

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccatronica
(Mechatronic Engineering)

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Banco Motori Elettrici



Relatore

prof. Massimo Violante

Candidato

Marian George Mariut

Anno accademico 2017/2018

*Sentiti ringraziamenti a
coloro che mi hanno
sostenuto e che mi hanno
aiutato a conseguire questo
traguardo...*

Indice

Introduzione

Capitolo 1 - Cenni teorici

1.1 Motore Elettrico Brushless

1.1.1 Nozioni generali

1.1.2 Principio di funzionamento

1.1.2.1 Conservazione dell'energia

1.1.3 Fisionomia del motore brushless

1.2 Motore Ibrido

1.2.1 Nozioni generali

1.2.2 Principio di funzionamento

1.2.3 Tipologia

1.2.3.1 Ibrido Serie

1.2.3.2 Ibrido Parallelo

1.2.3.3 Ibrido Misto

1.3 Il testing

Capitolo 2 - Specifiche del lavoro eseguito

2.1 Introduzione

2.2 Obiettivo

2.3 Specifiche motore elettrico

2.3.1 Condizioni ambientali

2.4 Normativa

2.5 Modalità di esecuzione prove

2.5.1 Shipping storage temperature exposure (SSTE)

2.5.2 Low temperature operating Endurance (LTOE)

2.5.3 High temperaure operating endurance (HTOE)

2.5.4 Power thermal cycle endurance (PTCE)

2.5.5 Thermal Shock (TS)

2.6 Sviluppo banco prova

2.6.1 Camera climatica

2.6.2 Chiller

2.6.3 Distributore fluido refrigerante

2.6.4 Simulatore batteria

2.6.5 Quadro potenza

2.6.6 Quadro di controllo

Capitolo 3 - Strumenti usati

3.1 Panoramica

3.2 Ricerche

3.3 Simulazioni

3.4 Programmare

3.4.1 LabVIEW

Capitolo 4 - Lavoro eseguito

4.1 Introduzione

4.2 Progettazione e ricerca di componenti

4.3 Programmazione LabVIEW

4.3.1 Alimentatore

4.3.2 Simulatore batteria

4.3.3 Motore elettrico

4.3.4 Camera climatica

4.3.5 Attuatore valvola e misuratore di portata

4.3.6 Chiller

4.4 Montaggio componenti

4.5 Verifica esecuzione prove

Conclusioni

Bibliografia

INTRODUZIONE

Nel mondo, le macchine hanno un ruolo sempre più importante nella vita dell'uomo. Fin dall'antichità l'uomo ha usufruito di macchine per aumentare la produttività per un benessere comune. La prima vera rivoluzione si ha con la scoperta di fonti di energia, in grado di sviluppare una grande quantità di potenza.

Con il loro utilizzo si è costruita macchine in grado di trasformare l'energia termica in lavoro. Nel mondo di oggi, il mondo delle macchine, è tutelato da una serie di normative che obbligano i produttori a garantire un determinato comportamento della macchina stessa prodotta.

Ogni nuovo prodotto ai giorni nostri ha tutto un ciclo prima che esso possa essere messo sul mercato, in particolare una volta prodotto il prototipo si eseguono test affinché si possa capire il reale comportamento della macchina in condizioni reali. In questa trattazione si approfondirà proprio questo aspetto: il testing.

In particolare il progetto dell'insieme di macchine che esegue i test sull'oggetto in esame: un motore elettrico brushless, che andrà poi montato in un motore ibrido.

Gli obiettivi di questa tesi sono i seguenti:

- Analizzare i dati con una pianificazione del lavoro, in particolare analizzare l'oggetto e progettare tutto il sistema che servirà per eseguire i test su di esso
- Costruzione di un banco in grado di eseguire test sull'oggetto in esame, come previsto dalle norme fornite
- Esecuzione prove e verifica della loro validità

Prima di analizzare il progetto verrà descritto il campo di applicazione del motore elettrico spiegando il principio di funzionamento dello stesso e il suo utilizzo nel campo della propulsione ibrida.

La tesi è strutturata:

- Capitolo 1 – Cenni teorici
Tratta la descrizione del funzionamento dell'oggetto su cui verranno effettuati i test e del suo ruolo nella propulsione ibrida, non prima però di averne descritto il suo funzionamento.
Successivamente verrà descritto il mondo del *testing*.

- Capitolo 2 – Specifiche del lavoro eseguito
Viene descritto l'obiettivo di tale lavoro con particolare riguardo alle norme da rispettare per eseguire correttamente i test .
Verrà anche analizzata la progettazione del sistema che precede la costruzione del sistema con riguardo al motore preso in esame e la modalità di esecuzione delle prove
- Capitolo 3 – Strumenti usati
Descrizione delle macchine usate per eseguire i test e quindi dell'intero sistema, presentando anche la progettazione software con un piccolo riguardo anche all'ambiente dove verranno effettuati i test
- Capitolo 4 – Lavoro eseguito
Verrà presentato il lavoro eseguito per la realizzazione di tale sistema nelle sue varie fasi
- Le conclusioni di questa tesi riassumono le capacità acquisite con risultati ottenuti dalla macchina costruita

Capitolo 1

Cenni Teorici

1.1 Motore Brushless

1.1.1 Nozioni Generali

Il motore elettrico a corrente continua "brushless" è una macchina che trasforma l'energia elettrica in energia meccanica.

Viene usato in diverse applicazioni tra le quali: auto motive, aeronautico, medicale, industria dell'automazione etc.

Viene appunto chiamato brushless per assenza di spazzole, perché un'unità elettronica genera tre onde sfasate di 120° sugli avvolgimenti dello statore generando un campo magnetico rotante.

Non avendo organi in contatto (assenza di spazzole) non necessita di manutenzione se non straordinaria.

1.1.2 Principio di funzionamento

I motori convertono l'energia elettrica in energia meccanica attraverso i principi del magnetismo e dell'elettromagnetismo.

Lo stesso principio viene essenzialmente usato in tutti i motori elettrici per la conversione dell'energia.

In un motore "brushless" l'interazione magnetica avviene tra gli avvolgimenti dello statore, i magneti permanenti del rotore e la struttura che li avvolge in acciaio ferromagnetico.

Un cavo attraversato da corrente, immerso in un campo magnetico, subisce una forza, detta forza di Lorentz

$$\vec{F} = \vec{I}L \times \vec{B}$$

Dove I è il vettore corrente che attraversa il cavo, L è la lunghezza del cavo e B è il vettore del campo magnetico. La regola della mano destra definisce la direzione della forza generata F .

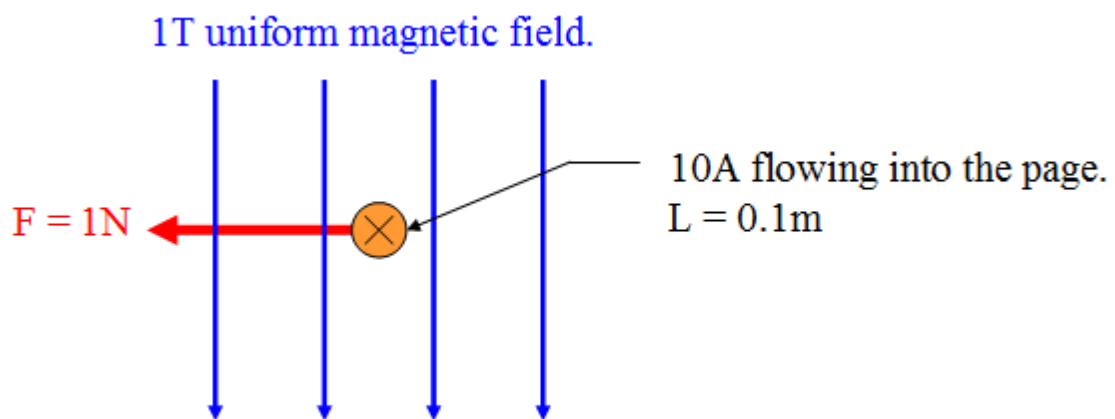


Figura1: Forza di Lorentz generata su un singolo cavo attraversato da una corrente immerso in un campo magnetico costante

Un'altra legge della fisica viene presa in considerazione per la trasformazione dell'energia, in particolare: una variazione di flusso magnetico nel tempo genera su un circuito una differenza di potenziale agli estremi.

$$V = \frac{d\Phi}{dt} = \Delta B \cdot L \cdot v$$

dove V è la differenza di potenziale indotta, ΔB è la variazione di campo magnetico, L è la lunghezza della spira e v è la velocità della spira.

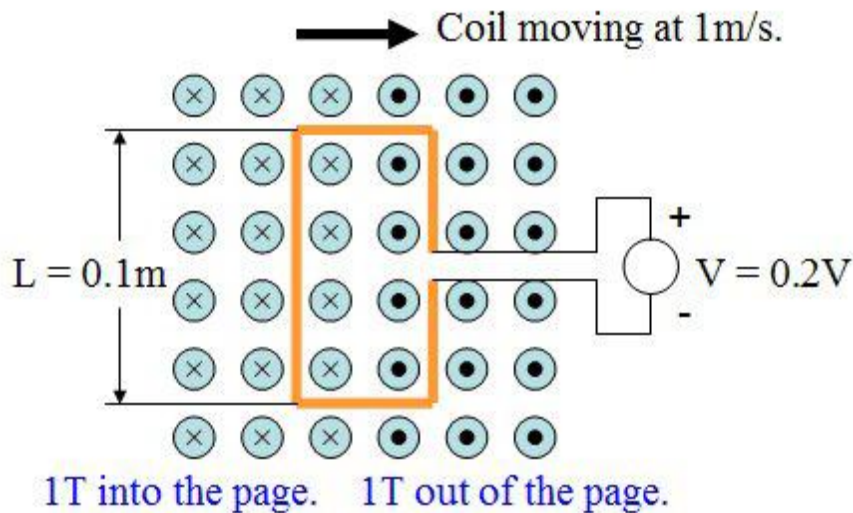


Figura 2: Movimento di un avvolgimento attraverso un campo magnetico

1.1.2.1 Conservazione del Energia

La forza di Lorentz dimostra come si può generare una forza grazie alla corrente. La seconda formula mette in relazione la velocità con la tensione ai capi del conduttore. Nel motore questi due principi agiscono simultaneamente.

Le due potenze, meccanica ed elettrica, possono lavorare in maniera eguale in una direzione o viceversa. Invertendo la direzione della corrente si crea una forza che contrasta la velocità, rallentando il motore. La stessa corrente può ricaricare le batterie dalle quali viene generata generando così una frenata rigenerativa.

1.1.3 Fisionomia del motore "brushless"

Il motore elettrico brushless si usa per indicare un motore sincrono a magneti permanenti senza spazzole.

La potenza viene fornita da un generatore di corrente alternata o continua.

Chiaramente per il principio prima elencato, più la tensione si alza, più è possibile arrivare a velocità angolari sempre più spinte a parità di flusso e di lunghezza dell'avvolgimento.

D'altro canto con avvolgimenti più grossi, è possibile arrivare a correnti passanti più elevate, aumentando così le forze generate; questo però andrà a variare in primis la dimensione del motore a parità di lunghezza delle spire.

Lo statore mantiene la forma tipica di un motore sincrono ed asincrono, in particolare composto da un avvolgimento trifase distribuito nelle cave.

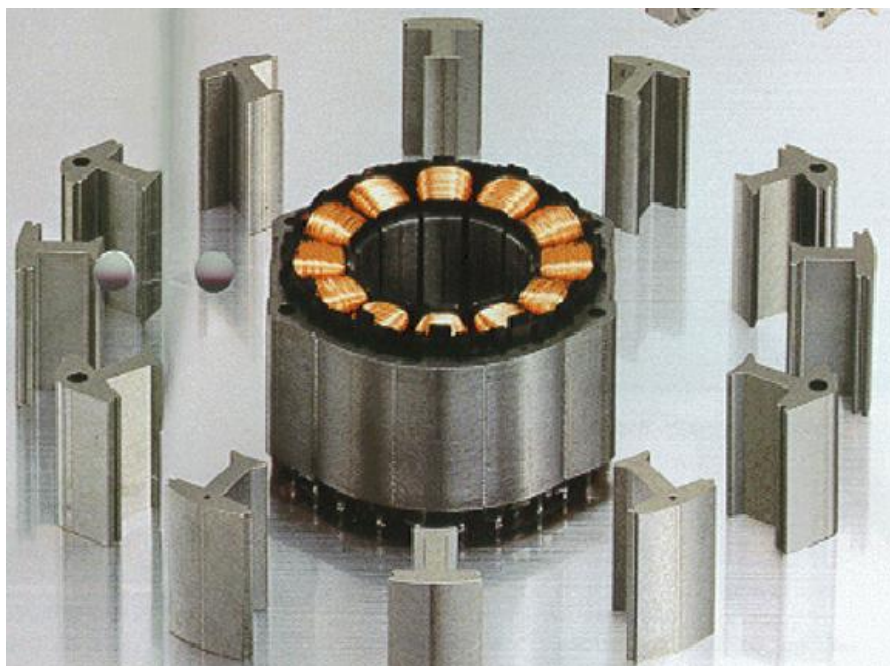


Figura 3 : Illustrazione di uno statore di un motore sincrono.

Il seguente motore, come prima detto, può anche funzionare come generatore di corrente continua con commutatore elettronico. Questo vale in particolare per i motori comandati con la tecnica detta *"trapezoidale"* .

Il rotore è costituito da un albero con sopra calettata una serie di magneti permanenti.

Nei motori brushless il campo prodotto dai magneti permanenti è costante in modulo, ma, *"inseguendo"* il campo magnetico rotativo dello statore diventa anche esso rotante.

Per ottenere questo risultato gli avvolgimenti sullo statore vengono alimentati da un inverter, costituito da un sistema di controllo che gestisce degli interruttori che alimentano i tre diversi avvolgimenti.

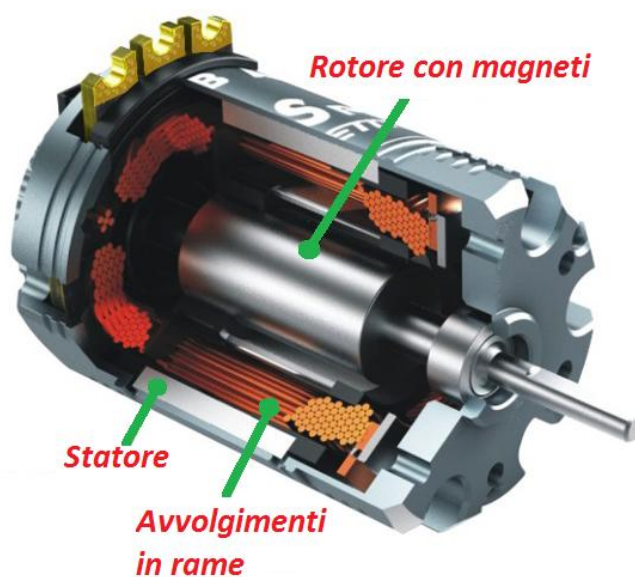


Figura 4 : Rappresentazione di un motore brushless sezionato

Le correnti, nei 3 diversi avvolgimenti, si caratterizzano per essere quasi delle onde quadre, sfasate di 120° l'una dall'altra. In ogni istante solo 2 fasi sono percorse da corrente. Le correnti di statore, che percorrono 2 fasi per volta, generano un campo magnetico con poli N'-S' che interagiscono con i poli del rotore N-S generando una coppia meccanica.

Galileo Ferraris scoprì che per generare un campo magnetico rotante servissero 3 avvolgimenti sfasati di 120° con una corrente che li attraversasse della stessa intensità anche questa sfasata di 120° .

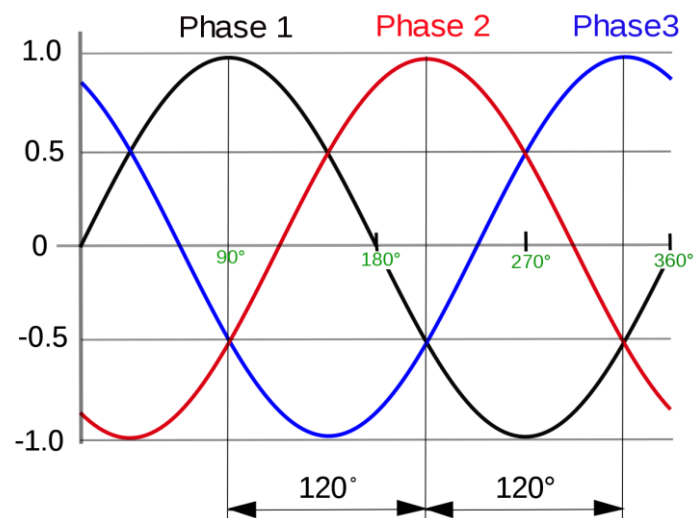


Figura 5 : Andamento delle correnti nei 3 diversi avvolgimenti

Affinché il motore brushless generi coppia, però, non è strettamente necessario che l'intensità del campo magnetico generato sia sempre uguale. Difatti avendo come fonte di energia un generatore di corrente costante si può solo alimentare gli avvolgimenti nel tempo in 3 modi

- senso positivo
- senso negativo
- collegato a massa

Si arriva così a costruire un diagramma di fase del seguente tipo:

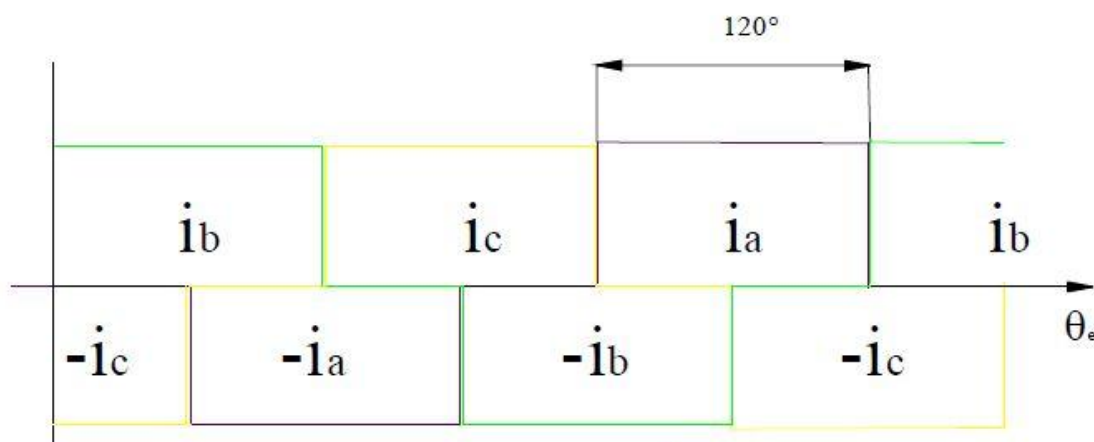


Figura 6 : Andamento delle correnti nei 3 diversi avvolgimenti

Generalmente il campo magnetico del rotore è sfasato di 90° rispetto a quello dello statore. In particolare lo sfasamento parte da 120° passando per 90° arrivando a 60° , da qui poi lo statore cambia configurazione e il ciclo si ripete. La coppia massima si ha sul valore di 90° di sfasamento dei 2 campi magnetici, come conseguenza si ha un'ondulazione della coppia in funzione dell'angolo di sfasamento tra i due campi.

Quest'ultima può essere resa trascurabile tramite uso di tre regolatori di corrente.

Per commutare opportunamente le correnti vengono usati diversi metodi: in presenza di sensori o senza essi.

Ad alte velocità, la commutazione, che in teoria dovrebbe essere istantanea, subisce una leggera modifica. Questo perché un avvolgimento è modellabile come un circuito R-L con una determinata costante di tempo τ non nulla, andando a modificare l'andamento della coppia, che subisce un'ondulazione.

Quest'ultima però non genera una modifica sostanziale al moto rotatorio dell'albero, grazie all'effetto dell'inerzia meccanica del sistema.

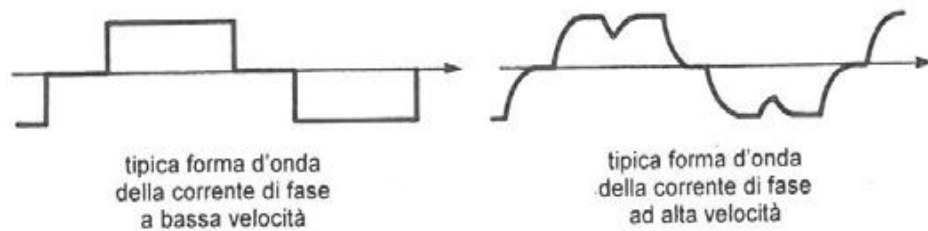


Figura 7 : Andamento della corrente in un avvolgimento a bassa ed alta velocità

Si può in generale dire che i motori brushless presentano i seguenti vantaggi

- dimensioni più piccole a parità di potenza;
- più elevate prestazioni dinamiche
- non necessitano di ulteriori dispositivi di avviamento

Il motore però subisce le seguenti perdite:

- perdite ohmiche di statore
- Perdite per isteresi e correnti parassite nel ferro laminato nello statore , rotore e cilindro metallico che può contenere il rotore
- Perdite meccaniche per attrito e ventilazione

I rendimenti dei motori brushless sono sensibilmente più alti rispetto alle altre tipologie di motori elettrici. Per potenze elevate(MW) la loro resa può anche arrivare a 98%

1.2 Motore Ibrido

1.2 .1 Nozioni Generali

Un veicolo ibrido viene definito così quando esso ha un sistema di propulsione a due o più componenti che generano potenza motrice.

Negli ultimi anni lo sviluppo ha portato alla realizzazione di propulsioni ibridi dotati di una parte elettrica e una endotermica.

Per definizione le due modalità devono coesistere affinché si possa generare l'energia meccanica di cui si ha bisogno. Viene usato fondamentalmente nel campo auto motive perché sfruttano a pieno le proprie potenzialità.

1.2.2 Principio di funzionamento

Il motore ibrido genera energia meccanica da 2 propulsori:

- motore a combustione interna
- motore elettrico

La prima categoria è composta da un normale motore endotermico generalmente a benzina.

L'idea di questa combinazione è quella di aumentare la resa della macchina e di ridurre le emissioni.

Nella maggior parte dei casi si sceglie appunto un motore a benzina perché emana molti meno inquinanti del gasolio, basti pensare che il motore endotermico alimentato a gasolio, dopo le ultime direttive mondiali, ha "i giorni contati". La peculiarità di questi motori consiste nel fatto che emanano più agenti inquinanti, in particolare gli NOx e soprattutto il particolato.

Nonostante le precedenti ragioni nel industria auto motive ci sono esempi anche di motori ibridi a gasolio sfruttando la miglior resa del motore endotermico a gasolio.

Il propulsore elettrico invece fa affidamento su un motore elettrico brushless, alimentato da batterie.

I motori ibridi hanno anche la capacità di recuperare parte dell'energia cinetica in frenata che altrimenti andrebbe persa per generazione di calore nell'impianto frenante, grazie ad un sistema chiamato KERS.

1.2.3 Tipologia

La coesistenza dei due propulsori si ha in tre modalità:

- Ibrido Serie
- Ibrido Parallelo
- Ibrido Misto

1.2.3.1 Ibrido Serie

In questa configurazione il motore termico viene utilizzato solamente per generare energia elettrica che servirà per generare coppia da fornire alle ruote.

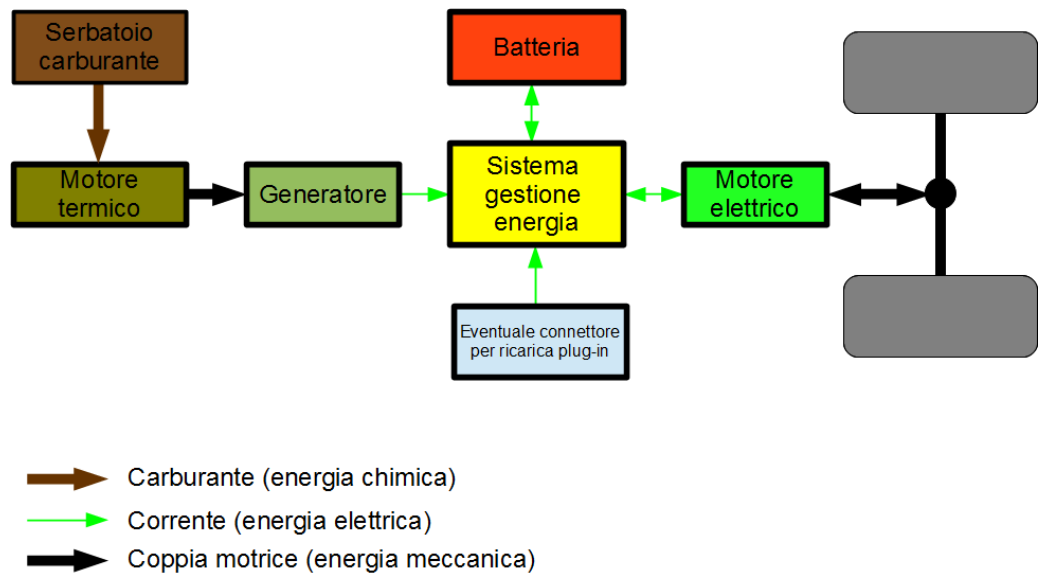


Figura 8: Schema di motore ibrido serie

Dallo schema si può notare come l'energia prodotta dal motore termico possa essere direttamente utilizzata dal motore elettrico ma anche immagazzinata nelle batterie. Si ha il vantaggio di poter utilizzare il motore termico nella condizione di miglior resa, in quanto si ha per una sola velocità, non gravandolo delle continue variazioni di velocità alla quale viene sottoposto il veicolo. Per questo motivo sono particolarmente adatti per i circuiti urbani dove le velocità, in media, sono basse. Questo sistema sfrutta a pieno la propulsione elettrica dove si ha un maggior controllo di coppia sul motore.

Il veicolo in stato di quiete spegne automaticamente il motore termico.

Per contro questa tipologia non è adatta a sostenere grandi velocità in un regime costante, questo perché l'energia prodotta dal motore termico viene usata tutta per generare corrente che alimenta il motore elettrico, avendo però una conversione di energia in più soggetta a perdite sfruttando poco, se non pochissimo, il sistema di recupero energia in frenata. Inoltre tutta la trasmissione di moto deve essere progettata per supportare la massima potenza dei veicolo

Attualmente sul mercato c'è un solo esempio di automobile con propulsione ibrida serie.

1.2.3.2 Ibrido Parallelo

Questa configurazione, invece, è caratterizzata da un nodo meccanico, collegato alle ruote, nel quale arriva potenza meccanica sia dal motore elettrico, sia dal motore termico.

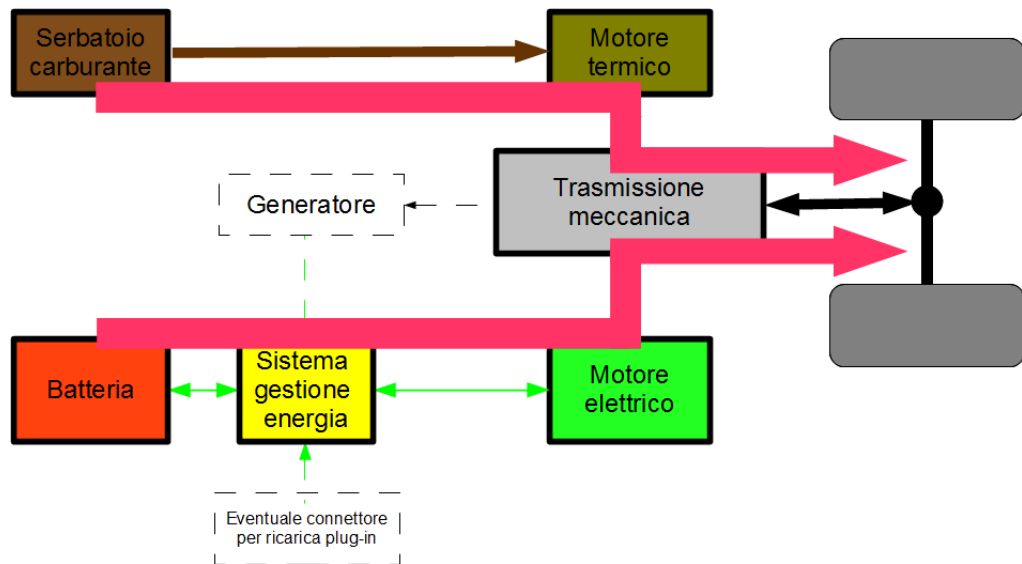


Figura 9: Schema di motore ibrido parallelo

Generalmente la più usata dai produttori di auto ibride.

Si sceglie di solito di avere un supporto elettrico di alcuni kW. Il motore elettrico viene usato solo nelle condizioni in cui il motore a combustione interna avrebbe una resa molto bassa, a bassi ed alti giri, con particolare riguardo alla partenza da fermo. In questo caso si ha una resa maggiore del veicolo ad una velocità di crociera, rispetto alla configurazione precedente, come ad esempio nelle tratte autostradali. Inoltre la parte elettrica grava molto meno, come peso, rispetto alla precedente configurazione, con una notevole versatilità da parte del sistema di scegliere quale motore sia responsabile della trazione.

Presenta però lo svantaggio di utilizzare il motore a combustione interna in qualsiasi situazione, se le batterie sono scariche, con notevole perdita di resa, dato anche l'aumento di massa che aggiunge la parte elettrica.

Il sistema di controllo risulta parecchio complesso e non è possibile ricaricare le batterie a veicolo fermo dato che il motore è collegato direttamente all'albero presente sulle ruote.

1.2.3.3 Ibrido Misto

In questa configurazione si ha la coesistenza delle due configurazioni precedenti avendo il vantaggio di migliorare notevolmente la resa portando un consumo di carburante migliore di entrambe le configurazioni precedenti.

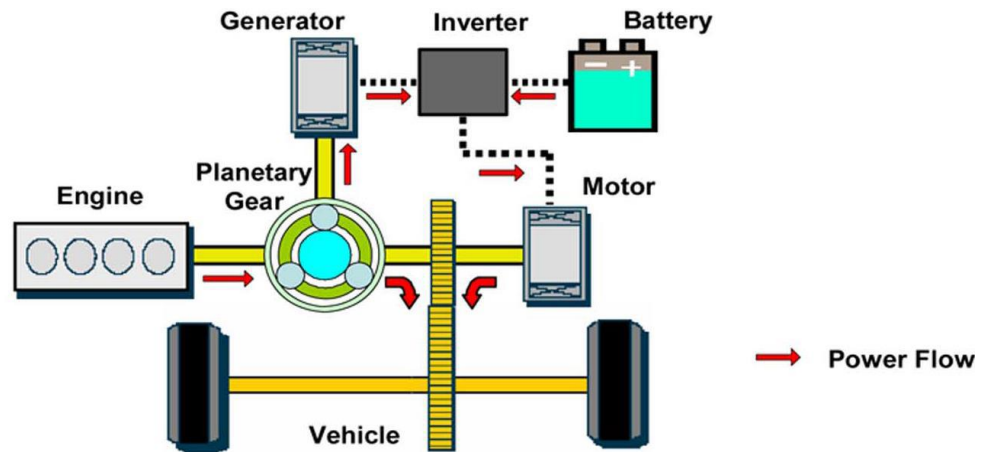


Figura 10: Schema di motore ibrido misto

In questo caso però si ha un sistema di controllo ancora più complicato con un dimensionamento di tutte le parti alla massima potenza prodotta dal propulsore; questo si ripercuote sul costo del veicolo che risulterà più costoso.

Inoltre questa categoria può essere dotata di un miglioramento portandola ad un livello successivo, rendendola plug-in. In pratica si può ricaricare la batteria a veicolo fermo e senza usare come fonte di energia il motore a combustione interna, ma collegando semplicemente le batterie ad una presa di corrente opportuna.

Grazie a questi motori si riesce ad innalzare sensibilmente la resa del propulsore stesso, con una sensibile diminuzione di emissioni di agenti inquinanti. I limiti di questi sistemi sono dovuti ad un sistema di stoccaggio dell'energia elettrica attraverso batterie che hanno un rapporto volume/potenza ancora troppo elevato. Di conseguenza portando due propulsori di natura diversa sullo stesso veicolo si alza sensibilmente la massa del veicolo stesso. Inoltre il sistema di controllo risulta parecchio complesso.

1.3 Il testing

Il mondo dei test è molto ampio e prende in considerazione innumerevoli campi. In questo caso prendiamo in considerazione solo quelli fatti su macchine.

Il *testing* si occupa di validare il corretto funzionamento della macchina o oggetto prodotto. Si prendono in considerazione i cicli che deve affrontare l'oggetto stesso e anche le condizioni al contorno: ambientali, e di funzionamento stesso della macchina.

A volte vengono categorizzati e vengono citate delle vere e proprie norme per garantire il buono stato di funzionamento dell'oggetto o macchina stessa.

Innanzitutto ci sono diverse categorie di test

- test che vengono fatti su ogni prodotto realizzato
vengono, appunto, fatti su ogni prodotto realizzato dall'azienda in questione e lo si fa per verificarne il corretto funzionamento prima del loro inserimento sul mercato.
- test su una parte dei prodotti
vengono eseguiti su una frazione di prodotti eseguiti; il numero dipende dall'azienda e dall'applicazione in generale.
Questi test vengono fatti per testare il corretto funzionamento dei prodotti, che vanno spediti spesso in lotti, per poi essere messi sul mercato.
- test che vengono effettuati poche volte per prodotto
in questa categoria rientrano i test analizzati in questa trattazione, in particolare sono test per verificare la corretta progettazione del prodotto stesso. Possono durare anche giorni mentre i test precedenti vengono fatti per uno o pochi cicli del prodotto stesso.

Dipendono molto dalla categoria del prodotto ed è particolarmente difficile categorizzarli.

Nella terza categoria si hanno inoltre i test cosiddetti distruttivi, dove l'oggetto da testare viene appunto portato al suo limite, distruggendolo.

Capitolo 2

Specifiche del lavoro eseguito

2.1 Introduzione

Il sistema sviluppato in questa tesi è un insieme di componenti che danno origine ad un banco per l'esecuzione di prove su motori brushless. In questo caso il cliente richiede al costruttore cosa dovrà fare il banco affinché possa eseguire correttamente i test di prova sul componente preso in esame. Appare quindi necessario descrivere il problema in questione con la conseguente descrizione della norma che illustra le modalità delle prove.

Nella seconda parte si analizza in particolare la progettazione di tale sistema.

In questi casi, le aziende che vengono incaricate di costruire tali macchine, spesso sono oggetto di giuramenti presso le prime aziende per quanto riguarda la divulgazioni di informazioni.

Il mondo dello sviluppo deve essere ben protetto in modo da evitare dispersioni di informazioni che andrebbero a compromettere il valore di tale lavoro.

Nel nostro caso l'azienda per la quale abbiamo lavorato ha chiesto espressamente di non divulgare le informazioni riguardanti il funzionamento non solo del banco ma anche dei singoli componenti. L'attività svolta, però, è servita ad una crescita da parte di tutti coloro che hanno partecipato a tale progetto, trattandosi di una tematica mai trattata.

Questo aspetto non è marginale, anzi, in ogni progetto di cui si fa parte si imparano determinati concetti che potranno poi servire per altre attività.

2.2 Obiettivo

Il seguente lavoro si propone della costruzione di un banco per test su motori brushless, in particolare nella realizzazione del seguente hardware:

- Realizzazione di un quadro elettrico di distribuzione potenza interfacciato a simulatore batteria
- Quadro di acquisizione e controllo basato su piattaforma National Instruments
- Quadro di sensoristica dedicata

In particolare approfondiremo il secondo punto dove sono state eseguite delle attività di supporto presso l'azienda Custom 2.0.

Come abbiamo visto nel capitolo precedente il motore brushless è una macchina in grado di trasformare l'energia elettrica in energia meccanica grazie ad un generatore di corrente continua con l'ausilio dell'elettronica per la gestione della potenza.

Il motore brushless ha la capacità di avere un regime di velocità molto ampio, sforzando perciò la meccanica.

Le parti elettroniche, invece, sono sensibili alle alte e basse temperature.

Si propone quindi di eseguire i test sul seguente motore in un ambiente controllato, cioè in grado di variare le condizioni di temperatura ed umidità. In contemporanea si vogliono cambiare anche le condizioni di lavoro di tale motore.

Il motore è dotato di un circuito interno ad esso, ove passa il fluido refrigerante, in grado di asportare parte del calore prodotto dalle parti elettroniche affinché il sistema non vada in surriscaldamento. Si vuole quindi variare anche la seguente condizione all'interno dei test facendo variare, a portata costante, la temperatura del fluido refrigerante.

La parte più delicata del seguente motore è proprio la parte elettronica, potendo resistere fino a temperature di poco inferiori ai 120°C.

Il motore brushless, come tutti i motori elettrici, ha il pregio di non avere organi meccanici in contatto, con conseguente sviluppo di dissipazione di energia per attrito interno.

La dispersione termica di tale macchina riguarda solo le dispersioni di energia da parte degli avvolgimenti per effetto Joule e lo sviluppo di calore dei corpi volventi nei cuscinetti. Di per sé il motore elettrico è una macchina molto valida in grado di trasformare con efficienza l'energia elettrica in energia meccanica con ingombri molto ridotti rispetto ad altre macchine, con un ridotto sviluppo di calore.

2.3 Specifiche Motore Elettrico

Il motore elettrico ci viene fornito con i seguenti dati di targa:

- Tensione nominale pari a 48 Volt
- Potenza nominale 6000 Watt
- Potenza di picco massima 11000 Watt (massima di 10 secondi)
- Corrente nominale: 140 Ampère
- Corrente di picco: 200 Ampère
- Corrente nominale di fase: 140 [Arms]
- Corrente di picco di fase: 350 [Arms]
- Velocità massima senza carico 18000 giri al minuto
- Massima velocità di funzionamento 19000 giri al minuto
- Rendimento pari a 0.9
- Peso pari a 13 Kg senza puleggia
- Raffreddamento ad acqua

Un particolare riguardo dev'essere fatto per la tensione di alimentazione. Come detto in precedenza i motori brushless possono anche funzionare da generatori oltre che da motori.

Per questo motivo, in questi test, si sceglie di collegarli a coppie tramite trasmissione a cinghia. Nella coppia un motore funziona appunto da motore e l'altro da generatore, recuperando in buona percentuale l'energia spesa.

La tensione di alimentazione, nella condizione di motore, può però variare.

Viene espressamente riferito il campo di alimentazione di tale motore, sia per la parte di potenza che per la parte di controllo:

DESCRIZIONE	VALORE	UNITA DI MISURA
48V Tensione nominale in corrente continua	48	Volt
48V Tensione minima in corrente continua	24	Volt
48V Massima tensione in corrente continua	54	Volt
48V Tensione di arresto	58.6	Volt
12V Tensione nominale in corrente continua	14	Volt
12V Tensione minima in corrente continua	9	Volt
12V tensione massima in corrente continua	16	Volt
12V Tensione massima di arresto	18	Volt
12V Tensione minima di arresto	6	Volt

Inoltre viene riferito anche i dati di targa dell'inverter:

DESCRIZIONE	VALORE	UNITA DI MISURA
Frequenza	>10	[kHz]
Capacità condensatore	5,2	[mF]

L'azienda che ha richiesto tale macchina deve in generale fornire tutti i dati di targa ma anche il suo comportamento ai diversi regimi.

In questo caso noi siamo entrati in possesso di un file che descrive tutte le curve di coppia e potenza ai diversi regimi sia in modalità generatore che in modalità motore. Questo ci aiuta a capire il comportamento della macchina ai diversi regimi ma anche i limiti di tale motore.

2.3.1 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali in cui tale motore dev'essere sottoposto ai test riferiti sono le seguenti:

DESCRIZIONE	VALORE	UNITA DI MISURA
Intervallo temperatura aria	-40 ; +125	[°C]
Intervallo temperatura refrigerante	-40 ; +105	[°C]
Portata refrigerante	6	l/min
Umidità relativa	0 ; 100	%

Per poter eseguire correttamente i test c'è bisogno di un vero e proprio ambiente isolato in grado di garantire le temperature dell'aria e dell'umidità certificando tale dato.

Il refrigerante, nonché tutte le parti in contatto con esso, dovranno resistere a tali shock termici senza generare una variazione de refrigerante stesso.

Bisognerà quindi generare una portata di fluido costante variando la sua temperatura con opportuna distribuzione nei vari motori.

2.4 Normativa

La normativa utilizzata si applica generalmente a tutti i componenti in campo auto motive. Descrive la modalità di esecuzione dei test con una parte iniziale descrittiva di tutto quello che può riguardare la categoria del componente.

Un primo criterio risulta essere la modalità di usura nel tempo con calcolo del numero di numero di cicli ipotizzando un totale di spegnimento ed accensione di tale dispositivo nel lungo periodo, di solito tra i 10 e i 15 anni.

Altri criteri riguardano lo stato del componente, in particolare se sono presenti e in che parte componenti elettronici, dove viene utilizzato all'interno del veicolo, in quali condizioni di intervallo di temperatura viene a trovarsi e in quale intervallo risulta operativo.

Si indicano quelle che possono essere le condizioni ambientali standard di funzionamento quali Temperatura ed umidità.

In base al peso viene indicato il tempo minimo di shock al quale può essere sottoposto il componente nonché anche lo stato di vibrazione nel sistema considerando anche il suo grado di resistenza contro polvere ed acqua.

Viene valutato anche se il componente viene a contatto e in che maniera con luce solare e/o fango.

In base alla categoria in cui rientra il componente varierà la modalità di esecuzione della prova.

2.5 Modalità di esecuzione prove

Come detto in precedenza le prove sul componente vengono eseguite per un periodo più o meno lungo agendo sui parametri:

- Stato di funzionamento del motore
- Temperatura del refrigerante
- Temperatura ambiente
- Umidità

I cicli possono avere una ripetibilità variabile sullo stesso componente, tutto per identificare il comportamento di tale componente in condizioni critiche

I test risultano però di cinque tipi:

- Shipping Storage Temperature Exposure (SSTE)
- Low temperature Operating Endurance (LTOE)
- High temperature Operating Endurance (HTOE)
- Power Thermal Cycle Endurance (PTCE)
- Thermal Shock (TS)

2.5.1 Shipping Storage Temperature Exposure (SSTE)

Il seguente test viene effettuato per testare il comportamento del componente quando viene portato ad alte quote per tanto tempo e quando viene lasciato nei container sotto il sole a lungo.

In base alle classe di appartenenza del componente all'interno delle categorie prima elencate il test variano la durata e le Temperature in gioco.

Può essere eseguito in due modalità :

- Fredda - Calda

- Fredda

2.4.1.1 Fredda - Calda

Procedura

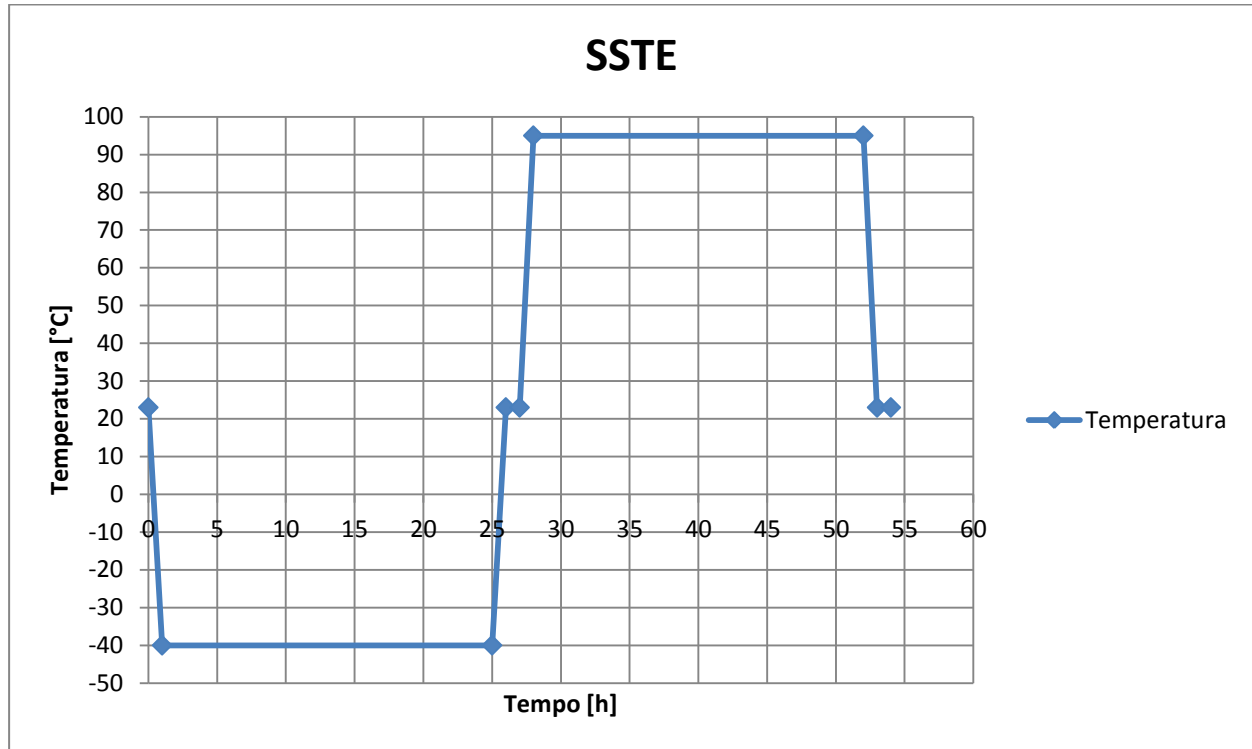
- a) Controllare il corretto funzionamento del motore a temperatura ambiente standard (RT) 23°C con portata refrigerante di 3 l/min
- b) Posizionare il componente in ambiente controllato
- c) Ridurre la temperatura ambiente da 23°C a -40°C in tempo 1 ora con portata refrigerante pari a 0
- d) Mantenere la seguente configurazione per 24 ore
- e) Aumentare la temperatura ambiente fino a 23°C in un intervallo di un'ora
- f) Avviare il componente con portata refrigerante pari a 3 litri al minuto monitorandolo per un'ora
- g) Spegnerne il componente e portata refrigerante
- h) Aumentare la temperatura ambiente fino a 95°C in un intervallo di tempo pari ad un'ora
- i) Mantenere la temperatura per 24 ore
- j) Diminuire la temperatura fino a 23°C in un'ora
- k) Avviare il componente con portata refrigerante pari a 3 litri al minuto monitorandolo per un'ora

2.4.1.2 Fredda

Procedura

- a) Controllare il corretto funzionamento del motore a temperatura ambiente standard (RT) 23°C con portata refrigerante di 3 l/min
- b) Posizionare il componente in ambiente controllato
- c) Ridurre la temperatura ambiente da 23°C a -40°C in tempo 1 ora con portata refrigerante pari a 0
- d) Mantenere la seguente configurazione per 24 ore

- e) Aumentare la temperatura ambiente fino a 23°C in un intervallo di un'ora
- f) Avviare il componente con portata refrigerante pari a 3 litri al minuto monitorandolo per un'ora



2.5.2 Low Temperature Operating Endurance (LTOE)

Il seguente test viene effettuato per simulare lo stress subito dal componente quando è in funzione con temperature esterne basse, subendo un surriscaldamento interno dovuto al suo funzionamento.

Procedura

- a) Posizionare il componente nella camera climatica
- b) Diminuire la temperatura fino alla temperatura di 40°C
- c) Avviare il componente in modalità stand-by per un'ora
- d) Avviare il componente nel suo utilizzo a regime con portata refrigerante pari a 3 litri al minuto per un'ora
- e) Ripetere i passi c e d per 24 volte per un totale di 48 ore

2.5.3 High Temperature Operating Endurance (HTOE)

Il seguente test si utilizza per monitorare la risposta del componente quando si riscontra un errore e per monitorare la tipologia di danni subita con l'aumentare dei cicli caratterizzati da alte temperature.

Procedura

- a) Posizionare il componente nella camera climatica
- b) Innalzare la temperatura fino a quella massima raggiungibile dal componente
- c) Avviare il componente con temperatura del refrigerante pari alla massima per la quale il componente può operare.
- d) Mantenere lo stato per 1300 ore

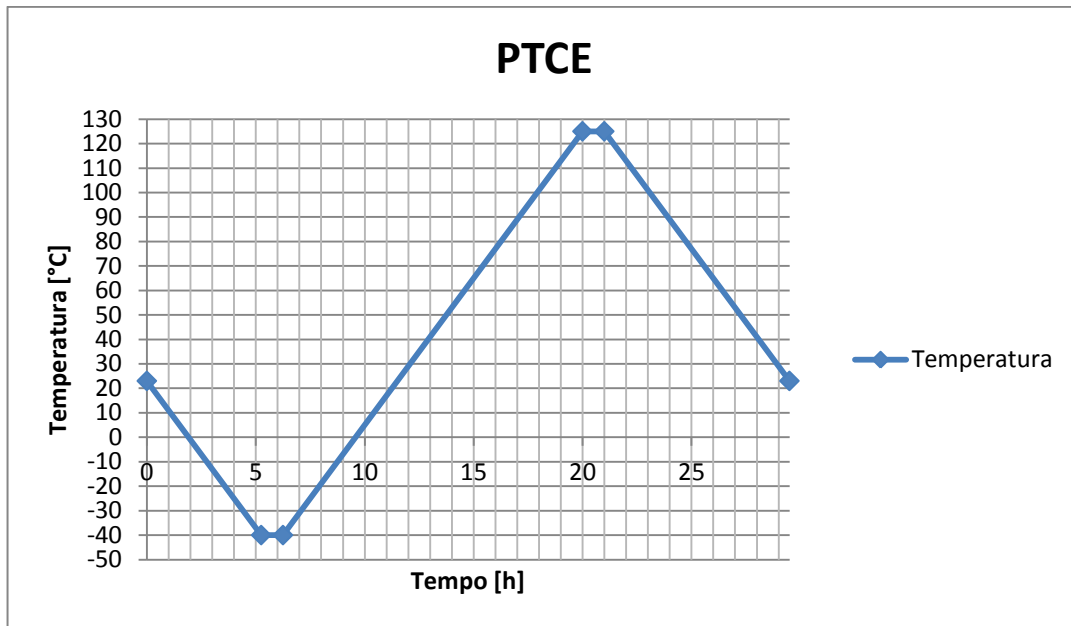
2.5.3 Power Thermal Cycle Endurance (PTCE)

Il seguente test stressa i materiali che costituiscono il componente, sottoponendolo a variazioni di Temperatura che generano, nei diversi materiali, una diversa variazione di volume causando rotture meccaniche e danneggiando collegamenti interni dei componenti.

Procedura

- a) Posizionare il componente in una camera climatica a temperatura ambiente
- b) Portare il componente ad una temperatura di -40 in modalità *stand by* con portata refrigerante pari a 3 litri al minuto
- c) Far operare il componente in modalità con carico per un periodo di un'ora con numero basso di giri
- d) Impostare il componente in modalità *stand by* e azzerare la portata
- e) Impostare una rampa pari ad 0.2 gradi al minuto fino ad una temperatura di 125 gradi

- f) Mantenere la temperatura per un'ora
- g) Impostare il componente in modalità con carico facendolo operare ad un numero alto di giri con una portata del refrigerante pari a 3 litri al minuto
- h) Diminuire la temperatura della camera fino alla temperatura di 23°C con gradiente pari a 0.2°C al minuto
- i) Ripetere i passi *b-c-d-e-f-g-h* per un numero di cicli pari a 500
- j) Eseguire test di controllo componente ad ogni fine ed inizio ciclo



2.5.3 Thermal Shock (TS)

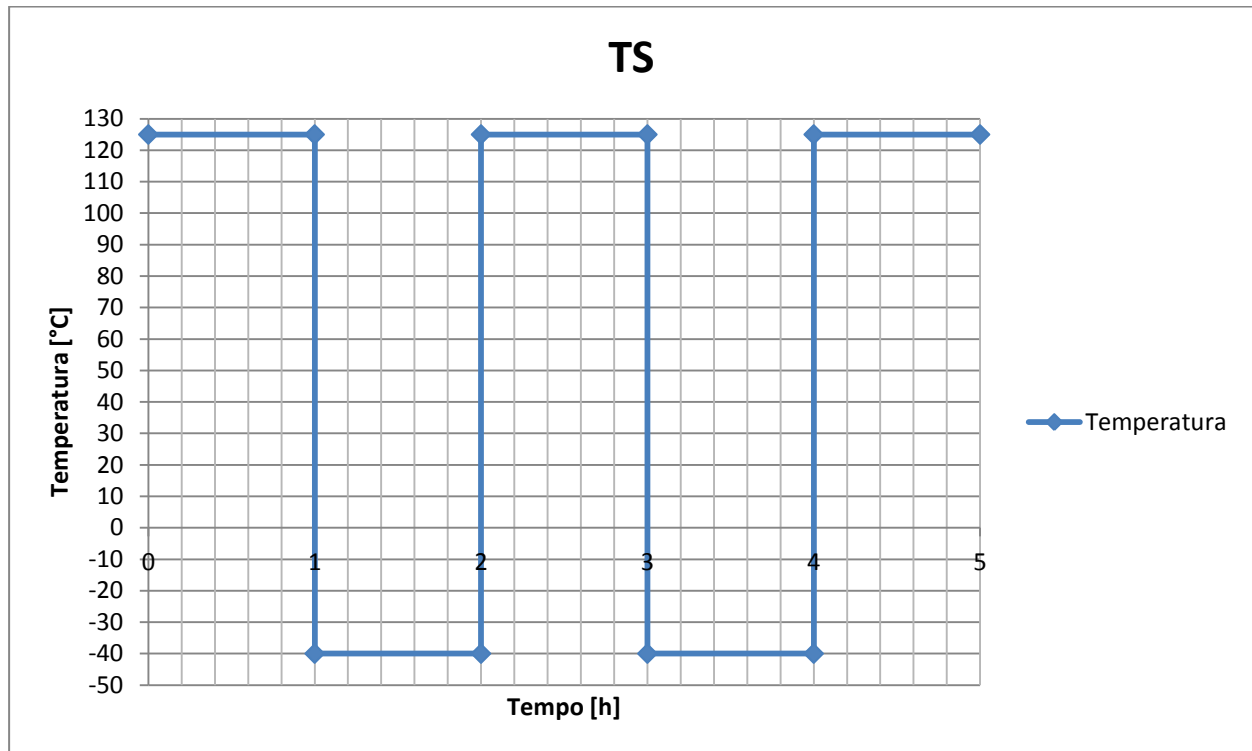
Il seguente test viene eseguito con il motore in modalità *power off*.

Si propone di stressare il componente simulando il comportamento ambientale al quale vengono sottoposte alcune parti del veicolo portando ad errori nel sistema che subisce danni a livello della composizione dei materiali.

Procedura

- a) Impostare 2 camere climatiche a temperature rispettivamente di 125°C e -40°C
- b) Mantenere il componente nella prima camera per un periodo di tempo che dipende dalla natura del componente, nel nostro caso 60 minuti
- c) Spostare il componente nella seconda camera in un periodo massimo di 30 secondi
- d) Mantenere il componente nella camera per 60 minuti

- e) Spostare il componente nella prima camera in un periodo massimo di 30 secondi
- f) Ripetere i passi *b-c-d-e* per un periodo di 1380 ore



2.6 Sviluppo banco prova

Per riuscire ad eseguire correttamente i test bisogna analizzare che cosa deve fare il banco, in particolare che cosa deve gestire il sistema di controllo.

1. Regolare la potenza elettrica sui motori
2. Controllare il motore tramite protocolli specifici
3. Regolare Temperatura e umidità camera climatica
4. Regolare flusso e Temperatura del fluido refrigerante

Per riuscire a farlo in maniera efficiente il banco dovrà essere dotato di un calcolatore che sia in grado di fare le richieste prima elencate, analizzando gli input generando output consoni alle richieste.

Fisicamente il banco è costituito dai seguenti macchinari

- Camera climatica
- Macchina generatrice di portata con temperatura di fluido variabile
- Distributore fluido refrigerante
- Simulatore Batteria
- Quadro di potenza che distribuisce nei vari motori la potenza elettrica necessaria
- Quadro di controllo dove all'interno troviamo il Computer che gestisce l'intero sistema
- Supporto motori

2.5.1 Camera climatica

La camera climatica è una macchina in grado di controllare la Temperatura e l'umidità all'interno di essa attraverso dei comandi specifici per la macchina. Tali grandezze vengono regolate direttamente dal Computer centrale che riceve un segnale dalla macchina nel quale viene descritta la Temperatura e umidità effettiva all'interno della camera.

Il volume che racchiude al suo interno misura circa un metro cubo, e il limite di massa è pari a 200 Kg. Questi dati condizionano fortemente la configurazione dei motori all'interno di essa.

2.5.2 Chiller

La macchina generatrice di portata è un dispositivo in grado di generare una portata e di controllare la Temperatura del fluido refrigerante. Al suo interno contiene un serbatoio che serve a contenere il fluido. Esso è un dispositivo che comunica con il computer fornendogli la Temperatura del fluido in uscita e livello di pompaggio effettivo.

2.5.3 Distributore fluido refrigerante

Si tratta di una macchina in grado di ramificare la portata della macchina precedente e distribuirla correttamente nei circuiti che portano ai motori situati all'interno della camera climatica.

I componenti principali sono delle valvole a farfalla motorizzate in grado di regolare la portata attraverso un motorino gestito opportunamente da un controllore PID che comunica col computer centrale. E' dotato anche, per ogni ramo, di un trasduttore di portata e temperatura che genera un segnale che invia al computer centrale.

2.5.4 Simulatore batteria

Il simulatore batteria è una macchina che genera una potenza elettrica in corrente continua. Comunica con il computer centrale che regola la corrente e la tensione in uscita dalla macchina.

2.5.5 Quadro di Potenza

Il quadro di potenza deve gestire la potenza elettrica distribuendola opportunamente nei motori elettrici. Ogni coppia di cavi che alimenta il motore è dotata di 2 trasduttori che inviano al computer centrale un segnale che indica la corrente e la tensione nei rispettivi rami.

2.5.6 Quadro di controllo

Il quadro di controllo è costituito dal computer centrale che gestisce tutti i segnali precedentemente analizzati e regola opportunamente le macchine affinché modifichino le grandezze fisiche in gioco per riuscire ad eseguire correttamente i test di prova del motore.

Capitolo 3

Strumenti usati

3.1 Panoramica

La parte di progetto sviluppata in azienda, come detto in precedenza, riguarda lo sviluppo del armadio di Potenza, parte di controllo e assistenza presso fornitori per la realizzazione dei distributori del fluido refrigerante.

Innanzitutto bisogna considerare gli obiettivi del progetto per poter intraprendere il percorso meno difficoltoso e più economico possibile, in pratica il vero lavoro dell'"ingegnere".

Con l'avanzare della tecnologia gli strumenti a propria disposizione sono vertiginosamente aumentati potendo, attraverso un computer, eseguire dei compiti in giorni piuttosto che in settimane o mesi.

In particolare l'utilizzo di software per compiti come

- Ricerche
- Simulazioni
- Programmazioni

3.2 Ricerche

La progettazione consiste anche nel ricercare sul mercato i componenti necessari per la realizzazione del progetto.

Con internet e il telefono cellulare si può entrare in contatto con tutto il mondo per ricercare ciò di cui si ha bisogno per la realizzazione.

Nel nostro caso in particolare ci siamo occupati più di componenti elettrici come relè, fusibili, barre conduttrici di corrente, ma anche oggetti di carpenteria come l'armadio stesso con le varie piastre che lo compongono.

È molto importante, se non fondamentale, ricercare i limiti dei componenti e verificare se siano compatibili con i limiti del sistema da produrre.

In molti casi si devono garantire le certificazioni di un determinato prodotto a specifiche condizioni.

Un esempio nel quale ci siamo imbattuti nel nostro caso è stato garantire il corretto funzionamento dei componenti elettrici anche a fronte di picchi di corrente molto elevata.

3.3 Simulazioni

Come detto, grazie ad un computer possiamo eseguire compiti che ci aiutano a migliorare l'efficienza in un progetto, nel nostro caso ci ha aiutati anche nella realizzazione 3D degli ingombri delle parti in progetto.

Con software adatti si possono determinare e progettare componenti facenti parte del progetto. Dovendo progettare, in questo caso, degli armadi si replica esattamente il contenuto per verificare se gli ingombri a disposizione siano sufficienti per soddisfare le specifiche.

Di solito le case produttrici, o le aziende che distribuiscono componenti elettrici e/o meccanici, hanno delle librerie nelle quali sono situati tutti i file 3D dei componenti prodotti.

I file sono in formato *STEP* perché di possibile lettura da ogni programma di modellazione 3D.

3.4 Programmazioni

In questo progetto programmare ha avuto il maggior peso, ma che cosa si intende esattamente?

Come detto in precedenza il progetto risulta essere la realizzazione di un armadio di controllo in grado di soddisfare le specifiche e quindi è necessario

un ambiente dove l'insieme di macchine possano comunicare per poter eseguire correttamente i compiti che si desidera.

Nel nostro caso si è utilizzato un software dedicato: *LabVIEW*

3.4.1 LabVIEW

La suo nome è l'acronimo di **LAB**oratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench.

Esso è un linguaggio di programmazione, appartenente a National Instruments, che crea un ambiente di sviluppo integrato.

La sua particolarità consiste nel fatto che sia un linguaggio di tipo *Grafico* detto anche *G*.

Il software è stato realizzato del 1986 con l'intento di generare programmi che si dedicassero all'acquisizione e l'analisi dati, generazione rapporti, controllo di processi o più in generale di qualsiasi applicazione nel campo dell'automazione industriale.

È dotato, ai giorni nostri, di una grande versatilità, perché è in grado di operare sulla maggior parte delle piattaforme presenti oggi sul mercato quali:

- Windows
- Mac OS
- Linux
- Controllori National Instruments

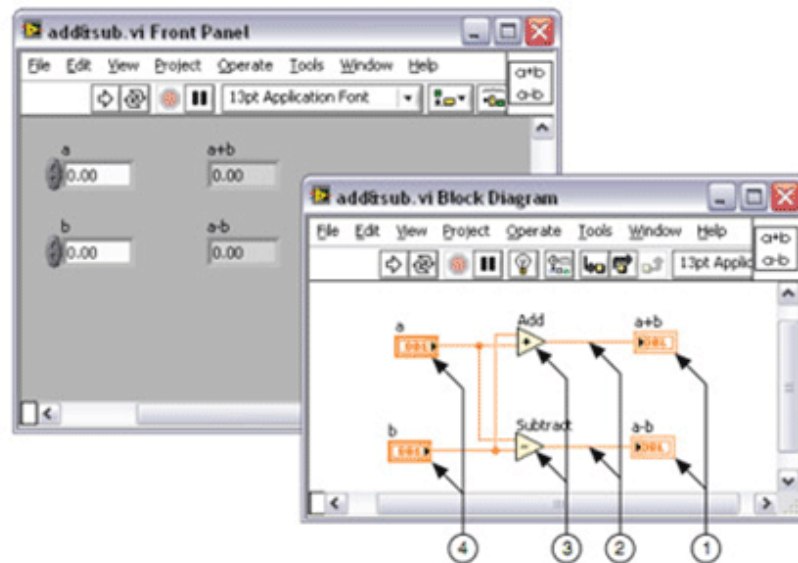
Come detto è un linguaggio grafico, differisce dagli altri nel fatto che la sua forma non è caratterizzata da linee di codice ma da un vero e proprio foglio grafico dove le VI (Virtual Instruments) si interfacciano per dare origine al processo che si desidera, le quali però, vengono salvate come file binario che può essere aperto e compilato solo da LabVIEW.

Grazie al software si possono implementare degli algoritmi visualizzati come icone che possono interagire tra di loro attraverso dei collegamenti chiamati *wires* generando un vero e proprio diagramma di flusso. Questo viene in particolare definito come *dataflow*, in quanto la sequenza di esecuzione viene rappresentata da un flusso di dati che, attraverso dei fili monodirezionali, si spostano da un blocco funzionale all'altro.

È in grado anche di eseguire, nella stessa applicazione, dei processi di analisi in parallelo, quest'ultima chiamato anche *multithreading*.

Il programma è dotato di una vasta libreria di funzioni predefinite e driver, che viene utilizzata per interfacciarsi con l'hardware, ed è in grado di implementare nel software tutto il necessario per il suo controllo.

Di seguito viene raffigurato un VI in grado di eseguire 2 operazioni diverse con 2 numeri differenti, la somma e la sottrazione.



L'ambiente LabVIEW è costituito da 3 parti differenti:

- Pannello Frontale (in alto a sinistra)
- Schema a Blocchi (in basso a destra)
- Riquadro Connettori

Il pannello frontale è l'interfaccia utente che attraverso di essa è in grado di rappresentare delle variabili che assumono determinati valori dipendenti dalla loro natura.

In questo caso vengono rappresentati 2 numeri double, dotati cioè di doppia precisione, in ingresso e 2 numeri in uscita. L'utente sarà in grado di modificare i primi 2 mentre il compito del software è generare i numeri in uscita. In ambito industriale possiamo immaginare che in ingresso si abbiano dei dati di acquisizione mentre in uscita generalmente si ha una loro manipolazione, esempio la media aritmetica.

Lo schema a blocchi invece è la rappresentazione del diagramma di flusso attraverso un interfaccia grafica. Le variabili presenti nel pannello frontale vengono rappresentati come terminali.

Possono essere richiamati anche altri VI detti *subVI* che hanno il ruolo di inglobare al proprio interno un compito ben specifico.

Nel caso mostrato in figura si vede come le variabili accedono alle 2 funzioni in contemporanea per generare le 2 diverse uscite che saranno poi visualizzate sul pannello frontale.

In questo caso si hanno 2 ingressi e vengono generate 2 uscite, in linea del tutto generale si possono avere n ingressi ed n uscite.

Il diagramma di flusso come detto viaggia su dei fili che risultano di diverso colore a seconda della sua natura.

Lo schema a blocchi può essere visualizzato anche durante la sua esecuzione, potendo perciò visualizzare i diversi flussi di dati attraverso i fili anche in modalità passo-passo potendo perciò

I riquadri invece sono la rappresentazione di altri VI nello schema a blocchi. Cliccando sopra di esso si apre un altro schema a blocchi e pannello frontale specifico di quel VI.

Quando il programma viene completato di solito si utilizza il suo eseguibile. In pratica LabVIEW è in grado di generare eseguibili che vengono lanciati sul pc in cui si trova per avviare l'applicazione creata, senza aver bisogno di LabVIEW per la sua esecuzione.

Viene appunto chiamato brushless per assenza di spazzole per i contatti perche un unità elettronica genera tre onde sfasate di 120° sugli avvolgimenti dello statore generando un campo magnetico rotante.

Non avendo organi in contatto (assenza di spazzole) non necessita di manutenzione se non straordinaria.

Capitolo 4

Lavoro eseguito

4.1 Introduzione

L'azienda presso la quale ho svolto l'attività di supporto al progetto si chiama "Custom 2.0".

Rientra nelle categoria delle piccole e medie aziende e svolge soprattutto attività che riguardano la costruzione e controllo di macchine per fare testing; in particolare si occupa di progettare e realizzare direttamente le soluzioni e offre una copertura sull'intero ciclo di vita del prodotto, dalla sua progettazione fino al rilascio ed al supporto.

Si presenta come un'azienda estremamente versatile in grado di realizzare banchi per test di vario genere, come in questo caso, ma non solo.

4.2 Progettazione e ricerca di componenti

Nella prima parte del progetto l'azienda ha stabilito in generale la posizione e i gli schemi funzionali di ogni componente da progettare (gli armadi di controllo, quello di potenza e anche la progettazione del distributore), tuttavia è stata necessaria una ricerca approfondita di componenti in grado di soddisfare le specifiche.

Guardando in specifico il problema, si è dimensionato i componenti facente parte del progetto e, successivamente, consultato i fornitori ed in generale sul mercato, si è passati al loro acquisto.

Un primo compito è stato quello di ricercare dei materiali idraulici in grado di resistere a tali temperature nella costruzione del distributore di fluido refrigerante, in particolare

- Valvola a farfalla
- Tubi
- Porta gomma
- Attuatore elettrico valvola a farfalla

Una volta trovati i componenti compatibili si è reso necessario progettare il distributore e l'interfaccia tra attuatore e valvola.

Per questo scopo si è usato il software di progettazione meccanica SolidWorks, con il quale è stato possibile programmare gli ingombri e sistemare in maniera opportuna tutti i componenti all'interno del distributore.

In questo sistema si localizza già un componente che subisce il controllo del computer centrale: l'attuatore della valvola.

È stato necessario anche rispettare, nella progettazione degli ingombri, gli spazi dettati dal cliente affinché nel locale potessero essere situati i 3 diversi sistemi.

4.3 Programmazione LabVIEW

L'azienda presso la quale ho fatto il progetto di tesi sviluppa sistemi che interfacciano con il mondo National Instruments, di conseguenza, la programmazione del software di controllo è stata eseguita con LabVIEW.

L'esperienza maturata fino a quel momento, con questo strumento, è stata abbastanza marginale.

Lo abbiamo trattato in un solo corso e per scopi abbastanza marginali, ad ogni modo l'azienda non aveva grosse pretese a riguardo.

Questo perché, prima della realizzazione del progetto, già si era a conoscenza delle tematiche da eseguire, di conseguenza l'azienda ha da subito optato per la mia partecipazione ad un corso base per 'apprendimento del programma.

Risulta essere un software molto intuitivo ma le tematiche trattate nel progetto sono davvero molto complesse.

Un particolare non da sottovalutare sta nel fatto che il software sia identico per tutti e tre i banchi.

Nella progettazione di simili sistemi di controllo si decide di usare una particolare modalità tipica di questo software, la macchina a stati.

La macchina a stati sviluppa un campo di esecuzione del programma per ogni stato della macchina, risultando essere molto schematizzato e abbastanza intuitivo.

Questa parte di lavoro, naturalmente, è stata resa possibile solo grazie all'affiancamento di un esperto in materia che è stato per il primo periodo presente per la maggioranza del tempo, successivamente, prendendo visione dei meccanismi, il suo intervento è stato sempre meno richiesto.

Il periodo che viene successivo alla prima fase di introduzione al programma è stato la realizzazione della prima parte del programma di esecuzione per test: la comunicazione con le macchine.

In questa fase mi sono state elencate le macchine con le quali avrei dovuto interfacciarmi e, grazie ai loro manuali, ho conseguito la realizzazione dei loro driver.

Le macchine sono le seguenti:

- Alimentatore
- Simulatore di batteria
- Motore elettrico
- Camera Climatica
- Attuatore valvola e misuratore di portata
- Distributore del fluido refrigerante

4.3.1 Alimentatore (Rhode & Schwarz)

L'alimentatore, o power supply, viene usato per alimentare la parte di controllo del motore elettrico.

Avendo previsto un alimentatore nel sistema, questo dovrà interfacciarsi col computer di controllo.

La macchina è in grado di generare una tensione continua da 0 a 32V, con massima corrente di 5 Ampère su quattro canali differenti, uno per ogni coppia di motori presenti all'interno della camera.

Il dispositivo è adatto per essere comandato anche in remoto grazie alla porta RS232.

La parte iniziale di tale processo consiste nel consultarsi con il manuale per identificare la funzionalità del dispositivo.

Ogni dispositivo, attraverso dei comandi preimpostati dal costruttore, può eseguire la modifica dello stato interno del componente stesso. In generale, i comandi sono descritti nel manuale d'uso, e non tutti risultano utili al sistema che si vuole controllare.

Dal manuale si individuano i comandi utili e si implementano in LabVIEW.

In questo caso abbiamo da interfaccia utente 12 diversi input e 12 output.

Lo scopo ultimo è quello di controllare i 4 diversi canali, impostando il valore di tensione e corrente massima assorbita dal canale, nonché attivare il canale stesso per renderlo operativo.

Risulta evidente che sul *Front Panel* visualizziamo le variabili sia in input che output; nel *block diagram*, invece, si implementano tutte le varie funzioni che permettono il controllo di tali variabili.

Risulta molto importante gestire i messaggi di errore del sistema.

In questo caso, se uno dei canali non dovesse funzionare, abbiamo implementato un comando che, dopo un intervallo di tempo nel quale la variabile considerata non risponde, il programma genera un messaggio di errore che indica tale problema.

4.3.2 Simulatore di Batteria (Kratzer)

Il simulatore di batteria è un dispositivo in grado di simulare il comportamento di una batteria.

In questo caso il dispositivo viene controllato dal pc attraverso un protocollo detto CAN.

La parte di potenza generata da tale componente serve ad alimentare gli 8 diversi motori presenti nella camera climatica.

Le variabili principali di questo dispositivo sono la corrente e la tensione limitandoli a valori voluti per non danneggiare i motori.

Sul Front Panel abbiamo quindi 3 diverse variabili:

- lo stato del dispositivo : attivo/non attivo
- Tensione
- Corrente

Anche in questo caso da manuale si prende visione come funzioni il dispositivo da remoto e quali comandi implementare. Risultano molto importante gestire i segnali di errore, in particolare, andare a limitare i valori a quelli desiderati.

4.3.3 Motore elettrico

Vengono controllati dallo stesso computer il regime degli 8 diversi motori.

In linea del tutto generale nelle quattro diverse coppie i motori sono configurati in maniera complementare, alternando in maniera regolare il funzionamento da motore a generatore.

Collegati a coppie da una cinghia trapezoidale che si accoppia con le rispettive pulegge poste sui due moori, il moto viene trasferito dal motore in controllo tensione all'altro cui viene impostata la corrente che circola negli avvolgimenti. Così facendo si riesce anche a recuperare gran parte dell'energia spesa per la prova stessa.

Sul *Front Panel* si desidera impostare la modalità del dispositivo con il suo valore di velocità dell'albero, se impostato in modalità motore, oppure impostando il valore della coppia se risulta impostato in modalità generatore.

Bisogna dapprima prendere visione delle caratteristiche del motore limitando i valori di prima e rendendoli compatibili.

Particolare non da trascurare il fatto che i motori vengano controllati con protocolli CAN che sono gestiti direttamente dal costruttore con codici dettati dalla casa madre. Anche in questo caso è molto importante gestire i messaggi di errori per non incorrere in danneggiamenti non voluti dei diversi dispositivi.

4.3.4 Camera climatica (Votche)

La camera climatica è il dispositivo che controlla l'ambiente delle prove dei diversi motori.

Sul Front Panel si è programmato opportunamente per essere in grado di controllarla in modo efficiente, garantendo i valori desiderati nelle prove.

Dal manuale si è preso visione dei comandi per poterla controllare, in particolare gestire la temperatura e umidità al suo interno implementando tutti i vari segnali di errore.

Anche in questo caso si effettua il controllo tramite protocolli CAN specifici del componente.

4.3.5 Attuatore valvola(ESBE) e misuratore di portata (Huba)

Un compito un pò più semplice è stato il controllo dell'attuatore valvole, avendo un singolo comando: il grado di apertura della valvola.

E' stato però necessario l'inserimento di un controllo aggiuntivo, per quanto riguarda il controllo dell'attuatore, affinché il comando venga gestito dal controllore PID.

Questo secondo compito è stato leggermente più complicato perché nel programma si è dovuto implementare una parte di codice che gestisca il misuratore di portata e l'attuatore in modo tale che, prendendo visione della portata nel ramo, si vari la posizione della valvola per regolare in modo continuo tale valore.

Sul *Front Panel* si è perciò implementato una parte in *Open Loop*, in grado di gestire il grado di apertura della valvola, e una parte in *feedback*.

Nella parte in *feedback* si impostano il valore di portata, nel nostro caso sempre di 3 litri al minuto.

Impostando precedentemente i valori dei diversi K il controllore dovrà regolare l'apertura della valvola affinché la portata nel rispettivo ramo sia di 3 litri al minuto.

In *Open Loop* si imposta il grado di apertura della valvola nel singolo ramo.

4.3.6 Distributore di refrigerante (Lauda)

Il Lauda è una macchina in grado di erogare un fluido a diverse temperature.

Al suo interno contiene un serbatoio per il fluido e una pompa in grado di essere impostata su 10 diversi livelli di velocità

Per implementare il seguente dispositivo in LabVIEW si è seguita la solita procedura, consultando il manuale e individuando i comandi utili per l'esecuzione delle prove. Anche in questo caso si devono seguire attentamente i segnali di errore.

Le variabili che abbiamo gestito sono:

- La temperatura del fluido
- La velocità della pompa

Al termine della programmazione si gestiscono le seguenti variabili direttamente dal Front Panel impostando livello di pompa e temperatura del refrigerante.

4.4 Montaggio componenti

Successivamente alla ricerca dei materiali, e al loro acquisto, ho partecipato attivamente al montaggio degli armadi e al cablaggio di alcuni componenti.

In questa fase sono stato seguito da un responsabile elettrico che ha progettato la posizione dei componenti nei vari armadi.

È stato però necessario anche l'ausilio del software 3D per poter identificare la configurazione migliore per poter ottimizzare gli spazi.

L'attività è stata svolta nell'area magazzino collaborando insieme ad altre 2 persone nel montaggio e cablaggio.

4.5 Verifica esecuzione prove

Dopo la fase di progettazione e costruzione è conseguita un'altra fase del progetto: collaudo e messa in opera del impianto.

Successivamente al trasporto dei vari componenti presso la sede dove verranno effettuati i test, è avvenuta una fase di cablaggio e successivamente si è verificato se tutti i vari componenti fossero operativi. In questa fase generalmente si riscontrano tanti problemi di piccola entità nella programmazione del software.

Dopo la messa in moto del impianto, tutti i dispositivi hanno dato esito positivo, potendoli gestire per l'esecuzione delle prove.

Va comunque specificato che i driver sono stati direttamente testati sulle macchine alla loro realizzazione. È stato necessario, per conseguire tale scopo, portare in azienda fisicamente tutti i vari dispositivi da controllare.

Solo al montaggio dell'impianto nell'azienda dove verranno svolti i test è stato possibile controllarli in contemporanea.

All'inizio si tende a fare dei cicli di collaudo per verificare la risposta dei componenti.

Nelle prime prove si è notato che il sensore di portata segnalava delle portate anomale.

Analizzando il circuito idraulico si è capito che il flusso di fluido nel ramo poteva avere valori istantanei molto instabili. Dapprima si è cercato di regolarizzarla modificando i parametri del controllore PID su ogni singolo ramo.

Dopo vari tentativi si è scoperto che il problema non poteva essere risolto in questo modo, dato che il problema risultava essere nella natura stessa del circuito.

Essendo il fluido a bassa velocità, e con un carico sul ramo basso, si è scoperto che il problema poteva essere risolto aggiungendo un componente in serie al circuito.

In pratica inserendo una valvola di ritegno per ramo si presupponeva che la portata potesse risultare più stabile.

La prima considerazione era che il fluido, potendo circolare in una sola direzione, limitava la portata nel ramo solo a portate maggiori o uguali a 0.

Un altro punto degno di nota è che la valvola che si è inserita nel ramo oppone una resistenza al flusso, generando così una perdita di carico localizzata, la quale permette un netto miglioramento nel controllo del fluido nel ramo.

Dopo le considerazioni si è ricercato i componenti che potessero soddisfare le specifiche. Una volta trovati li abbiamo inseriti nell'impianto verificando la loro funzionalità.

Abbiamo impostato un ciclo normale di collaudo dei motori e abbiamo constatato che il problema non si ripresentava. La portata nel ramo, dopo questo intervento, si poteva stabilizzare e con un piccolo ritocco sul controllore si ottenevano valori molto stabili e precisi.

Conclusioni

Competenze acquisite

Al termine della mia carriera didattica è conseguita questa esperienza in un'azienda molto competente nel suo campo attivo.

Per mia fortuna ho potuto sperimentare diversi campi, seguendo la progettazione, il montaggio e la messa a punto dell'impianto.

Indubbiamente l'esperienza maturata nel singolo campo ha conseguito una conoscenza di fondo abbastanza mirata ma pur sempre superficiale.

Ho potuto constatare che lavorando sul campo, servono sì le conoscenze acquisite nel periodo scolastico – universitario, ma per partecipare attivamente ad un'attività del genere lo spirito di gruppo e di intraprendenza sono fondamentali.

In generale si può dire che abbia maturato un'esperienza notevole nella programmazione LabVIEW e nella gestione di processi per l'automazione.

Tuttavia l'esperienza maturata non permette un'indipendenza nella programmazione, constatando che il programma è molto complesso e necessita di molte ore di lavoro per poterlo padroneggiare con efficienza.

Risulta, comunque, un metodo abbastanza intuitivo e schematico per poter gestire un processo automatizzato.

Come punto di forza il programma risulta molto stabile ed è molto versatile riuscendo a gestire molte risorse in contemporanea.

La parte dedicata alla ricerca e progettazione è risultata un po' più schematica e lineare. In generale in questo campo l'esperienza è la miglior maestra.

In questo campo avendo i contatti giusti di fornitori competenti in materia si riescono a trovare i componenti giusti in tempi abbastanza stretti.

Nel campo della progettazione, per conseguire ad un risultato, ci sono innumerevoli soluzioni.

Un buon progettista deve riuscire a trovare una soluzione efficace in tempi sempre più stretti.

Si può dire per scontato che il prezzo è sempre più importante nella fase di progettazione. Bisogna sfruttare tutte le risorse a propria disposizione per conseguire un buon risultato non spendendo più del dovuto.

Ho conseguito a migliorare le capacità di:

- lavoro di gruppo

- problem solving
- capacità di iniziativa
- modo di interagire

Inoltre ho conseguito un'esperienza più che valida in

- progettazione di sistemi
- programmazione in LabVIEW
- cablaggio

Risultati ottenuti

Il progetto è stato portato a termine con successo.

Tutta la fase di progettazione e programmazione ha dato esito positivo e non c'è stato bisogno di ulteriori interventi per correggere delle mancanze sul campo.

Già in fase di progetto si riserva un po' di tempo e risorse aziendali per la messa in funzione dell'impianto portandolo ad una fase di collaudo che può durare diversi giorni.

In questa fase ci si dedica a piccoli errori di software e a problemi che insorgono nel provare i test sui motori.

In generale può capitare che ci siano errori sulla costruzione del sistema, come è successo a noi. Si è pensato ad una maniera efficace di intervenire e andando poi sul campo si è notato un notevole miglioramento del comportamento della macchina.

Per quanto riguarda gli spazi che il cliente ci aveva imposto, sono stati tutti rispettati garantendo un discreto modo di interagire fisicamente con i componenti.

Le considerazioni effettuate riguardano solo per il primo periodo di messa in moto del sistema, non si può sapere a priori se tutti i vari componenti del sistema avranno una vita più o meno lunga durante il suo funzionamento.

La certificazione di ogni componente certifica che i componenti utilizzati siano idonei per tali applicazioni ma il grado di fatica è uno piuttosto elevato quindi non possiamo sapere a priori i loro comportamenti per grani periodi.

La soluzione finale a cui siamo arrivati soddisfa tutte le richieste fatte dal cliente, rispettando tempi e criteri di funzionamento.

Bibliografia

- [1]. Muhammad Mubeen, “Brushless DC Motor Primer,” Motion Tech Trends, July, 2008.
- [2]. Padmaraja Yedamale, “Hands-on Workshop: Motor Control Part 4 -Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals,” *Microchip AN885*, 2003.
- [3]. Sam Robinson, “Drive and Control Electronics Enhance the Brushless Motor’s Advantages,” *Apex*, 2006.
- [4]. Domenico Arrigo, “L6234 Three Phase Motor Driver,” *ST AN1088*, 2001.
- [5]. Derek Liu, “Brushless DC Motors Made Easy,” Freescale, 2008.
- [6]. “Sensorless BLDC Motor Control and BEMF Sampling Methods with ST7MC,” *ST AN1946*, July, 2007.
- [7] Vipul Agarwal and Mayank Dev, “ Introduction to Hybrid Electric Vehicles: State of Art ”, Engineering and Systems (SCES), 2013 Students Conference on, 12-14 April 2013
- [8] C. C. Chan , “The state of the art of electric and hybrid vehicles ”, Proc. IEEE, vol . 90, no. 2, Feb. 2002