

Liceo Scientifico Le Filandiere

Esame di Stato anno 2017-2018

Costruzione e descrizione di un aeromodello

Stefano Gabbana

Classe 5^a E

Giugno 2018

Indice

- 1 Introduzione
- 2 Aeromodello
- 3 Accumulatore al litio
- 4 Switching DC/DC converter
- 5 Trasmittente
- 6 Ricevente
- 7 Motore brushless
- 8 Servocomando
- 9 Anello di retroazione
- 10 Bibliografia e sitografia

Introduzione

Ho deciso di proporre il progetto dell'aeromodello perchè il volo è una delle mie passioni più grandi. Durante il secondo quadrimestre della quinta, ho partecipato alla selezione per poter frequentare il percorso di studi per la formazione di piloti ufficiali dell'accademia aeronautica di Pozzuoli, è stata un'esperienza impegnativa che mi ha dato soddisfazioni. Purtroppo, in prossimità della fine del percorso, non ho ottenuto un punteggio sufficiente per il superamento della prova scritta di composizione italiana. Continuerò comunque a seguire la mia passione proseguendo gli studi con ingegneria aerospaziale, nell'attesa di riprovare la selezione del prossimo anno per diventare pilota.

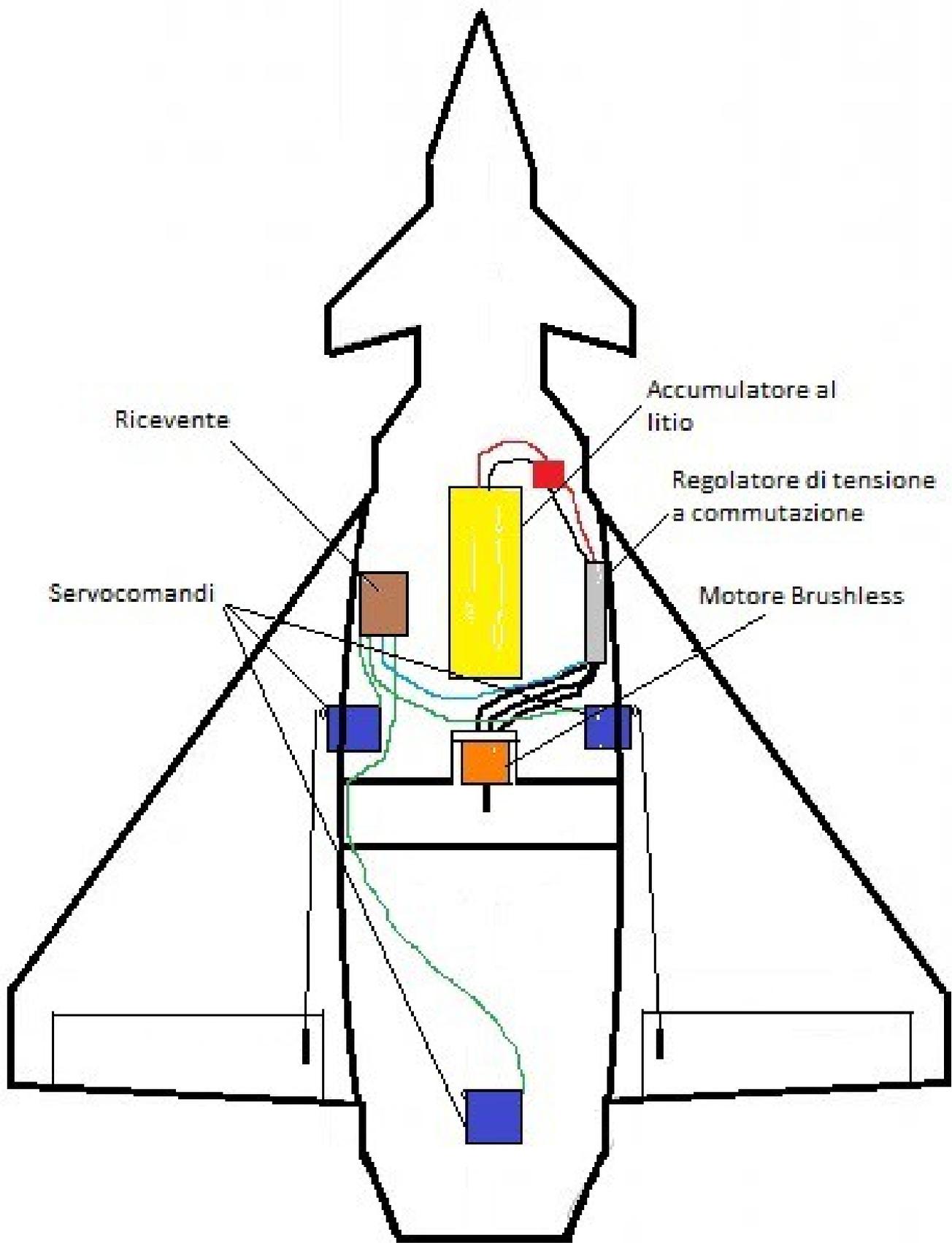
Sfruttando le conoscenze apprese in otto anni di pratica dell'aeromodellismo, ho costruito l'aeromodello basandomi sui disegni bidimensionali delle sezioni dell'Eurofighter Typhoon, appartenenti all'istruttore del campo di volo di San Vito al Tagliamento.

In seguito alla realizzazione e ai vari test di volo, ho deciso di concentrare l'esposizione sul funzionamento dal punto di vista fisico delle componenti elettriche che permettono il volo e il controllo dell'aeromodello.

Aeromodello

L'aeromodello è una semiriproduzione ispirata all'Eurofighter Typhoon (EFA: European Fighter Aircraft), un caccia multiruolo di quarta generazione sviluppato a partire dal 1983 da una collaborazione multinazionale tra Regno Unito, Germania, Francia (solo inizialmente) Italia e Spagna. Il Typhoon adotta una configurazione aerodinamica con ala a delta e alette canard a calettamento regolabile. Questa configurazione esalta la stabilità longitudinale a velocità subsonica (2490 Km/h velocità massima) e grazie a un sistema di controllo digitale fly-by-wire della stabilità, garantisce elevata maneggevolezza rendendolo attualmente uno dei velivoli più efficienti. L'aeromodello è realizzato in depron da 6 millimetri con rinforzi in carbonio.





Accumulatore al litio

L'accumulatore al litio è un dispositivo elettrochimico che converte l'energia chimica contenuta all'interno dei suoi materiali attivi direttamente in energia elettrica, tramite reazioni redox reversibili.

Si può ricaricare fornendo energia elettrica in direzione opposta alla corrente di scarica

Ha uno dei migliori rapporti peso/potenza, nessun effetto memoria e una lenta perdita della carica quando non è in uso. Queste batterie possono essere pericolose se impiegate impropriamente e se vengono danneggiate.

Tensione nominale: si esprime in Volt e indica il lavoro che può compiere l'unità di carica elettrica nel passare dal polo positivo a quello negativo.

4,2 Volt per cella, 3 celle collegate in serie (+ con il -) = 12,6 Volt

Capacità nominale: si esprime in Ah e rappresenta, in maniera semplificata, il numero di ampere che la batteria può erogare per un'ora di seguito.

2200mAh

Scarica massima: si esprime in Ampere ed è la corrente massima che la batteria può erogare per pochi secondi.

$2200\text{mAh} * 40c = 88000\text{mA} = 88\text{A}$



Componenti di una cella

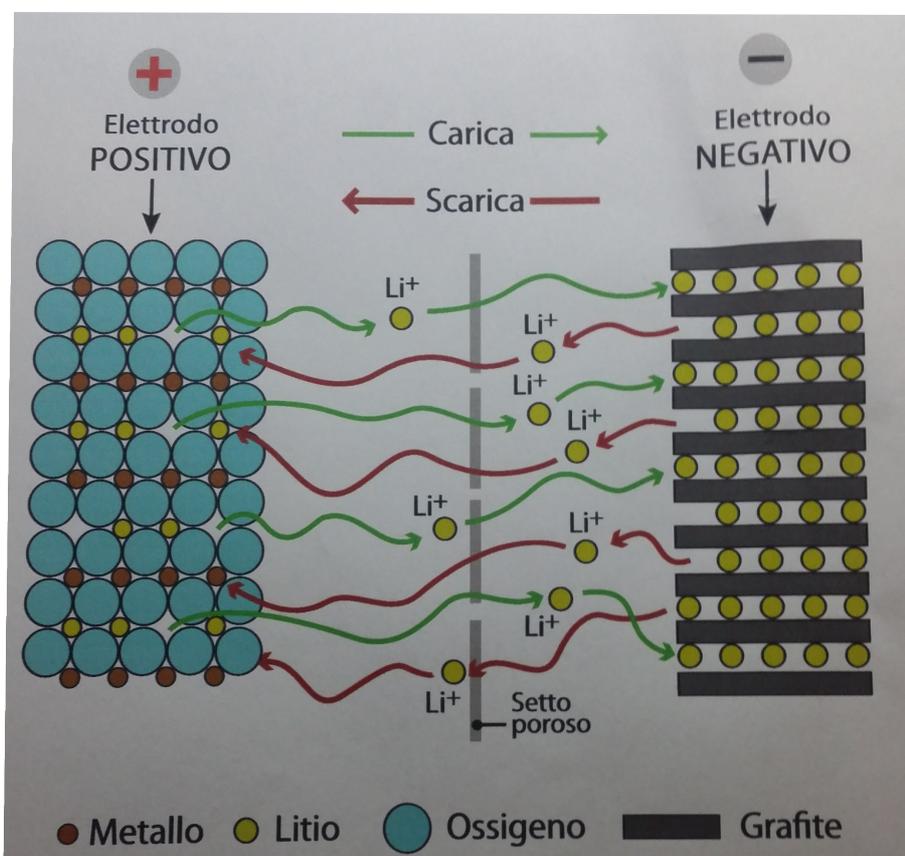
L'anodo: è il polo negativo ed è costituito da grafite.

Il catodo: è il polo positivo ed è composto da litio. L'intera tipologia della cella prende il nome dal materiale usato per il catodo.

L'elettrolita: è un conduttore di ioni (particella carica), ma un isolante per gli elettroni. Separa i due elettrodi e fornisce il mezzo per il trasferimento degli ioni tra anodo e catodo. Nelle batterie al litio l'elettrolita è un solvente inorganico (in genere un polimero solido) contenente sali di litio. Vi sono molti vantaggi in questo tipo di costruzione, tra cui il fatto che il polimero solido non evapora e non è infiammabile. Le attuali celle polimeriche hanno una struttura a fogli flessibili, spesso pieghevoli contenuti in una struttura a busta.

Fase di carica: durante la carica l'elettrodo positivo viene ossidato. Gli ioni Li^+ sono sottratti dall'ossido di litio, passano attraverso l'elettrolita e la membrana e si collocano tra gli strati di grafite dell'elettrodo negativo con la reazione di riduzione di questo.

Fase di scarica: durante la scarica avviene una ossidazione dell'elettrodo negativo. Gli ioni Li^+ , accumulati nel processo di carica, migrano attraverso l'elettrolita per installarsi nell'elettrodo positivo. Un numero equivalente di elettroni viaggiano attraverso il circuito esterno dall'anodo (-) al catodo (+) producendo la corrente utile (per convenzione la corrente è intesa come flusso di cariche positive, per cui il verso è contrario a quello degli elettroni che sono carichi negativamente).



Vantaggi

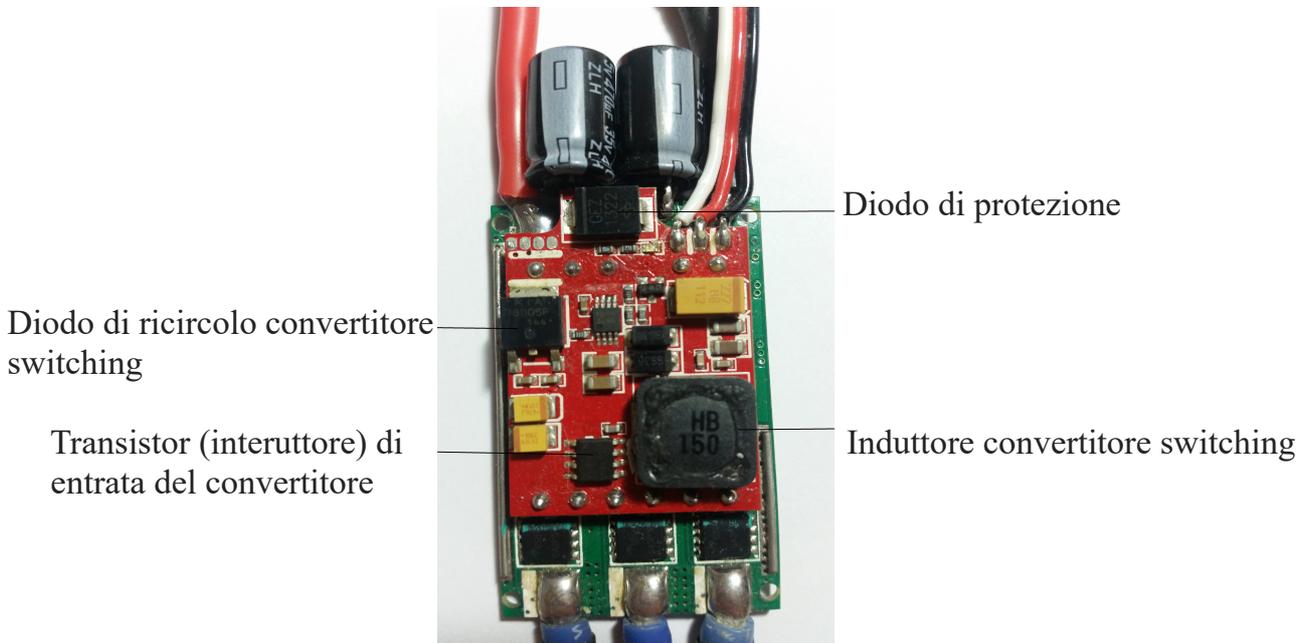
- Alto voltaggio (fino a 4,2 V per cella), che consente di diminuire il numero di celle in una batteria
- Alta energia specifica (oltre 200 Wh/kg) in piccoli volumi.
- Buona densità di potenza, che permette l'erogazione di energia ad alte correnti
- Periodo di vita lungo (oltre 1000 cicli)

Svantaggi

- Elevata reattività con acqua anche in tracce
- Surriscaldamento
- Perde fino al 20% della sua capacità all'anno
- Non va mai scaricata sotto una certa tensione (3,7 Volt per cella) per evitare danni irreversibili.
- Approvvigionamento della materia prima: il litio è disponibile in natura in quantità limitata e richiede processi di estrazione particolarmente complicati e costosi.

Regolatore di tensione a commutazione

Il regolatore di Tensione a commutazione (switching DC/DC converter) è un dispositivo elettronico, integrato nel regolatore del motore, che abbassa e mantiene costante a 6 Volt la tensione delle corrente emessa dall'accumulatore variabile tra 12,6 Volt e gli 11,1 Volt) per poi distribuirla alla ricevente dell'aeromodello.



Funzionamento:

La tensione di ingresso (12.6V), tramite un interruttore elettronico (transistor di potenza), viene applicata ad un induttore (bobina) per un tempo T1.

Per effetto del suo nucleo magnetico l'induttore immagazzina energia che viene poi restituita al carico di uscita tramite un secondo interruttore che viene azionato per un tempo T2.

Il valore di tensione che si ottiene in uscita (6 V) dipende dalla proporzione tra i due tempi T1 e T2.

Il secondo interruttore può essere realizzato anche con un diodo.

Un condensatore posto in uscita in parallelo al carico, livella la tensione di uscita, rendendola continua ed eliminando le ondulazioni (ripple) residue.

Combinando in modo diverso questi componenti di base (i due interruttori e l'induttore), si ottengono dc/dc converter che possono fornire in uscita tensione più bassa di quella di ingresso (Step-down o buck, e questo è il nostro caso), più alta (Step up o boost) e anche negativa.

I regolatori a commutazione sono molto efficienti perché i componenti utilizzati come interruttori dissipano poca energia: un interruttore aperto è attraversato da corrente nulla, quindi dissipa potenza nulla ($P=V \times I$), se invece è chiuso, è la tensione ai suoi capi ad essere nulla e conseguentemente la potenza dissipata è ancora nulla.

I regolatori di tensione "lineari" sono invece molto poco efficienti perché impiegano un transistor come fosse una resistenza.

Ad esempio per ridurre una tensione da 12V a 6V un transistor viene usato come una resistenza in serie tra ingresso e uscita su cui cade la tensione: $12V - 6V = 6V$

Ipotezzando che la corrente erogata al carico di uscita sia 1A, il transistor dissipa (sprestando per effetto Joule) $6V \times 1A = 6W$.

1 watt sembra poco, ma equivale allo scambio o al trasferimento di 1 joule di energia in 1 secondo.

Sul nostro pianeta una massa di 100gr. che sia ad 1 m di altezza rispetto ad un piano di riferimento, ha circa 1 J. di energia potenziale ($U = m \times g \times h$, dove $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$).

1 watt è quindi la potenza che serve per alzare di un metro in un secondo 100 grammi di materia.

L'azione combinata degli interruttori che caricano e scaricano di energia la bobina determinano la tensione di uscita.

Interruttore 1 chiuso per poco tempo = carico poca energia nella bobina.

Interruttore 1 chiuso per tanto tempo = carico tanta energia nella bobina.

Interruttore 2 chiuso per poco tempo = scarico ovvero estraggo poca energia dalla bobina

Interruttore 2 chiuso per tanto tempo = scarico tanta energia dalla bobina.

Trasmittente

La trasmittente è il dispositivo con cui il pilota guida l'aeromodello. Essa trasforma la corrente continua della batteria che la alimenta, con una tensione di 12,6 Volt, in una corrente alternata ad alta frequenza (2,4 Ghz). Questa corrente genera un campo elettromagnetico che si propaga nello spazio mediante onde radio.

Il campo elettromagnetico prodotto dai sistemi radio può variare per:

- ampiezza (intensità): trasmissione radio in modulazione di ampiezza.
- frequenza di oscillazione: trasmissione radio in modulazione di frequenza (voce, TV analogica) su un singolo canale radio, o in più frequenze (nostro caso) attraverso il Frequency Hopping (salto di frequenza scoperto dall'attrice di Hollywood Eddy Lamar negli anni '40) .
- durata nel tempo: trasmissione radio in modulazione di durata dell'emissione di campo elettromagnetico (modulazione digitale in numeri binari 0 = spento, 1 = acceso).



Sistema di sincronizzazione trasmittente-ricevente

Ogni trasmittente ha una sequenza pseudocasuale di numeri unica per essere identificata. Attraverso il processo di Binding, la ricevente posta nell'aeromodello, memorizza la sequenza di numeri pseudocasuale della trasmittente, in modo da ricevere i comandi da quell'unica trasmittente. Questo permette il volo simultaneo di più aeromodelli, senza disturbi generati da interferenze radio.

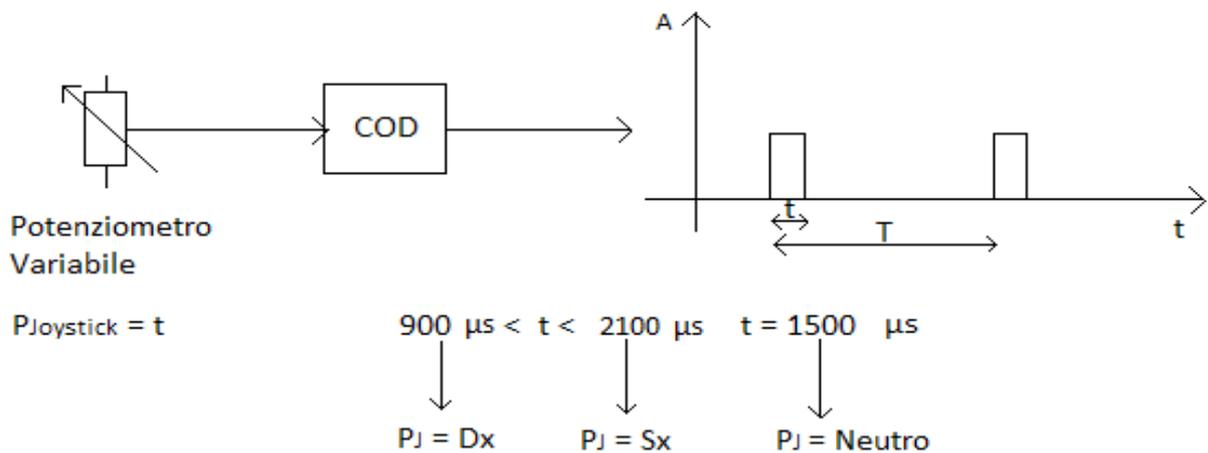
Funzionamento

Gli stick della trasmittente sono collegati a dei potenziometri variabili (uno per ogni asse di movimento). Ogni potenziometro variabile è collegato ad un blocchetto di codifica che legge la posizione dello stick e la trasforma in un segnale elettrico che può essere trasmesso sul canale radio (uno per ogni asse di movimento).

L'informazione utile contenuta nel segnale elettrico è determinata dalla sua durata (t).

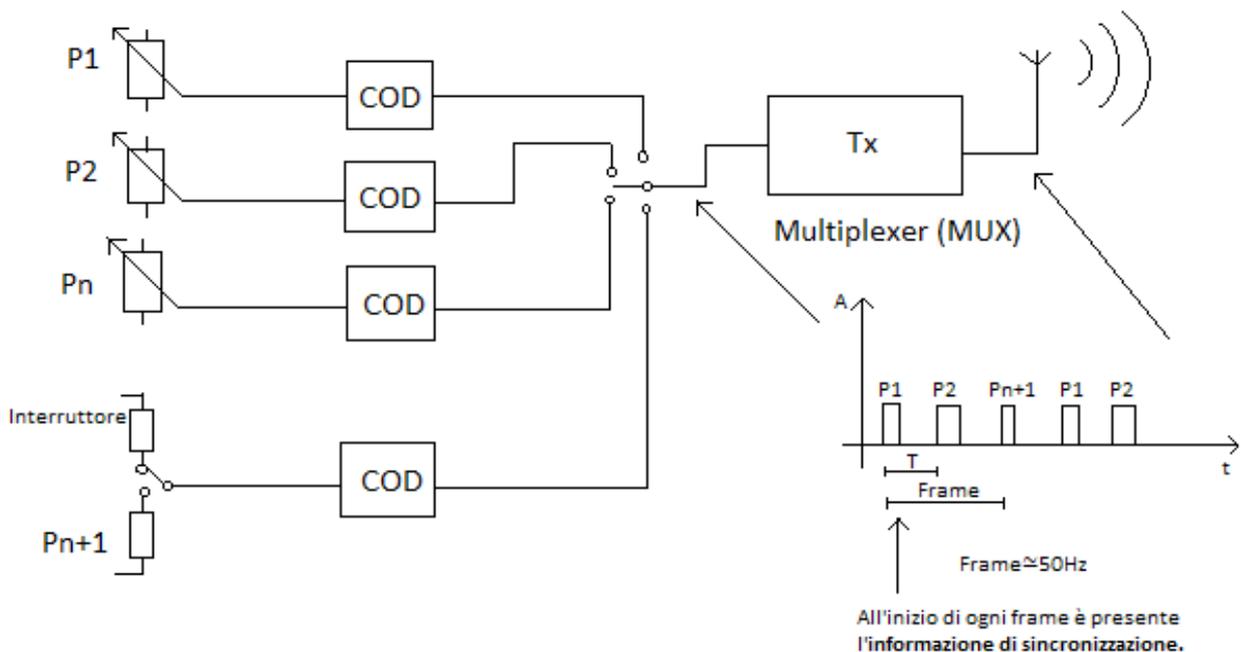
Il valore di t è compreso tra $900 \mu\text{s}$ e $2100 \mu\text{s}$:

- joystick a destra $t = 900 \mu\text{s}$
- joystick a sinistra $t = 2100 \mu\text{s}$
- joystick al centro in posizione neutra $t = 1500 \mu\text{s}$



I segnali elettrici provenienti dai blocchi di codifica, vengono letti e registrati all'interno di un frame (50 Hz) a cui viene aggiunto il codice speciale di sincronizzazione dal Multiplexer (Mux). Infine vengono inviati in forma di onde radio alla ricevente attraverso l'antenna.

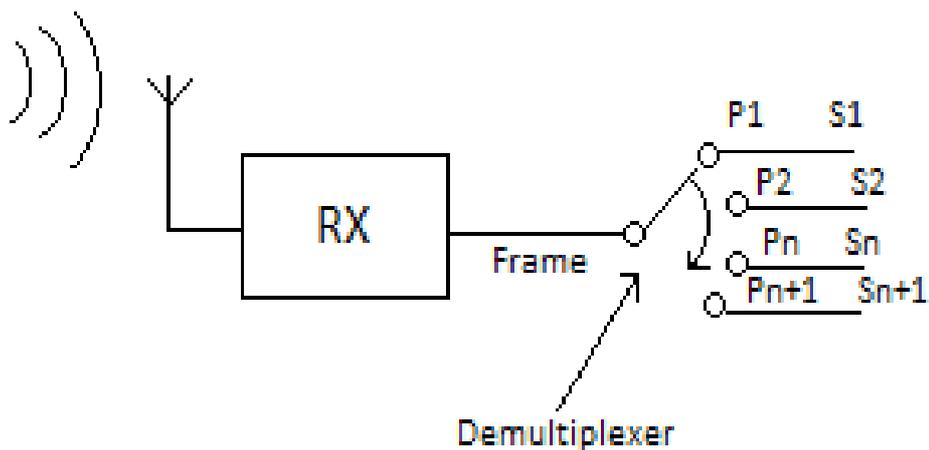
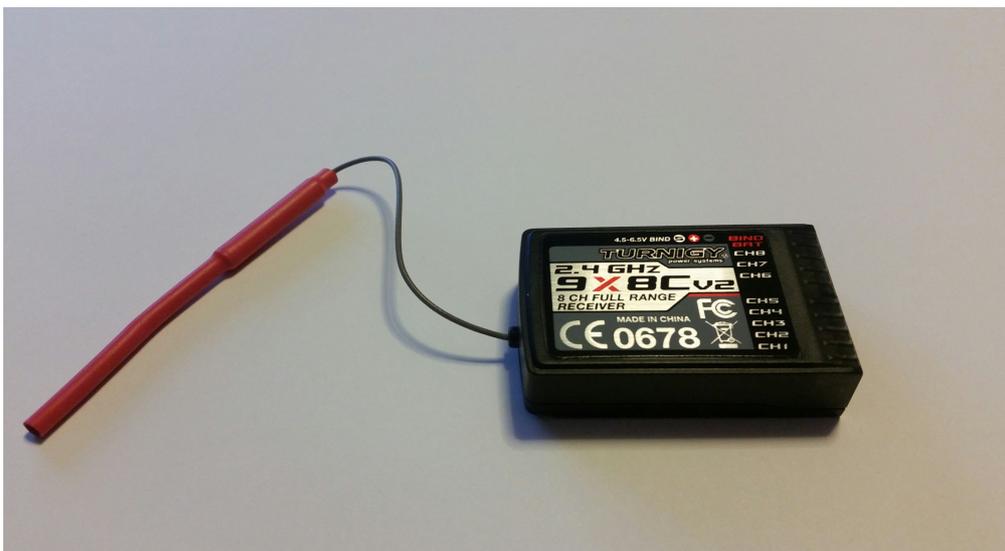
Questa operazione viene ripetuta 50 volte al secondo per garantire la precisione dei comandi dell'aeromodello.



Ricevente

La ricevente è un dispositivo elettronico alimentato dalla corrente elettrica proveniente dallo switching DC/DC converter.

Essa riceve le onde Radio della trasmittente, le de-modula attraverso il Demultiplexer (sincronizzato con il Multiplexer della trasmittente) per estrarre dai frame le informazioni relative alla posizione degli stick della trasmittente e invia i diversi segnali elettrici ai canali di trasmissione collegati a tutte le componenti elettriche dell'aeromodello che determinano, in modo proporzionale alla posizione degli stick, la posizione delle squadrette dei servocomandi, la posizione delle superfici mobili e il numero di giri del motore dell'aeromodello. Anche questo processo avviene con una frequenza di 50 volte ogni secondo, sincronizzata con il Multiplexer della Trasmittente.



P1 = servocomando 1.

P2 = servocomando 2.

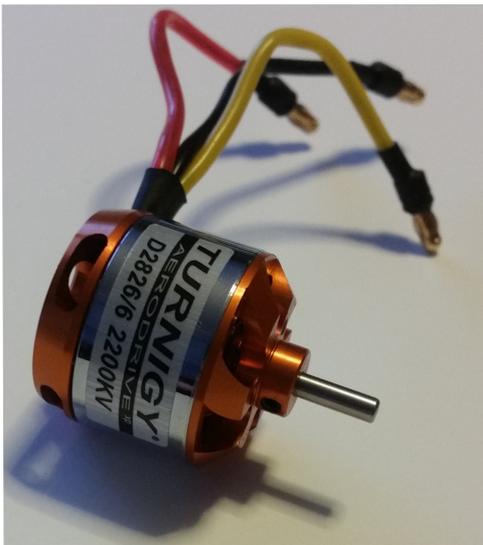
Pn = servocomando n.

Pn+1 = servocomando n+1.

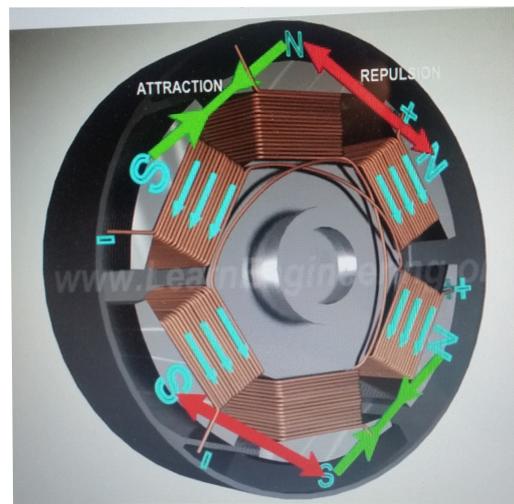
Motore Brushless, sincrono a magneti permanenti

Il motore Brushless (senza spazzole) è un dispositivo che trasforma l'energia elettrica in meccanica passando attraverso un campo magnetico. Le bobine dello statore producono un campo magnetico variabile che ruota nel tempo. Questo attrae e respinge simultaneamente i magneti permanenti fissati al rotore provocando la rotazione dell'albero motore a cui è fissata l'elica.

Rotore



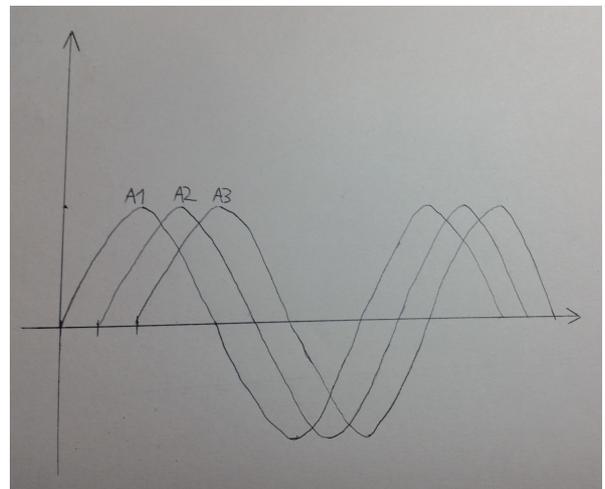
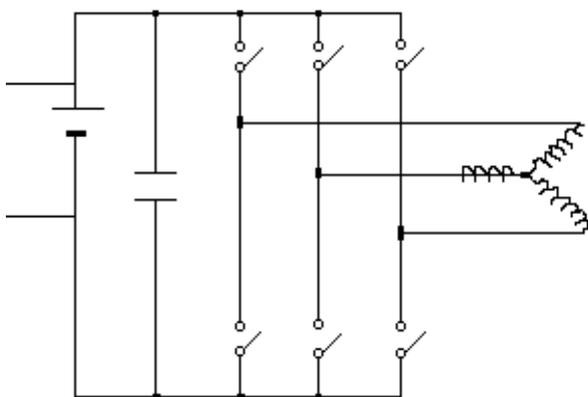
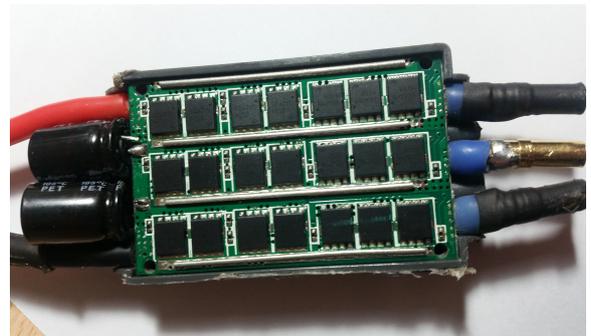
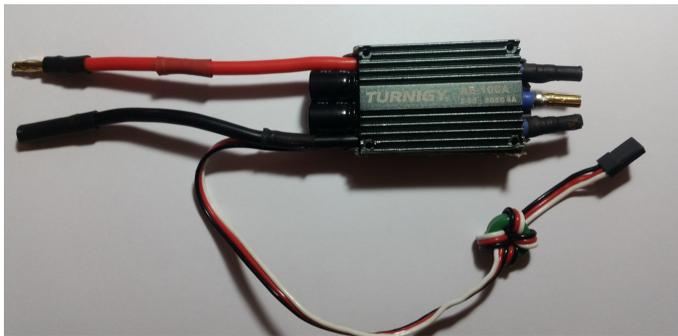
Statore



Il regolatore del motore trasforma la corrente continua emessa dalla batteria in corrente variabile per alimentare lo sfasamento a 3 periodi del motore.

La rotazione del campo magnetico generato nello statore è realizzata dal regolatore, un circuito elettronico composto da un banco di transistor di potenza comandati da un microcontrollore che controlla la commutazione e l'inversione della corrente.

Il numero di magneti è diverso dal numero degli avvolgimenti (multiplo di 3), per far sì che il rotore non trovi mai un punto di equilibrio in cui fermarsi.



Esistono due tipologie di motori Brushless:

- **Inrunner:** sono costruiti con magneti fissati direttamente all'albero, che è circondato da avvolgimenti di rame. Poiché i magneti sono vicini all'albero, gira molto velocemente (elevati giri per ogni volt kv) ma produce basse coppie.

Sono più efficienti e potenti, ma necessitano di un riduttore per utilizzare eliche di grande dimensioni. Sono vantaggiosi per aeromodelli ad alta velocità che utilizzano un'elica piccola.

- **Outrunner:** sono costruiti con avvolgimenti in rame nella parte interna. L'albero è fissato in modo solidale con una "campana", che contiene i magneti e che ruota intorno agli avvolgimenti di rame. Poiché il peso della campana e dei magneti, sono distanziati dall'albero, essi agiscono come un volano.

Producono generalmente regimi di rotazione inferiori e coppia superiore rispetto agli inrunner.

Questo tipo di motore è adatto per sviluppare trazione, perfetto per un motoalante o per manovre 3D (acrobazia) di potenza.

Coefficiente kv: numero di giri al minuto del motore per ogni volt applicato. È determinato dal numero di avvolgimenti o spire che circondano lo statore.

Vantaggi

- Il primo notevole vantaggio riguarda la vita attesa del motore, dato che le spazzole sono il "punto debole" di un motore elettrico.

- L'assenza di spazzole elimina anche la principale fonte di rumore elettromagnetico presente negli altri motori elettrici e la presenza di scintille, fondamentale quando il motore opera in ambienti saturi di composti chimici volatili, come i carburanti.

- L'ingombro è limitato rispetto alla potenza che possono erogare e soprattutto rispetto alla coppia che questi motori riescono ad erogare.

- I magneti permanenti sono posizionati sul rotore e sono realizzati con speciali materiali che permettono di avere un'inerzia rotorica molto bassa, cosa che permette di avere un controllo estremamente preciso sia in velocità sia in accelerazione.

Svantaggi

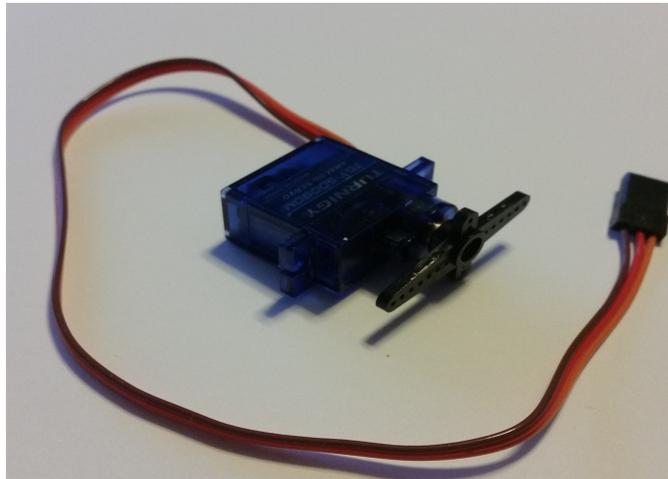
- Il principale svantaggio di questo tipo di motori sta nel maggiore costo. A differenza dei motori a spazzole, infatti, il controllo viene effettuato elettronicamente da un controller, un dispositivo elettronico fornito dal costruttore del motore o da terze parti, quindi al costo del motore va aggiunto il costo del sistema di controllo.

Servocomandi

I servocomandi sono piccoli dispositivi utilizzati per controllare il movimento delle superfici mobili dell'aeromodello.

Sono formati da:

- un involucro di materiale plastico.
- un piccolo motore elettrico alimentato dalla corrente proveniente dalla ricevente alla.
- una serie di ingranaggi per ridurre la velocità del motore e aumentare la forza applicata al movimento.
- una squadretta in materiale plastico o metallico, fissata al perno di rotazione (con 180° di escursione), uscente dal corpo del servocomando, per trasmettere il movimento alle superfici mobili.
- un circuito elettrico con anello di retroazione per gestire la posizione della squadretta.



I servocomandi, nonostante le loro ridotte dimensioni, grazie a sistemi di riduzione ad ingranaggi più o meno sofisticati, hanno delle forze torcenti molto elevate e sono in grado di spostare diversi Kg (alcuni modelli di servocomando arrivano ad oltre 45Kg).

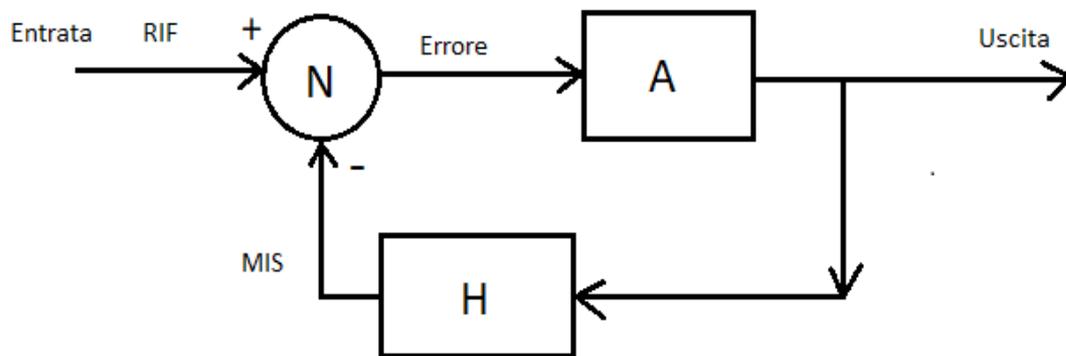
Un'altra peculiarità è quella di mantenere la posizione: una volta inviato al servocomando il comando di ruotare di un certo numero di gradi, e se tale comando viene inviato di continuo, esso rimarrà in quella posizione trattenendo il carico a cui è collegato. Ovviamente bisogna sempre scegliere un servocomando che abbia la potenza necessaria a svolgere il compito assegnatogli. Spesso, nei servocomandi economici, capita che gli ingranaggi, generalmente costruiti in Nylon, si rompano proprio perché il servocomando viene utilizzato al limite della propria forza.

Anello di retroazione

In Fisica e automazione, la retroazione è la capacità di un sistema dinamico di tenere conto dei risultati del sistema per modificare le caratteristiche del sistema stesso.

Nell'aeromodello questo principio è utilizzato per mantenere costante la tensione (6 volt) che alimenta la ricevente considerando la variazione di tensione della corrente in entrata dovuta alla scarica progressiva dell'accumulatore di tensione e la variazione di tensione della corrente in uscita provocata dagli assorbimenti dei dispositivi elettronici dell'aeromodello. L'anello di retroazione è inoltre applicato per la regolazione della posizione delle squadrette nei servocomandi.

Anello di retroazione applicato ad un servocomando



$$U = A * E = A * (RIF - MIS) = (RIF - U * H)$$

- H è formato dal trimmer e dal circuito che genera l'impulso.
- A è l'amplificatore dell'errore.
- N è il nodo di confronto.
- RIF è l'impulso di riferimento.
- MIS è l'impulso reale nell'anello rilevato mediante la misurazione.
- U è l'impulso in uscita dall'anello di retroazione.

L'ingresso del sistema è un impulso che ha una durata x, a questa durata dovrebbe corrispondere una posizione p della squadretta. La posizione p è la grandezza di uscita del sistema.

Per verificare che ad x corrisponda la p prevista, viene eseguita una misurazione della posizione p attraverso un trimmer potenziometrico.

Il trimmer è collegato ad un circuito che genera un impulso y, la cui durata dipende dal trimmer e quindi dalla posizione p.

Il nodo di confronto del sistema a retroazione confronta i due impulsi x ed y :

- se sono uguali significa che la posizione p è quella corrispondente alla durata di x e non deve intervenire.

- se invece y dura di più di x , significa che p è troppo oltre e utilizza il risultato del confronto per comandare il motore che muoverà il braccetto in modo che p si riduca. Questo riduce y che si avvicinerà alla durata di x .

Avviene l'opposto se y ha una durata inferiore ad x .

Bibliografia e Sitografia

- [1] Riccardo Niccoli. *La storia del volo*. Ed. White Star. 2008.
- [2] www.settorezero.com
- [3] www.elettronicasemplice.weebly.com
- [4] www.fis.unipr.it/corsi/fisicacing/Slides/Batterie
- [5] www.enea.it
- [6] Brushless DC Motor, How it works ?, www.youtube.com/watch?v=bCEiOnuODac