

## **Funzionamento dei Servi con controllo ad Impulsi a Durata Variabile**

In questo articolo analizzeremo il funzionamento dei servocomandi che usano per il loro controllo degli impulsi ad onda quadra dove, il valore dell'informazione è contenuto nel rapporto di durata tra la parte a livello logico basso (L) e livello logico alto (H) del segnale di riferimento.

Questi servocomandi sono utilizzati principalmente nei sistemi di radiocomando per modelli, ma anche in aerei bersaglio e telecomando di sistemi militari a basso livello.

La tecnica utilizzata per l'invio dell'informazione al servocomando è standardizzata. Utilizzano degli impulsi stretti ad onda quadra, l'informazione vera e propria è contenuta nella durata della parte alta dell'impulso cioè nel livello logico alto (H). La durata di questo impulso è di 1,5mS  $\pm$ 0,5mS, questo significa che l'impulso può cambiare la sua durata passando in modo continuo da 1mS. a 2mS. Sempre secondo gli standard la frequenza con cui si ripetono gli impulsi è di 50Hz. È stabilito che il servocomando si posiziona a metà corsa con in ingresso un impulso di 1,5mS.

### **Dopo questa prima sintetica introduzione, vediamo ora un po' di storia.**

La tecnica di comando a Impulsi a Durata Variabile nasce già negli anni '50 quando la tecnologia utilizzava ancora le valvole, ma si diffonde in modo capillare con l'arrivo e la diffusione dei semiconduttori: Transistor e diodi SCS (Silicon Controlled Switch) *dei piccoli diodi SCR con due ingressi di gate.*

Le esigenze del modellismo vogliono circuiti elettronici semplici e poco ingombranti, in particolare sui modelli di aerei conta molto il peso, ecco che così con l'utilizzo dei transistor si possono realizzare dei circuiti sia radio trasmettenti che ricevitori di piccole dimensioni, non solo, anche i servo-amplificatori diventano più efficienti e riescono a comandare direttamente dei piccoli motorini a corrente continua.

Non va poi trascurata l'importanza di un comando proporzionale, che permette di attuare il movimento degli organi controllati così come se fossero direttamente a portata di mano. Negli aeromodelli in particolare il comando proporzionale permette manovre migliori e più spettacolari.

Negli Stati Uniti d'America tra gli anni '60 e '70 si diffondono diversi Kit di radio-comando proporzionali che vengono venduti anche in Italia. Pure in Giappone avviene la stessa cosa e diverse case di modellismo iniziano a fabbricare dei telecomandi composti da: Trasmettitore; Ricevitore e Servi fino ad un massimo di otto.

### **Il Servo-Amplificatore:**

vediamo ora di analizzare come è realizzato il Servo-Amplificatore, cuore del servocomando proporzionale.

È infatti il Servo-Amplificatore l'elemento che permette di realizzare un servocomando proporzionale. Infatti esso svolge diverse funzioni che permettono di trasformare l'informazione ricevuta in ingresso, in un movimento controllato del servomotore e il conseguente corretto posizionamento della squadretta da esso comandata.

Il Servo-Amplificatore è un dispositivo elettronico, basa la sua tecnica di funzionamento sul principio della generazione di un errore tra il segnale in ingresso detto "Riferimento" e un segnale che proviene da un sensore di posizione posto all'interno del servocomando stesso, questo segnale è detto "Reale".

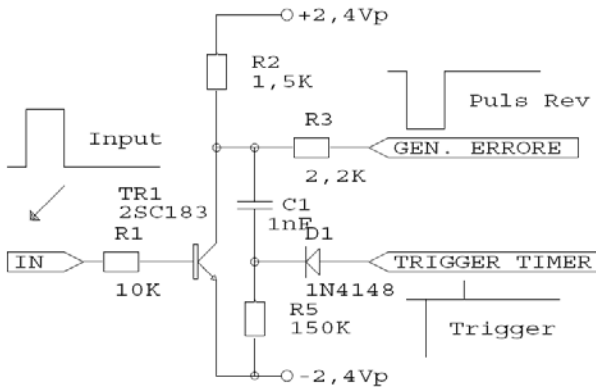
Il confronto i due segnali da origine appunto ad un Errore che viene prima amplificato in ampiezza e poi in potenza per renderlo idoneo a pilotare l'organo attuatore, cioè il motorino.

Vediamo ora quali sono le parti che in generale compongono un Servo-Amplificatore con controllo ad Impulsi a Durata Variabile.

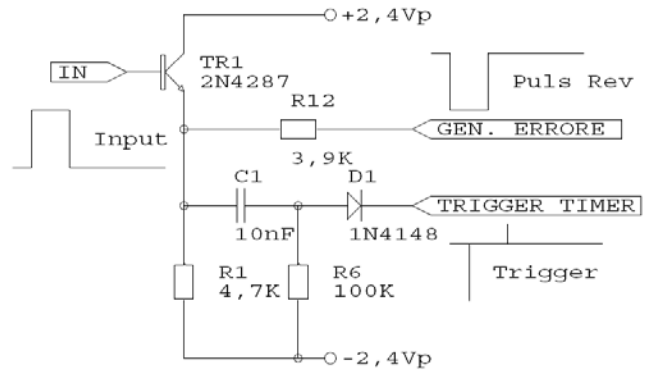
Il primo stadio che troviamo è un Transistor Pre-Amplificatore. Esso è preposto all'amplificazione e all'adattamento del segnale in entrata.

Questo stadio svolge due funzioni:

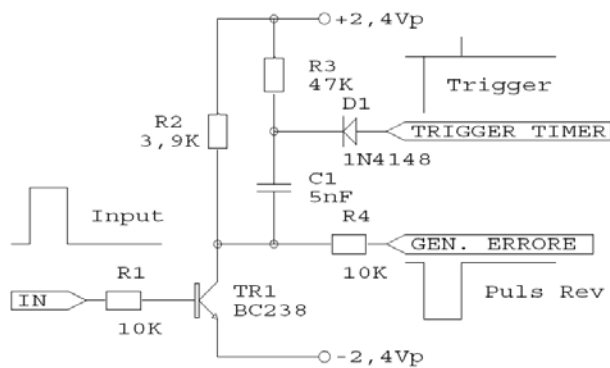
- 1) Invertire lo stato logico dell'impulso in ingresso.
- 2) Generare un impulso di trigger per comandare il Timer interno.



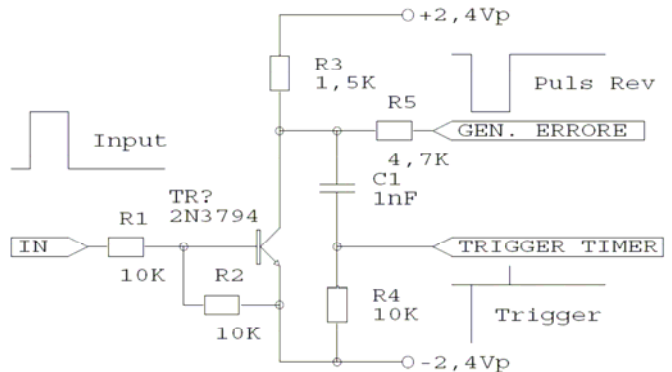
Ingresso di PULS1  
Fig. 1



Ingresso di PULS2  
Fig. 2



Ingresso di PULS3  
Fig. 3



Ingresso di PULS4  
Fig. 4

Dagli schemi si può vedere come questo transistor opera. La sua funzione è quella di rendere il segnale che proviene dalla sorgente, idoneo ad essere inviato al Generatore di Errore. Oltre a ciò genera un comando molto importante e cioè un impulso estremamente stretto che serve ad avviare il timer interno al Servo-Amplificatore.

**Il Timer** è in effetti il circuito che condiziona e trasforma il segnale proveniente dal sensore di posizione (il potenziometro) in un segnale idoneo ad essere inviato al generatore di errore.

Il generatore di errore per funzionare deve confrontare due segnali coerenti.

Il potenziometro è in grado di dare come informazione, una tensione continua che varia tra due valori, uno minimo e uno massimo. La tensione compresa tra i due valori, minimo e massimo, è direttamente correlata alla posizione dell'alberino del potenziometro stesso.

Come già sappiamo l'informazione è data in ingresso al servocomando, dall'impulso a durata variabile che trasporta l'informazione sulla posizione di riferimento a noi necessaria, questa non ha nulla a che vedere con la tensione che esce dal potenziometro, è per questo che si rende necessario realizzare un circuito di condizionamento del segnale del potenziometro, altrimenti ci troveremo a dover confrontare due segnali di natura completamente diversa tra loro.

Questo tipo di circuito è chiamato “Linear One shot Generator”, generalmente è realizzato con due transistor un po’ di resistenze e un condensatore e appunto il potenziometro di posizione.

Il potenziometro è posto ai capi dell’alimentazione del circuito, ha in serie due resistenze per definire il valore minimo e massimo di tensione, da tale potenziometro si ricava una tensione che trasformata in una corrente va a caricare il condensatore di temporizzazione posto nel “Linear One shot Generator”. Lo spostamento del potenziometro da un lato all’altro fa produrre a questo temporizzatore un impulso che varia da 0,5mS a 2,5mS. In questo modo il timer è in grado di generare un impulso con una variazione superiore a quella del segnale di ingresso.

Vediamo ora alcuni schemi.

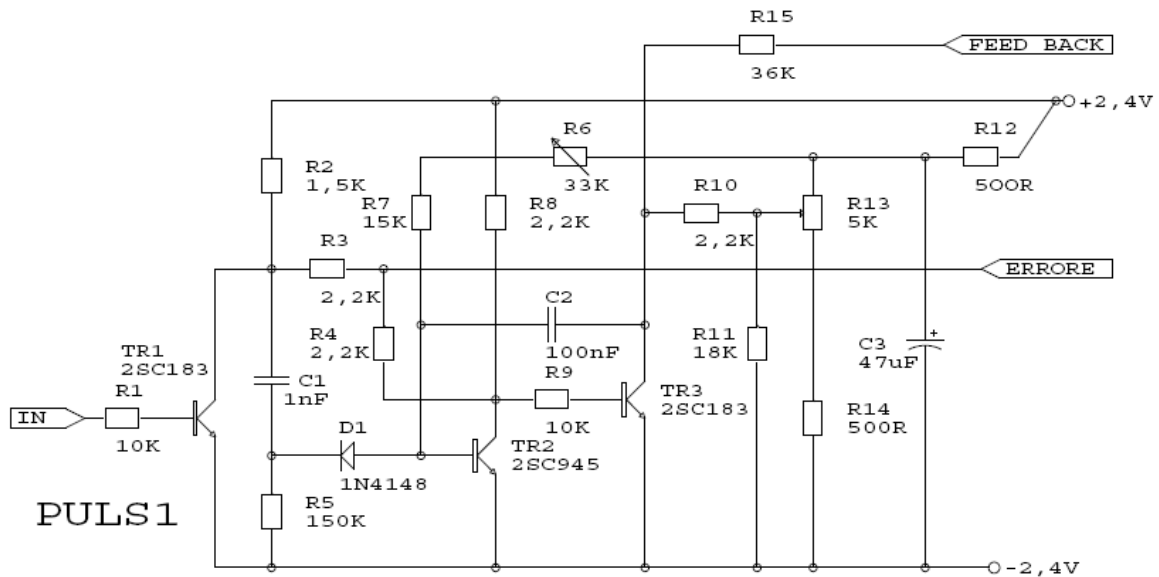


Fig. 5

Questo sopra è lo schema elettrico del Timer del Servo-Amplificatore inserito nel servocomando Futaba FP-S2 di cui vedremo in seguito lo schema completo.

Lo schema comprende: Lo stadio Pre-Amplificatore composto da TR1; R1; R2; R3; R5; C1; D1. come in Fig. 1. Il circuito ha come componenti attivi i di due transistor TR1 2SC945 e TR2 2SC183.

Come funziona questo circuito? Facciamone un’analisi partendo da TR2.

Quando il tutto riceve alimentazione, il transistor TR2 si porta in conduzione perché la sua base si polarizza tramite R12=500Ω; R6=33KΩ (trimmer); R7=15KΩ, questo fa sì che sul collettore la tensione sia di -2,4V e nella resistenza R8 scorra una corrente.

Quando sulla base TR1 arriva l’impulso di comando a durata variabile, il suo fronte di salita causa sul Collettore di TR1 un fronte di discesa. Tale fronte causa sul terminale di C1, che è appunto collegato con il Collettore di TR1, uno spostamento della tensione da +2,4V verso -2,4V, questo fa sì che l’altro terminale del condensatore C1, che si era caricato tramite R2=1,5KΩ e R5=150KΩ, si sposti ad una tensione inferiore ai -2,4V, fino a giungere a quasi -4,8V. Questo causa lo spegnimento di TR2 e perciò sul suo collettore la tensione si porta a +2,4V grazie a R8=2,2KΩ.

A questo punto tramite R9=10KΩ che è collegata tra la Base di TR3 e il Collettore di TR2 passa corrente e così TR3 si può accendere portando il suo Collettore a -2,4V, ciò causa l’inizio della carica di C2=100nF che inizialmente era scarico. Affinché C2 non si sarà caricato attraverso la serie di resistenze composte da R6, R7, R12, la tensione presente sulle armature non permetterà l’accensione di TR2 il condensatore continuerà a caricarsi.

La durata del ciclo di scarica del condensatore C2 dipende a quanto questo è carico. La sua carica dipende dalla tensione presente sul Collettore di TR3. Tale tensione dipende dalla posizione del potenziometro R13=5KΩ. È appunto R13 che ha l'alberino collegato meccanicamente alla squadretta del servocomando.

In effetti però il condensatore si carica con la somma delle tensioni provenienti dal potenziometro R13 che tramite R10=2,2KΩ si somma alla tensione di "Feed Back" che tramite R15=36KΩ proviene dai capi dello stadio di uscita.

Terminata la scarica del condensatore C2 il transistor TR2 torna in conduzione e TR3 si spegne, il condensatore C2 torna a caricarsi con la tensione data da R13 e il tutto si predispone per un altro ciclo quando sulla base di TR1 giungerà l'impulso successivo.

Nel circuito appena descritto è presente anche il generatore di errore, infatti le due resistenze R3 e R4 entrambe da 2,2KΩ eseguono la sottrazione tra l'impulso con logica negativa presente sul collettore di TR1 e l'impulso a logica positiva presente sul Collettore di TR2.

Le due resistenze R3 e R4 sono collegate tra loro formando un nodo di somma che esce sul terminale **ERRORE** dello schema di figura 5.

Il segnale così generato viene inviato all'ingresso **ERRORE** di un amplificatore Buffer chiamato Puls Stretcher

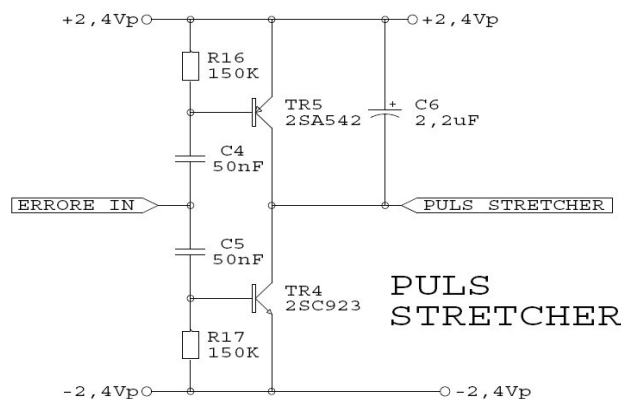
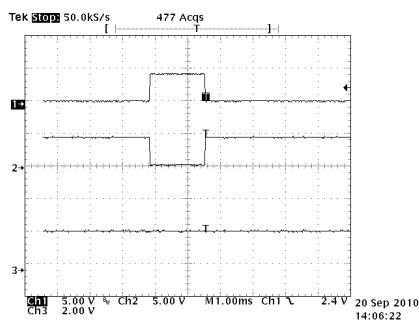
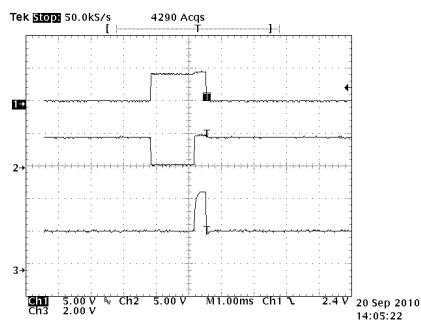


Fig. 6

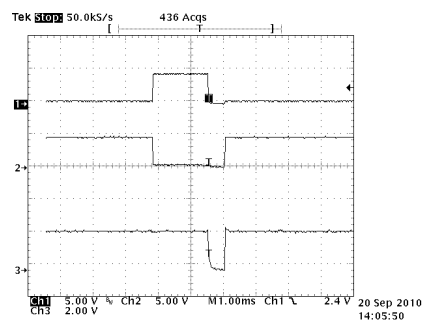
**Il Puls Stretcher** (schema a lato) è composto da un transistor NPN TR4=2SC923 e un transistor PNP TR5=2SA542. È così che si ottiene il segnale visibile nei diagrammi riportati sotto e che poi vengono inviati al condensatore C6 da 2,2μF che produce il segnale in continua che sarà poi inviato all'amplificatore di potenza che pilota il motorino.



In questo diagramma i due impulsi sono lunghi uguali, perciò sul nodo di somma non è presente alcun segnale, la terza traccia è piatta.



In questo diagramma l'impulso che esce sul Collettore di TR2 (traccia in alto) è più lungo dell'impulso che dal Collettore di TR1 (seconda traccia dall'alto). La terza traccia rappresenta quello che si trova sull'uscita del Buffer Puls Stretcher. In questo caso un impulso positivo.



In questo diagramma l'impulso che esce sul Collettore di TR2 (traccia in alto) è più corto dell'impulso che dal Collettore di TR1 (seconda traccia dall'alto). La terza traccia rappresenta quello che si trova sull'uscita del Buffer Puls Stretcher. In questo caso un impulso negativo.

Le tre tracce dei tre diagrammi raffigurano i segnali presenti rispettivamente:

- **Traccia in alto:** Segnale presente sul collettore di TR2 di figura 5.
- **Seconda traccia:** Segnale presente sul collettore di TR1 di figura 5.
- **Traccia in basso:** Segnale di errore presente sul nodo di somma R3 e R4 di figura 5.

In questa pagina altri schemi di circuiti analoghi a quello appena descritto. Si lascia al lettore il compito di analizzare questi schemi. Come si può vedere sono tutti più o meno simili e funzionano sullo stesso principio.

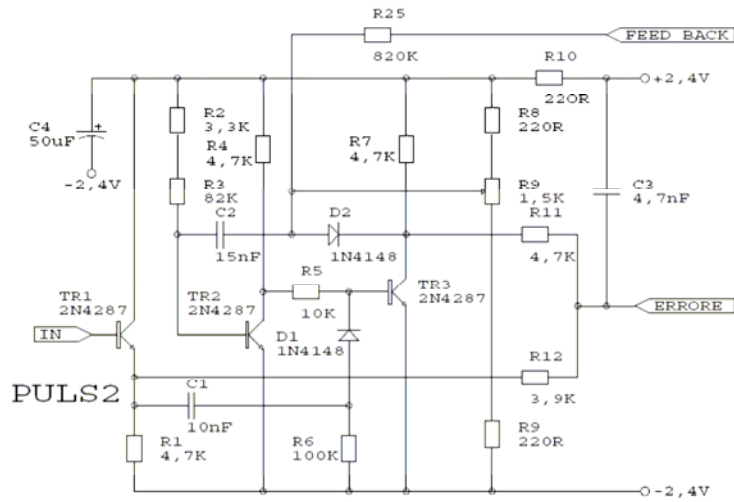


Fig. 7

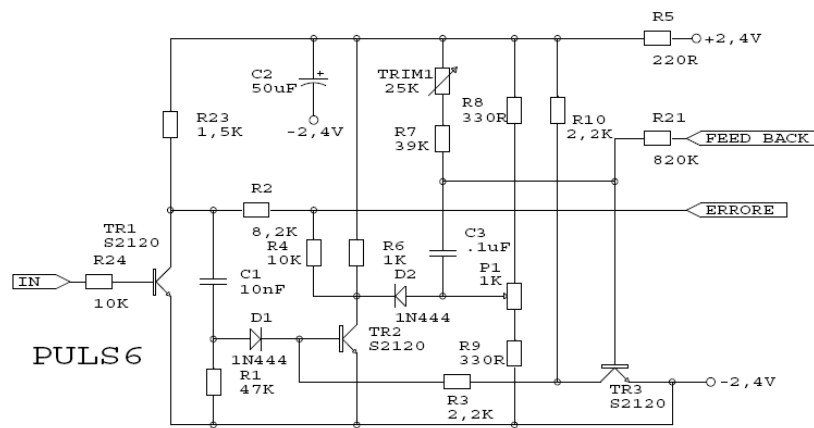


Fig. 8

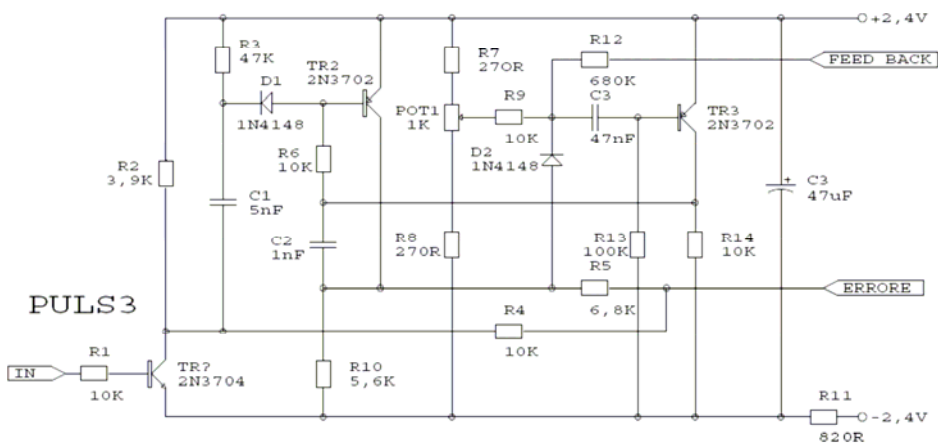


Fig. 9

## L'Amplificatore di Potenza per l'Uscita

Ora vediamo la parte più importante del servocomando e cioè quella che riguarda il controllo del motorino in corrente continua.

Il circuito è quello più diffusamente usato nei servocomandi in quanto si tratta di uno schema che utilizza una copia NPN-PNP di transistor BJT.

In effetti qualcuno potrebbe pensare che oggi utilizzare ancora dei “vecchi transistor BJT” sia una soluzione “Vintage” un po’ come il voler rimanere legati al passato, visto che oggi sono disponibili MOS-FET e transistor IGBT dalle prestazioni eccezionali.

Diciamo subito una cosa, gli IGBT lasciamoli perdere in questo caso. A meno che non si voglia realizzare un circuito ad alta tensione che opera in PWM con tensioni al di sopra dei 180 Volt, l’uso del IGBT non ha senso. Infatti la sua caduta di tensione tra Collettore e Elettore in condizione di saturazione varia tra gli 1,5 e i 2,5 Volt, se le correnti sono troppo alte questi si scaldano di più di un BJT classico.

Anche per i MOS-FET vale un discorso simile. Infatti il circuito che si propone opera molto bene in modalità lineare, questo significa che si va a regolare la tensione ai capi del motorino facendo cadere l’eccesso sul transistor stesso. Vale a dire che, se il circuito è alimentato a 30 Volt e al motorino devono arrivare 21 Volt, i 9 volt in eccesso cadono sul transistor e vengono dissipati in calore. Perciò se si deve operare in modalità lineare e non in PWM, non ha senso utilizzare un componente come il MOS-FET che ha la sua massima prestazione quando opera in saturazione.

Lo schema principe è quello di figura 10 riportato sotto. Lo potremo chiamare: “**Buffer di Tensione/Corrente & Rail-to-Rail**”.

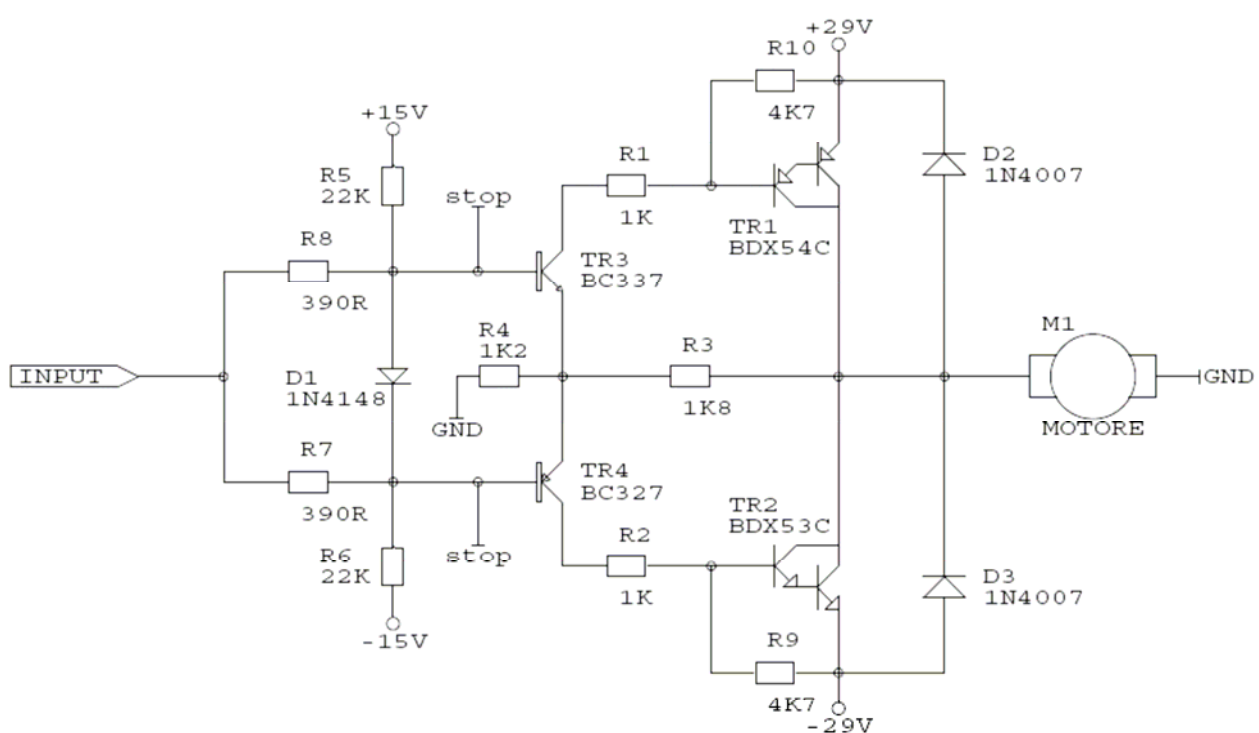


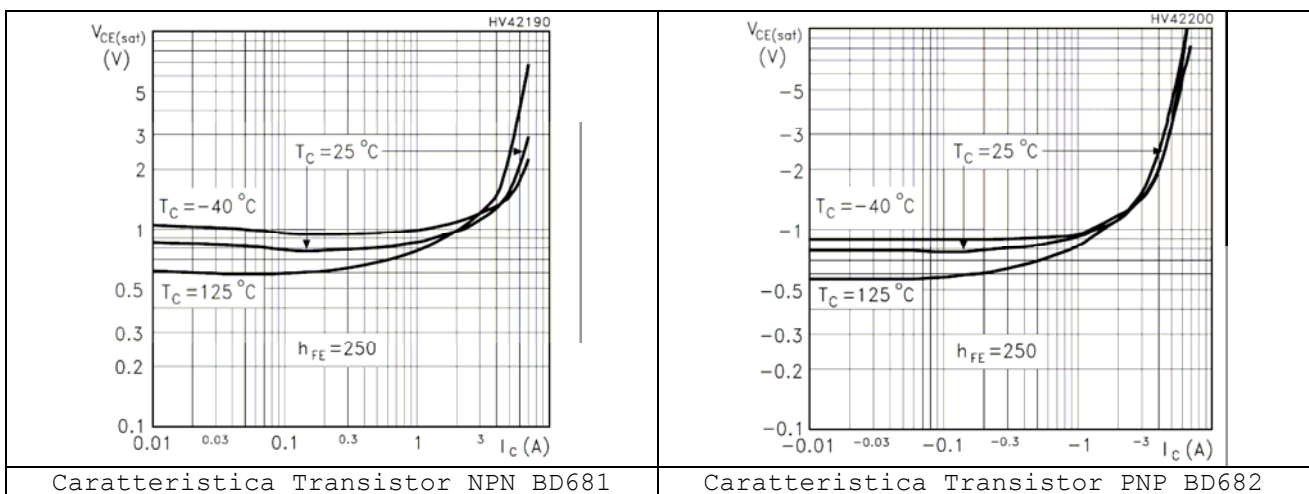
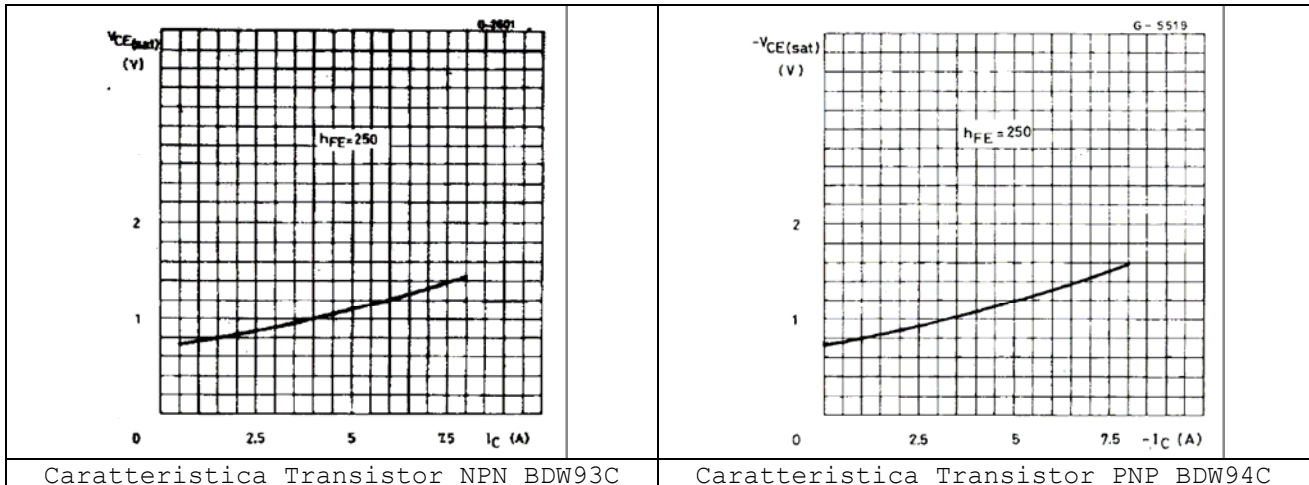
Fig. 10

È il circuito che offre le prestazioni migliori in assoluto in quanto possiede le seguenti tre caratteristiche:

- 1) È in grado di amplificare in corrente un segnale debole sia di natura analogica lineare, oppure segnali ad impulsi tipo PWM.
- 2) È in grado di amplificare in tensione il segnale in ingresso. Agendo sulle resistenze R3 e R4 si può modificare il guadagno. Se il segnale in ingresso fosse al massimo di

$\pm 5$  Volt in uscita potremo ottenere ad esempio  $\pm 30$  Volt, semplicemente modificando il rapporto tra R3 e R4. R3 può essere modificata tra un valore minimo di 1K $\Omega$  ad un massimo 4,7K $\Omega$ . Mentre R4 può variare da un minimo di 22 $\Omega$  ad un massimo di 2,2K $\Omega$ .

- 3) Il circuito è di tipo Rail-to-Rail cosa significa questo? Significa che la sua tensione in uscita può raggiungere la tensione di alimentazione della linea che alimenta il sistema, meno la caduta di tensione in saturazione del transistor. Nel caso della coppia BDW93C e BDW94C la caduta di tensione è di circa 1,25 Volt a 7,5 Ampere. Mentre nel caso della coppia BD681 e BD682, la caduta di tensione sarebbe di 0,8 Volt a 1 Ampere @ 25°C. (vedi curve).



Vediamo il funzionamento del circuito di Figura 10.

Il segnale in ingresso entra attraverso le due resistenze R7 e R8 da 390 $\Omega$ . Il segnale viene così inviato alle basi dei due transistor pilota, un NPN tipo BC337-25 oppure 2N4401 e un PNP tipo BC327-25 oppure 2N4403.

Le due resistenze R5 e R6 da 22K $\Omega$  assieme al diodo D1 tipo 1N4148 oppure BAV21 costituiscono il circuito di per-polarizzazione. Infatti le basi dei due transistor pilota si vengono a trovare con una tensione di circa +0,3 Volt per il transistor NPN e di -0,3 Volt per il transistor PNP. Questo fa sì che per portare in conduzione uno o l'altro transistor sia sufficiente in ingresso una tensione di poco superiore a  $\pm 0,3$  Volt. Questo fatto permette di ottenere una piccola isteresi entro la quale i transistor di uscita sono completamente spenti.

Quando sulla base di uno dei due transistor pilota giunge una tensione di  $\pm 0,3$  Volt più i  $+0,3$  Volt per l'NPN TR3 o i  $-0,3$  Volt per il PNP TR4 dati dalle resistenze R5 e R6, si hanno quei  $\pm 0,6$  Volt necessari a far condurre uno dei due transistor pilota.

Il transistor che inizierà a condurre assorbirà della corrente tramite il suo collettore, corrente che sarà prelevata dalla base del transistor di potenza a cui esso è collegato, facendo sì che anche questo inizi a condurre. La corrente assorbita dalla base del transistor di potenza passerà nel transistor pilota e si scaricherà a massa tramite R4. R1 e R2 da  $1K\Omega$  servono come limitatori di corrente.

Se per esempio si porterà in condizione il transistor NPN TR3 questo assorbirà corrente dalla base di TR1 PNP il quale comincerà a condurre e facendo sì che sul suo collettore sia presente una tensione che andrà ad alimentare il motorino ad esso collegato.

Contemporaneamente sulla resistenza R3 sarà presente la stessa tensione la quale farà sì che i due emettitori dei due transistor pilota si sollevino dal valore di massa e così facendo la corrente che scorre nel transistor pilota in conduzione, si riduca perché la differenza di tensione tra base e collettore si va riducendo e questo tende così a spegnersi. Questo sistema permette un ottimo funzionamento in modalità lineare.

In questo circuito si consiglia di utilizzare sempre dei transistor di potenza tipo Darlington. Le tipologie più comuni possono essere:

Per le correnti basse su motorini fino a 2,5 Ampere:

Sigla	Tipo	Corrente	Tensione	Contenitore
BD679	NPN	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
BD680	PNP	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
BD681	NPN	4 Amp.	100 Volt	SOT-32
BD682	PNP	4 Amp.	100 Volt	SOT-32
MJE802	NPN	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
MJE702	PNP	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
MJE803	NPN	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
MJE703	PNP	4 Amp.	80 Volt	SOT-32

Per le correnti alte su motorini da 5 a 10 Ampere:

Sigla	Tipo	Corrente	Tensione	Contenitore
BDX53C	NPN	8 Amp.	100 Volt	TO-220
BDX54C	PNP	8 Amp.	100 Volt	TO-220
BDX33C	NPN	10 Amp.	100 Volt	TO-220
BDX34C	PNP	10 Amp.	100 Volt	TO-220
BDW93C	NPN	12 Amp.	100 Volt	TO-220
BDW94C	PNP	12 Amp.	100 Volt	TO-220
BDX85C	NPN	10 Amp.	100 Volt	TO-3
BDX86C	PNP	10 Amp.	100 Volt	TO-3
BDX87C	NPN	12 Amp.	100 Volt	TO-3
BDX88C	PNP	12 Amp.	100 Volt	TO-3

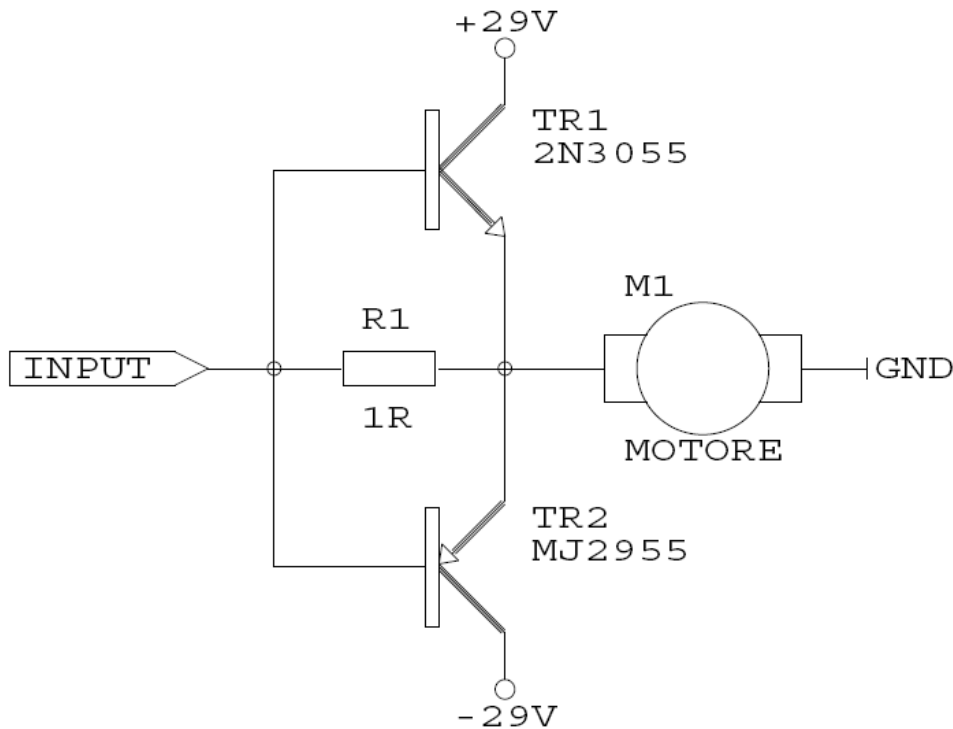
Come transistor pilota si possono utilizzare:

Sigla	Tipo	Corrente	Tensione	Contenitore
BC547C	NPN	300 mA	50 Volt	TO-92
BC557C	PNP	300 mA	50 Volt	TO-92
2N4401	NPN	600 mA	40 Volt	TO-92
2N4403	PNP	600 mA	40 Volt	TO-92
BC337-25	NPN	800 mA	50 Volt	TO-92
BC327-25	PNP	800 mA	50 Volt	TO-92



Vediamo ora un altro circuito che chiameremo “**Buffer di Corrente**”. Questo tipo di circuito è conosciuto anche come “**Buffer Emitter Follower**”.

Esso è costituito da una copia di transistor, un NPN e un PNP collegati tra loro in modalità Base comune e Emittitore comune.



**Fig. 11**

Questo circuito è molto più semplice del precedente però ha anche dei limiti. Infatti non è in grado di raggiungere la saturazione e far accendere completamente il transistor che si trova in conduzione, come risultato si ha una maggiore caduta di tensione in fase di saturazione.

Esso si adatta molto bene come circuito di amplificazione operante solo in corrente, infatti il suo guadagno è uguale a 1 e non può essere aumentato ne diminuito.

Solitamente è utilizzato per amplificare in corrente l'uscita di amplificatori operazionali che pilotano piccoli carichi.

Il suo funzionamento è semplice: il flusso di corrente che proviene dallo stadio posto in ingresso a questo circuito, fa passare una corrente nella resistenza R1. La caduta di tensione che si genera sulla resistenza sale con l'aumento della corrente, quando la corrente causa sulla resistenza R1 una caduta di tensione di circa 0,6 Volt, uno dei due transistor entra in conduzione assolvendo lui il compito di far passare l'eccesso di corrente richiesto dal carico. Come condizione limite la resistenza R1 può essere rimossa e perciò appena sull'ingresso sarà presente una tensione di 0,6 Volt, positiva o negativa, senza che vi sia passaggio di corrente, il transistor interessato si porterà in conduzione.

Questo circuito può essere realizzato con qualsiasi tipo di transistor. Va tenuto presente che se si utilizzano dei transistor tipo Darlington la caduta di tensione sulla resistenza va moltiplicata per due e cioè 1,2 Volt, questo perché il transistor Darlington è costituito da due transistor posti di fatto in serie per quanto riguarda Base e Emittitore.

È possibile realizzare questo circuito con due transistor di piccola potenza tipo BC337 e BC327 per pilotare piccoli motorini a 5 Volt. Si può utilizzare l'uscita di circuiti C-Mos.

Ponendo un circuito come quello della figura 11, in uscita al circuito di figura 10 si ottiene un aumento della potenza pilotabile.

Sigla	Tipo	Corrente	Tensione	Contenitore
BD441	NPN	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
BD442	PNP	4 Amp.	80 Volt	SOT-32
BD711	NPN	12 Amp.	100 Volt	TO-220
BD712	PNP	12 Amp.	100 Volt	TO-220
BD911	NPN	15 Amp.	100 Volt	TO-220
BD912	PNP	15 Amp.	100 Volt	TO-220
MJE3055T	NPN	10 Amp.	60 Volt	TO-220
MJE2955T	PNP	10 Amp.	60 Volt	TO-220
TIP3055	NPN	15 Amp.	60 Volt	TO-218
TIP2955	PNP	15 Amp.	60 Volt	TO-218
TIP35C	NPN	25 Amp.	100 Volt	TO-218
TIP36C	PNP	25 Amp.	100 Volt	TO-218
2N3055	NPN	15 Amp.	60 Volt	TO-3
MJ2955	PNP	15 Amp.	60 Volt	TO-3

La tabella elenca i vari tipi di transistor che senza problemi possono essere utilizzati per realizzare il circuito di figura 11.

# Servo-Amplificatore: PULS1

## Generale:

Lo schema che viene di seguito descritto, è lo schema del servo-amplificatore inserito nel servocomando FPS2 della giapponese Futaba. Si tratta di un servocomando degli anni '70 nella versione con slitta a cremagliera.

Una particolarità di questo servo era la connessione a cinque fili.

## Descrizione dello schema:

Analizziamo lo schema elettrico del servo-amplificatore si nota che il transistor TR1 2SC183 riceve in ingresso l'impulso di riferimento di tipo positivo, che da valore zero volt, sale a +4,8 volt.

L'impulso ha una durata di 1,5 mSec.  $\pm 0,5$  mSec con frequenza di 50Hz.

Il fronte di salita dell'impulso, genera sul collettore di TR1 un fronte di discesa che attraverso C1, da 1nF, fa partire il timer composto da TR2 e TR3, rispettivamente 2SC945 e 2SC183. L'impulso negativo passando attraverso D1 un 1N4148, fa spegnere TR2, la tensione sul collettore di TR2 sale e fa accendere TR3 il quale scarica il condensatore C2 da 100nF che tiene spento TR2. Terminata la scarica, TR2 si riaccende facendo spegnere di conseguenza TR3, così il condensatore C2 si ricarica con la tensione presente su R10, tensione che proviene dal potenziometro R13.

La durata dell'impulso generata dal timer, dipende dalla tensione immagazzinata nel condensatore C2 di 100nF. Tale tensione dipende appunto dalla posizione del potenziometro R13 da 5K $\Omega$  collegato con il cursore alla resistenza R10 di 2,2K $\Omega$ , dalla resistenza di retroazione R15 da 36K $\Omega$  ed infine dalla regolazione del trimmer R6 da 33K $\Omega$ .

Il trimmer R6 è regolato in modo tale che quando il potenziometro R13 da 5K $\Omega$  è posto a metà corsa, la durata dell'impulso del timer è di 1,5 mSec.

Vediamo ora come funziona la comparazione della durata degli impulsi. Quando sulla base del transistor TR1 giunge un impulso positivo di +4,8 volt e che dura 1,5 mSec sul collettore si genera un identico impulso di 1,5 mSec ma che da +4,8 volt scende a zero.

Questi due impulsi saranno chiamati rispettivamente: impulso positivo quello che va verso +4,8V e impulso negativo quello che scende verso zero volt.

Le due resistenze R3 e R4 da 2,2 K $\Omega$  formano il nodo di somma. Su R3 entra l'impulso negativo generato da TR1, mentre su R4 entra l'impulso positivo generato da TR2.

Se i due impulsi saranno uguali sul punto di collegamento tra R3 e R4 sarà presente sempre una tensione di +2,4V rispetto al negativo. Se però tra i due impulsi ci sarà una differenza di durata, ad esempio l'impulso in ingresso fosse di 1,40 mSec e quello generato dal timer di 1,58 mSec, sul nodo formato da R3 e R4 si produrrà un piccolo impulso positivo di 0,18 mSec. Questo impulso, che chiameremo impulsi di errore, viene inviato ai due condensatori C4 e C5 da 50 nF che disaccoppiano le basi di TR5 e TR6, rispettivamente un 2SA542 e un 2SC923. Questi due transistor formano un amplificatore con uscita ad alta impedenza, infatti normalmente i due sono in condizione di interdizione e perciò su di essi non circola alcuna corrente.

Quando l'impulso di errore dovuto alla differenza di durata che si genera sul nodo R3 e R4, giunge sulla base dei due transistor TR4 e TR5, attraverso i condensatori C4 e C5, a seconda se è positivo o negativo, questo porterà in conduzione un transistor oppure l'altro. In questo modo il condensatore C6 al tantalio da 2,2 $\mu$ F riceverà un impulso di corrente che lo caricherà di più o di meno a seconda della durata del impulso di errore e del suo verso, se positivo o negativo. Se la durata sarà breve, il condensatore si caricherà poco, se l'impulso sarà lungo si caricherà molto.

Il risultato di tutto ciò è che sul condensatore C6 sarà presente una tensione più o meno alta che tramite R18 giungerà alle basi di TR6 e TR7 che assieme a TR8 e TR9 costituiscono un amplificatore lineare in tensione e corrente in grado di alimentare il piccolo motorino che attua il servocomando e che tramite il riduttore trascina il cursore del potenziometro R13.

La configurazione in cui sono montati questi quattro transistor è tipica nei servoamplificatori. Essa permette di ottenere un guadagno in tensione che può essere impostato tramite le due resistenze R19

e R20, in oltre questa è una configurazione di tipo “Rail to Rail” che permette di ridurre al minimo la caduta di tensione sul transistor di potenza, infatti essa si aggira intorno a 0,4V quando la stadio è in saturazione.

Lo spostamento del potenziometro farà sì che l’impulso generato dal timer diventi uguale a quello presente in ingresso, quando questa situazione si verificherà, non vi sarà più alcun impulso presente sul punto tra R3 e R4, l’amplificatore costituito da TR4 e TR5 smetterà di caricare o scaricare il condensatore C6 e perciò lo stadio amplificatore finale si spegnerà e il motorino si andrà a fermare. A questo punto possiamo dire che il servocomando agisce per inseguimento del segnale di riferimento, più questo si allunga, più il potenziometro R13 verrà spostato per far sì che anche il timer interno produca un impulso lungo in grado di annullare l’impulso dato in ingresso.

Questo servo amplificatore può essere suddiviso essenzialmente in cinque stadi così identificati:

- Pre-amplificatore di ingresso: è costituito da TR1 che ha il compito di invertire il segnale in ingresso e di pilotare il timer.
- Timer di riferimento interno: è costituito, come già detto da TR2 e TR3, produce l’impulso di posizione reale, determinato dalla posizione del potenziometro R13.
- Nodo sommatore: è costituito dalle resistenze R3 e R4, su di esse si genera l’impulso di errore che definisce lo scostamento tra valore di riferimento in entrata e valore reale della posizione.
- Pulse stretcher: è costituito dall’amplificatore composto da TR4 e TR5 e dal condensatore C6. Questa parte del circuito ha il compito di dilatare in ampiezza e larghezza gli impulsi di errore che si producono su R3 e R4.
- Amplificatore finale di potenza: è costituito dai quattro transistor TR6 e TR7, transistor di segnale e dai transistor TR8 e TR9 di potenza.

A seguire troviamo lo schema sul quale seguire la descrizione del funzionamento.

Si consiglia a chi volesse sperimentare questo circuito di utilizzare transistor al silicio di tipo moderno, per i transistor NPN si possono usare dei transistor tipo BC548 oppure BC238, per i PNP si possono usare dei BC558 o dei BC308. Per quanto riguarda i due finali di potenza TR8 e TR9 si possono usare: per TR8 un BC327-25 oppure 2N2904; per TR9 un BC337-25 oppure 2N1711.

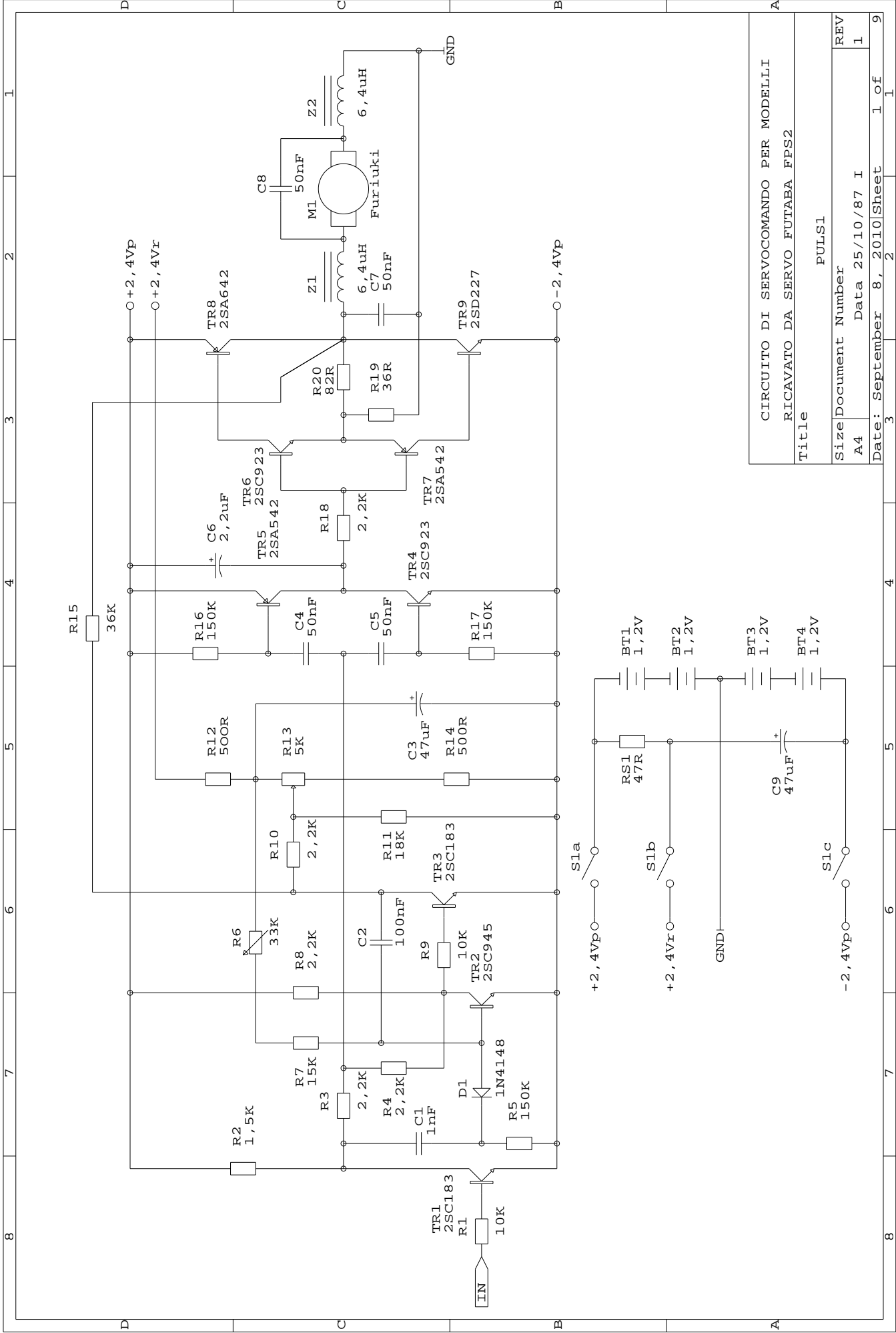
Si consiglia per un montaggio di prova e affinamento dei componenti di usare le solite piastre sperimentali a mille fori.

È auspicabile disporre di un oscilloscopio per controllare la forma degli impulsi e dei vari segnali presenti nel circuito.

Il motorino, si raccomanda di mettere dei condensatori ai capi delle spazzole così come indicato nello schema e di porre al negativo la carcassa.

L’alimentazione di questo circuito è fatta con quattro pile al Ni-MH da 1,2Volt poste in serie in modo tale da ottenere una tensione di 4,8V.

Il negativo del motorino GND, il terminale a massa di C7 e quello di R19 andranno posti nel punto centrale tra le prime due pile e le seconde in modo tale da avere una tensione di  $\pm 2,4$ Volt. (Vedi schema).



CIRCUITO DI SERVOCOMANDO PER MODELLI  
 RICAVATO DA SERVO FUTABA FPS2

Title		PULS1	
Size	Document Number	REV	
A4	Data 25/10/87 I	1	
Date: September 8, 2010	Sheet	1 of	9

**PULS1**

Data 25/10/87 I

Revision: 1

Bill Of Materials 8 Settembre 2010 Page 1

Item	Quantity	Reference	Part
<b><u>Condensatori</u></b>			
1	1	C1	1nF 25V Ceramico a disco
2	1	C2	100nF 63V Poliestere
3	1	C3	47µF 16V Elettrolitico
4	4	C4,C5,C7,C8	50nF = 47nF 25V Ceramico a disco
5	1	C6	2,2µF Tantalio elettrolitico
<b><u>Diodi</u></b>			
6	1	D1	1N4148
<b><u>Motorino</u></b>			
7	1	M1	FURIUKI
<b><u>Resistenze</u></b>			
8	2	R1,R9	10KΩ 5% 025W
9	1	R2	1,5KΩ 5% 0,25W
10	5	R3,R4,R8,R10,R18	2,2KΩ 5% 025W
11	3	R5,R16,R17	150KΩ 5% 025W
12	1	R6	33KΩ Trimmr di zero
13	1	R7	15KΩ 5% 025W
14	1	R11	18KΩ 5% 025W
15	1	R12,R14	500Ω 5% 025W
16	1	R13	5KΩ Potenziometro di posizione
18	1	R15	36KΩ 5% 025W
19	1	R19	36Ω 5% 025W
20	1	R20	82Ω 5% 025W
<b><u>Transistor</u></b>			
21	2	TR1,TR3	2SC183 = BC548C
22	1	TR2	2SC945 = BC558C
23	2	TR4,TR6	2SC923 = BC548C
24	2	TR5,TR7	2SA542 = BC558C
25	1	TR8	2SA642 = BC327-25
26	1	TR9	2SD227 = BC337-25
<b><u>Induttanze</u></b>			
27	2	Z1,Z2	6,4UH