

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

- Sede di Forlì -

CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

Classe: 8197

TESI DI LAUREA
IN CONTROLLO E DINAMICA D'ASSETTO LM

**REALIZZAZIONE DI UNA PIATTAFORMA DI
TEST PER RUOTA DI MOMENTO
SU ARCHITETTURA NI cRIO**

CANDIDATO

Evandri Giovanni

RELATORE

Paolo Tortora

Anno Accademico 2013/2014

Sessione II

Indice

Capitolo 1

Introduzione	Pag.3
--------------	-------

Capitolo 2

2.1	Determinazione e controllo d'assetto di un satellite	Pag.5
2.1.1	Requisiti di sistema	Pag.5
2.2	Determinazione d'assetto	Pag.6
2.2.1	Controllo d'assetto	Pag.6
2.3	Reaction Wheels e Momentum Wheels	Pag.7
2.4	Tipologie di attuazione	Pag.12
2.4.1	Elementi di contatto	Pag.13
2.5	Motori elettrici	Pag.15
2.6	Satellite stabilizzato a tre assi	Pag.19

Capitolo 3

3.1	Generalità	Pag.21
3.1.1	L'ambiente <i>LabView</i>	Pag.21
3.2	Struttura del <i>CompactRIO</i>	Pag.24
3.2.1	<i>Chassis</i>	Pag.24
3.2.2	Microprocessore <i>Real-Time</i>	Pag.26
3.2.3	Interfaccia PC-Host	Pag.26
3.3	Sincronizzazione	Pag.27

3.4	Architettura cRIO	Pag.28
-----	-------------------	--------

Capitolo 4

4.1	Realizzazione del Software	Pag.31
4.2	Programmazione FPGA	Pag.31
4.3	Programmazione del microcontrollore	Pag.33
4.4	Connessione computer host	Pag.35

Capitolo 5

5.1	Sviluppi futuri	Pag.39
5.2	Test di vita accelerata	Pag.40
5.3	Riadattabilità della piattaforma	Pag.42

Bibliografia		Pag.43
---------------------	--	--------

Ringraziamenti		Pag.45
-----------------------	--	--------

Capitolo 1

INTRODUZIONE

Il lavoro presentato in questo elaborato mira alla realizzazione di un sistema per effettuare dei test per *Momentum Wheels*, ovvero si include progettazione di una piattaforma dove verranno svolti i test e relativo programma di controllo.

Si è partiti inizialmente, dal progettare un banco prova sul quale verrà montato il volano, il motore, e due schede di controllo.

Il controllo di velocità potrà essere gestito mediante PC remoto o impostando il profilo desiderato direttamente dalla scheda *CompactRIO*, visualizzando i dati direttamente sul display presente sulla scheda.

La necessità di effettuare tali prove deriva dal fatto che è fondamentale testare ogni singolo componente prima di montarlo a bordo di un satellite e lanciarlo, in quanto non ci si può permettere di investire risorse economiche cospicue e rischiare di abortire la missione a causa di un singolo elemento in avaria.

Nel caso in esame i componenti che verranno sottoposti ad esame saranno:

- Il motore, di cui è necessario determinare le accelerazioni, la coppia e la potenza, in maniera da conoscere le sue prestazioni e garantire un corretto funzionamento prolungato sotto diverse condizioni di stress;
- I cuscinetti del volano, elementi critici di progettazione, che separano la ruota dal *case* del sistema. Importante è conoscerne l'usura e il loro comportamento durante il loro funzionamento.

In questa trattazione verranno descritti gli aspetti generali in merito alle

tipologie di controlli d'assetto di un satellite e loro meccanismi, inoltre sarà spiegato il funzionamento di un scheda *compactRIO* e le sue principali caratteristiche e potenzialità.

Il linguaggio di programmazione utilizzato è “LabView”, una piattaforma della *National Instrument*, mediante il quale è stata programmata la scheda ed è possibile comandare il motore e leggere gli indicatori dal PC come se fossero strumenti reali da banco prova. Nei capitoli successivi verrà spiegato il programma, con i suoi blocchi, flussi di dati, e le variabili in gioco.

Inoltre sarà presentata una parte sugli sviluppi futuri di tale progetto, ovvero le possibilità di effettuare test avanzati, come ad esempio test vibrazionali, e riconfigurare la piattaforma per diverse tipologie di test e di dispositivi da collaudare.

Capitolo 2

2.1 DETERMINAZIONE E CONTROLLO D'ASSETTO DI UN SATELLITE

In questo capitolo vengono introdotte le metodologie e i dispositivi necessari al controllo e alla determinazione d'assetto, i quali vengono a caratterizzare il sistema ADCS (Attitude and Determination and Control System) del satellite. Questi sistemi sono di vitale importanza in fase di progetto, in quanto permettono di conoscere la posizione e di muovere il satellite nello spazio. Verranno esposte delle generalità su una vasta tipologia di dispositivi e ci si focalizzerà nella descrizione in dettaglio su quelli di nostro interesse.

2.1.1 REQUISITI DI SISTEMA

I requisiti di sistema hanno un ruolo importante nella progettazione, sulla quale verrà condotto uno studio accurato per garantirne l'effettiva realizzabilità del sistema, in particolar modo ciò avviene quando il peso e i costi di ogni sistema sono, come spesso accade, dati molto restrittivi.

Inoltre risulta importante prevedere sistemi ridondanti in caso di "failure", visto le condizioni critiche ed estreme che si incontrano nell'ambiente spaziale. Solitamente questa richiesta è dovuta al fatto che ogni sottosistema lavora per assolvere ad un compito ben preciso, ma il suo mancato funzionamento può compromettere il funzionamento di tutto il progetto.

Ma naturalmente è necessario fare delle valutazioni economiche, in quanto a volte apparati sofisticati e precisi possono essere troppo dispendiosi in relazione al progetto che si vuole intraprendere.

2.2 DETERMINAZIONE D'ASSETTO

Rientra in questa categoria la parte di sensoristica del satellite, ovvero quel sottosistema che mediante l'elaborazione delle informazioni prelevate dall'esterno, riesce a determinare la posizione del satellite rispetto un sistema di riferimento fisso.

Distinguiamo tra i più noti dispositivi:

- Sensore di sole;
- Sensore di terra;
- Sensore di stelle;
- Magnetometro;
- Giroscopi.

A seconda dei requisiti di missione è possibile utilizzare una o più tecnologie disponibili, ottenendo dati in uscita sempre più raffinati, elaborando le informazioni ottenute dai vari sensori montati a bordo, a discapito di un maggior costo computazionale e influenzando notevolmente l'elettronica di bordo. Solitamente è previsto un "post-processing" al fine di ridurre quanto possibile il rumore delle misure.

2.2.1 CONTROLLO D'ASSETTO

I sistemi più usati per il controllo e le correzioni di assetto del satellite possono essere attivi o passivi. Fra questi ultimi si possono ricordare sistemi a gradiente di gravità e a stabilizzazione di "spin", questi sfruttano la loro architettura per mantenere una certa posizione o un certo puntamento, senza consumo di corrente o propellente. Essi però sono poco accurati e possono essere usati in condizioni ben precise, come ad esempio, il sistema a gradiente di gravità che necessita di un'orbita bassa per risentire maggiormente

dell'accelerazione di gravità, permettendogli di mantenere un certo puntamento.

I sistemi attivi, a differenza dei precedenti, richiedono spazio a bordo con conseguente aumento di peso, e una riserva di propellente o energia elettrica in base al differente dispositivo.

Tra le varie tipologie possiamo ricordare le principali:

- sistemi che emettono massa, gas o ioni;
- “*Reaction Wheels*” o “*Momentum Wheels*” per l'assorbimento di momenti torcenti non voluti;
- sistemi a solenoide che danno un momento rotatorio interagendo con il campo magnetico terrestre.

2.3 “REACTION WHEELS E MOMENTUM WHEELS”

Tra le varie tipologie di sistemi d'assetto poniamo attenzione sulle ruote di momento e di reazione.

Entrambi i dispositivi sono costituiti da un disco rotante a elevato momento d'inerzia, montato con l'asse principale d'inerzia allineato con l'asse del satellite da stabilizzare.

Distinguiamo le due tipologie in:

- Ruote di reazione (RW), attivata per effettuare manovre, la sua velocità nominale è nulla e sfrutta il principio di azione e reazione, per il quale il satellite ruota nel verso opposto alla sua rotazione.
- Ruote di momento (MW), queste ultime danno rigidità al

satellite conservando il momento angolare attorno all'asse di spin, questa soluzione ha permesso di sostituire il sistema di stabilizzazione di "spin", essendo più semplice ed efficiente.

Nello specifico, le *momentum wheels* sono costituite da un volano, ovvero un disco rotante posto in rotazione da un motore elettrico, accelerando questo riesce ad accumulare una certa quantità di momento angolare, pari a :

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

Questa grandezza permette di ottenere una certa rigidità giroscopica, lungo l'asse di rotazione, e rende l'intera struttura su cui è montato robusta a quei disturbi che tendono a farla variare la direzione dell'asse di *spin*, con conseguente perdita del puntamento desiderato.

Quindi per il suo dimensionamento è necessario essere a conoscenza delle coppie esterne che agiranno sul dispositivo.

Le variabili su cui si può agire sono la dimensione della ruota (I) e la sua velocità di rotazione (ω). Necessario ricordare che un satellite molto robusto ai disturbi è anche poco controllabile, ovvero le manovre sono molto dispendiose, in quanto ruotare l'asse di un satellite, caratterizzato da elevata rigidità giroscopica, costa molto in termini di energia di controllo.

Derivando l'equazione del momento angolare determiniamo le coppie generate dell'intero sistema, che dovranno essere contrastate dalle coppie esterne per mantenere la direzione di puntamento richiesta:

$$\frac{\delta L}{\delta t} = \vec{\omega} \times (I \cdot \vec{\omega} + \vec{h}) = \vec{M}_{ext}$$

Il termine $I \cdot \vec{\omega} + \vec{h}$ è definito rigidità giroscopica, ovvero il termine che mantiene fisso l'asse.

La direzione del momento angolare è perpendicolare al piano di rotazione, mentre il verso è stabilito secondo il principio della “mano destra”.

Nella figura 2.1 è dimostrato come il momento angolare risponde ad un disturbo esterno (B), ottenendo la risultante (R).

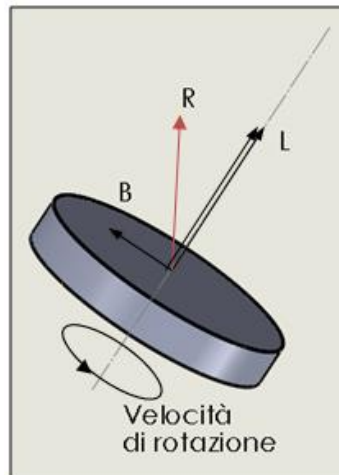


Figura 2.1

La ruota di momento viene quindi accelerata in caso occorre un disturbo fino a quando arriverà ad una velocità pari alla velocità massima del motore, situazione detta di saturazione, ed è quindi necessario ripristinare la condizione nominale decelerando la ruota fino a fermarla e riaccelerandola di nuovo. Nella fase di decelerazione l'asse è stabilizzato da attuatori alternativi come ad esempio *microtruster*. Tipicamente questa fase può avvenire circa ogni centinaia di orbite percorse, e può durare circa dai due ai tre minuti, e non si arresta istantaneamente la ruota, così da evitare coppie instabilizzanti. Si può ottimizzare il sistema decelerando la ruota fino alla velocità massima negativa, così da avere il doppio del tempo operativo a disposizione.

Generalmente montando tre ruote e un sistema di determinazione dell'errore di assetto indipendente per ogni asse (fig. 2.2) si ottiene il completo controllo degli assi, si può ipotizzare inoltre, di usufruire di una quarta ruota, ridondante, posta in posizione intermedia alle precedenti.



Figura 2.2

Nel caso sia necessario eliminare un momento causato da una generica forza esterna agente sul satellite, può essere usata la ruota di momento come ruota di reazione, viene attivato il dispositivo in funzione del disturbo, accelerando o rallentando la ruota fino ad ottenere un momento angolare che eguagli in modulo il momento esterno, con verso opposto a quest'ultimo.

Per quanto riguarda le ruote di reazione, valgono le stesse considerazioni di funzionamento delle ruote di momento, ma a differenza di quest'ultime la velocità nominale di funzionamento è nulla. Vengono attuate in un senso di rotazione o nel senso opposto in modo da compensare l'effetto delle coppie esterne. Questi dispositivi sono dotati di un'ottima flessibilità di impiego e indipendenza dal tipo di orbita, in quanto le coppie di richiamo si generano solo tramite energia elettrica fornita al motore della ruota. Inoltre è possibile garantire un'ottima accuratezza del controllo d'assetto, dovuta all'elevata precisione della sensibilità del controllo di ruota, che assorbe continuamente i disturbi esterni, ed è inoltre possibile effettuare manovre di ripuntamento del

satellite in tempi brevi operando su incrementi di velocità angolare. Anche in questo caso ogni ruota risponde ai disturbi in un'unica direzione.

Un sistema a ruote di momento è meno flessibile di un sistema a ruote di reazione, e non è la soluzione ottimale nel caso in cui il satellite debba essere frequentemente riorientato come è richiesto in una missione scientifica.

Inoltre le costanti di tempo del sistema di controllo sono alte ma si presta sufficientemente bene a compensare coppie di disturbo esterne variabili lentamente.

Il volano che verrà utilizzato durante le prove è costituito da tre parti in acciaio, assemblate per interferenza.

Rispetto al volano che verrà effettivamente utilizzato a bordo, questo mantiene il momento d'inerzia (10^{-3}kgm^2), mentre la forma e le dimensioni sono state modificate per una migliore funzionalità e semplicità di utilizzo (fig2.3).



Figura 2.3

2.4 TIPOLOGIE DI ATTUAZIONE

Ruote di momento e ruote di reazione necessitano di un attuatore per ruotare il volano installato all'interno di esse, individuiamo due categorie principali:

- *Motore elettrico classico.*

Questa soluzione prevede un motore elettrico, generalmente alloggiato all'interno del volano stesso (fig. 2.4), per contenere lo spazio a bordo del satellite. Molto importante è in questo caso l'allineamento tra gli alberi e l'estrema precisione nel montaggio; infatti sono necessari dei giunti meccanici che riescono ad assorbire eventuali disallineamenti assiali di qualche grado. Il vantaggio di questi sistemi è la semplicità costruttiva e il basso costo, a fronte di alti attriti e di un numero molto elevato di elementi posti in rotazione, con conseguente aumento della delicatezza del sistema.

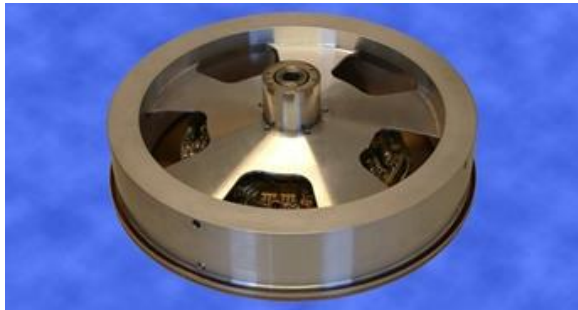


Figura 2.4

- *Motore ad avvolgimenti magnetici.*

Questa soluzione comporta la realizzazione del volano in maniera particolare, ovvero quest'ultimo rappresenta il rotore del sistema mentre il case lo statore (fig.2.5). All'interno del volano è presente un magnete permanente, e la sua rotazione è garantita dalla forza

elettromotrice genera dagli avvolgimenti presenti sullo statore.

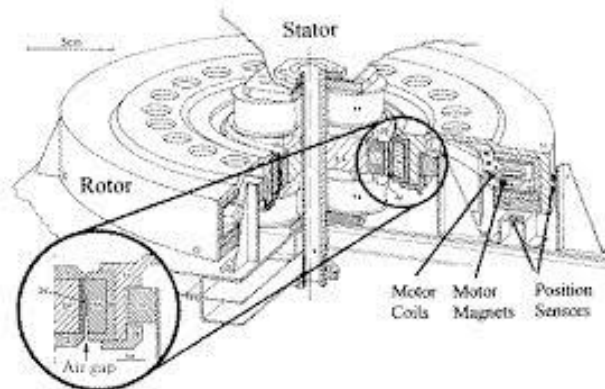


Figura 2.5

Il secondo sistema descritto è caratterizzato da bassi attriti e ingombri, e da poche parti poste in movimento, ma d'altra parte ha consumi molto elevati e velocità massime raggiungibili molto inferiori rispetto la prima soluzione. Quest'ultima è molto più usata nei piccoli satelliti in quanto più economica e è caratterizzata da consumi di gran lunga inferiori, condizione molto importante, con budget di costi e potenza contenuti.

2.4.1 ELEMENTI DI CONTATTO

Vengono trattati in questa sezione gli elementi che connettono il volano e il case, ovvero i cuscinetti, i quali richiedono uno studio in particolare per la loro estrema delicatezza.

Le due tipologie maggiormente usate sono:

- Cuscinetti con contatto
- Cuscinetti magnetici

La prima tipologia è molto soggetta a usura, con conseguente riduzione della vita operativa, ma a differenza di quelli magnetici non richiedono potenza elettrica.

Questi sono la parte critica della progettazione di una ruota di momento, in quanto la loro vita operativa è un parametro fondamentale e deve essere studiato il componente migliore in termini di usura, attriti e operatività, per questo vengono fatti dei test su vari componenti.

I cuscinetti con contatto verranno montati e bloccati, durante la prova mediante un precarico, ovvero un anello che aumenta lo sforzo assiale, causando un maggior consumo per effettuare prove di “vita accelerata”.

Il precarico ci consente inoltre di ridurre la rumorosità di esercizio, in quanto minore è il gioco di un cuscinetto, migliore sarà la guida dei corpi volventi nella zona non soggetta a carico e più silenzioso sarà il funzionamento, garantendo inoltre una maggior precisione di guida dell'albero, poiché il precarico limita la possibilità dell'albero di flettersi sotto carico.

In fig. 2.6 è possibile visualizzare una rappresentazione schematica del funzionamento di un cuscinetto magnetico.

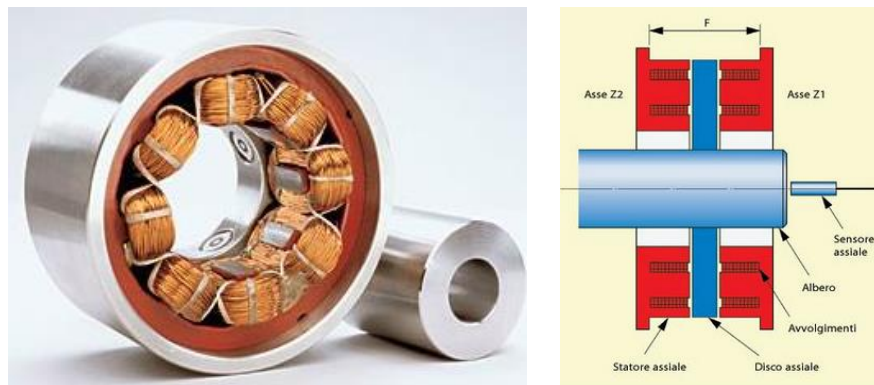


Figura 2.6

2.5 MOTORI ELETTRICI

Come già precedentemente introdotto, sono largamente usati motori elettrici per l'attuazione di ruote per il controllo d'assetto, esattamente come è stato usato durante lo studio condotto in questo elaborato.

In ambito spaziale vi sono richieste molto severe per i motori elettrici, ovvero devono essere il più compatti possibile, devono erogare un'alta potenza a fronte di un basso consumo di corrente e inoltre devono assicurare un'alta affidabilità di utilizzo continuato per periodi di tempo molto lunghi.

Vi sono diverse tipologie di motori, ma possiamo distinguerli in due grandi categorie differenti:

- *Motori brushed.*

Il rotore e lo statore sono dotati entrambi di avvolgimenti, e la commutazione avviene mediante contatti striscianti, anche chiamati spazzole. Un'ottima caratteristica di questa tipologia di motori è lo spunto all'avvio, ma l'usura e lo scintillio dei contatti striscianti non li rendono una scelta ideale per l'ambito spaziale.

- *Motori brushless.*

Il rotore è costituito da magneti permanenti e lo statore da avvolgimenti. La commutazione viene realizzata elettronicamente, eliminando i contatti striscianti.

Presentano una coppia e uno spunto all'avvio inferiore rispetto ai precedenti, ma riescono a raggiungere una vita operativa molto superiore. Inoltre hanno la possibilità di essere comandati in corrente continua o alternata, si propone un'immagine rappresentativa in fig.2.7.

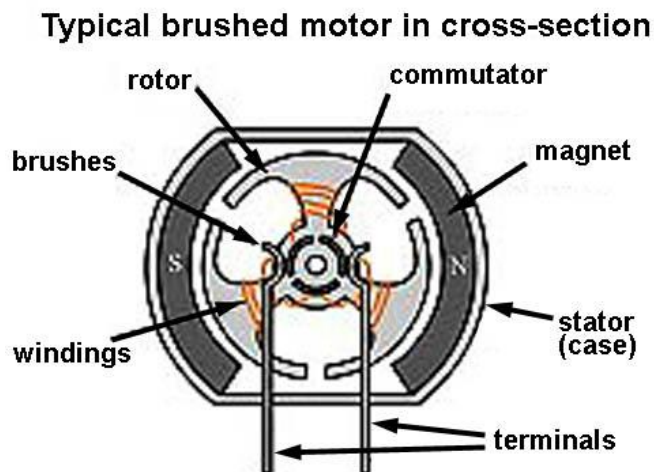


Figura 2.7

Il motore utilizzato nelle prove sostenute, è prodotto dalla *Faulhaber*, modello EC2232 con encoder, alimentato in DC, senza contatti striscianti, che assicura un corretto e costante funzionamento delle varie parti che lo compongono.

Montato direttamente sul motore, in maniera da evitare disallineamenti, vi è un sensore per determinare la velocità, con precisione.

Nel caso in esame vi è presente un sensore ad effetto “Hall”, quest’ultimo è un effetto elettromagnetico, che prende il nome dall’omonimo scienziato che l’ha scoperto, ovvero applicando una tensione continua V , ai terminali di un conduttore, si generano un flusso ordinato di elettroni da un capo all’altro dello stesso. Avvicinando un magnete al conduttore si nota una deviazione della regolare traiettoria degli elettroni, con conseguente generazione di una differenza di potenziale tra due punti di una sezione trasversale dell’elemento. In fig.2.8 vi è un’illustrazione schematica di tale effetto.

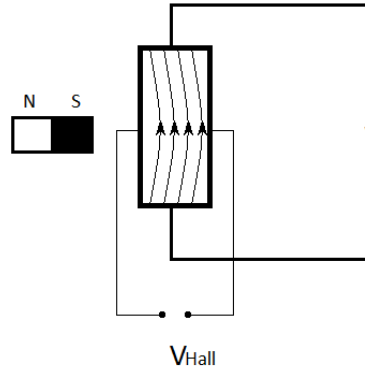


Figura 2.8

Questa tipologia di sensori è molto diffusa nell'industria, è costituito da tre magneti montati sullo statore ed uno unico sull'albero del motore, fornendo un'onda quadra di tre impulsi ad ogni giro, dalla cui frequenza è possibile ottenere la velocità di rotazione, unico dato ottenibile da questo dispositivo. Un'altra classe di sensori sono gli *encoders*.

Durante le prove il motore dovrà rispettare la severissima condizione di assialità con il volano, questo è garantito da un giunto di compensazione per ridurre eventuali disallineamenti, come è mostrato in figura 2.8.

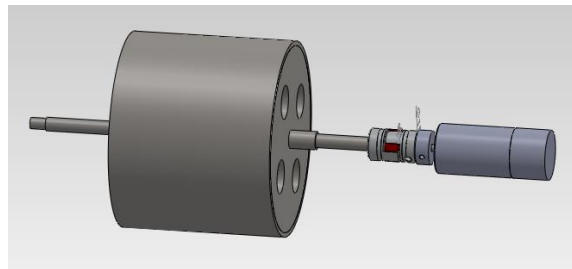


Figura 2.8

Quest'ultimo è un dispositivo, che pur essendo in grado di compensare lievi errori di allineamento consente la massima precisione di trasmissione del

moto e della coppia. Particolarmente impiegati in abbinamento a trasduttori, servomotori e riduttori.

In fig. 2.9 vi è riportata un immagine del dispositivo.



Figura 2,9

In fig.2.8.a/b viene riportato il *datasheet* del motore che verrà utilizzato.

2232 ... BX4 + Encoders				
	2232 S	012 BX4	024 BX4	
1 Nominal voltage	U _N	12	24	Volt
2 Terminal resistance, phase-phase	R	3,5	12,4	Ω
3 Output power ¹⁾	P ₂ max.	8,8	8,9	W
4 Efficiency	η max.	66,9	67,6	%
5 No-load speed	n ₀	6 600	7 000	rpm
6 No-load current (with shaft ø 3,0 mm)	I ₀	0,112	0,061	A
7 Stall torque	M _H	55,7	59,9	mNm
8 Friction torque, static	C ₀	0,85	0,85	mNm
9 Friction torque, dynamic	C _v	1,5 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻⁴	mNm/rpm
10 Speed constant	k _n	579	304	rpm/V
11 Back-EMF constant	k _e	1,728	3,288	mV/rpm
12 Torque constant	k _M	16,50	31,40	mNm/A
13 Current constant	k _i	0,061	0,032	A/mNm
14 Slope of n-M curve	Δn/ΔM	123	120	rpm/mNm
15 Terminal inductance, phase-phase	L	120	440	μH
16 Mechanical time constant	τ _m	6,7	6,5	ms
17 Rotor inertia	J	5,2	5,2	gcm ²
18 Angular acceleration	α max.	107	115	· 10 ³ rad/s ²
19 Thermal resistance	R _{th 1} / R _{th 2}	2 / 13		K/W
20 Thermal time constant	τ _{w1} / τ _{w2}	4,1 / 283		s
21 Operating temperature range		- 40 ... + 100		°C
22 Shaft bearings		ball bearings, preloaded		
23 Shaft load max.:		20		N
- radial at 3 000 rpm (4 mm from mounting flange)		2		N
- axial at 3 000 rpm		20		N
24 Shaft play:				
- radial	≤	0,015		mm
- axial	=	0		mm
25 Housing material		stainless steel		
26 Weight		81		g
27 Direction of rotation		electronically reversible		
28 Number of pole pairs		2		
Recommended values - mathematically independent of each other				
29 Speed up to	n _e max.	25 000	20 000	rpm
30 Torque up to ^{1) 2)}	M _e max.	14 / 22	14 / 22	mNm
31 Current up to ^{1) 2)}	I _e max.	1,05 / 1,60	0,56 / 0,85	A

2.8.a

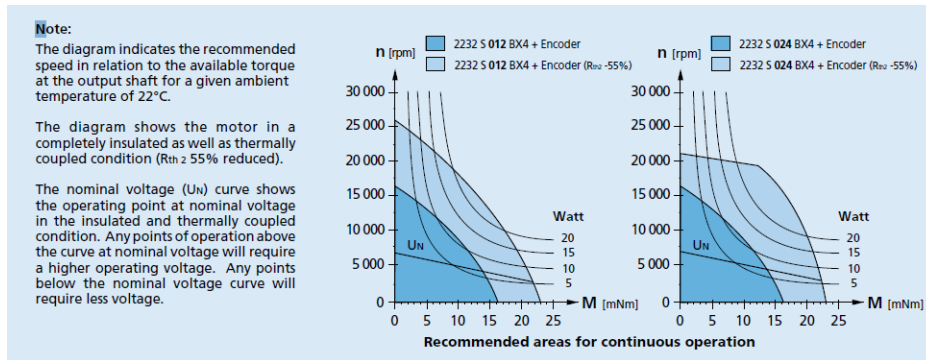


Figura 2.8.b

2.6 SATELLITE STABILIZZATO A TRE ASSI

Molto comuni sono diventati al giorno d'oggi i satelliti stabilizzati a tre assi con apparecchiature e dispositivi a bordo che garantiscono stabilità e precisione, i quali hanno sostituito gli ormai obsoleti satelliti che sfruttano il gradiente di gravità o la stabilizzazione per spin.

Importante sottolineare comunque che per gli usi accademici o per tutti quei progetti con un budget economico limitato le classi di satelliti menzionate precedentemente rimangono ottime soluzioni, e da un punto di vista dell'affidabilità sono meno delicati dei precedenti.

Capitolo 3

3.1 GENERALITA'

La parte centrale del lavoro è costituito da un'elettronica programmabile della "National Instruments", la cRIO (fig. 3.1).

Mediante questa è possibile controllare il motore in tensione e controllare la velocità di rotazione tramite il sensore a effetto 'Hall' montato sul motore.

Il controllo da parte dell'utente può essere eseguito direttamente sulla cRIO o da PC remoto.



Figura 3.1

3.1.1 L'AMBIENTE "LabView"

Il software di programmazione utilizzato è *LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)*, mediante il quale ci consente di acquisire ed elaborare le misurazioni effettuate.

Tale linguaggio è sviluppato dalla “*National Instruments*”, denominato linguaggio “G” (*Graphical Language*), ed è una piattaforma di programmazione grafica che si basa sull’utilizzo di icone piuttosto che di linee di testo per la realizzazione di applicazioni, grazie a questa sua caratteristica questo si presta facilmente alla creazione di interfacce macchina-utente, il più simili possibile ai dispositivi utilizzati in laboratorio. Infatti a differenza di altri linguaggi (es. “*MatLab*”), le istruzioni vengono regolate in base al flusso di dati tra i vari blocchi, invece di seguire un ordine di istruzioni assegnate. Un’applicazione *LabView* è chiamata Virtual Instruments (VI), ed è costituita essenzialmente da due parti fondamentali:

- *Block Diagram (schema a blocchi)*, in cui viene inserito il codice vero e proprio, sotto forma di icone, collegate l’un l’altra;
- *Front Panel (pannello frontale)*, in cui è possibile visualizzare le icone precedenti, rappresentate come indicatori, pulsanti, grafici, ecc., mediante i quali è possibile elaborare le grandezze in uscita e in ingresso;

Tutti i blocchi che possiedono la possibilità di comunicare con l’esterno vengono riportati nel pannello frontale sotto forma di indicatore o comando, con l’obiettivo di simulare della vera e propria attrezzatura da laboratorio.

Le potenzialità di questa piattaforma sono inoltre la sua grande capacità di poter comunicare con una varietà molto estesa di sistemi di acquisizione esterni, ovvero un qualunque sensore o dispositivo di trasmissione delle informazioni.

Altri due elementi molto importanti sono:

- *Variabili locali*, necessarie quando si ha bisogno di un determinato valore all'interno di un diagramma a blocchi e non si ha la possibilità di utilizzare un connettore (*wire*). Possono essere di lettura o di scrittura, e possono essere utilizzate in qualunque parte del programma, le quali assumeranno la forma di un controllo o di un indicatore nel pannello frontale. Spesso sfruttate nei cicli *for* e *while*.
- *Variabili globali*, utilizzate nel caso sia necessaria la stessa informazione tra due VI contemporaneamente in esecuzione. A differenza delle precedenti queste non si presentano nel pannello frontale.

Ogni altro chiarimento riguardo tale linguaggio può essere trovato consultando “l’help” del programma, fornito dalla National Instruments con spiegazioni teoriche ed esempi pratici.

3.2 STRUTTURA DEL *CompactRIO*

Il cRIO, Compact reconfigurable I/O, è un sistema integrato, riconfigurabile per il controllo e l'acquisizione di dati, per applicazione ad alte prestazioni.

Integra al suo interno:

- Chip FPGA;
- Microprocessore Real-Time;
- Moduli I/O direttamente connesse a sensori e attuatori.

3.2.1 CHASSIS

Lo *chassis* è l'elemento fondamentale della cRIO, qui è montato il chip FPGA.

Field Programmable Gate Array, FPGA, è un dispositivo elettronico riconfigurabile, con il vantaggio che può essere programmato sul campo, ovvero dall'utente fuori dalla fabbrica, infatti sono dotati di una memoria volatile che ne richiede la riprogrammazione ad ogni accensione.

La sua grande diffusione rispetto ad altri dispositivi, è dovuta al fatto che presenta un miglior compromesso tra qualità, costi e prestazioni.

Per quanto riguarda la programmazione, tradizionalmente sarebbe necessario l'utilizzo della piattaforma VHDL, ovvero un linguaggio di programmazione hardware molto complesso e che richiede un elevato tempo di sviluppo.

Ora per la programmazione è possibile utilizzare *LabView*, mediante il quale si definisce la logica combinatoria nei Vis tramite i vari blocchi, e si elaborano e controllano i moduli I/O.

Successivamente, a programma terminato, si avvia il processo di compilazione, si converte il linguaggio LabView in file VHDL e inviato al chip FPGA.

A livello costruttivo l'FPGA è costituito da un matrice di celle (fig.3.2), ognuna delle quali è una porta logica che ha una funzione specifica definita dal programmatore, e ogni cella può comunicare con le altre mediante una rete di connessioni e interruttori.

Naturalmente esistono una grande varietà di dispositivi, tra i quali è possibile fare una distinzione base in due grandi categorie:

- *Dispositivi EEPROM.* Utilizzate per progetti minori, sono caratterizzate da un file logico memorizzato in un'area non volatile,
- *Dispositivi S-RA.* Contengono un elevato numero di Gate e moduli I/O, ma a loro discapito hanno una frequenza massima di funzionamento più bassa delle precedenti a causa delle sue dimensioni e dell'elevato numero di connessioni da gestire

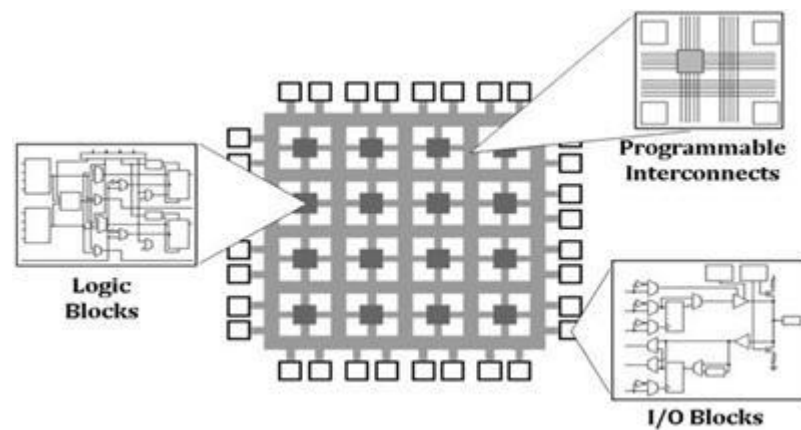


Figura 3.2

3.2.2 MICROPROCESSORE *REAL-TIME*

Un controllore Real-Time è un'altra parte fondamentale della scheda, ovvero è un sistema che deve sposare al meglio la necessità di avere dati validi aggiornati con un'elevata frequenza.

Il microprocessore non è nient'altro che un computer industriale per l'esecuzione di VIs, viene collegato al chip FPGA mediante un bus PCI ad alta velocità.

In fig.3.3 è riportato uno schema a blocchi delle connessioni tra FPGA, microprocessore RT e moduli I/O.

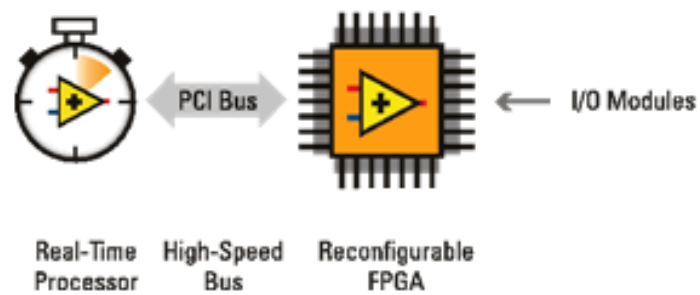


Figura 3.3

La programmazione di tale dispositivo non richiede modifiche fisiche allo stesso, inoltre bisogna notare la facilità e l'affidabilità con cui è possibile comunicare e gestire i vari dispositivi connessi al sistema.

3.2.3 INTERFACCIA PC HOST

Mediante un cavo ethernet è possibile collegare il PC Windows alla scheda cRIO (fig.3.4), mediante il quale viene controllata e gestito tutto il sistema, mediante il *front pannell* di *LabView* appositamente creato.

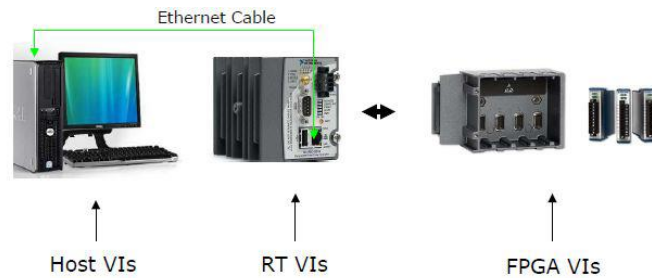


Figura 3.4

Ciò che è stato descritto nelle pagine precedenti è possibile riassumerlo in figura 3.5, ovvero nello schema a blocchi vengono evidenziati e mostrati i flussi di come lavora la cRIO, a partire dall'FPGA, al controller Real-Time, sino al PC Host.

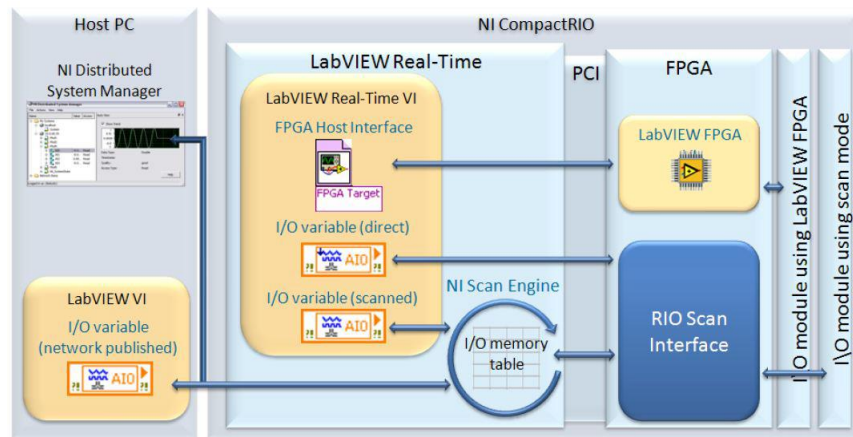


Figura 3.5

3.3 SINCRONIZZAZIONE

Per quanto riguarda le frequenze di lavoro, è necessario far presente che Modulo FPGA, microprocessore e PC funzionano in modo asincrono, ovvero:

- il clock del PC lavora al millisecondo;
- il clock del processore Real-Time lavora al microsecondo;
- il clock della FPGA lavora al nanosecondo.

Onde evitare di perdere informazioni è necessaria una sincronizzazione tra i tre livelli, ad esempio mediante degli *interrupts* o mediante tecnologia *FIFO*.

3.4 ARCHITETTURA cRIO

Il dispositivo si presenta come due schede montate sovrapposte, senza contatti se non le connessioni.

Nella scheda inferiore si trova il chip FPGA e il processore Real-Time, fig 3.7, mentre nella scheda superiore (fig. 3.8), sono presenti i comandi per agire direttamente per la modifica dei parametri e uno schermo LCD per monitorare l'uscita dai sensori senza collegare il PC Host.

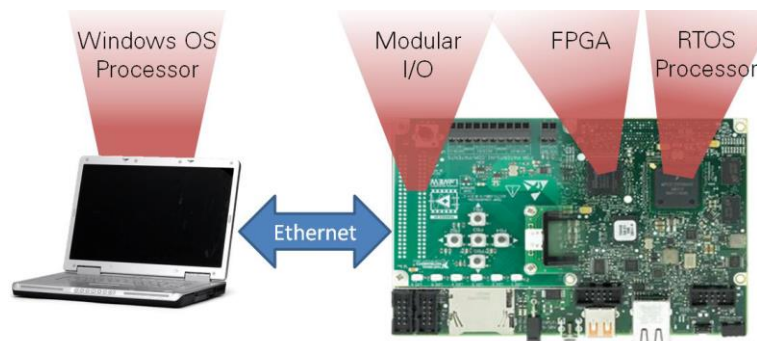


Figura 3.7

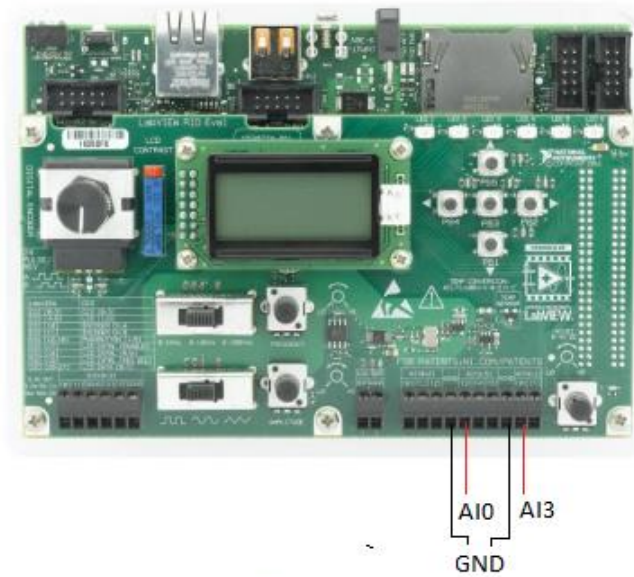


Figura 3.8

Sono state riportate, inoltre, le connessioni utilizzate durante il lavoro:

- AI0 Ingresso analogico del sensore a effetto "hall";
- AI3 Uscita analogica che comanda il motore;
- GND le due connessioni di terra rispettivamente di entrambe le connessioni, e fanno capo all'azionamento del motore.

In figura 3.9, possiamo notare le varie parti che compongono le periferiche di comunicazione con l'esterno e le varie parti più significative che compongono la scheda.

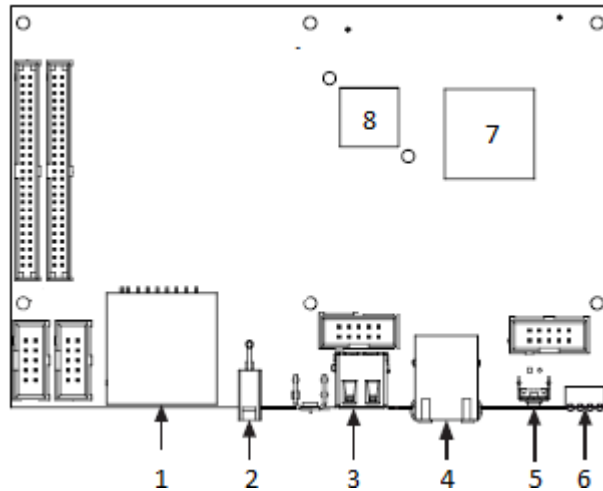


Figura 3.9

1. Alloggiamento memoria SD, per memorizzazione dei dati quando il PC Host non è collegato;
2. Alimentazione;
3. Periferica USB;
4. Porta Ethernet;
5. Pulsante di reset;
6. LEDs;
7. Microprocessore;
8. FPGA.

Capitolo 4

4.1 REALIZZAZIONE DEL SOFTWARE

Come descritto nel capitolo precedente, il software di controllo e gestione si sviluppa su tre livelli differenti: FPGA, cRIO e PC. In particolare lo schema a blocchi deve essere racchiuso in catena di comando, cioè è necessario avere un feedback provenienti dal sensore presente sul motore che validi la velocità ottenuta. In figura 4.1 è riportato il montaggio dei vari dispositivi, quali:

- Il motore e il suo azionamento;
- La connessione all'alimentazione del motore,
- La connessione dell'azionamento alla logica di controllo AO0 della scheda;
- La connessione del sensore a effetto "Hall" dell'azionamento all'ingresso analogico AI3 della scheda.

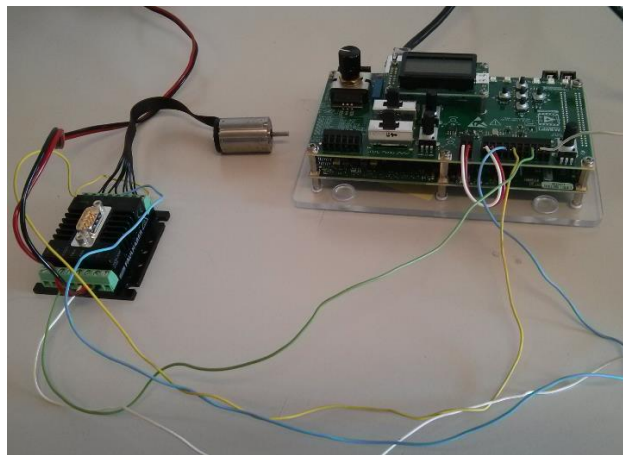


Figura 4.1

Come già anticipato il software è stato sviluppato in ambiente *LabView*, l'idea base quella di comandare in tensione il motore e di campionare i dati provenienti dal sensore, riportando nel display LCD il valore della velocità. Il file del progetto *MotorSpeed.lvproj*, è rappresentato in figura 4.2, dove vi sono messi in evidenza i VI *FPGA.vi*, *RT.vi* e *display3.vi*. Inoltre è possibile notare tutte le ulteriori parti dei *SubVis* e il file delle “*Host Shared Variable*”.

Per inizializzare il sistema, basta connettere il PC allo *Chassis*, e far partire ogni VI mediante il tasto “*RUN*” .

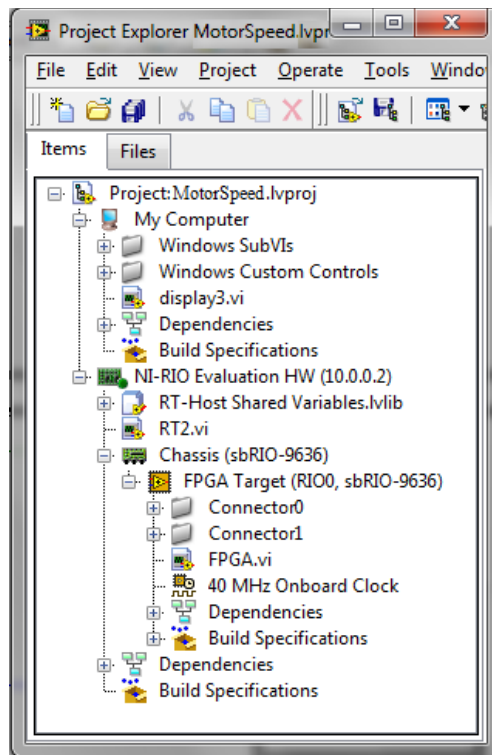


Figura 4.2

4.2 PROGRAMMAZIONE FPGA

Si riporta in figura 4.2 l'interfaccia del *block diagram* del VI relativo all'FPGA.

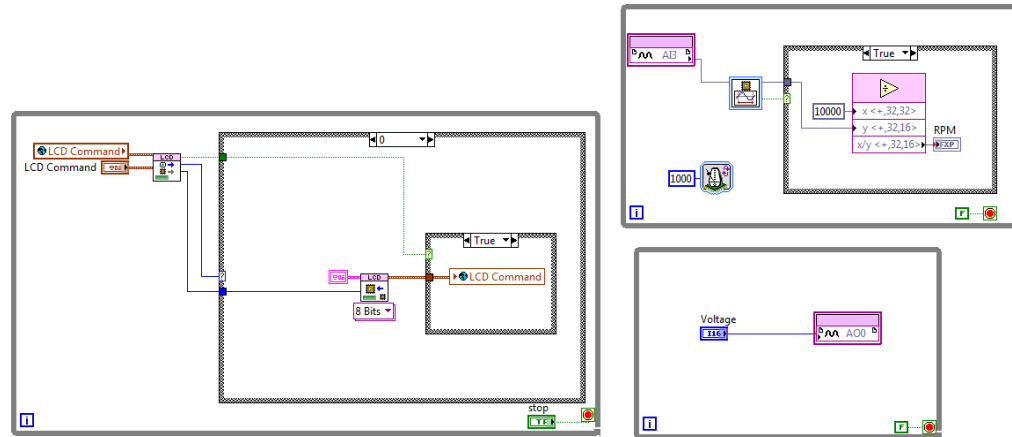


Figura 4.2

Possiamo notare i blocchi che compongono la schermata, costituiti da tre cicli *while*, relativi all'aggiornamento dei dati riguardanti il comando del motore, il campionamento dei dati dal sensore e di ciò che il display deve far apparire.

Un ciclo *while* ripete tutto ciò che si trova al suo interno, fino a quando non si verificherà una condizione *booleana* ben precisa, ovvero il pulsante rosso in basso a destra. Quindi la pressione di tale comando comporterà luscita dal ciclo.

Per quanto riguarda la struttura *case*, questa ci permette di elaborazioni condizionate di sub-diagrammi (generalmente 2, True e False) in funzione dei valori che possono assumere le variabili di controllo.

Il loop che riceve il dato dal sensore è rappresentato chiaramente in fig. 4.3, con una struttura case al suo interno.

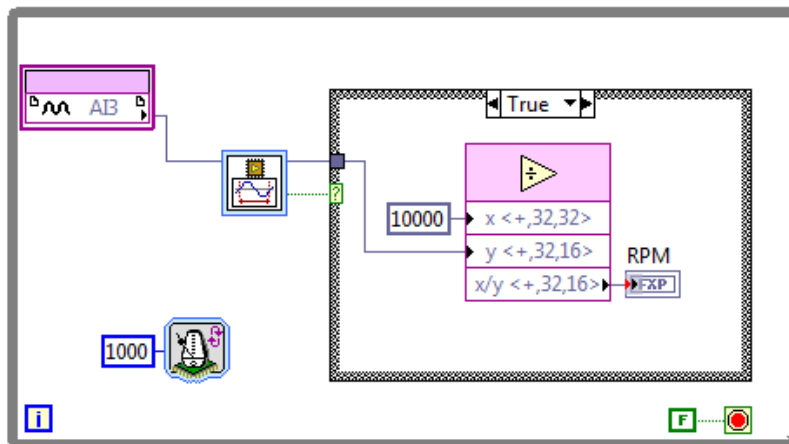


Figura 4.3

Mediante il comando di velocità (comando RPM), è possibile impostare la velocità, che sarà convertita in Volt (fig. 4.6), mediante una costante data dalla casa costruttrice del dispositivo, 304 RPM/V.

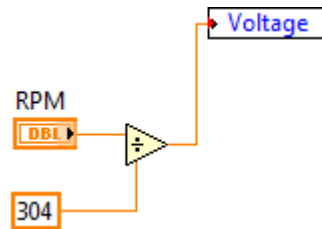


Figura 4.6

Inoltre è presente un display che indica se è occorso un errore, e in caso, ne viene segnalata la tipologia. Mentre tramite il tasto “STOP” è possibile fermare tutto il sistema.

In questo schema viene inizialmente richiamato l’FPGA, successivamente nel ciclo *while* vengono individuate le variabili di INPUT e OUTPUT.

Tutti i blocchi sono seguiti dalla linea degli errori, che possono interrompere in ogni istante l’esecuzione del programma, insieme al tasto “STOP”.

Infine nella parte inferiore vi i blocchi che inviano al display LCD il valore di velocità, anche questo in un ciclo *while*.

In fig. 4.7 vi è un immagine della visualizzazione del dato di velocità sul display.

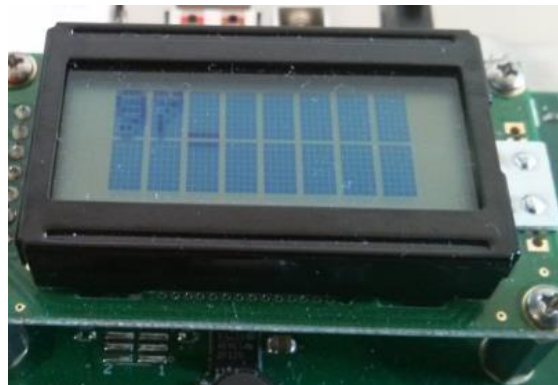


Figura 4.7

4.4 CONNESSIONE COMPUTER HOST

Mediante questo VI (fig. 4.8) è possibile comandare il motore direttamente mediante il PC Windows, dove si ha il controllo di velocità e il relativo indicatore analogico e digitale.

Si può notare anche la possibilità di scegliere l'indirizzo IP relativo alla connessione Ethernet.

Inoltre sarà possibile visualizzare la variazione della velocità in un grafico.

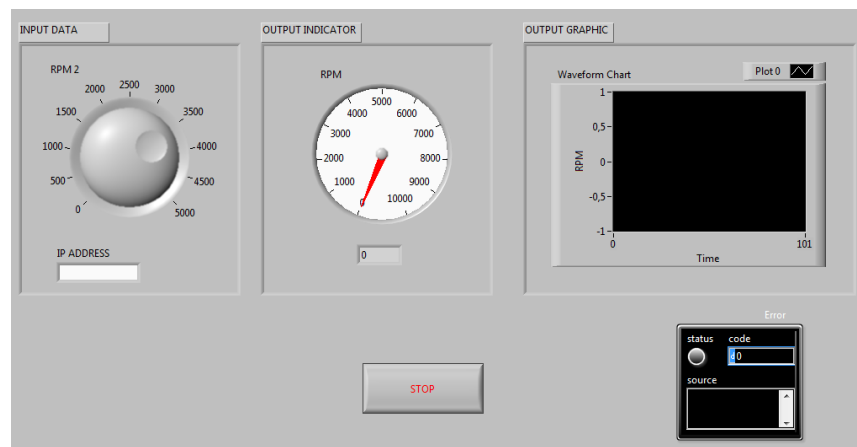


Figura 4.8

In figura 4.9 vi è riportato il *Block Diagram*.

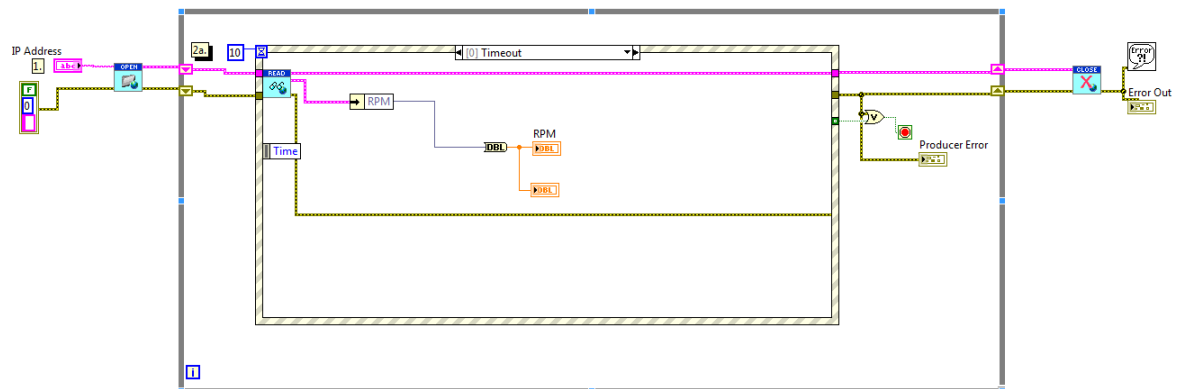


Figura 4.9

Capitolo 5

5.1 SVILUPPI FUTURI

Nell'elaborato presentato è stato trattato la realizzazione di un programma di controllo di un motore mediante *CompactRIO*, sfruttando il linguaggio di programmazione *LabView*.

Il passaggio successivo sarà montare i dispositivi a disposizione nella piattaforma di collaudo (Fig5.1) ed effettuare i vari test.

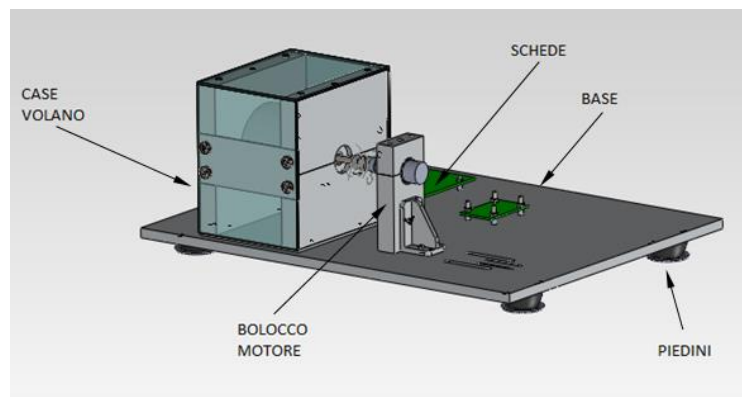


Figura 5.1

I risultati delle misurazioni saranno accelerazione, coppia erogata e consumo di corrente, dalle quali si potranno ottenere dati in termini di usura e attriti dei cuscinetti, parametri critici della progettazione.

Inoltre sarà possibile raffinare la misura della coppia mediante l'utilizzo di un *torquemeter*, in serie con la sonda ad "effetto hall" al motore a nostra disposizione.

5.1 TEST DI VITA ACCELERATA

Per prova di vita accelerata si intende un test nella quale l'intensità delle sollecitazioni applicate è scelta in modo da eccedere quella stabilita alle condizioni di riferimento, allo scopo di ridurre il tempo necessario per osservare l'effetto della sollecitazione sull'oggetto, oppure di accentuare questo effetto in un dato tempo (UNI 8000); mentre in condizioni nominali, una prova sarebbe lunga e costosa.

Importante è sottolineare che non si devono alterare il meccanismo di funzionamento o accelerare eventuali meccanismi di guasto, in genere il test avviene su strutture opportunamente preparate anziché sul dispositivo reale.

I fattori di stress che generalmente vengono presi in considerazione sono:

- *Ambientali*, temperatura e umidità;
- *Elettrici*, tensione e corrente;
- *Meccanici*, vibrazioni, urti e strisciamenti.

Stress meccanici saranno oggetto della prova, cercando inoltre di simulare l'ambiente spaziale mediante un'apposita camera.

Il test partirà dalla determinazione delle curve caratteristiche del motore, partendo dai dati forniti dalla casa verrà determinata la relazione tensione-velocità di rotazione, fondamentale per impostare poi tutte le altre tipologie di prove, che saranno a stress costante o variabile nel tempo. La prima scelta è semplice da eseguire, con modelli meglio sviluppati e tecniche di analisi meno complesse.

Per quanto riguarda le prove variabili nel tempo queste sono di difficile controllo e possono avvenire secondo modalità di stress ciclico, casuale, progressivo o a gradino, richiedendo modelli più complessi.

Entrambi i test verranno impostati, comandando mediante PC alla scheda il rispettivo valore di velocità da inseguire, sarà possibile leggere direttamente

sulla scheda i vari valori dei parametri ottenuti, e attraverso le varie periferiche disponibili sarà possibile scaricare i dati.

Si riporta in figura 5.2 il display definitivo che avrà in programma *LabView* per effettuare tali test, salvo modifiche e miglioramenti.

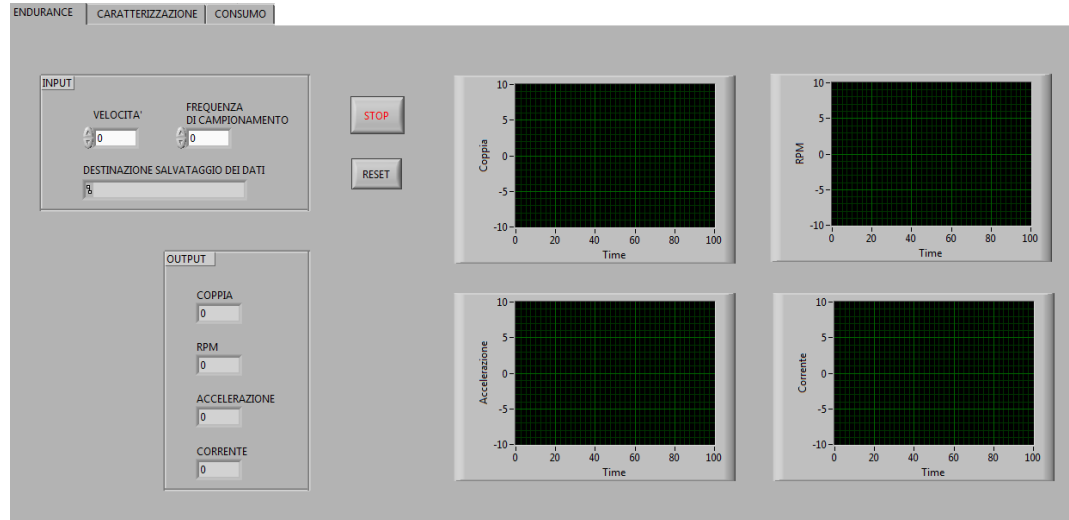


Figura 5.2

Possiamo notare i blocchi di INPUT e OUTPUT, e i grafici dove sarà possibile verificare correttamente l'andamento di tutte le variabili in gioco.

Inoltre si può scegliere la tipologia di test in alto a sinistra.

5.2 RIADATTABILITA' DELLA PIATTAFORMA

La piattaforma è stata studiata per poter effettuare anche test con altri componenti, infatti il blocco che supporta il volano è sovradimensionato in maniera da poter studiare diverse tipologie di ruote, lo stesso vale per gli alloggiamenti degli alberi. Sono state ideate per l'appunto, delle mascherine per poter alloggiare cuscinetti di diversi diametri e determinare il miglior componente. Per quanto riguarda il motore, anche per esso è stato realizzato un supporto adattabile al tipo di motore che si vuole utilizzare, inoltre sono stati ideati dei binari in maniera da aggiungere dispositivi di misura tra il volano e lo stesso.

Bibliografia

PROGRAMMI USATI

LabView

SolidWorks

SITI INTERNET

Wikipedia

Sito ufficiale National Instruments

MATERIALE DIDATTICO

Appunti del corso “controllo e dinamica d’assetto”, tenuto dal proff. Paolo Tortora, a.a. 2012/2013

Corso di LabView

Programmazione cRIO

TESTI CONSULTATI

“NI LabVIEW RIO evaluation kit [Tutorial]”

RINGRAZIAMENTI

Insomma...alla fine ci sono riuscito e sono arrivato alla fine, anche se tra mille peripezie e inciampi!

Ma perché è necessario scrivere qualcosa quando si può benissimo parlare...mahh????? Piuttosto 10 esami in più!!!

In queste poche righe vorrei ricordare e salutare tutti coloro che mi hanno sopportato e voluto bene in questi anni, la leggo io così non rompete le palle con le acca e la punteggiatura, e se i verbi non vi vanno bene vi invito a fare silenzio e ascoltare!!

<Rivolgo il mio primo pensiero a *Laura*, la donna che mi ha cambiato la vita...a lei dedico il mio lavoro, le mie giornate e i miei sforzi.

Sei la ragazza che vorrei avere al mio fianco, nonostante tutto siamo ancora qui, tenuti insieme da un legame che difficilmente potrà saltare. Ti voglio un gran bene amore!!! >

Vorrei citare la mia famiglia, i miei genitori che mi son sempre stati vicini e mi hanno dato la possibilità di arrivare fino a questa meta, che mi hanno sostenuto anche nei momenti più difficili e che ogni giorno dimostrano di volermi un gran bene, nonostante io non sia stato proprio sempre molto simpatico!!

Ringraziamenti dovuti anche a mio fratello e alle mie sorelle, in quanto non hanno mai avuto un fratello molto presente in casa. Grazie!!

Un ringraziamento lo rivolgo d'obbligo anche a la famiglia di Laura che mi ha ospitato come profugo in casa sua, e che mi aspetto a momenti un bel conticino da pagare, dai Fedi che dopo facciamo un salto a trovare il nostro Amico!!

Poi non posso non ringraziare tutti gli amici, tutto coloro che son stati al mio fianco sempre e mi davano la forza di andare avanti o mi davano "du breton" e basta!!

Tra i tanti voglio ringraziare in particolar modo:

Mazza, che mi ha dato sempre la carica a far tutto...e anche troppo, senza fermarsi mai, un caro amico che so che ci sarà sempre in ogni circostanza, ogni giorno ce ne era una nuova, un'avventura o storia o stronzata da proporre;

Jonni, famoso per gli scherzi, quanti gliene abbiamo fatti...e che ridere.

Pilio, che macello in quella casa...mai che lavava...sporcava l'universo e "Ciao, ci vediamo la prossima settimana!!"... ne abbiamo passate davvero un'infinità...Nascondino in casa, passeggiate fino all'aeroporto con la neve...pellegrinaggi a Predappio...!!!

BertoRoberto320, che dire del mio primo coinquilino, quando mi ha aperto la porta la prima volta con quella barbetta da frocio, ancora me l'ho ricordo... quante partite, quante b....., ore ore e ore sottratte allo studio...ma ne son valse la pena...non preoccuparti qualche mia nuova canzone te la manderò sempre...

Pricci, quante botte ti devo dare ancora!!!!e quante ce ne siamo date...a volte facevo fatica a lavorare dai postumi...

Il Rustuuummmm, l'unico che sosteneva la mia cucina a base di salsiccia e Hamburger!! E che si ingozzava con la mia pizza, anche congelata, tutta la domenica!

Siro, di te ricorderò soprattutto le comparsate all'improvviso in casa..."e mi faccio un te DR", e naturalmente tutte le scenate e gli scherzi che non potevano mancare mai!!

Ariele, che mi dava continuamente del frocio con quella benedetta barchetta...e che pensava di far il figo a PES....."ma per piacere che hai più culo che anima"!!

Il Gavesi, che essendo leggermente più grosso di me e mi faceva venir dei piccoli complessi di inferiorità a livello muscolare!! Ma compensava con i discorsi da folgorini!!

Mi scuso se ho dimenticato qualcuno, ma queste sono le persone che principalmente vorrei ringraziare e ricordare dei particolar momenti con loro...i quali mi hanno accompagnato in prima persona in questo importante cammino sino alla fine. GRAZIE RAGAZZI!! Mi mancherete da morire. E so che quando rileggerò queste pagine mi verrà da piangere, siete i migliori!!

Un dovuto ringraziamento lo voglio rivolgere inoltre d.Dino e d.Lanaro, i quali sono stati come dei genitori per me e sin da quando ero ragazzino mi hanno sempre guidato a trovare la strada corretta in termini spirituali e di carriera.