG # 05-08-1698 Rev C)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS
APPLY SOLDER MASK TO AREAS THAT ARE NOT SOLDERED



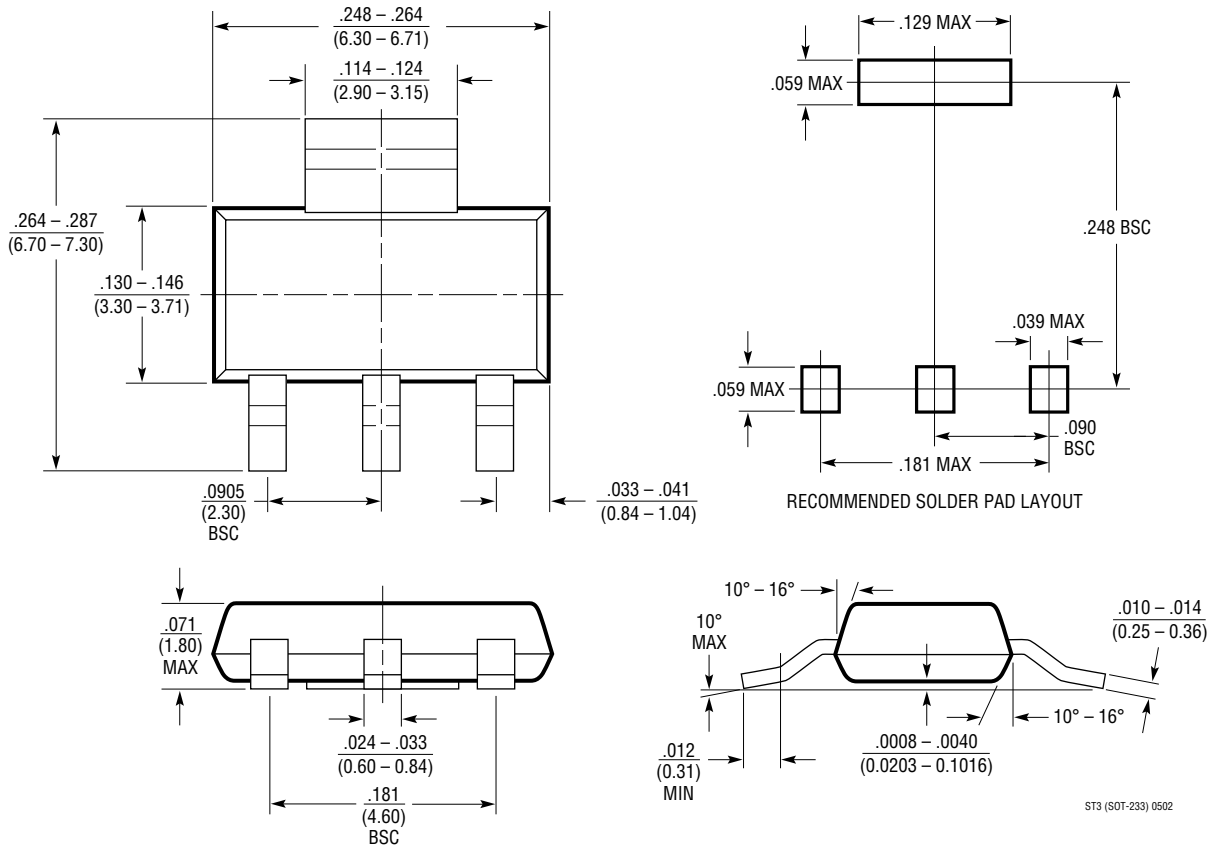
NOTE:

1. DRAWING TO BE MADE A JEDEC PACKAGE OUTLINE MO-229 VARIATION OF (WEED-1)
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
4. DIMENSIONS OF EXPOSED PAD ON BOTTOM OF PACKAGE DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH, IF PRESENT, SHALL NOT EXCEED 0.15mm ON ANY SIDE
5. EXPOSED PAD SHALL BE SOLDER PLATED
6. SHADED AREA IS ONLY A REFERENCE FOR PIN 1 LOCATION ON TOP AND BOTTOM OF PACKAGE

PACKAGE DESCRIPTION

Please refer to <http://www.linear.com/product/LT3092#packaging> for the most recent package drawings.

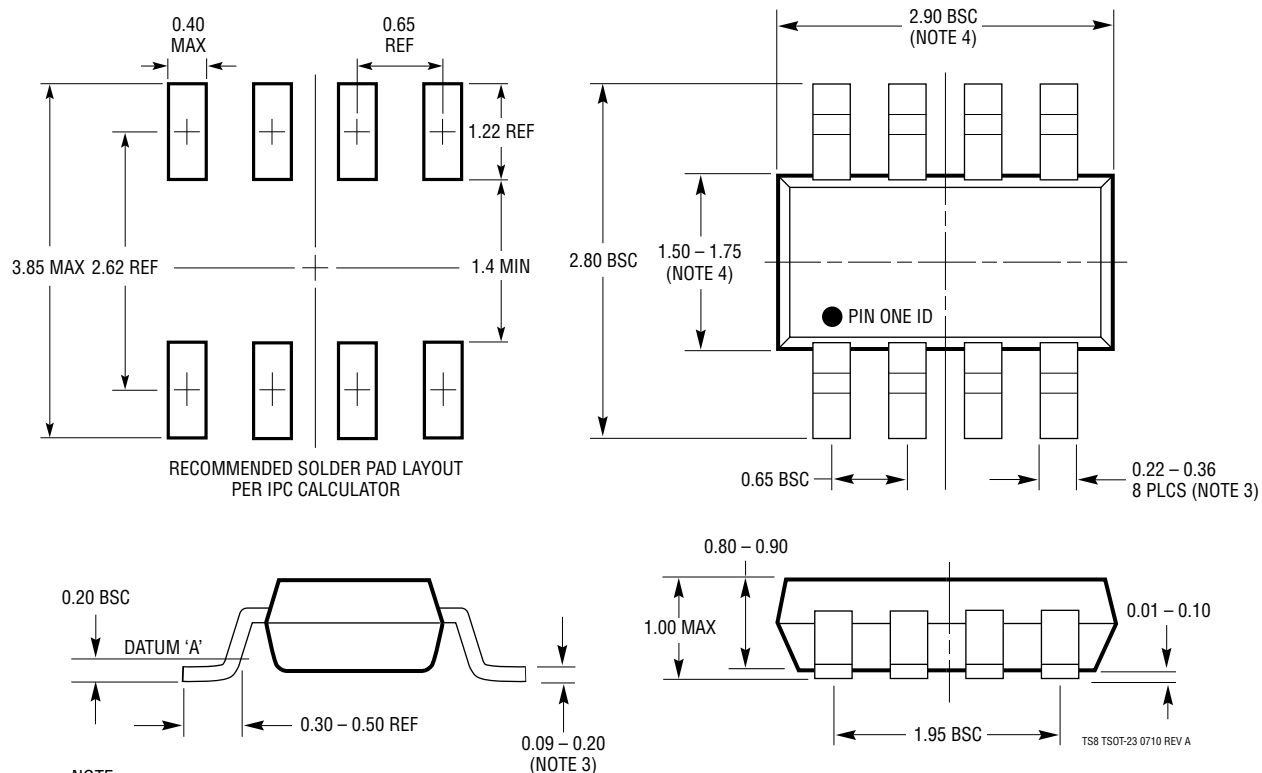
ST Package 3-Lead Plastic SOT-223 (Reference LTC DWG # 05-08-1630)



PACKAGE DESCRIPTION

Please refer to <http://www.linear.com/product/LT3092#packaging> for the most recent package drawings.

TS8 Package 8-Lead Plastic TSOT-23 (Reference LTC DWG # 05-08-1637 Rev A)



NOTE:

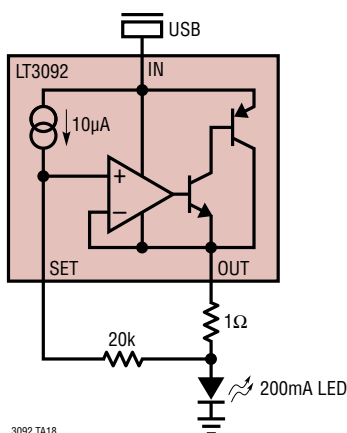
1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. DIMENSIONS ARE INCLUSIVE OF PLATING
4. DIMENSIONS ARE EXCLUSIVE OF MOLD FLASH AND METAL BURR
5. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.254mm
6. JEDEC PACKAGE REFERENCE IS MO-193

REVISION HISTORY (Revision history begins at Rev B)

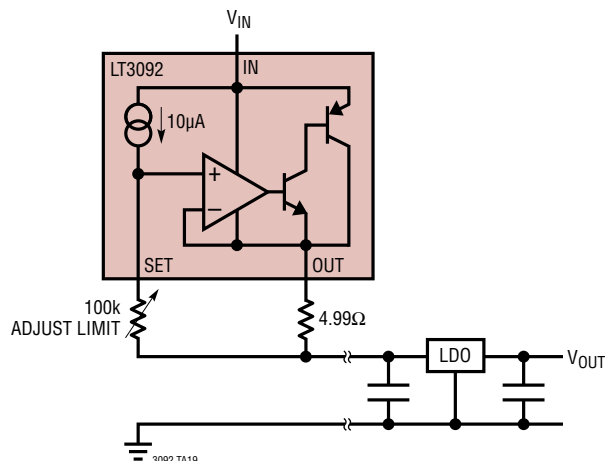
REV	DATE	DESCRIPTION	PAGE NUMBER
B	12/09	Update Order Information	2
C	2/17	Update Dropout Voltage graphs Amended Application Circuit connection	6 1, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 24

TYPICAL APPLICATIONS

USB LED Driver



Current Limiter for Remote Power



RELATED PARTS

PART NUMBER	DESCRIPTION	COMMENTS
LDO		
LT1761	100mA, Low Noise LDO	300mV Dropout Voltage, Low Noise: 20µVRMS, VIN = 1.8V to 20V, ThinSOT™ Package
LT1762	150mA, Low Noise LDO	300mV Dropout Voltage, Low Noise: 20µVRMS, VIN = 1.8V to 20V, MS8 Package
LTC1844	150mA, Very Low Dropout LDO	80mV Dropout Voltage, Low Noise <30µVRMS, VIN = 1.6V to 6.5V, Stable with 1µF Output Capacitors, ThinSOT Package
LT1962	300mA, Low Noise LDO	270mV Dropout Voltage, Low Noise: 20µVRMS, VIN = 1.8V to 20V, MS8 Package
LT1964	200mA, Low Noise, Negative LDO	340mV Dropout Voltage, Low Noise 30µVRMS, VIN = -1.8V to -20V, ThinSOT Package
LT3008	20mA, 45V, 3µA IQ Micropower LDO	280mV Dropout Voltage, Low IQ: 3µA, VIN = 2V to 45V, VOUT = 0.6V to 39.5V; ThinSOT and 2mm × 2mm DFN-6 Packages
LT3009	20mA, 20V, 3µA IQ Micropower LDO	280mV Dropout Voltage, Low IQ: 3µA, VIN = 1.6V to 20V, VOUT = 0.6V to 19.5V; ThinSOT and SC70 Packages
LT3020	100mA, Low Voltage VLDO Linear Regulator	VIN: 0.9V to 10V, VOUT: 0.2V to 5V (Min), VDO = 0.15V, IQ = 120µA, Noise: <250µVRMS, Stable with 2.2µF Ceramic Capacitors, DFN-8, MS8 Packages
LTC3025	300mA Micropower VLDO Linear Regulator	VIN = 0.9V to 5.5V, Dropout Voltage: 45mV, Low Noise 80µVRMS, Low IQ: 54µA, 6-Lead 2mm × 2mm DFN Package
LTC3035	300mA VLDO Linear Regulator with Charge Pump Bias Generator	VIN = 1.7V to 5.5V, VOUT: 0.4V to 3.6V, Dropout Voltage: 45mV, IQ: 100µA, 3mm × 2mm DFN-8
LT3080/ LT3080-1	1.1A, Parallelable, Low Noise, Low Dropout Linear Regulator	300mV Dropout Voltage (2-Supply Operation), Low Noise: 40µVRMS, VIN: 1.2V to 36V, VOUT: 0V to 35.7V, Current-Based Reference with 1-Resistor VOUT Set; Directly Parallelable (No Op Amp Required), Stable with Ceramic Caps, TO-220, SOT-223, MSOP-8 and 3mm × 3mm DFN-8 Packages; LT3080-1 Version Has Integrated Internal Ballast Resistor
LT3085	500mA, Parallelable, Low Noise, Low Dropout Linear Regulator	275mV Dropout Voltage (2-Supply Operation), Low Noise: 40µVRMS, VIN: 1.2V to 36V, VOUT: 0V to 35.7V, Current-based Reference with 1-Resistor VOUT Set; Directly Parallelable (No Op Amp Required), Stable with Ceramic Caps, MSOP-8 and 2mm × 3mm DFN-6 Packages
Current Sense Amplifiers		
LT6106	Low Cost, 36V High Side Current Sense Amplifier	36V (44V Max) Current Sense, Dynamic Range of 2000:1, 106dB of PSRR
LT6107	High Temperature High Side Current Sense Amp in SOT-23	36V (44V Max) Current Sense, Dynamic Range of 2000:1, 106dB of PSRR, -55 to 150°C (MP-Grade)

ThinSOT is a trademark of Linear Technology Corporation.

3092fc

INSTALLATION GUIDE

BNC-2120

Connector Accessory for E/M/S/X Series Devices

This installation guide describes how to install, configure, and use your BNC-2120 accessory with 68-pin or 100-pin E/M/S/X Series multifunction data acquisition (DAQ) devices. This document also contains accessory specifications.

The BNC-2120 has the following features:

- Eight BNC connectors for analog input (AI) connection
- Onboard temperature reference
- Thermocouple connector
- Resistor measurement screw terminals
- Two BNC connectors for analog output (AO) connection
- Screw terminals for digital I/O (DIO) connection with state indicators
- Screw terminals for timing I/O (TIO) connection
- Two user-defined BNC connectors
- A function generator with the following outputs:
 - Frequency-adjustable, TTL-compatible square wave
 - Frequency- and amplitude-adjustable sine wave or triangle wave
- Quadrature encoder
- A 68-pin I/O connector that connects to multifunction DAQ devices
- Can be used on a desktop or mounted on a DIN rail

Contents

What You Need to Get Started	2
Installing the BNC-2120.....	2
Connecting Analog Input Signals.....	5
Connecting Differential Analog Input Signals	6
Measuring Floating Signals.....	6
Measuring Ground-Referenced Signals.....	7
Measuring Temperature.....	7
Measuring Resistance	8
Connecting Analog Output Signals	8
Using the Function Generator.....	9
Connecting Timing I/O Signals.....	9
Using the Quadrature Encoder	12
Connecting User-Defined Signals	13
Connecting Digital I/O Signals.....	14
Specifications.....	14

What You Need to Get Started

To set up and use your BNC-2120 accessory, you need the following:

- ☐ BNC-2120 accessory/accessories¹
- ☐ *BNC-2120 Installation Guide*
- ☐ One of the following DAQ devices:
 - 68-pin E/M/S/X Series device (with one or two I/O connectors)²
 - 100-pin E Series device
- ☐ Cable(s) for DAQ device(s), as listed in Table 1
- ☐ The *E Series User Manual*, the *M Series User Manual*, the *S Series User Manual*, or the *X Series User Manual*
- ☐ BNC cables
- ☐ 28–16 AWG wire
- ☐ Wire strippers
- ☐ Flathead screwdriver

Installing the BNC-2120



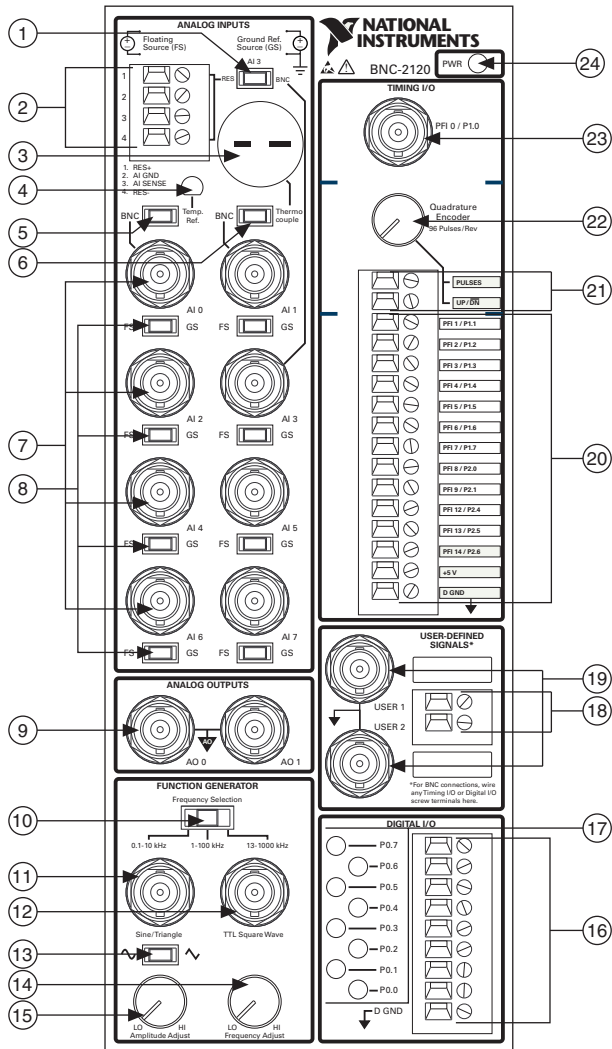
Caution When this symbol is marked on a product, refer to the *Read Me First: Safety and Radio-Frequency Interference* document for information about precautions to take.

Figure 1 shows the front panel of the BNC-2120.

¹ You can use two BNC-2120 accessories with both connectors of two connector M/X Series devices.

² You cannot use the BNC-2120 with Connector 1 of NI 6225/6255 devices.

Figure 1. BNC-2120 Front Panel



- | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 RES/BNC Switch (AI 3) | 9 Analog Output BNC Connector | 17 Digital I/O LEDs |
| 2 Resistor Measurement Screw Terminals | 10 Frequency Range Selection Switch | 18 User-Defined Screw Terminals |
| 3 Thermocouple Input Connector | 11 Sine/Triangle BNC Connector | 19 User-Defined BNC Connectors |
| 4 Temperature Reference | 12 TTL Square Wave BNC Connector | 20 Timing I/O Screw Terminals |
| 5 BNC/Temp. Ref. Switch (AI 0) | 13 Sine/Triangle Waveform Switch | 21 Quadrature Encoder Screw Terminals |
| 6 BNC/Thermocouple Switch (AI 1) | 14 Frequency Adjust Knob | 22 Quadrature Encoder Knob |
| 7 Analog Input BNC Connectors | 15 Amplitude Adjust Knob | 23 Timing I/O BNC Connector |
| 8 FS/GS Switches | 16 Digital I/O Screw Terminals | 24 Power Indicator LED |

To connect the BNC-2120 to your DAQ device, complete the following steps. Consult your computer or PXI/PXI Express chassis user manual for specific instructions and warnings.



Note If you have not already installed your DAQ device, refer to the *DAQ Getting Started* guides for instructions.



Caution Do *not* connect the BNC-2120 to any device other than National Instruments E/M/S/X Series multifunction DAQ devices. Doing so can damage the BNC-2120, the DAQ device, or the host computer. National Instruments is *not* liable for damage resulting from these connections.

1. Place the BNC-2120 near the host computer or PXI/PXI Express chassis or use the optional DIN Rail Mounting kit for UMI-FLEX-6 and BNC boxes (Part Number 777972-01), which you can order from National Instruments at ni.com.



Caution Do *not* connect input voltages greater than $42.4 V_{pk}/60 \text{ VDC}$ to the BNC-2120. The BNC-2120 is not designed for any input voltages greater than $42.4 V_{pk}/60 \text{ VDC}$, even if a user-installed voltage divider reduces the voltage to within the input range of the DAQ device. Input voltages greater than $42.4 V_{pk}/60 \text{ VDC}$ can damage the BNC-2120, all devices connected to it, and the host computer. Overvoltage can also cause an electric shock hazard for the operator. National Instruments is *not* liable for damage or injury resulting from such misuse.

2. Connect the BNC-2120 to the DAQ device using the appropriate cable for your DAQ device, as listed in Table 1.



Caution To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories.

Table 1. BNC-2120 Cabling Options

Number of Pins	DAQ Device	Shielded Recommended Cable	Unshielded Cable
68-pin	DAQCard E Series, NI PCI/PCIe/PXI/PXIe M Series*, NI 6143 S Series, PCIe/PXIe/USB X Series	SHC68-68-EPM	RC68-68
	PCI/PXI E Series, USB Mass Termination M Series*, NI 611x/612x/613x S Series†	SH68-68-EPM	R6868†
100-pin	PCI/PXI E Series	SH1006868	—
Caution: For compliance with Electromagnetic Compatibility (EMC) requirements, this product must be operated with shielded cables and accessories. If unshielded cables or accessories are used, the EMC specifications are no longer guaranteed unless all unshielded cables and/or accessories are installed in a shielded enclosure with properly designed and shielded input/output ports.			
* You cannot connect the BNC-2120 to Connector 1 of NI 6225/6255 devices.			
† Do <i>not</i> use the R6868 cable with NI 6115/6120 S Series devices; use <i>only</i> the SH68-68-EPM cable.			

The power indicator LED, shown in Figure 1, lights. If it does not light, check the cable connections.

3. Launch Measurement & Automation Explorer (MAX), confirm that your DAQ device is recognized, and configure your device settings. Refer to the *DAQ Getting Started* guides for more information.
4. Connect signals to the BNC connectors and screw terminal block as described in the following sections.



Caution To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories. When connecting signals to the screw terminal blocks, the wires must be shielded (e.g. one conductor of a shielded, multi-conductor cable). The cable shield must be terminated to the D GND or AI GND terminal of the terminal block using as short a connection as is practical.



Note With NI-DAQmx, National Instruments has revised its terminal names so they are easier to understand and more consistent among NI hardware and software products. The revised terminal names used in this document are usually similar to the names they replace. For a complete list of Traditional NI-DAQ (Legacy) terminal names and their NI-DAQmx equivalents, refer to the *Terminal Name Equivalents* table in the *NI-DAQmx Help*.

5. Test specific device functionality, such as the ability to send and receive data with MAX test panels. Refer to the *DAQ Getting Started* guides for detailed information about running test panels in MAX.

When you have finished using the BNC-2120, power off any external signals connected to the BNC-2120 before you power off your computer.

Connecting Analog Input Signals

You can use the analog input BNCs on the BNC-2120 in the following ways:

- Measure differential AI signals, as described in the [Connecting Differential Analog Input Signals](#) section
- Measure temperature, as described in the [Measuring Temperature](#) section
- Measure resistance, as described in the [Measuring Resistance](#) section

Connecting Differential Analog Input Signals

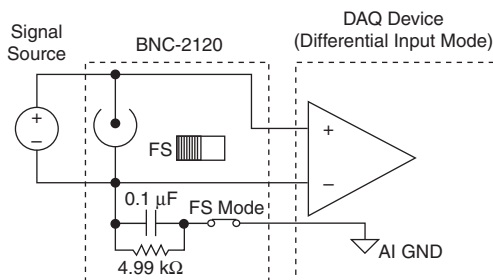
Use the BNC-2120 BNC connectors on the front panel to connect AI <0..7> signals to your DAQ device. The BNC-2120 is *only* intended for differential analog input signals. The number of connectors you use depends on your DAQ device and application. Complete the following steps to measure a differential (DIFF) analog input signal.

1. Connect the BNC cable to one of the AI <0..7> BNC connectors on the front panel.¹
2. If you are using AI 0, move the BNC/Temp. Ref. switch to the BNC position.
If you are using AI 1, move the BNC/Thermocouple switch to the BNC position.
If you are using AI 3, move the RES/BNC switch to the BNC position.
3. Configure your software to measure the channel differentially.
4. Move the FS/GS switch to the applicable position, depending on whether you are measuring a floating source (FS) or ground-referenced source (GS) analog input signal. Refer to the *Measuring Floating Signals* and *Measuring Ground-Referenced Signals* sections for more information about these signal sources.

Measuring Floating Signals

To measure floating signal sources, move the corresponding switch below the BNC connector to the FS position. In the floating source switch position, the DAQ device's amplifier negative terminal connects to ground through a 4.99 k Ω resistor, as shown in Figure 2. Refer to your DAQ device documentation for more information about measuring floating signals.

Figure 2. Measuring a Floating Signal Source

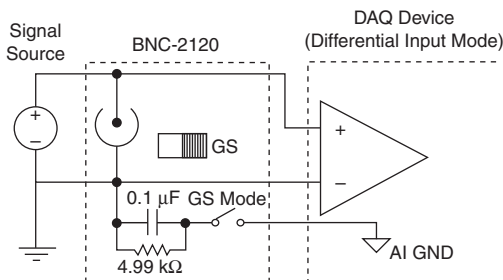


¹ When using the BNC-2120 with Connector 1 of two connector M/X Series devices, the AI <0..7> BNCs on the BNC-2120 map to the AI <16..23> channels on the device.

Measuring Ground-Referenced Signals

To measure ground-referenced signals, move the switch below the BNC connector for the AI channel you are using to the GS position. Using the ground-referenced source switch position avoids ground loops, as shown in Figure 3. Refer to your DAQ device documentation for more information about measuring ground-referenced signals.

Figure 3. Measuring a Ground-Referenced Signal Source



AI GND and AI SENSE signals are located at the analog input screw terminals of the BNC-2120. When connecting signals to the screw terminals, use 28–16 AWG wire with the insulation stripped to 0.28 in.

Measuring Temperature

You can measure temperature on the BNC-2120 with the temperature reference and thermocouple connector.

To use the integrated circuit (IC) temperature reference on the BNC-2120, move the BNC/Temp. Ref. switch above the AI 0 BNC to Temp. Ref. The integrated circuit (IC) temperature reference provides built-in cold-junction compensation (CJC) through software. The IC sensor voltage is linearly proportional to the sensor temperature where:

$$^{\circ}\text{C} = \text{Volts} \times 100$$

The sensor is accurate to $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$.

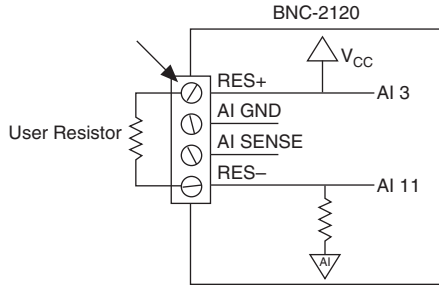
To use the thermocouple on the BNC-2120, move the BNC/Thermocouple switch above the AI 1 BNC to Thermocouple. You can connect any type of thermocouple with a two-prong miniature or subminiature male connector to the thermocouple connector.

For more information on thermocouples and CJC, refer to the Developer Zone document, *Taking Thermocouple Temperature Measurements*, by going to ni.com/info and entering the Info Code `rdtttm`.

Measuring Resistance

You can measure resistance with the analog input screw terminals on the BNC-2120. Figure 4 is a schematic representation of how the BNC-2120 measures resistance.

Figure 4. Measuring Resistance on the BNC-2120



RES+ is internally connected to AI 3 and V_{CC} . RES- is internally connected to AI 11. There is also a 10 k Ω resistor between AI 11 and AI GND.

When connecting signals to the screw terminals, use 28–16 AWG wire with the insulation stripped to 0.28 in.

Complete the following steps to measure resistance.

1. Move the RES/BNC switch above the AI 3 BNC to the RES position.
2. Configure your software to measure AI 3 and AI 11 in referenced single-ended (RSE) mode.
3. Connect the resistor to the RES+ and RES- screw terminals.
You can measure resistors with values ranging from 100 Ω to 1 M Ω .
4. Measure V_{CC} on AI 3 and the voltage drop across the internal 10 k Ω resistor on AI 11.
5. With these measurements, calculate the resistor value using the following formula:

$$\text{Resistor Value} = \frac{V_{AI\ 3} - V_{AI\ 11}}{V_{AI\ 11} / (10\ k\Omega)}$$

Connecting Analog Output Signals

Use the AO <0..1> BNC connectors on the BNC-2120 front panel to connect analog output signals to your DAQ device.¹ The number of connectors you use depends on your DAQ device and application. Refer to your DAQ device documentation for information about the use of these signals.

¹ When using the BNC-2120 with Connector 1 of two connector M/X Series devices, the AO <0..1> BNCs on the BNC-2120 map to the AO <2..3> channels on the device.

Using the Function Generator

The BNC-2120 has a function generator that produces sine or triangle waveforms and TTL-compatible square waveforms. Use the switch below the Sine/Triangle BNC to select a sine wave or triangle wave output for the connector. A TTL-compatible square wave is always present at the TTL Square Wave BNC.

To adjust the frequency of the function generator, select your frequency range using the Frequency Selection switch. You can select 0.1–10 kHz, 1–100 kHz, or 13–1000 kHz. The Frequency Adjust knob adjusts the frequency within the preselected range for the sine or triangle wave and the TTL square wave outputs.

The Amplitude Adjust knob adjusts the amplitude of the sine or triangle wave output up to 4.4 V_{p-p}.

Connecting Timing I/O Signals

Connect the timing I/O signals of your DAQ device to the PFI 0/P1.0 (AI START TRIG) BNC or the timing I/O screw terminals on the BNC-2120. When connecting signals to the screw terminals, use 28–16 AWG wire with the insulation stripped to 0.28 in.

Table 2 describes the timing I/O BNC and terminal signals on the BNC-2120.

Table 2. BNC-2120 Timing I/O BNC/Terminal Descriptions

BNC/Terminal	Description
PFI 0/P1.0	Programmable Function Interface channel 0 or Port 1 Digital Input/Output channel 0
	AI START TRIG (AI Start Trigger Signal)—As an output, this pin is the ai/StartTrigger signal. In post-trigger DAQ sequences, a low-to-high transition indicates the initiation of the acquisition sequence. In applications with pre-trigger samples, a low-to-high transition indicates the initiation of the pre-trigger samples.
PULSES	Refer to the Using the Quadrature Encoder section for information about using these terminals.
UP/DN	
PFI 1/P1.1	Programmable Function Interface channel 1 or Port 1 Digital Input/Output channel 1
	AI REF TRIG (AI Reference Trigger Signal)—As an output, this pin is the ai/ReferenceTrigger signal. In applications with pretrigger samples, a low-to-high transition indicates the initiation of the post-trigger samples. AI Reference Trigger is not used in applications with posttrigger samples.

Table 2. BNC-2120 Timing I/O BNC/Terminal Descriptions (Continued)

BNC/Terminal	Description
PFI 2/P1.2	Programmable Function Interface channel 2 or Port 1 Digital Input/Output channel 2
	AI CONV CLK (AI Convert Clock Signal)—As an output, this pin is the ai/ConvertClock signal. A high-to-low edge on AI CONV indicates that an A/D conversion is occurring.
PFI 3/P1.3	Programmable Function Interface channel 3 or Port 1 Digital Input/Output channel 3
	CTR 1 SOURCE (Counter 1 Source Signal)—As an output, this pin is the Ctr1Source signal. This signal reflects the actual source connected to the general-purpose counter 1.
PFI 4/P1.4	Programmable Function Interface channel 4 or Port 1 Digital Input/Output channel 4
	CTR 1 GATE (Counter 1 Gate Signal)—As an output, this pin is the Ctr1Gate signal. This signal reflects the actual gate signal connected to the general-purpose counter 1.
PFI 5/P1.5	Programmable Function Interface channel 5 or Port 1 Digital Input/Output channel 5
	AO SAMP CLK (AO Sample Clock Signal)—As an output, this pin is the ao/SampleClock signal. A high-to-low edge on AO SAMP indicates that the AO primary group is being updated.
PFI 6/P1.6	Programmable Function Interface channel 6 or Port 1 Digital Input/Output channel 6
	AO START TRIG (AO Start Trigger Signal)—As an output, this pin is the ao/StartTrigger signal. In timed AO sequences, a low-to-high transition indicates the initiation of the waveform generation.
PFI 7/P1.7	Programmable Function Interface channel 7 or Port 1 Digital Input/Output channel 7
	AI SAMP CLK (AI Sample Clock Signal)—As an output, this pin is the ai/SampleClock signal. This pin pulses once at the start of each AI sample in the interval sample. A low-to-high transition indicates the start of the sample.

Table 2. BNC-2120 Timing I/O BNC/Terminal Descriptions (Continued)

BNC/Terminal	Description
PFI 8/P2.0	Programmable Function Interface channel 8 or Port 2 Digital Input/Output channel 0
	CTR 0 SOURCE (Counter 0 Source Signal)—As an output, this pin is the Ctr0Source signal. This signal reflects the actual source connected to the general-purpose counter 0.
PFI 9/P2.1	Programmable Function Interface channel 9 or Port 2 Digital Input/Output channel 1
	CTR 0 GATE (Counter 0 Gate Signal)—As an output, this pin is the Ctr0Gate signal. This signal reflects the actual gate signal connected to the general-purpose counter 0.
PFI 12/P2.4	Programmable Function Interface channel 12 or Port 2 Digital Input/Output channel 4
	CTR 0 OUT (Counter 0 Output Signal)—As an input, this pin can be used to route signals directly to the RTSI bus. As an output, this pin emits the Ctr0InternalOutput signal.
PFI 13/P2.5	Programmable Function Interface channel 13 or Port 2 Digital Input/Output channel 5
	CTR 1 OUT (Counter 1 Output Signal)—As an input, this pin can be used to route signals directly to the RTSI bus. As an output, this pin emits the Ctr1InternalOutput signal.
PFI 14/P2.6	Programmable Function Interface channel 14 or Port 2 Digital Input/Output channel 6
	FREQ OUT (Frequency Output)—This output is from the frequency generator.
+5 V	+5 V Power—These terminals are fused on the DAQ device and are self-resetting. The current available depends on the product to which it is connected.
D GND	Digital Ground—This terminal supplies the reference for the digital signals at the I/O connector as well as the +5 VDC supply.

Using the Quadrature Encoder

The BNC-2120 contains a mechanical quadrature encoder circuit that produces 96 pulses per encoder revolution. Two outputs, PULSES and UP/ $\overline{\text{DN}}$, are at the screw terminals located below the quadrature encoder knob.

PULSES outputs a pulse train generated by rotating the encoder shaft. It provides four pulses per one mechanical click of the encoder. UP/ $\overline{\text{DN}}$ outputs a high or a low signal indicating rotation direction. When the direction is counterclockwise, UP/ $\overline{\text{DN}}$ is low. When the direction is clockwise, UP/ $\overline{\text{DN}}$ is high.

To use the quadrature encoder with counter 0 of the DAQ device, connect the PULSES terminal to PFI 8 and connect the UP/ $\overline{\text{DN}}$ terminal to the P0.6 digital I/O terminal, the up/down pin of counter 0. To use the quadrature encoder with counter 1, connect the PULSES terminal to PFI 3 and connect the UP/ $\overline{\text{DN}}$ terminal to the P0.7 digital I/O terminal, the up/down pin of counter 1. Refer to Table 2 for more information about PFI 3 and PFI 8. Refer to the [Connecting Digital I/O Signals](#) section for more information about the digital I/O terminals and LEDs.

You can use the Count Digital Events VI from the LabVIEW Example Finder (**Hardware Input and Output»DAQmx»Counter Measurements»Count Digital Events**) with the BNC-2120 quadrature encoder. After opening the VI, select **Externally Controlled** in the Count Direction control. The VI retrieves the count from the counter. You can convert the count into total degrees rotated using the following formula:

$$\text{Total Degrees Rotated} = \text{PULSES} \times 3.75^\circ/\text{pulse}$$

where

$$3.75^\circ/\text{pulse} = 360^\circ/96 \text{ pulses}$$

Calculate the number of revolutions and remaining degrees by dividing the total degrees rotated by 360° . The calculated quotient is equal to the number of revolutions and the remainder is equal to the remaining degrees.

Connecting User-Defined Signals

The USER 1 and USER 2 BNC connectors allow you to use a BNC connector for a digital I/O or timing I/O signal of your choice. The USER 1 and USER 2 BNC connectors are routed (internal to the BNC-2120) to the USER 1 and USER 2 screw terminals, as shown in Figure 5.

Figure 5. USER <1..2> BNC Connections

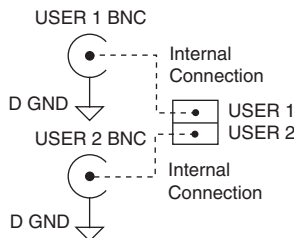
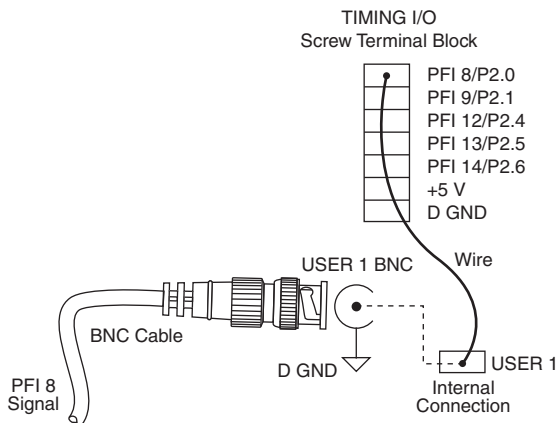


Figure 6 shows an example of how to use the USER 1 and USER 2 BNCs. To access the PFI 8/P2.0 (CTR 0 SOURCE) signal from a BNC, connect USER 1 on the screw terminal block to PFI 8/P2.0 with a 28–16 AWG wire.

Figure 6. Connecting PFI 8 to USER 1 BNC



The designated space next to each USER <1..2> BNC is for marking or labeling signal names.

Connecting Digital I/O Signals

Connect to the digital I/O signals of your DAQ device to the digital I/O screw terminals, P0.<0..7>, on the BNC-2120. You can individually configure each signal as an input or output. D GND is available at the screw terminals to supply the reference for the DIO signals. When connecting signals to the screw terminals, use 28–16 AWG wire with the insulation stripped to 0.28 in.



Note P0.6 and P0.7 can control the up/down signal of general-purpose counters 0 and 1, respectively. Refer to the [Using the Quadrature Encoder](#) section for more information about using the P0.6 and P0.7 terminals with the quadrature encoder.

The LEDs next to each screw terminal indicate the state of each digital line, as listed in Table 3.

Table 3. Digital I/O LEDs

Digital I/O LED	Digital Port State
Lit	The port is either pulled high or driven high
Not lit	The port is either pulled low or driven low

Specifications

This section lists the specifications of the BNC-2120. These specifications are typical at 25 °C unless otherwise specified.



Note Refer to your DAQ device documentation for specifications about analog input, analog output, trigger/counter, and digital and timing I/O signals.

Analog Input

Number of channels (default)	8 differential
Field connections (default)	8 BNC connectors
Protection	No additional protection provided. Consult your DAQ device specifications.
Optional inputs	
AI 0	Temperature sensor
AI 1	Thermocouple
AI 3, AI 11	Resistor measurement (requires RSE configuration)
Optional connections	
Thermocouple	Uncompensated miniature connector, mates with 2-prong miniature or subminiature connector
Resistor	2 screw terminals

Resistor measurement range	100 Ω to 1 M Ω
Resistor measurement error	$\leq 5\%$
Screw terminals	4 positions, 28–16 AWG wire
Switches	
Floating source/grounded source	8
BNC/temperature reference IC	1
BNC/thermocouple connector	1
BNC/resistor screw terminals	1

Analog Output

Field connection	2 BNC connectors
------------------------	------------------

Digital Input/Output

Screw terminals	9 positions, 28–16 AWG wire
LED state indicators	8, 1 each for lines P0.<0..7>
Protection (DC max V)	
Powered off.....	± 5.5 V
Powered on	+10/–5 V

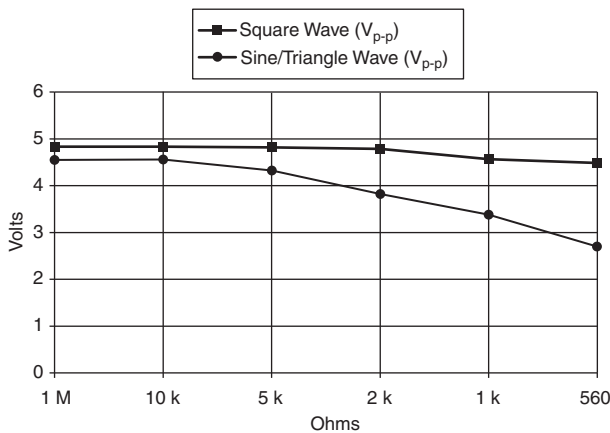
Drive

V_{ol}	0.6 V, 8 mA
	1.6 V, 24 mA
V_{oh}	4.4 V, 8 mA
	4 V, 13 mA

Function Generator

Square wave.....	TTL-compatible
Frequency range	100 Hz to 1 MHz
Frequency adjust.....	Through the Frequency Adjust knob
Rise time	2 ns
Fall time	2 ns
Sine/triangle wave	
Frequency range	100 Hz to 1 MHz
Frequency adjust.....	Through the Frequency Adjust knob
Amplitude range	200 mV _{p-p} to 4.8 V _{p-p}
Amplitude adjust.....	Through the Amplitude Adjust knob
Output impedance.....	453 Ω (sine/triangle wave)
	50 Ω (square wave)

Figure 7. Typical Maximum Voltages versus Load Impedances



Timing Input/Output

- Screw terminals..... 14 positions, 28–16 AWG wire
- BNC connector 1, for PFI 0/AI START TRIG
- Protection (DC max V)
 - Powered off..... ± 1.7 V
 - Powered on $+6.7/-1.7$ V

Quadrature Encoder

- Screw terminals..... 2
- Output signals
 - PULSES..... 96 pulses/revolution
 - UP/ $\overline{DN}$ High for clockwise rotation,
low for counterclockwise rotation
- Pulse width..... 1 μ s

Power Requirement

- +5 VDC ($\pm 5\%$)..... 200 mA, sourced from the multifunction DAQ device
- Power available at +5 V screw terminal Multifunction DAQ device power,
less power consumed at +5 VDC ($\pm 5\%$)

Physical

- Dimensions 26.7 cm $\times$ 11.2 cm $\times$ 5.97 cm
(10.5 in. $\times$ 4.41 in. $\times$ 2.35 in.)
- Weight..... 1,040 g (2 lb 4.7 oz)

I/O connector	68-pin male SCSI-II type
BNC connectors.....	15
Screw terminal plugs	31

Environment

Operating temperature	0 to 50 °C
Storage temperature	–55 to 125 °C
Relative humidity	5 to 90%, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude.....	2,000 m
Indoor use only	

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.



Caution The protection provided by the BNC-2120 can be impaired if it is used in a manner not described in this document.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



Note Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generate radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



Note For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the *Online Product Certification* section.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Online Product Certification

To obtain product certifications and the Declaration of Conformity (DoC) for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *Minimize Our Environmental Impact* web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste and Electronic Equipment, visit ni.com/environment/weee.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, the National Instruments corporate logo, and the Eagle logo are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Trademark Information* at ni.com/trademarks for other National Instruments trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patents Notice* at ni.com/patents. Refer to the *Export Compliance Information* at ni.com/legal/export-compliance for the National Instruments global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data.

© 1999–2012 National Instruments. All rights reserved.



Is Now Part of



ON Semiconductor®

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
www.onsemi.com

Please note: As part of the Fairchild Semiconductor integration, some of the Fairchild orderable part numbers will need to change in order to meet ON Semiconductor's system requirements. Since the ON Semiconductor product management systems do not have the ability to manage part nomenclature that utilizes an underscore (_), the underscore (_) in the Fairchild part numbers will be changed to a dash (-). This document may contain device numbers with an underscore (_). Please check the ON Semiconductor website to verify the updated device numbers. The most current and up-to-date ordering information can be found at www.onsemi.com. Please email any questions regarding the system integration to Fairchild_questions@onsemi.com.

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.



November 2014

1N4001 - 1N4007

General-Purpose Rectifiers

Features

- Low Forward Voltage Drop
- High Surge Current Capability

**DO-41**

COLOR BAND DENOTES CATHODE

Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
1N4001	1N4001	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel
1N4002	1N4002	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel
1N4003	1N4003	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel
1N4004	1N4004	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel
1N4005	1N4005	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel
1N4006	1N4006	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel
1N4007	1N4007	DO-204AL (DO-41)	Tape and Reel

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value							Unit
		1N 4001	1N 4002	1N 4003	1N 4004	1N 4005	1N 4006	1N 4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current .375 " Lead Length at $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
I^2t	Rating for Fusing ($t < 8.3$ ms)	3.7							A ² sec
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

Thermal Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Value	Unit
V_F	Forward Voltage	$I_F = 1.0\text{ A}$	1.1	V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle	$T_A = 75^\circ\text{C}$	30	μA
I_R	Reverse Current at Rated V_R	$T_A = 25^\circ\text{C}$	5.0	μA
		$T_A = 100^\circ\text{C}$	50	
C_T	Total Capacitance	$V_R = 4.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$	15	pF

Typical Performance Characteristics

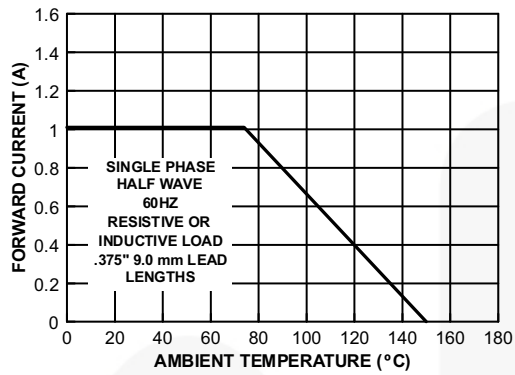


Figure 1. Forward Current Derating Curve

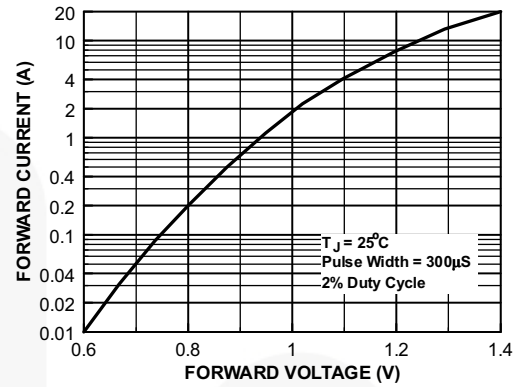


Figure 2. Forward Characteristics

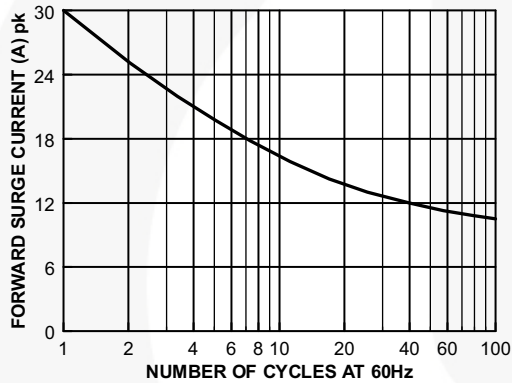


Figure 3. Non-Repetitive Surge Current

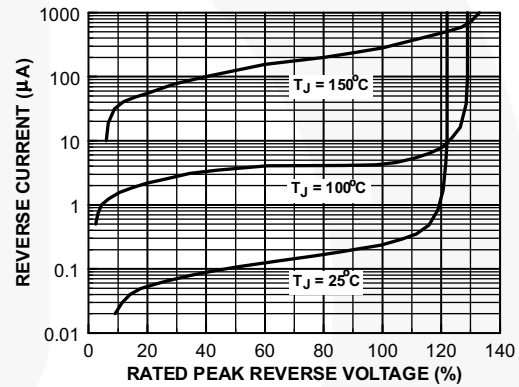
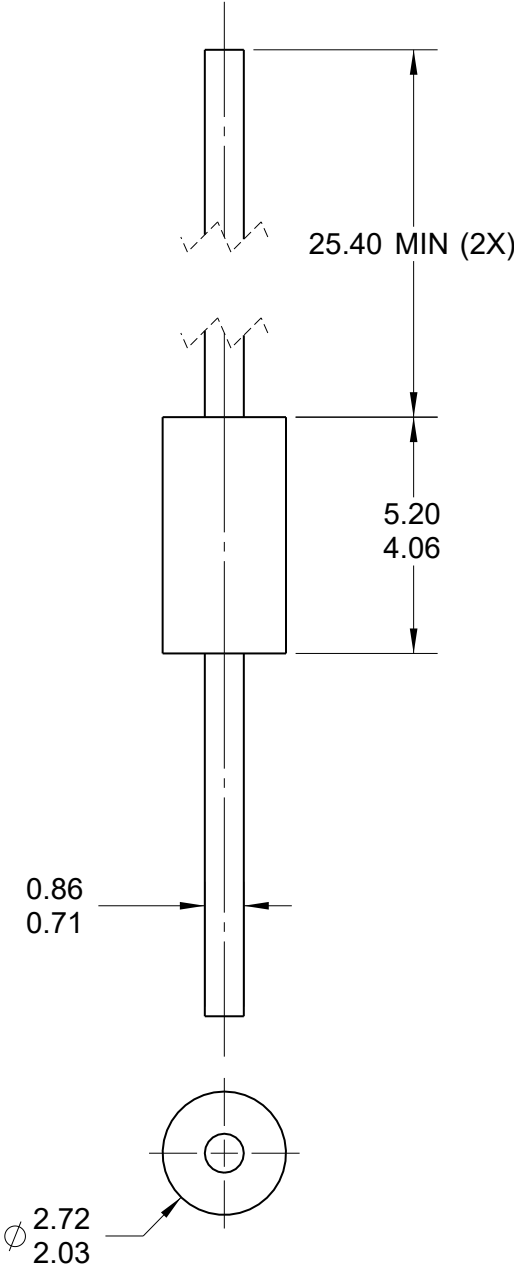


Figure 4. Reverse Characteristics

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. NO USE THEREOF SHALL BE MADE OTHER THAN AS A REFERENCE FOR PROPOSALS AS SUBMITTED TO FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION FOR JOBS TO BE EXECUTED IN CONFORMITY WITH SUCH PROPOSALS UNLESS THE CONSENT OF SAID FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION HAS PREVIOUSLY BEEN OBTAINED. NO PART OF THIS DRAWING SHALL BE COPIED OR DUPLICATED OR ITS CONTENTS DISCLOSED. THE INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY.

REVISIONS			
NBR	DESCRIPTION	DATE	BY/APP'D
1	RELEASED TO DCC	29JUL08	HYANG/ SUZHOU
2	CHANGE 5.20 TO 5.21. CHANGE NOTE "B" ADDED PLASTCI BODY. REMOVE "GLASS" ON TITLE.	19SEP08	HYANG/ SUZHOU



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

- A) PACKAGE STANDARD REFERENCE:
JEDEC DO-204 VARIATION AL.
- B) PACKAGE BODY CAN BE PLASTIC OR
HERMETICALLY SEALED GLASS .
- D) ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- E) DRAWING FILE NAME: DO41AREV2

APPROVALS		DATE		 SEMICONDUCTOR™	
DRAWN:	BOBOY MALDO	19SEP08			
CHECKED:	HENRY YANG				
APPROVED:	BY HUANG				
APPROVED:	HOWARD ALLEN			AXIAL LEADED, JEDEC DO204, VARIATION AL	
PROJECTION				SCALE 1:1	SIZE N/A
				DRAWING NUMBER MKT-DO41A	REV 2
				FORMERLY: N/A	SHEET : 1 OF 1

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[ON Semiconductor:](#)

[1N4007](#) [1N4007GP](#) [1N4007_Q](#)

PATTINI PNEUMOSTATICI

PANORAMICA DI PRODOTTO

serie HPR

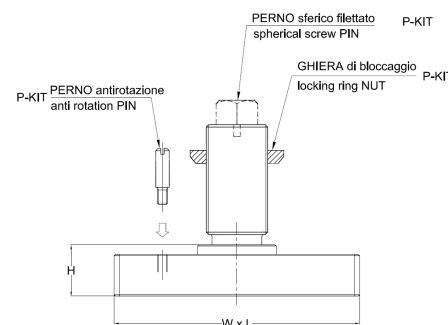
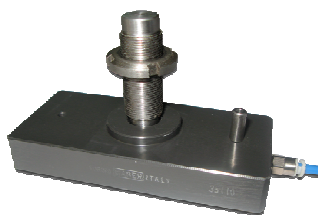
L'utilizzo di questi pattini è consigliato in sistemi di guida per applicazioni di elevata precisione.

Le principali applicazioni sono:

- Sistemi di guida per la metrologia o controllo qualità (macchine di misura, macchine per test ottici, ecc.)
- Centri di lavorazione leggera (taglio e incisione laser, microfresatura, elettroerosione, ecc.)

I pattini pneumostatici delle serie HPR sono realizzati in alluminio con trattamento di ossidazione dura a spessore.

È disponibile, a richiesta, il P-KIT che include il perno sferico filettato registrabile, la ghiera di bloccaggio e il perno anti rotazione.



Le prestazioni pneumostatiche in tabella sono riferite a una **pressione (relativa) di alimentazione di 4 bar**.

CODICE	DESCR.	DIMENSIONI W x L x H [mm]	R SFERA Perno sferico	FILETTAT. Perno sferico	P-KIT	MEATO h [μm]	PORTANZA L [daN]	RIGIDENZA R [daN/μm]	CONSUMO Q [Nl/min]
WF10100P01000	HPR1.0	020 x 045 x 13.0	R03.0	M10 x 0.75	A1	10	12 ±2	≥1	1.7
WF10100P02000	HPR1.2	025 x 050 x 10.0	R03.0	M10 x 0.75	A1	10	17 ±2	≥1.3	1.9
WF10100P03000	HPR1.4	030 x 060 x 13.0	R03.0	M10 x 0.75	A1	10	21 ±2	≥2	2.0
WF10100P04000	HPR2.0	030 x 068 x 15.0	R05.0	M12 x 1.00	B2	10	26 ±2	≥2,7	2.9
WF10100P05000	HPR2.2	035 x 070 x 15.0	R05.0	M12 x 1.00	B2	10	38 ±3	≥4.3	3
WF10100P06000	HPR2.4	040 x 080 x 15.0	R05.0	M12 x 1.00	B2	10	53 ±4	≥5	3.1
WF10100P07000	HPR2.6	040 x 090 x 17.0	R05.0	M12 x 1.00	B2	10	58 ±4	≥5.5	3.25
WF10100P08000	HPR2.8	050 x 090 x 17.0	R05.0	M12 x 1.00	B2	10	78 ±5	≥6.5	3.35
WF10100P09000	HPR3.0	050 x 100 x 21.0	R08.0	M16 x 1.00	C1	10	86 ±5	≥7	3.2
WF10100P10000	HPR3.2	050 x 110 x 21.0	R08.0	M16 x 1.00	C1	10	96 ±6	≥7.5	3.35
WF10100P11000	HPR3.4	060 x 120 x 23.0	R08.0	M16 x 1.00	C1	10	118 ±7	≥11.5	3.6
WF10100P12000	HPR3.6	070 x 140 x 29.0	R08.0	M16 x 1.00	C1	10	152 ±8	≥17	3.9
WF10100P13000	HPR3.8	070 x 154 x 29.0	R08.0	M16 x 1.00	C1	10	168 ±9	≥18	4.2
WF10100P14500	HPR4.0	080 x 155 x 30.0	R12.5	M25 x 1.50	D1	10	198 ±11	≥20	5.2
WF10100P15000	HPR4.2	085 x 186 x 32.0	R12.5	M25 x 1.50	D2	10	252 ±13	≥22.5	5.7
WF10100P16000	HPR4.4	090 x 180 x 35.0	R12.5	M25 x 1.50	D2	10	268 ±14	≥23.5	6.25
WF10100P17000	HPR4.6	100 x 205 x 40.0	R12.5	M25 x 1.50	D2	10	372 ±19	≥29	6.85
WF10100P18000	HPR5.0	100 x 224 x 43.0	R16.0	M30 x 1.50	E1	10	426 ±21	≥30	7.45
WF10100P19000	HPR5.2	115 x 230 x 45.0	R16.0	M30 x 1.50	E1	10	496 ±25	≥34	8.1
WF10100P20000	HPR5.4	100 x 254 x 50.0	R16.0	M30 x 1.50	E2	10	540 ±33	≥40	8.8
WF10100P21000	HPR5.6	130 x 265 x 55.0	R16.0	M30 x 1.50	E3	10	632 ±31	≥47	9.6

PATTINI PNEUMOSTATICI

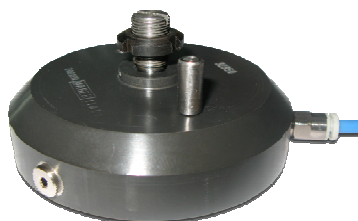
PANORAMICA DI PRODOTTO

serie HPC

L'utilizzo di questi pattini è consigliato in sistemi di guida per applicazioni di elevata precisione.

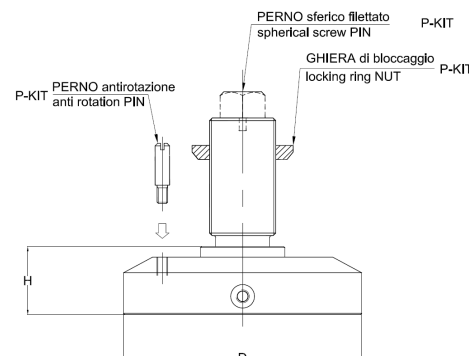
Le principali applicazioni sono:

- Sistemi di guida per la metrologia o controllo qualità (macchine di misura, macchine per test ottici, ecc.)
- Centri di lavorazione leggera (taglio e incisione laser, microfresatura, elettroerosione, ecc.)



I pattini pneumostatici delle serie HPC sono realizzati in alluminio con trattamento di ossidazione dura a spessore.

È disponibile, a richiesta, il P-KIT che include il perno sferico filettato registrabile, la ghiera di bloccaggio e il perno anti rotazione.



Le prestazioni pneumostatiche in tabella sono riferite a una **pressione (relativa) di alimentazione di 4 bar**.

CODICE	DESCR.	DIMENSIONI Ø x H [mm]	R SFERA Perno sferico	FILETTAT. Perno sferico	P-KIT	MEATO h [µm]	PORTANZA L [daN]	RIGIDEZZA R [daN/µm]	CONSUMO Q [Nl/min]
WF10200P01000	HPC1.0	D040 x 12.0	R03.0	M10x0.75	A1	10	21 ±2	≥2	2.75
WF10200P02M00	HPC1.2M	D050 x 13.0	R03.0	M10x0.75	A1	10	33 ±3	≥3	2.85
WF10200P03M00	HPC2.0M	D060 x 18.0	R05.0	M12x1.00	B1	10	52 ±3	≥4.5	2.9
WF10200P04000	HPC2.2	D070 x 19.0	R05.0	M12x1.00	B1	10	68 ±4	≥7	3
WF10200P05000	HPC2.4	D075 x 22.0	R05.0	M12x1.00	B2	10	78 ±5	≥8	3.2
WF10200P06000	HPC2.6	D080 x 22.0	R05.0	M12x1.00	B2	10	89 ±5	≥8.5	3.5
WF10200P07000	HPC3.0	D090 x 26.0	R08.0	M16x1.00	C1	10	130 ±6	≥11	3.8
WF10200P08000	HPC3.2	D100 x 29.0	R08.0	M16x1.00	C1	10	168 ±9	≥12.5	4.4
WF10200P09000	HPC3.4	D110 x 29.0	R08.0	M16x1.00	C1	10	202 ±10	≥15.5	5.2
WF10200P10000	HPC4.0	D130 x 35.0	R12.5	M25x1.50	D2	10	260 ±13	≥24.5	6.5
WF10200P11000	HPC4.2	D160 x 40.0	R12.5	M25x1.50	D2	10	450 ±23	≥30.5	7.65
WF10200P12000	HPC4.4	D190 x 45.0	R12.5	M25x1.50	D2	10	620 ±31	≥40	8.8

P-KIT

CODICE DESCRIZIONE	Perno sferico filettato (CODICE - DESCRIZIONE)	Ghiera (CODICE - DESCRIZIONE)	Perno antirotazione (CODICE - DESCRIZIONE)
WL10200005000 P-KIT [A1]	WL10122004000 PRN-R03.0-OR-L032-M10x0.75L20-I04-E07---	C0203-300010 GHIERA M10x0.75 DIN 981 KM000	WL11130341000 PERNO ANTIROTAZIONE M3 D4 L10
WL10200009000 P-KIT [B1]	WL10124011200 PRN-R05.0-OR-L034-M12x1.00L19-E10-----A-	C0203-300020 GHIERA M12x1.00 DIN 981 KM001	WL11130341000 PERNO ANTIROTAZIONE M3 D4 L10
WL10200010000 P-KIT [B2]	WL10124011200 PRN-R05.0-OR-L034-M12x1.00L19-E10-----A-	C0203-300020 GHIERA M12x1.00 DIN 981 KM001	WL11130441000 PERNO ANTIROTAZIONE M4 D4 L10
WL10200020000 P-KIT [C1]	WL10126004000 PRN-R08.0-OR-L054-M16x1.00L35-E10-----	WL20602007000 GHIERA M 16x1	WL11130441000 PERNO ANTIROTAZIONE M4 D4 L10
WL10200030000 P-KIT [D1]	WL10128002000 PRN-R12.5-OR-L071-M25x1.50L45-E17-----A-	C0203-300055 GHIERA M25x1.50 DIN 981 KM005	WL11130441000 PERNO ANTIROTAZIONE M4 D4 L10
WL10200040000 P-KIT [D2]	WL10128002000 PRN-R12.5-OR-L071-M25x1.50L45-E17-----A-	C0203-300055 GHIERA M25x1.50 DIN 981 KM005	WL11167061600 PERNO ANTIROTAZIONE M6 D6 L16
WL10200050000 P-KIT [E1]	WL10129001000 PRN-R16.0-OR-L088-M30x1.50L60-E20-----A-	C0203-300060 GHIERA M30x1.50 DIN 981 KM006	WL11167061600 PERNO ANTIROTAZIONE M6 D6 L16
WL10200055000 P-KIT [E2]	WL10129001000 PRN-R16.0-OR-L088-M30x1.50L60-E20-----A-	C0203-300060 GHIERA M30x1.50 DIN 981 KM006	WL11108082000 PERNO ANTIROTAZIONE M8 D8 L20
WL10200060000 P-KIT [E3]	WL10129001000 PRN-R16.0-OR-L088-M30x1.50L60-E20-----A-	C0203-300060 GHIERA M30x1.50 DIN 981 KM006	WL11110102000 PERNO ANTIROTAZIONE M10 D10 L20

Elettrovalvola proporzionale compatta

Ripetibilità:
max. **3%**

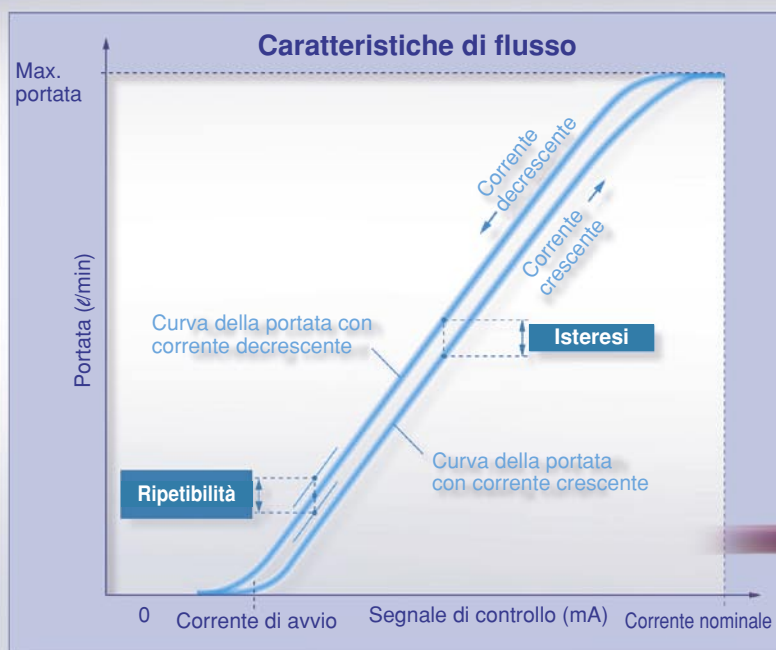
Isteresi:
max. **10%**

Fluido	Campo di controllo della portata Nota)	Serie
Aria, gas inerti	0 - 6 ℓ/min	PVQ10
	0 - 100 ℓ/min	PVQ30

Nota) Dipende dal modello.



Controlla la portata in modo uniforme in base alla corrente



Serie **PVQ**


CAT.EUS70-33A-IT

● **Vita utile: 25 milioni di cicli.** (PVQ30)

(condizioni di prova interne di SMC)

Superficie di scorrimento con rivestimento speciale per 25 milioni di cicli entro il campo di esercizio stabilito

● **Materiale del corpo: Ottone (C36)** (PVQ10),
Ottone (C37) o acciaio inox (PVQ30)

Materiale di tenuta: FKM (PVQ10, PVQ30)

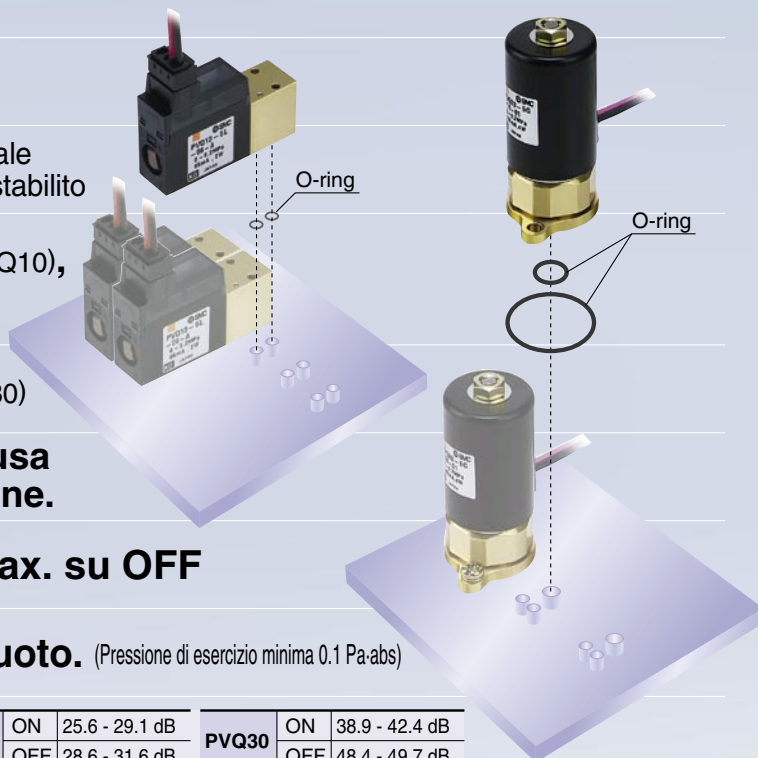
● **La valvola ritorna in posizione chiusa quando si interrompe l'alimentazione.**

● **Valore trafilamento: 5 cm³/min max. su OFF**

● **Utilizzabile per applicazioni con vuoto.** (Pressione di esercizio minima 0.1 Pa-abs)

● **Riduzione del rumore durante l'apertura/chiusura della valvola**

PVQ10	ON	25.6 - 29.1 dB	PVQ30	ON	38.9 - 42.4 dB
	OFF	28.6 - 31.6 dB		OFF	48.4 - 49.7 dB

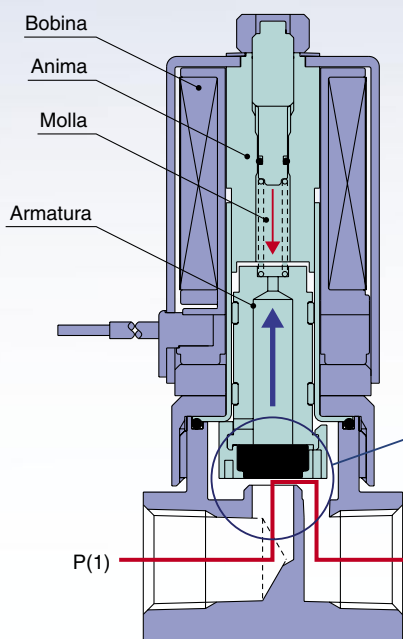


Principio di funzionamento

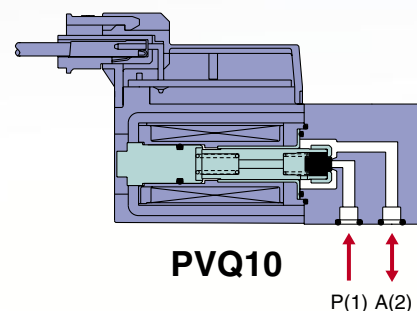
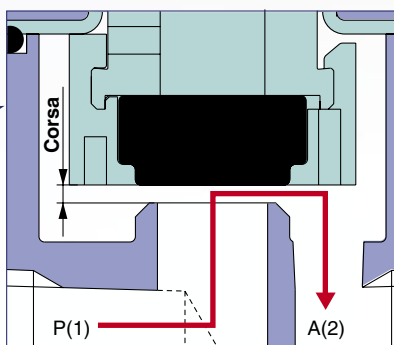
L'armatura è attratta dal nucleo principale tramite forza elettromagnetica quando la bobina è eccitata. Al variare della corrente applicata, la forza di attrazione cambia anch'essa in proporzione.

La portata è controllata dal movimento (corsa) dell'armatura, a seconda del rapporto fra la forza di attrazione e la carica della molla.

Nota) La resistenza di scorrimento in questo punto è rappresentata dall'isteresi della portata.



PVQ30

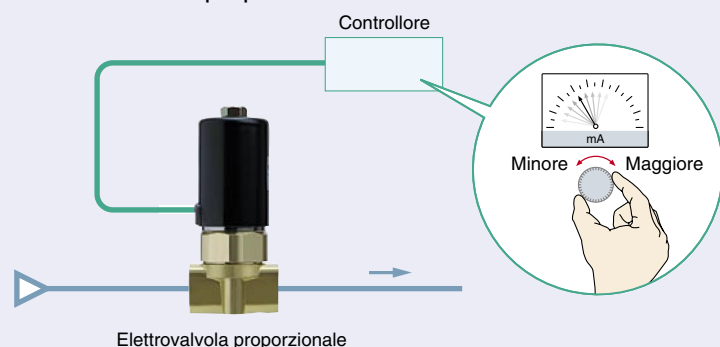


PVQ10

P(1) A(2)

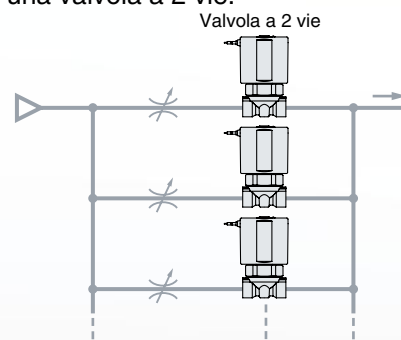
Elettrovalvola proporzionale

La portata può essere controllata in modo omogeneo con un'elettrovalvola proporzionale tramite controllo della corrente.



Convenzionale (valvola a 2 vie)

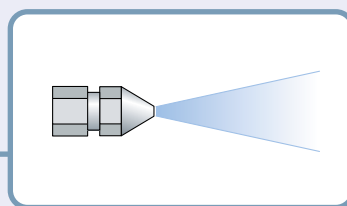
Per ciascuna portata, è necessaria una valvola a 2 vie.



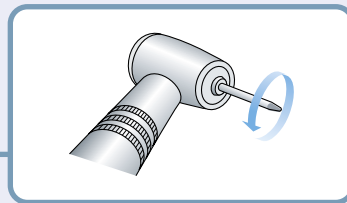
Applicazioni

Soffiaggio d'aria

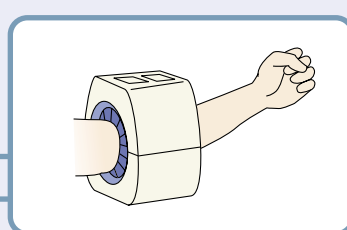
- Soffiaggio di detriti o acqua.
- Trasporto di carico



Controllo rotazione manipolo

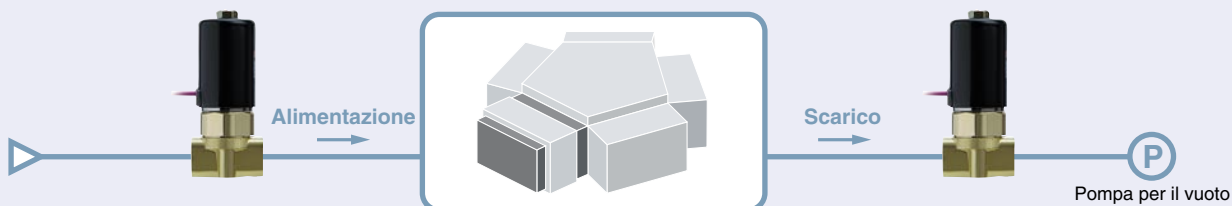


Manometro per pressione sanguigna



Controllo portata di alimentazione camera di vuoto

Riducendo l'alimentazione d'aria iniziale, è possibile un'alimentazione/uno scarico omogeneo dell'aria. Evita che la polvere venga messa in circolazione all'interno della camera.



Modello	PVQ13				PVQ31		PVQ33	
Tipo di connessione	Montaggio su base				Attacchi su corpo		Montaggio su base	
								
					Supporto (opzionale)			
Costruzione valvola	Valvola a fungo ad azionamento diretto				Valvola a fungo ad azionamento diretto			
Tipo di valvola	N.C.				N.C.			
Diametro orifizio (mm)	0.3	0.4	0.6	0.8	1.6	2.3	4	
Max. pressione d'esercizio (MPa)	0.7	0.45	0.2	0.1	0.7	0.35	0.12	
Portata (ℓ/min)	0 - 5	0 - 6		0 - 5	0 - 100		0 - 75	
Corrente applicata (Alimentazione)	0 - 85 mA (24 Vcc) 0 - 170 mA (12 Vcc)				0 - 165 mA(24 Vcc) 0 - 330 mA (12 Vcc)			
Mis. attacco	M5				1/8			

Selezione del modello

<Per l'uso di un orifizio $\varnothing 1.6$ (vedere PVQ30: Grafico 1)>

Condizione 1. $P_1 = 0.7 \text{ MPa}$, $P_2 = 0 \text{ MPa}$ (pressione atmosferica)

Si riferisce alla curva A quando ΔP corrisponde a 0.7 MPa.

Es.) Con correnti maggiori, applicando una corrente di 140 mA, si ottiene una portata di 85 ℓ/min . (vedere ①.)

Se la corrente diminuisce in questo punto, la portata potrebbe non variare di 135 mA a causa dell'isteresi. (vedere ②.)

La portata con corrente crescente e decrescente non è identica a causa dell'isteresi. (① 85 ℓ/min ., ③ 93 ℓ/min).

Condizione 2. $P_1 = 0.7 \text{ MPa}$, $P_2 = 0.2 \text{ MPa}$

Si riferisce alla curva B quando ΔP corrisponde a 0.5 MPa.

Es.) Con correnti maggiori, applicando una corrente di 150 mA, si ottiene una portata di 65 ℓ/min . (vedere ④.)

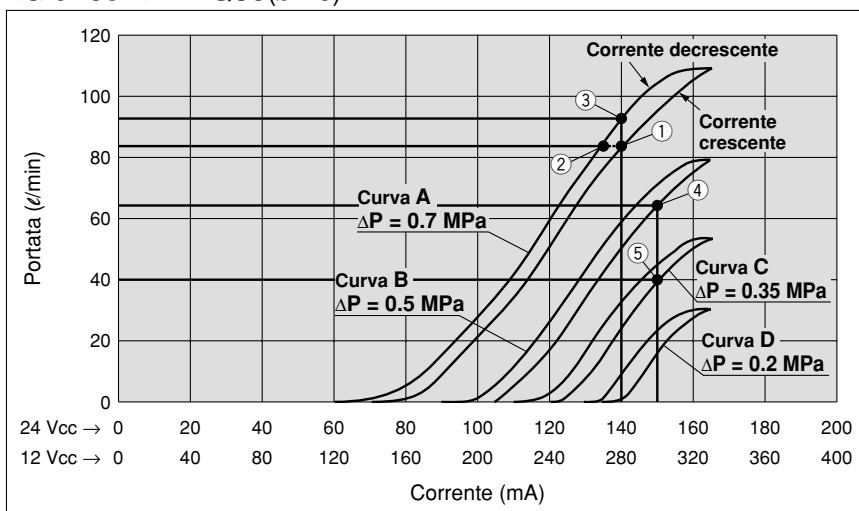
Se P_2 aumenta di 0.15 MPa, ΔP diminuisce di 0.15 MPa e arriva a 0.35 MPa (vedere curva C) e applicando la stessa corrente, la portata risulta essere 40 ℓ/min . (Vedere ⑤.)

- La portata diminuisce a causa della variazione (aumento) della pressione secondaria, anche se la pressione primaria e il valore della corrente rimangono uguali.

Condizione 3. Con pressione di vuoto

- Per le caratteristiche di vuoto, il campo della pressione di esercizio è compreso fra 0.1 Pa abs e il differenziale massimo della pressione di esercizio.
- L'attacco A(2) è adatto alla pressione di vuoto.

<Grafico 1> PVQ30($\varnothing 1.6$)



$$\Delta P = (P_1 - P_2) \text{ MPa}$$

ΔP : Differenziale di pressione

P_1 : Pressione primaria

P_2 : Pressione secondaria

● Q. Portata richiesta = 0 - 75 ℓ/min.

P_1 = Nessuna condizione, $P_2 = 0$ MPa (pressione atmosferica)

In questo caso, tutte le misure di orifizio della serie PVQ30 soddisfano la portata richiesta. (Portata quando si applica la corrente nominale)

La tabella seguente indica i differenziali di pressione necessari per soddisfare la portata richiesta. Nel grafico delle caratteristiche di portata, un differenziale di pressione superiore alla portata indicata con una linea tratteggiata (75 ℓ/min.), fino alla pressione di esercizio massima, è in grado di soddisfare la portata richiesta.

Tabella. Differenziale di pressione richiesto per soddisfare la portata = 0 - 75 ℓ/min.

	ø1.6	ø2.3	ø4.0
Pressione differenziale (ΔP)	0.5 - 0.7 MPa	0.25 - 0.35 MPa	0.12 MPa

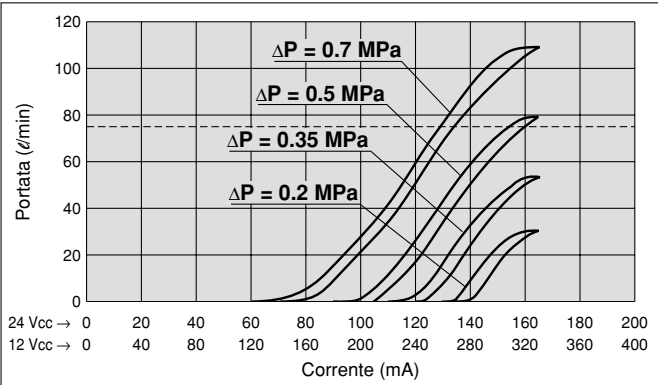
$$\Delta P = (P_1 - P_2) \text{ MPa}$$

ΔP : Differenziale di pressione

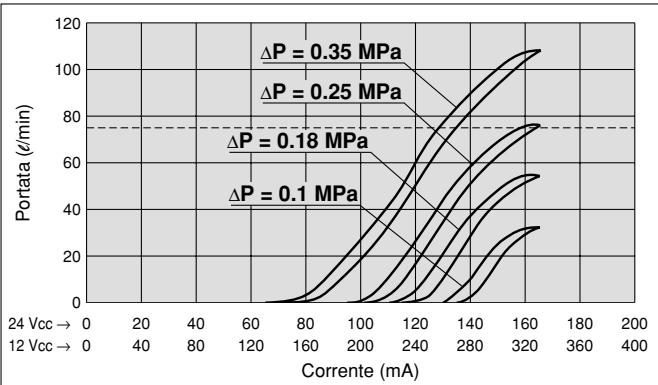
P_1 : Pressione primaria

P_2 : Pressione secondaria

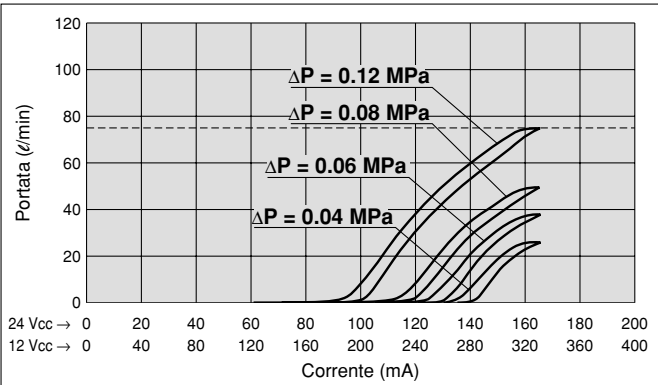
PVQ30 (ø1.6)



PVQ30 (ø2.3)



PVQ30 (ø4.0)



● Nota

- 1) Seguire la stessa procedura per la scelta della serie PVQ10.
- 2) La portata dipende dalle differenze individuali fra le valvole e le condizioni di connessione. Consultare il grafico delle caratteristiche di portata per selezionare il modello con margine adeguato per soddisfare il requisito di portata.

Elettrovalvola proporzionale compatta

Serie PVQ10



Codici di ordinazione

Montaggio su base

PVQ 13-5 L 03-M5-A



Tipo di valvola

13	N.C.
----	------

Tensione

5	24 Vcc
6	12 Vcc

Connessione elettrica

L	Connettore ad innesto L	
M	Connettore ad innesto M	

Con / senza cavi

-	Con cavo
O	Senza cavo

Corpo / materiale di tenuta

Simbolo	Corpo	Tenuta
A	Ottone (C36)	FKM

Mis. attacco

-	Senza sottobase (con vite di montaggio M1.7 x 17L, 2 pz.)	
M5	Con sottobase M5 x 0.8	

Misura orifizio

Simbolo	Diam. orifizio	Max. pressione d'esercizio
03	0.3 mmø	0.7 MPa
04	0.4 mmø	0.45 MPa
06	0.6 mmø	0.2 MPa
08	0.8 mmø	0.1 MPa

Specifiche

Caratteristiche standard	Costruzione valvola	Valvola a fungo ad azionamento diretto	
	Fluidi	Aria, gas inerti	
	Materiale di tenuta	FKM	
	Materiale del corpo	Ottone (C36)	
	Temperatura fluido	da 0 a +50°C	
	Temperatura d'esercizio	da 0 a +50°C	
	Effetto	N.C. (normalmente chiusa)	
	Direzione di montaggio	Nessuna limitazione	
Caratteristiche della bobina	Attacco	M5	
	Alimentazione	24 Vcc	12 Vcc
	Corrente bobina	0 - 85 mA	0 - 170 mA
	Potenza assorbita	0 - 2 W	
	Isolamento bobina	Classe B	

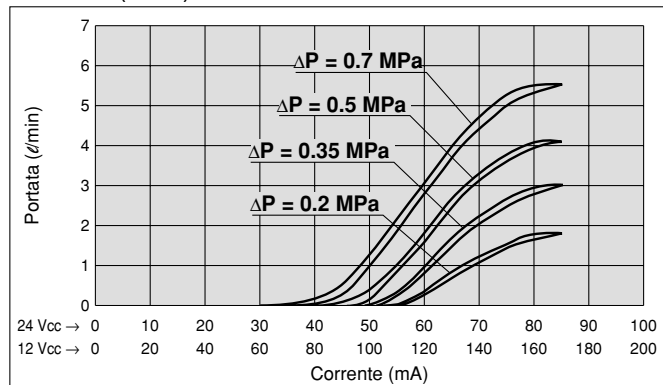
Caratteristiche	Diametro orifizio (mm)	0.3	0.4	0.6	0.8
	Max. differenziale di pressione d'esercizio (MPa) ^{Nota 1)}	0.7	0.45	0.2	0.1
	Max. pressione d'esercizio (MPa)	1			
	Min. pressione d'esercizio (MPa) (vuoto) ^{Nota 2)}	0 (0.1 Pa.abs)			
	Portata (l/min) (con max. differenziale di pressione d'esercizio)	0 - 5	0 - 6		0 - 5
	Isteresi (con max. differenziale di pressione d'esercizio)	max. 10%			
	Ripetibilità (con max. differenziale di pressione d'esercizio)	max. 3%			
	Corrente di avvio (con max. differenziale pressione di esercizio)	max. 50%			

Nota 1) Il differenziale massimo della pressione d'esercizio rappresenta il differenziale (ossia la differenza tra pressione primaria e secondaria) ammissibile per il funzionamento con valvola chiusa o aperta. Se il differenziale di pressione supera il differenziale massimo della pressione d'esercizio dell'orifizio, la valvola può presentare trafilamenti.

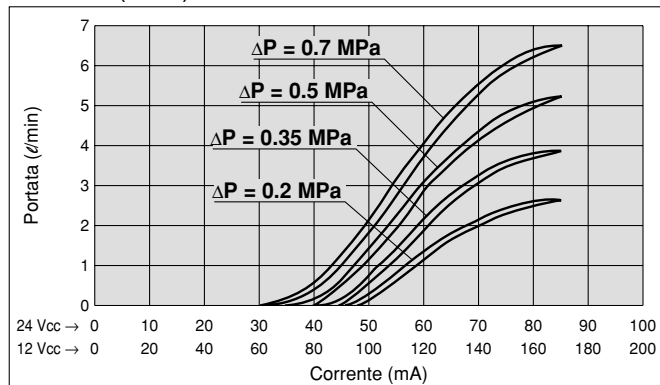
Nota 2) Per le applicazioni con vuoto, il campo massimo della pressione di esercizio è compreso fra 0.1 Pa abs e il differenziale massimo della pressione di esercizio. L'attacco A(2) è adatto per pressione di vuoto.

Caratteristiche di flusso

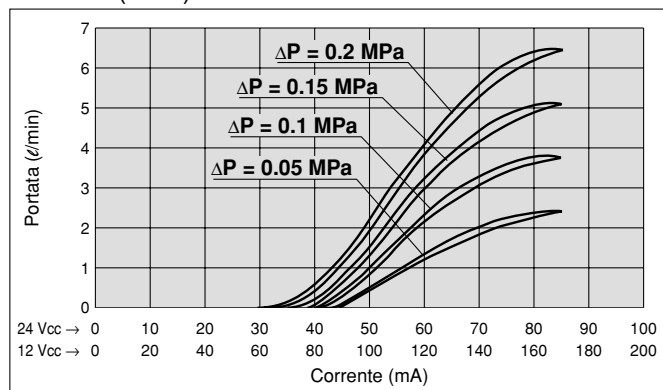
PVQ10 (ø0.3)



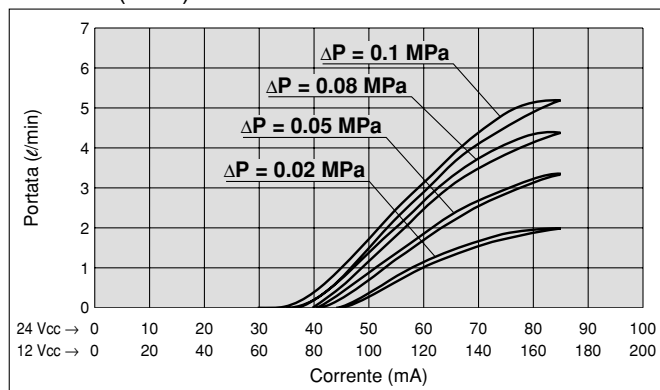
PVQ10 (ø0.4)



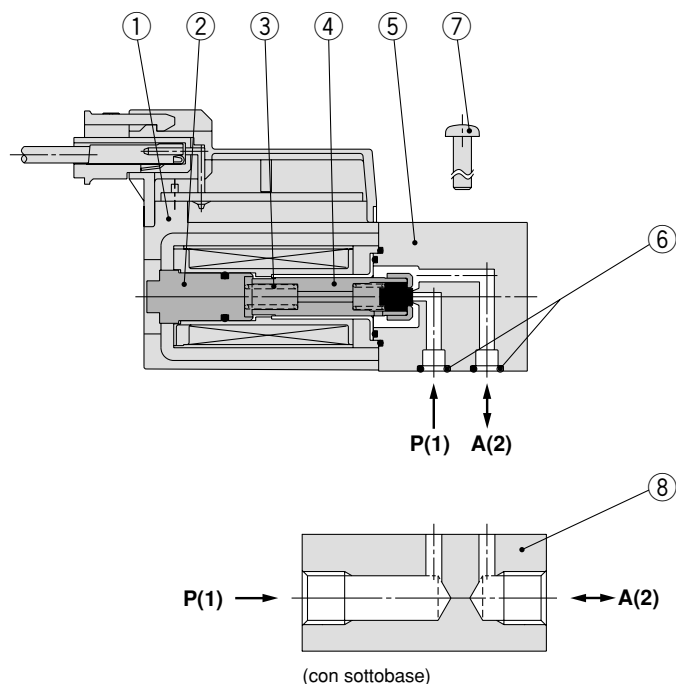
PVQ10 (ø0.6)



PVQ10 (ø0.8)



Costruzione



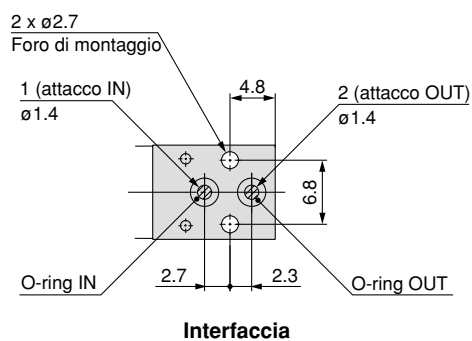
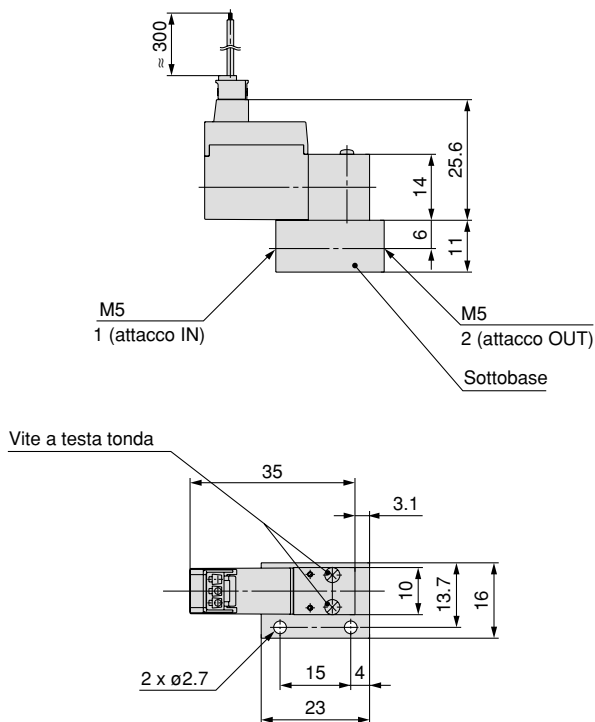
Componenti

N.	Descrizione	Materiale	Nota
1	Assieme solenoide	—	
2	Anima	Acciaio inox	
3	Molla anteriore	Acciaio inox	
4	Assieme armatura	Acciaio inox, Alluminio, FKM	
5	Corpo	Ottone (C36)	
6	O-ring	FKM	
7	Vite a testa tonda	Acciaio	M1.7 x 0.35 x 17L, 2 pz.
8	Sottobase	Ottone (C37)	Codice PVQ10-15-M5

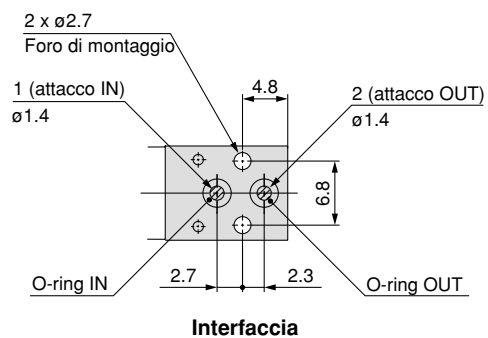
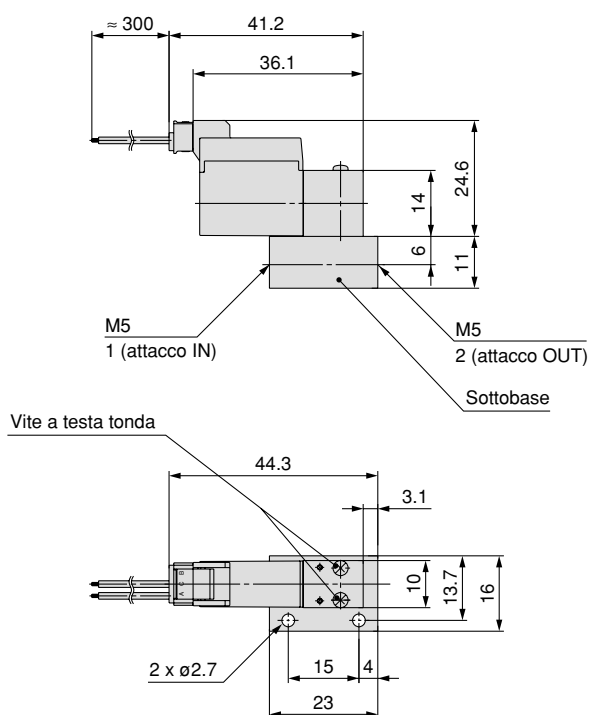
Serie PVQ10

Dimensioni

Connettore ad innesto L PVQ13-□L-□-M5



Connettore ad innesto M PVQ13-□M-□-M5



Elettrovalvola proporzionale compatta

Serie PVQ30



Codici di ordinazione

Attacchi su corpo

PVQ 31-5 G-16-01

Montaggio su base

PVQ 33-5 G-16-01



Tipo di valvola
31 N.C.

Mis. attacco
01 1/8 (6A)

Su richiesta

-	Assente
F	Piedino

* Al momento dell'invio viene fornito anche il supporto, non montato.

Tipo di valvola
33 N.C.

Tensione	
5	24 Vcc
6	12 Vcc

Connessione elettrica: Grommet

Corpo / materiale di tenuta

Simbolo	Corpo	Tenuta
-	Ottone (C37)	FKM
H	Acciaio inox	FKM

Filettatura (con sottobase)

-	Rc
F	G
N	NPT
T	NPTF

Misura orifizio

Simbolo	Diam. orifizio	Max. pressione d'esercizio
16	1.6 mmø	0.7 MPa
23	2.3 mmø	0.35 MPa
40	4 mmø	0.12 MPa

Mis. attacco

-	Senza sottobase (con vite di montaggio M3 x 8L, 2 pz.)	Vite di montaggio
01	Con sottobase 1/8 (6A)	Sottobase

Specifiche

Caratteristiche standard	Costruzione valvola	Valvola a fungo ad azionamento diretto	
	Fluidi	Aria, gas inerti	
	Materiale di tenuta	FKM	
	Materiale del corpo	Ottone (C37, standard), acciaio inox	
	Temperatura fluido	da 0 a +50°C	
	Temperatura d'esercizio	da 0 a +50°C	
	Effetto	N.C. (normalmente chiusa)	
	Direzione di montaggio	Nessuna limitazione	
	Grado di protezione	IP40	
	Attacco	Rc 1/8	
Caratteristiche della bobina	Tensione	24 Vcc	12 Vcc
	Corrente bobina	0 - 165 mA	0 - 330 mA
	Potenza assorbita	0 - 4 W	
	Isolamento bobina	Classe B	

Nota 1) Il differenziale massimo della pressione d'esercizio rappresenta il differenziale di pressione (ossia la differenza tra pressione primaria e secondaria) ammissibile per il funzionamento con valvola chiusa o aperta. Se il differenziale di pressione supera il differenziale massimo della pressione d'esercizio dell'orifizio, la valvola può presentare trafilamenti.

Nota 2) Per le applicazioni con vuoto, il campo massimo della pressione di esercizio è compreso fra 0.1 Pa abs e il differenziale massimo della pressione di esercizio. L'attacco A(2) è adatto per pressione di vuoto.

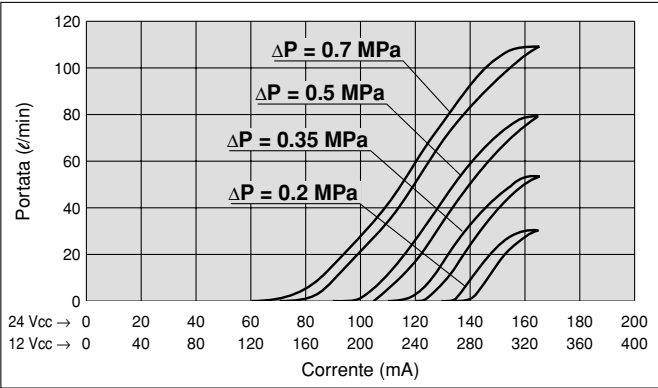
Caratteristiche	Diametro orifizio (mmø)	1.6	2.3	4.0
	Max. pressione d'esercizio differenziale (MPa) ^{Nota 1)}	0.7	0.35	0.12
	Max. pressione d'esercizio (MPa)	1		
	Min. pressione d'esercizio (MPa) (Vuoto) ^{Nota 2)}	0 (0.1 Pa.abs)		
	Portata (l/min) (con max. differenziale di pressione di esercizio)	0 - 100		0 - 75
	Isteresi (con max. differenziale di pressione d'esercizio)	max. 10%		max. 13%
	Ripetibilità (con max. differenziale di pressione di esercizio)	max. 3%		
	Corrente di avvio (con max. differenziale di pressione di esercizio)	max. 50%		

Serie PVQ10

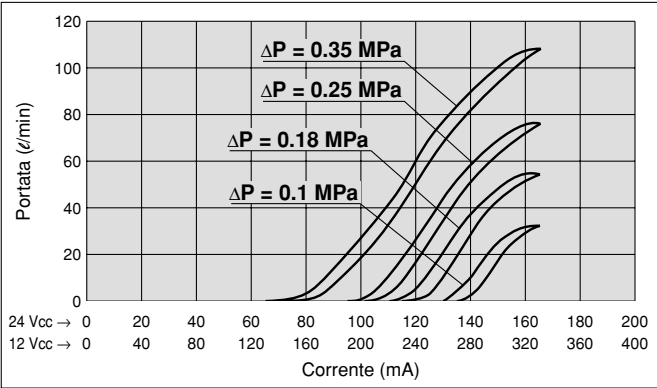
Caratteristiche di flusso

Aria

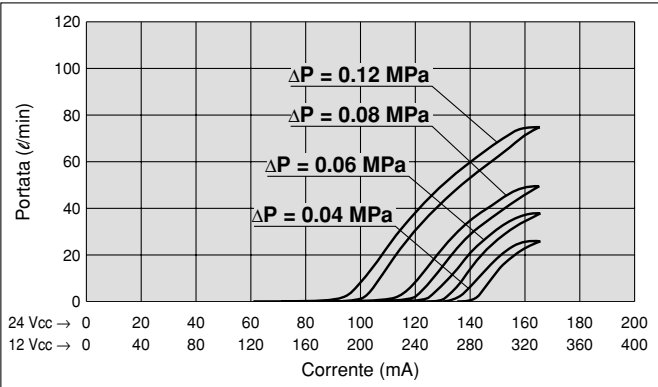
PVQ30 (ø1.6)



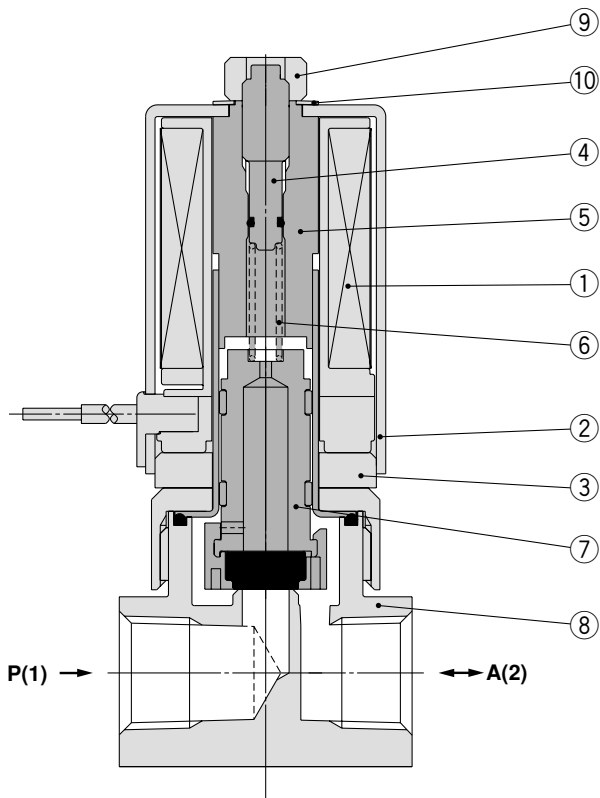
PVQ30 (ø2.3)



PVQ30 (ø4.0)



Costruzione



Componenti

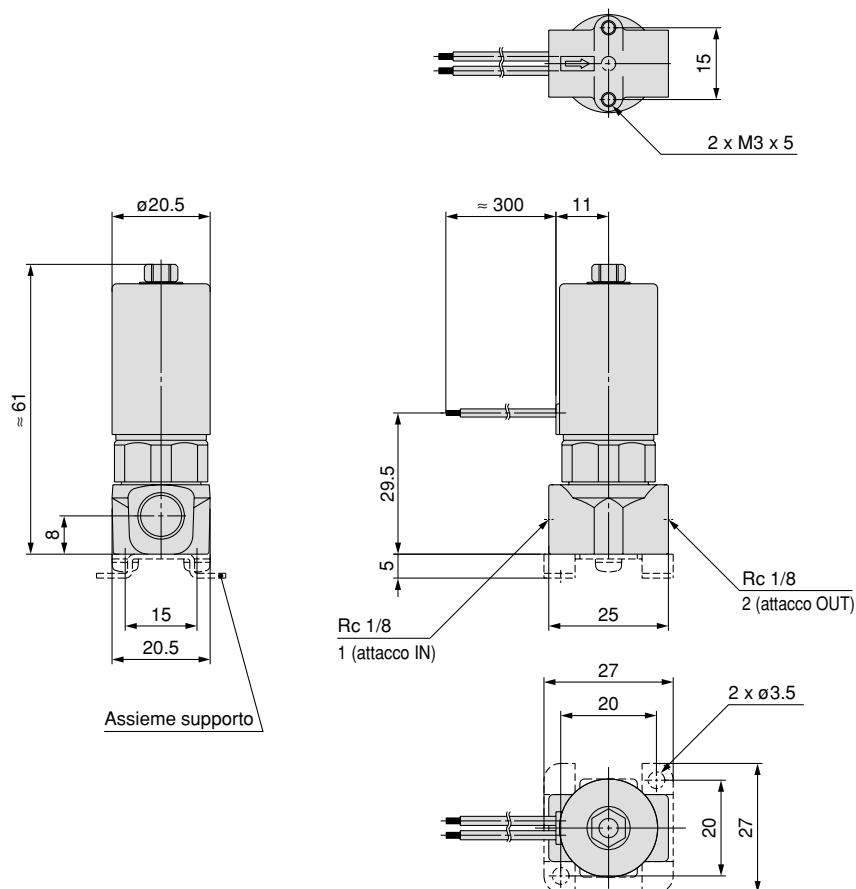
N.	Descrizione	Materiale	Nota
1	Assieme solenoide	—	
2	Coperchio bobina	Acciaio (SPCE)	
3	Piastra magnetica	Ferro magnetico (SUY)	
4	Vite di regolazione	Acciaio inox	
5	Assieme tubo	Acciaio inox	
6	Molla anteriore	Acciaio inox	
7	Assieme armatura	Acciaio inox, PPS, PTFE, FKM	
8	Corpo	Ottone (C37) o acciaio inox	
9	Dado	Acciaio	
10	Rondella ondulata	Acciaio inox	
11	Vite a testa tonda	Rame	Solo montaggio su base M3 x 8L, 2 pz. Codice: PVQ30-15-01□
12	Sottobase	Ottone (C37)	
13	O-ring	FKM	
14	O-ring	FKM	

Opzione (solo con attacchi su corpo)

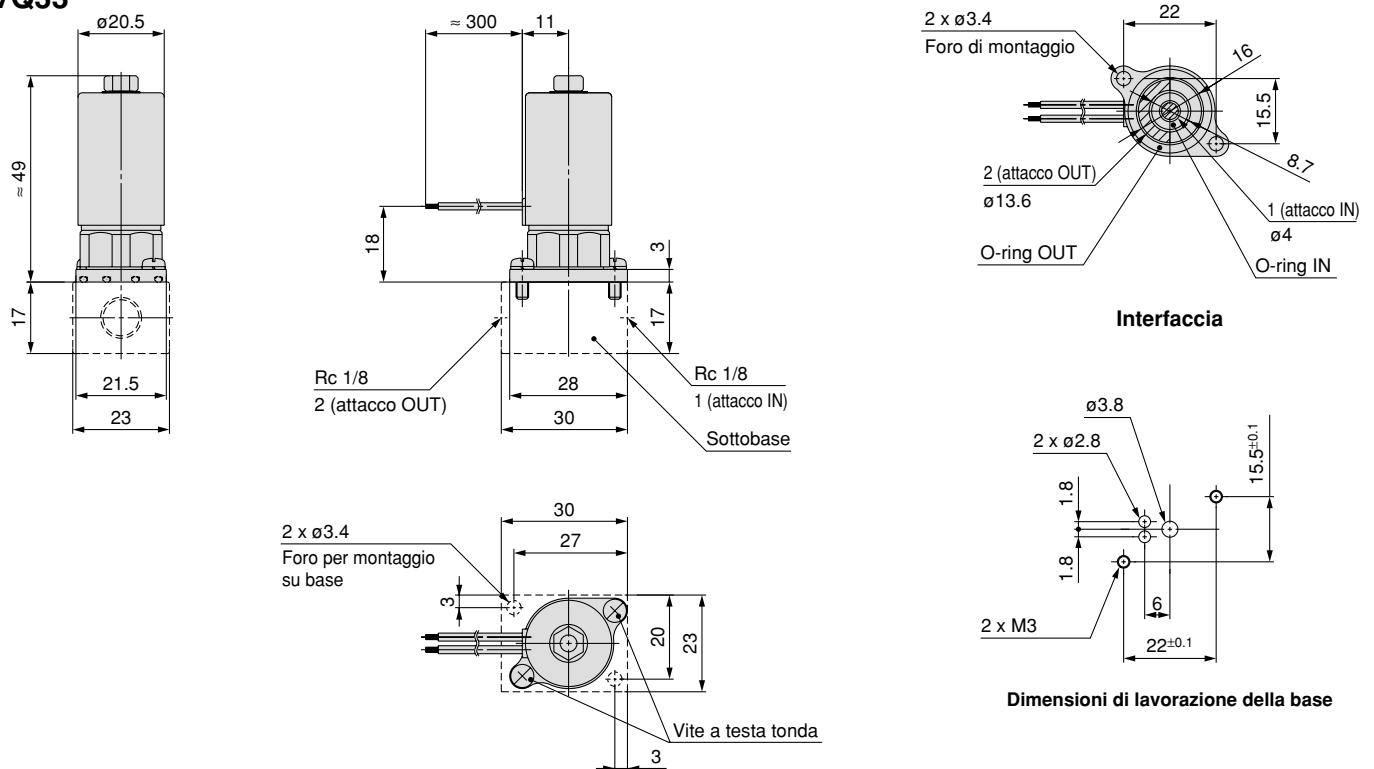
• Assieme supporto: VDW20-15A-1

Dimensioni

PVQ31



PVQ33



Glossario

■ Controllo proporzionale

Il fluido è controllato in modo proporzionale in base ad un segnale di ingresso (corrente).

■ Max. differenziale di pressione d'esercizio

Indica il differenziale massimo di pressione (differenza tra pressione primaria e secondaria) ammissibile per il funzionamento con valvola chiusa o aperta.

■ Max. pressione d'esercizio

Indica la pressione limite che è possibile applicare all'ingresso. (il differenziale di pressione della valvola proporzionale non deve essere maggiore del differenziale massimo della pressione d'esercizio)

■ Diametro orificio

Diametro del foro di tenuta del corpo della valvola proporzionale. Non corrisponde all'effettiva sezione trasversale.

■ Isteresi

Differenza massima di portata fra l'aumento e il decremento di corrente (a parità di corrente).
(Percentuale divisa per la portata massima)

■ Ripetibilità

Deviazione della portata di uscita applicando la stessa corrente.
(Percentuale divisa per la portata massima)

■ Corrente di avvio

Corrente alla quale la portata viene effettivamente emessa aumentando la corrente da zero.
(Percentuale divisa per la corrente nominale)



Serie PVQ

Istruzioni di sicurezza

Le istruzioni di sicurezza servono per prevenire situazioni pericolose e/o danni alle apparecchiature. Il grado di pericolosità è indicato dalle diciture di "**Precauzione**", "**Attenzione**" or "**Pericolo**". Per operare in condizioni di sicurezza totale, si raccomanda di osservare quanto stabilito dalla normativa ISO 4414 ^{Nota 1)}, JIS B 8370 ^{Nota 2)} e altri eventuali provvedimenti esistenti in materia.

■ Spiegazione delle diciture

Diciture	Spiegazione delle diciture
 Pericolo	In condizioni estreme possono verificarsi lesioni gravi o mortali.
 Attenzione	L'errore di un operatore può causare ferite o morte.
 Precauzione	Indica che l'errore dell'operatore potrebbe causare lesioni alle persone ^{Nota 3)} o danni all'impianto. ^{Nota 4)}

Nota 1) ISO 4414: Potenza del fluido pneumatico – Regole generali relative ai sistemi

Nota 2) JIS B 8370: Regole generali per gli impianti pneumatici

Nota 3) Il termine lesione indica ferite leggere, scottature e scosse elettriche che non richiedono il ricovero in ospedale o visite ospedaliere che comportino lunghi periodi di cure mediche.

Nota 4) Per danni alle apparecchiature si intendono danni gravi all'impianto e ai dispositivi circostanti.

■ Selezione/Usò/Applicazioni

1. Il corretto impiego delle apparecchiature pneumatiche all'interno di un sistema è responsabilità del progettista del sistema o di chi ne definisce le specifiche tecniche.

Dal momento che i prodotti oggetto del presente manuale possono essere usati in condizioni operative differenti, il loro corretto impiego all'interno di uno specifico sistema pneumatico deve essere basato sulle loro caratteristiche tecniche o su analisi e test studiati per l'impiego particolare. La responsabilità relativa alle prestazioni e alla sicurezza è del progettista che ha stabilito la compatibilità del sistema. La persona addetta dovrà controllare costantemente l'affidabilità di tutti i componenti, facendo riferimento all'informazione dell'ultimo catalogo con l'obiettivo di prevedere qualsiasi possibile errore dell'impianto al momento della progettazione del sistema.

2. Solo personale adeguatamente preparato deve operare con macchinari ed impianti pneumatici.

Il fluido può essere pericoloso se utilizzato in modo scorretto. L'assemblaggio, l'utilizzo e la manutenzione di sistemi che prevedono l'impiego di macchinari pneumatici devono essere effettuati esclusivamente da personale esperto e adeguatamente preparato.

3. Non intervenire sulla macchina o impianto se non dopo aver verificato che le condizioni di lavoro siano sicure.

1. L'ispezione e la manutenzione della macchina/impianto possono essere effettuati solo ad avvenuta conferma dell'attivazione delle posizioni di blocco di sicurezza specificamente previste.
2. Prima di intervenire su un singolo componente, assicurarsi che siano attivate le posizioni di blocco in sicurezza di cui sopra. Interrompere l'alimentazione di pressione di questo impianto e scaricare l'aria compressa residua presente nel sistema.
3. Prima di riavviare la macchina, verificare che siano in atto le misure di sicurezza.

4. Contattare SMC, se si prevede di utilizzare il prodotto in una delle seguenti condizioni:

1. Condizioni operative e ambienti non previsti dalle specifiche fornite, oppure impiego del componente all'aperto.
2. Con fluidi la cui applicazione causa problemi dovuti al tipo di fluido, agli additivi, ecc...
3. Applicazioni che potrebbero danneggiare persone o cose, e che richiedano pertanto speciali condizioni di sicurezza.

■ Esonero di responsabilità

1. SMC, i suoi dirigenti e dipendenti saranno esonerati da qualsiasi responsabilità per perdite o danni causati da terremoti o incendi, atti di terzi, incidenti, errori dei clienti intenzionali o non intenzionali, utilizzo scorretto del prodotto e qualsiasi altro danno causato da condizioni di esercizio diverse da quelle previste.

2. SMC, i suoi dirigenti ed impiegati saranno esonerati da qualsiasi responsabilità per perdite o danni diretti o indiretti, inclusi perdite o danni consequenziali, perdite di profitti o mancate possibilità di guadagno, reclami, richieste, procedimenti, costi, spese, premi, valutazioni e altre responsabilità di qualsivoglia natura inclusi costi e spese legali nelle quali sia possibile intercorrere, anche nel caso di torto (inclusa negligenza), contratto, violazione di obblighi stabiliti dalla legge, giustizia o altro.

3. SMC è esonerata da qualsiasi responsabilità per danni derivanti da operazioni non indicate nei cataloghi e/o nei manuali di istruzioni, e operazioni esterne alle specifiche indicate.

4. SMC è esonerata da qualsiasi responsabilità derivante da perdita o danno di qualsivoglia natura causati da malfunzionamenti dei suoi prodotti qualora questi ultimi vengano utilizzati insieme ad altri dispositivi o software.



Valvole di processo a 2/3 vie

Precauzioni 1

Leggere attentamente prima dell'uso.

Per precauzioni dettagliate su ogni serie, vedere il testo principale.

Progettazione

⚠ Attenzione

1. Non è utilizzabile come valvola d'intercettazione d'emergenza, ecc.

La valvola presentata in questo catalogo non è indicata come valvola di intercettazione di emergenza. Per essere utilizzata con questo fine deve essere abbinata ad altri componenti di sicurezza.

2. Energizzazione costante prolungata

Per l'uso prolungato in condizione eccitata, contattare SMC.

3. La presente elettrovalvola non può essere utilizzata per applicazioni che richiedano componenti antideflagranti.

4. Spazio per manutenzione

L'installazione deve essere effettuata prevedendo uno spazio sufficiente a garantire un'agevole manutenzione (rimozione della valvola, ecc).

5. Azionamento attuatore

Se, mediante la valvola, vengono azionati attuatori come un cilindro, prevedere adeguate misure di sicurezza per evitare potenziali pericoli causati dal funzionamento dell'attuatore stesso.

6. Mantenimento della pressione (incluso il vuoto)

Non utilizzabile in applicazioni per il mantenimento della pressione (compreso il vuoto) all'interno di un recipiente a pressione, in quanto l'uso di valvole comporta perdite d'aria.

Selezione

⚠ Attenzione

1. Verificare le caratteristiche.

Prestare molta attenzione alle condizioni di operatività quali applicazioni, fluidi e ambiente di lavoro e rispettare sempre i valori indicati in questo catalogo.

2. Fluido

1) Gas

Consultare le specifiche per il trafilamento interno/esterno.

2) Gas corrosivi

Non devono essere usati in quanto potrebbero causare rotture o danni dovuti all'effetto della corrosione.

3. Qualità del fluido

L'uso di un fluido contenente corpi estranei può causare il malfunzionamento e il guasto della tenuta. Questi problemi sono dovuti all'usura della sede della valvola e della sua armatura e all'adesione alle parti scorrevoli dell'armatura. Montare un filtro adatto (strainer) immediatamente a monte della valvola. Di norma viene usato un setaccio con maglia 80-100.

Selezione

⚠ Attenzione

4. Qualità dell'aria

1) Utilizzare aria pulita.

Non usare aria compressa contenente prodotti chimici, oli sintetici che contengano solventi organici, sale o gas corrosivi poiché possono causare danni alle apparecchiature.

2) Installare filtri per l'aria.

Installare filtri per l'aria a monte delle valvole. Grado di filtrazione nominale pari a 5 µm.

3) Installare un essiccatore, un post-refrigeratore, ecc.

L'aria compressa contenente troppa condensa può causare funzionamenti difettosi della valvola o di altra apparecchiatura pneumatica. Per evitare tale eventualità, installare un essiccatore, un post-refrigeratore, ecc.

4) Per eliminare l'eccesso di polvere di carbone che può generarsi, installare un microfiltro disoleatore a monte delle valvole.

Se il compressore genera una quantità eccessiva di polvere di carbone, essa può aderire all'interno delle valvole e causare malfunzionamenti.

Consultare il catalogo Best Pneumatics di SMC per ulteriori dettagli sulla qualità dell'aria compressa.

5. Ambiente di lavoro

Utilizzare all'interno del campo della temperatura d'esercizio. Verificare la compatibilità tra i materiali che compongono il prodotto e l'atmosfera nell'ambiente. Assicurarsi che il fluido usato non entri in contatto con la superficie esterna del prodotto.

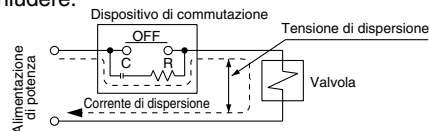
6. Provvedimenti anti elettricità statica

Adottare le misure adeguate per evitare l'elettricità statica

⚠ Precauzione

1. Tensione di dispersione

Soprattutto quando si usa un resistore in parallelo con un dispositivo di commutazione e un elemento C-R (soppressore di picchi di corrente) per proteggere il dispositivo di commutazione, ricordare che la corrente di dispersione passerà attraverso il resistore e l'elemento C-R, ecc., con il pericolo che la valvola non si possa chiudere.



Bobina cc: max. 2% della tensione nominale



Valvole di processo a 2/3 vie

Precauzioni 2

Leggere attentamente prima dell'uso.

Per precauzioni dettagliate su ogni serie, vedere il testo principale.

Montaggio

⚠ Attenzione

1. Se la perdita d'aria aumenta o se il funzionamento della valvola non è corretto, sospendere l'uso.

Dopo aver installato il componente, verificarne le condizioni di montaggio mediante un'appropriata prova di funzionamento.

2. Evitare di applicare forze esterne nell'assieme bobina.

Utilizzare una chiave o un attrezzo adeguato per serrare le parti di connessione delle tubazioni.

3. Evitare di riscaldare la bobina con un isolante termico, o altro.

Per evitare il congelamento, utilizzare nastro, riscaldatori, ecc. unicamente sulle tubazioni e sul corpo. Se si utilizzano in prossimità della bobina, si rischia di bruciarla.

4. Utilizzare le squadrette di fissaggio, tranne in presenza di tubi d'acciaio e raccordi in rame.

5. In presenza di forti vibrazioni, la distanza fra il corpo valvola e la superficie di montaggio deve essere la minima possibile per evitare fenomeni di risonanza.

6. Manuale d'istruzioni

Montare e utilizzare il prodotto dopo aver letto attentamente il manuale delle istruzioni. Tenere sempre il manuale a portata di mano.

7. Vernice e rivestimento

Non cancellare, rimuovere o coprire le indicazioni presenti sul prodotto.

Connessione

⚠ Precauzione

1. Preparazione alla connessione

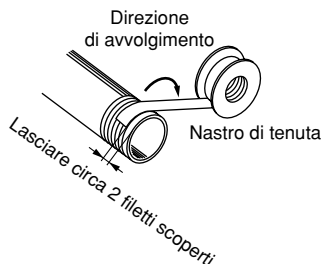
Prima dell'uso, adoperare un getto d'aria per pulire bene le connessioni, o lavarle per rimuovere schegge da taglio, olio da taglio o detriti.

Evitare di tirare, comprimere o piegare il corpo valvola durante le operazioni di connessione.

2. Materiale di tenuta

Evitare che residui di materiale di tenuta penetrino all'interno delle tubazioni durante le operazioni di connessione.

Nel caso in cui si utilizzi nastro di teflon, lasciare un paio di filetti scoperti.



3. Non effettuare collegamenti a massa della valvola alle tubazioni per evitare corrosioni del sistema.

Connessione

⚠ Precauzione

4. Applicare sempre la corretta coppia di serraggio.

Osservare nella tabella sottostante la coppia di serraggio adatta da applicare alle filettature.

Coppia di serraggio per connessioni

Filettature	Coppia di serraggio adeguata N·m
M5	1.5 - 2
Rc 1/8	7 - 9

* Riferimento

Serraggio delle filettature M5

Stringere prima con la mano, quindi ruotare ancora di 1/6 di giro con l'utensile adeguato. Se si usano raccordi miniaturizzati, stringere di 1/4 di giro dopo il serraggio a mano. (Nel caso in cui vi siano guarnizioni in due punti, come per il gomito o la T, stringere di un altro mezzo giro).

5. Connessione delle tubazioni al componente

Seguire attentamente le istruzioni riportate nel presente catalogo per evitare errori di connessione.

Cablaggio

⚠ Precauzione

1. I cavi devono avere una sezione trasversale minima di 0.5 mm e massima di 1.25 mm² per effettuare il cablaggio.

Non sottoporre i cavi elettrici a trazioni eccessive.

2. Impiegare circuiti elettrici che non generino vibrazioni nei contatti.

3. La tensione di alimentazione deve essere mantenuta entro $\pm 10\%$ della tensione nominale.

Se l'alimentazione è in corrente continua e se la capacità di risposta rappresenta un fattore critico, mantenersi entro il $\pm 5\%$ della tensione nominale. La caduta di tensione è il valore nella sezione del cavo collegato alla bobina.

4. Quando i picchi di tensione che si generano nel solenoide interferiscono nel circuito elettrico, installare un soppressore di picchi in parallelo con il solenoide.



Valvole di processo a 2/3 vie

Precauzioni 3

Leggere attentamente prima dell'uso.

Per precauzioni dettagliate su ogni serie, vedere il testo principale.

Ambiente di esercizio

⚠ Attenzione

1. Non utilizzare il componente a diretto contatto con gas corrosivi, prodotti chimici, acqua o vapore.
2. Non utilizzare in atmosfere esplosive.
3. Non utilizzare in ambienti sottoposti a forti vibrazioni o urti.
4. Non utilizzare in prossimità di forti fonti di calore.
5. Prevedere idonee coperture in caso di uso in presenza di schizzi d'acqua, olio, scorie di saldatura, ecc.

Lubrificazione

⚠ Precauzione

1. L'elettrovalvola non richiede lubrificazione.

In caso di utilizzo di lubrificante, applicare olio per turbine di Classe 1, ISO VG32 (senza additivi).

Per selezionare il lubrificante più idoneo, consultare la seguente tabella [le marche degli oli per turbine di Classe 1 (senza additivi) sono conformi a ISO VG31].

Olio per turbine Classe 1, ISO VG32 (senza additivi)

Classificazione della viscosità (cst) (40°C)	Viscosità in base al grado ISO	32
Idemitsu Kosan Co., Ltd.		Olio per turbine P-32
Nippon Oil Corp.		Olio per turbine 32
Cosmo Oil Co., Ltd.		Olio per turbine Cosmo 32
Japan Energy Corp.		Olio per turbine Kyodo 32
Kygnus Oil Co.		Olio per turbine 32
Kyushu Oil Co.		Olio per turbine Stork 32
Nippon Oil Corp.		Olio per turbine Mitsubishi 32
Showa Shell Sekiyu K.K.		Olio per turbine 32
Tonen General Sekiyu K.K.		Olio per turbine General R 32
Fuji Kosan Co., Ltd.		Olio per turbine Fucoal 32

Per quanto riguarda gli oli per turbine di Classe 2, ISO VG32 (con additivi) contattare SMC.

Manutenzione

⚠ Attenzione

1. Rimozione del prodotto

1. Interrompere l'alimentazione di fluido e rilasciare la pressione del fluido nel sistema.
2. Interrompere l'alimentazione.
3. Smontaggio.

2. Operazioni a bassa frequenza

Per evitare malfunzionamenti, azionare le valvole almeno una volta al mese. Per utilizzarle in condizioni ottimali, realizzare una regolare ispezione ogni 6 mesi.

3. Non smontare il prodotto. Una volta smontati, i prodotti non sono più coperti da garanzia.

Se è necessario smontarli, contattare SMC.

⚠ Precauzione

1. Filtri e depuratori

1. Non ostruire filtri e depuratori.
2. Sostituire i filtri dopo il primo anno di utilizzo o comunque quando la caduta di pressione raggiunge 0.1 MPa.
3. Pulire i depuratori quando la caduta di pressione raggiunge 0.1 MPa.

2. Scaricare periodicamente le impurità dal filtro dell'aria.



Serie PVQ

Precauzioni specifiche del prodotto

Leggere attentamente prima dell'uso.

Selezione della sorgente di potenza

Precauzione

Il prodotto rende possibile il controllo proporzionale tramite corrente costante.

Se il controllo avviene sulla base della tensione, la portata di uscita non potrà essere mantenuta costante a causa delle fluttuazioni di corrente. Utilizzare una sorgente di alimentazione cc stabile con sufficiente capacità e scarse ondulazioni.

Manipolazione

Precauzione

1. Il prodotto è impostato in base alle rispettive specifiche SMC di fabbrica prima della spedizione.

Non smontare il prodotto o rimuoverne parti, poiché ciò può causare la rottura del prodotto.

2. La portata è controllata mediante bilanciamento del corpo valvola.

Non esporre il prodotto a vibrazioni e urti esterni poiché suscettibili di modificare la portata.

Differenza di pressione

Precauzione

Il trafilamento dalla valvola può essere causato dal fatto che la differenza di pressione è maggiore del differenziale massimo della pressione di esercizio dei rispettivi modelli.

Funzionamento a vuoto

Precauzione

Quando il prodotto viene utilizzato a vuoto, applicare una pressione di vuoto all'attacco A (2).

La pressione all'attacco P (1) dovrebbe essere superiore della pressione all'attacco A (2).

Montaggio valvola

Precauzione

Quando si monta una valvola sulla sottobase, serrare bene la vite con il valore di coppia indicato nella tabella seguente, dopo aver verificato la condizione di montaggio dell'o-ring sul lato dell'interfaccia.

Coppia di serraggio adeguata (N·m)

PVQ10 (montaggio su base)	PVQ30 (montaggio su base)
0.15 - 0.22	0.8 - 1.0

Eccitazione continua

Attenzione

Non toccare direttamente la valvola. A seconda della temperatura ambiente e del tempo di eccitazione, la bobina può risultare molto calda.

Se è possibile toccarla direttamente, montare un coperchio di protezione sulla valvola.



EUROPEAN SUBSIDIARIES:



Austria

SMC Pneumatik GmbH (Austria).
Girakstrasse 8, A-2100 Korneuburg
Phone: +43 2262-62280, Fax: +43 2262-62285
E-mail: office@smc.at
http://www.smc.at



France

SMC Pneumatique, S.A.
1, Boulevard de Strasbourg, Parc Gustave Eiffel
Bussy Saint Georges F-77607 Marne La Vallée Cedex 3
Phone: +33 (0)1-6476 1000, Fax: +33 (0)1-6476 1010
E-mail: contact@smc-france.fr
http://www.smc-france.fr



Netherlands

SMC Pneumatics BV
De Ruyterkade 120, NL-1011 AB Amsterdam
Phone: +31 (0)20-5318888, Fax: +31 (0)20-5318880
E-mail: info@smcpneumatics.nl
http://www.smcpneumatics.nl



Spain

SMC España, S.A.
Zuazobidea 14, 01015 Vitoria
Phone: +34 945-184 100, Fax: +34 945-184 124
E-mail: post@smc.smces.es
http://www.smces.es



Belgium

SMC Pneumatics N.V./S.A.
Nijverheidsstraat 20, B-2160 Wommelgem
Phone: +32 (0)3-355-1464, Fax: +32 (0)3-355-1466
E-mail: post@smcpneumatics.be
http://www.smcpneumatics.be



Germany

SMC Pneumatik GmbH
Boschring 13-15, D-63329 Egelsbach
Phone: +49 (0)6103-4020, Fax: +49 (0)6103-402139
E-mail: info@smc-pneumatik.de
http://www.smc-pneumatik.de



Norway

SMC Pneumatics Norway A/S
Vollsveien 13 C, Granfos Næringspark N-1366 Lysaker
Tel: +47 67 12 90 20, Fax: +47 67 12 90 21
E-mail: post@smc-norge.no
http://www.smc-norge.no



Sweden

SMC Pneumatics Sweden AB
Ekhagsvägen 29-31, S-141 71 Huddinge
Phone: +46 (0)8-603 12 00, Fax: +46 (0)8-603 12 90
E-mail: post@smcpneumatics.se
http://www.smc.nu



Bulgaria

SMC Industrial Automation Bulgaria EOOD
16 kliment Ohridski Blvd., fl.13 BG-1756 Sofia
Phone: +359 2 9744492, Fax: +359 2 9744519
E-mail: office@smc.bg
http://www.smc.bg



Greece

SMC Hellas EPE
Anagenniseos 7-9 - P.C. 14342, N. Philadelphia, Athens
Phone: +30-210-2717265, Fax: +30-210-2717766
E-mail: sales@smchellas.gr
http://www.smchellas.gr



Poland

SMC Industrial Automation Polska Sp.z.o.o.
ul. Poloneza 89, PL-02-826 Warszawa,
Phone: +48 22 211 9600, Fax: +48 22 211 9617
E-mail: office@smc.pl
http://www.smc.pl



Switzerland

SMC Pneumatik AG
Dorfstrasse 7, CH-8484 Weisslingen
Phone: +41 (0)52-396-3131, Fax: +41 (0)52-396-3191
E-mail: info@smc.ch
http://www.smc.ch



Croatia

SMC Industrijska automatika d.o.o.
Cromerec 12, 10000 ZAGREB
Phone: +385 1 377 66 74, Fax: +385 1 377 66 74
E-mail: office@smc.hr
http://www.smc.hr



Hungary

SMC Hungary Ipari Automatizálási Kft.
Budafoki út 107-113, H-1117 Budapest
Phone: +36 1 371 1343, Fax: +36 1 371 1344
E-mail: office@smc.hu
http://www.smc.hu



Portugal

SMC Sucursal Portugal, S.A.
Rua de Engº Ferreira Dias 452, 4100-246 Porto
Phone: +351 22-610-89-22, Fax: +351 22-610-89-36
E-mail: postpt@smc.smces.es
http://www.smces.es



Turkey

Entek Pnömatik San. ve Tic. A*.
Perpa Ticaret Merkezi B Blok Kat:11 No: 1625, TR-34386, Okmeydanı, İstanbul
Phone: +90 (0)212-444-0762, Fax: +90 (0)212-221-1519
E-mail: smc@entek.com.tr
http://www.entek.com.tr



Czech Republic

SMC Industrial Automation CZ s.r.o.
Hudcova 78a, CZ-61200 Brno
Phone: +420 5 414 24611, Fax: +420 5 412 18034
E-mail: office@smc.cz
http://www.smc.cz



Ireland

SMC Pneumatics (Ireland) Ltd.
2002 Citywest Business Campus, Naas Road, Saggart, Co. Dublin
Phone: +353 (0)1-403 9000, Fax: +353 (0)1-464-0500
E-mail: sales@smcpneumatics.ie
http://www.smcpneumatics.ie



Romania

SMC Romania srl
Str. Frunzei 29, Sector 2, Bucharest
Phone: +40 213205111, Fax: +40 213261489
E-mail: smcromania@smcromania.ro
http://www.smcromania.ro



UK

SMC Pneumatics (UK) Ltd
Vincent Avenue, Crownhill, Milton Keynes, MK8 0AN
Phone: +44 (0)800 1382930 Fax: +44 (0)1908-555064
E-mail: sales@smcpneumatics.co.uk
http://www.smcpneumatics.co.uk



Denmark

SMC Pneumatik A/S
Knudsminde 4B, DK-8300 Odder
Phone: +45 70252900, Fax: +45 70252901
E-mail: smc@smc-pneumatik.dk
http://www.smcdk.com



Italy

SMC Italia S.p.A
Via Garibaldi 62, I-20061 Carugate, (Milano)
Phone: +39 (0)2-92711, Fax: +39 (0)2-9271365
E-mail: mailbox@smcitalia.it
http://www.smcitalia.it



Russia

SMC Pneumatik LLC.
4B Sverdlovskaja nab, St. Petersburg 195009
Phone: +7 812 718 5445, Fax: +7 812 718 5449
E-mail: info@smc-pneumatik.ru
http://www.smc-pneumatik.ru



Estonia

SMC Pneumatics Estonia OÜ
Laki 12, 106 21 Tallinn
Phone: +372 6510370, Fax: +372 65110371
E-mail: smc@smcpneumatics.ee
http://www.smcpneumatics.ee



Latvia

SMC Pneumatics Latvia SIA
Smerla 1-705, Riga LV-1006
Phone: +371 781-77-00, Fax: +371 781-77-01
E-mail: info@smclv.lv
http://www.smclv.lv



Slovakia

SMC Priemyselná Automatizácia, s.r.o.
Námestie Matina Benku 10, SK-81107 Bratislava
Phone: +421 2 444 56725, Fax: +421 2 444 56028
E-mail: office@smc.sk
http://www.smc.sk



Finland

SMC Pneumatics Finland Oy
PL72, Tiistinniitytie 4, SF-02231 ESPOO
Phone: +358 207 513513, Fax: +358 207 513595
E-mail: smcfi@smc.fi
http://www.smc.fi



Lithuania

SMC Pneumatics Lietuva, UAB
Oslo g.1, LT-04123 Vilnius
Phone: +370 5 264 81 26, Fax: +370 5 264 81 26



Slovenia

SMC industrijska Avtomatika d.o.o.
Mirnska cesta 7, SLO-8210 Trebnje
Phone: +386 7 3885412 Fax: +386 7 3885435
E-mail: office@smc.si
http://www.smc.si



OTHER SUBSIDIARIES WORLDWIDE:

ARGENTINA, AUSTRALIA, BOLIVIA, BRASIL, CANADA, CHILE,
CHINA, HONG KONG, INDIA, INDONESIA, MALAYSIA, MEXICO,
NEW ZEALAND, PHILIPPINES, SINGAPORE, SOUTH KOREA,
TAIWAN, THAILAND, USA, VENEZUELA

<http://www.smc.eu>
<http://www.smcworld.com>

Interactive Catalog Replaces Catalog Pages

Honeywell Sensing and Control has replaced the PDF product catalog with the new **Interactive Catalog**. The **Interactive Catalog** is a power search tool that makes it easier to find product information. It includes more installation, application, and technical information than ever before.



**Click this icon to try the new
Interactive Catalog.**

Sensing and Control

Honeywell Inc.

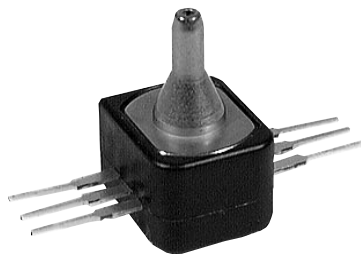
11 West Spring Street

Freeport, Illinois 61032

Pressure Sensors

Miniature Signal Conditioned

40PC Series



FEATURES

- Smallest amplified sensor package
- Minimal PCB space
- Fully signal conditioned
- Operating temperature range from -45° to $+125^{\circ}\text{C}$
- Silicon piezoresistive technology
- Monolithic design
- 6 Pin DIP package
- Port designed for O-ring interface
- Excellent media compatibility
- Accuracy of 0.2%

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Pressure Range	± 50 mm Hg	0-15 psi	0-100 psi	0-150 psi	0-250 psi
Overpressure, max.	± 170 mm Hg	45 psi	200 psi	300 psi	500 psi
Supply Voltage	5 VDC ± 0.25				
Supply Current	10 mA max.				
Output Source Current	0.5 mA max.				
Output Sink Current	1.0 mA max.				
Operating Temperature	-45° to $+125^{\circ}\text{C}$ (-49° to $+257^{\circ}\text{F}$)				
Storage Temperature	-55° to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67° to $+257^{\circ}\text{F}$)				
Hysteresis & Repeatability	0.15% Span, Typ.				
Ratiometricity (at 4.75 to 5.25 Supply Voltage)	$\pm 0.25\%$ Span, Typ.				
Output Load Capacitance	0.05 microtarads, max.				
Full Scale					
	-50 mm Hg	0.50 VDC Typ.			
	$+50$ mm Hg	4.50 VDC Typ.			
	All other pressure ranges	4.50 VDC Typ.			
Media Compatibility	P1 port	DRY GASES ONLY: Media must be compatible with epoxy based adhesive			
	P2 port	Media must be compatible with glass, silicon, stainless steel, invar, Sn/Ni plating or Sn/Ag solder			



Amplified

40PC SERIES ORDER GUIDE

Catalog Listing	Pressure Range psi	Pressure Type	Lead Style
40PC001B1A	± 50 mm Hg	Bi-directional	1-unformed
40PC001B2A	± 50 mm Hg	Bi-directional	2-formed away from port
40PC001B3A	± 50 mm Hg	Bi-directional	3-formed towards port
40PC015G1A	0-15	Gage	1-unformed
40PC015G2A	0-15	Gage	2-formed away from port
40PC015G3A	0-15	Gage	3-formed towards port
40PC100G1A	0-100	Gage	1-unformed
40PC100G2A	0-100	Gage	2-formed away from port
40PC100G3A	0-100	Gage	3-formed towards port
40PC150G1A	0-150	Gage	1-unformed
40PC150G2A	0-150	Gage	2-formed away from port
40PC150G3A	0-150	Gage	3-formed towards port
40PC250G1A	0-250	Gage	1-unformed
40PC250G2A	0-250	Gage	2-formed away from port
40PC250G3A	0-250	Gage	3-formed towards port

Note: For tubing and O-Ring interface recommendations, see the 40PC Application Note in the Reference Section.

Pressure Sensors

Miniature Signal Conditioned

40PC Series

OUTPUT PERFORMANCE CHARACTERISTICS @ 25°C, 5VDC (unless otherwise noted)

Pressure Range	Null (VDC)	Span (VDC)	Sensitivity, Typ.	Linearity, B.F.S.L. (% Span) Max.		Null Shift (% Span) Max.	Span Shift (% Span) Max.	Combined Null and Span Shift (% Span) Max.
±50 mm Hg	2.50 ± 0.050	4.00 Typ.	40.0 mV/mm Hg	0.80	+25° to +50°C	±1.50	±1.50	—
					+25° to 0°C	±1.50	±1.50	—
					+25° to -18°C	±2.00	±0.75	±2.00
0 to 15 psi	0.50 ± 0.11	4.00 ± 0.11	266.6 mV/psi	0.20	+25° to +63°C	±2.00	±0.75	±2.00
					+25° to -45°C	±2.75	±1.00	±3.00
					+25° to +85°C	±2.75	±1.00	±3.00
					+25° to +125°C	—	—	—
					+25° to -18°C	±1.25	±0.75	±1.50
0 to 100 psi	0.50 ± 0.04	4.00 ± 0.09	40.0 mV/psi	0.10	+25° to +63°C	±1.25	±0.75	±1.50
					+25° to -45°C	±2.00	±1.00	±2.50
					+25° to +85°C	±2.00	±1.00	±2.50
					+25° to +125°C	±3.00	±2.00	±3.00
0 to 150 psi	0.50 ± 0.04	4.00 ± 0.07	26.6 mV/psi	0.10	+25° to -18°C	±0.75	±0.75	±0.75
					+25° to +63°C	±0.75	±0.75	±0.75
					+25° to -45°C	±1.00	±1.00	±1.00
					+25° to +85°C	±1.00	±1.00	±1.00
					+25° to +125°C	±1.50	±1.50	±1.50
0 to 250 psi	0.50 ± 0.04	4.00 ± 0.07	16.0 mV/psi	0.10	+25° to -18°C	±0.75	±0.75	±0.75
					+25° to +63°C	±0.75	±0.75	±0.75
					+25° to -45°C	±1.00	±1.00	±1.00
					+25° to +85°C	±1.00	±1.00	±1.00
					+25° to +125°C	±2.00	±2.00	±3.00

PERFORMANCE SPECIFICATIONS, TEMPERATURE/ACCURACY

Temperature Range	Total Accuracy (% Span) Max.			
	0 to 15 psi	0 to 100 psi	0 to 150 psi	0 to 250 psi
25°C	±0.4 (RSS)	±0.2 (RSS)	±0.2 (RSS)	±0.2 (RSS)
-18° to +63°C	±4.0	±2.5	±2.0	±2.0
-45° to +85°C	±4.0	±2.5	±2.0	±2.0
-45° to +125°C		±3.0	±2.5	±3.0

Note 1: Accuracy at 25°C is defined as RSS error for linearity, hysteresis, and repeatability.

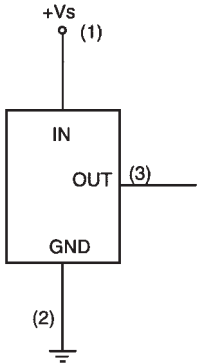
Note 2: Total accuracy is the maximum deviation from the 25°C reference transfer function at any pressure or temperature over the specified ranges. This calculation includes null, span, linearity, hysteresis, repeatability, null shift, and span shift.

Pressure Sensors

Miniature Signal Conditioned

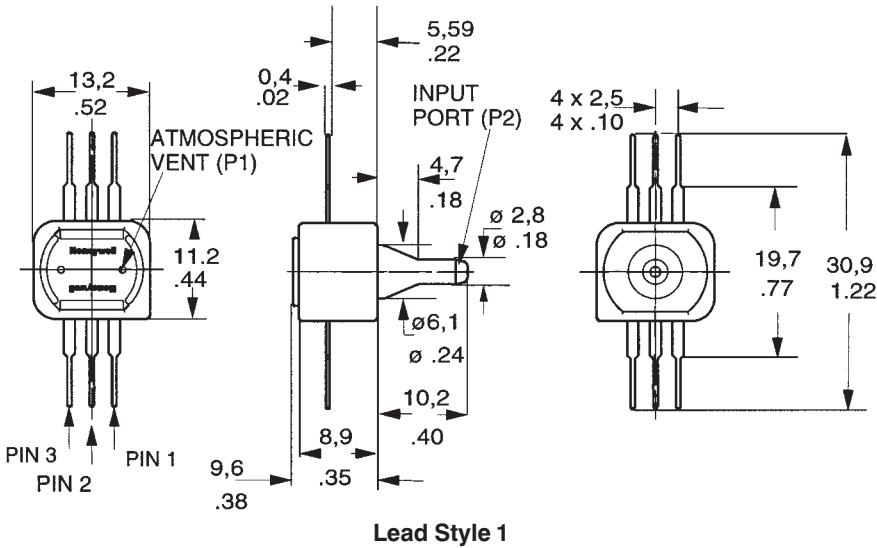
40PC Series

ELECTRICAL CONNECTION



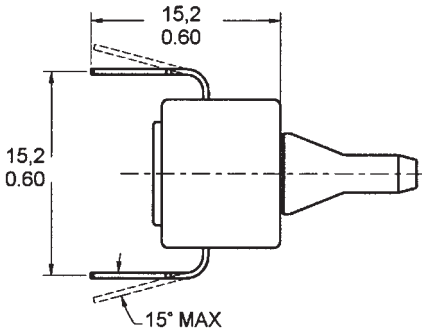
- NOTES:**
1. Square corner marks pin 1 (Vs).
 2. Output is short circuit protected.

MOUNTING DIMENSIONS (for reference only) mm/In.

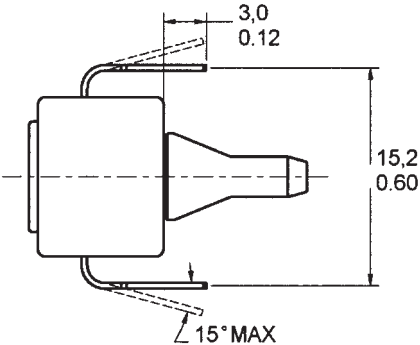


- NOTE:**
- P1 - DRY GASES ONLY: Media must be compatible with epoxy based adhesive.
- P2 - Media must be compatible with glass, silicon, stainless steel, invar, Sn/Ni plating or Sn/Ag solder.

Lead Style 2



Lead Style 3



Amplified

Mouser Electronics

Authorized Distributor

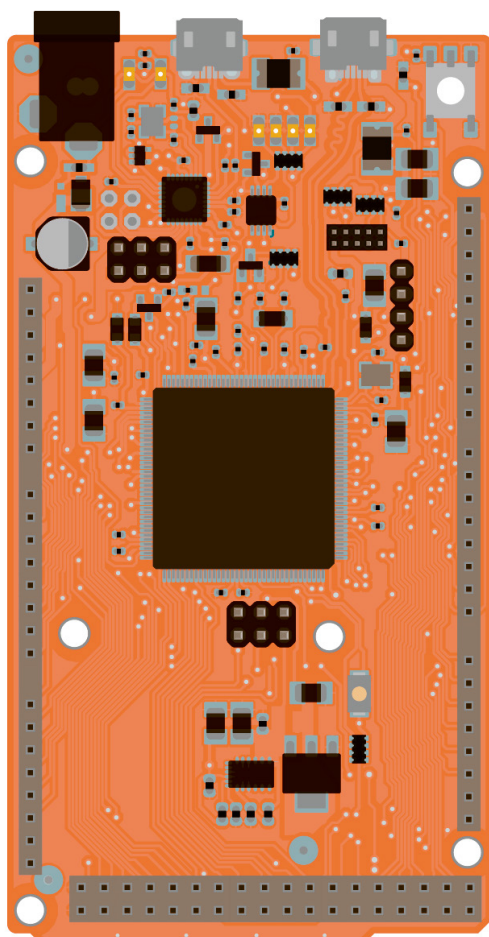
Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

Honeywell:

[40PC001B1A](#) [40PC001B2A](#) [40PC001B3A](#) [40PC006G1A](#) [40PC006G2A](#) [40PC015G1A](#) [40PC015G2A](#)
[40PC015V1A](#) [40PC015V2A](#) [40PC015V3A](#) [40PC030G1A](#) [40PC030G2A](#) [40PC100G1A](#) [40PC100G2A](#) [40PC100G3A](#)
[40PC150G1A](#) [40PC150G2A](#) [40PC150G3A](#) [40PC250G1A](#) [40PC250G2A](#) [40PC250G3A](#) [40PC500G1A](#)
[40PC500G2A](#) [40PC015G3A](#) [40PC150G1AT](#)

Orange

what's next ?™



Interfaces

Serial	4xUART (1 shared w/ USB), 2xTWI, 1xSPI, 1xCAN
USB	2.0 host/device/HID

General

Input Voltage	5V (USB/ext.) or 7~12V (Vin)
Power Consumption	100mA
PCB size	53.3mm x 101.5mm
Weight	34g

Microcontroller

Microcontroller	AT91SAM3X8E
Architecture	Microchip ARM Cortex- M3
Operating Voltage	3.3V
Flash Memory	512kB
SRAM	96kB (two banks: 64kB and 32kB)
Clock Speed	84MHz
I/O Total	54
Digital (max)	54
PWM (max)	12
Analog (max)	12 ADC + 2 DAC (12-bit resolution)
DC Current per I/O pins	130mA (I/O pins) 800mA (3.3V pin) 800mA (5V pin)