

LA SCHEDA MOTORI

In questo Workshop introduciamo le nozioni di teoria che ci permetteranno di costruire la scheda di gestione dei motori di RZB-1.

Nei fascicoli precedenti abbiamo realizzato la **struttura inferiore del telaio di RZB-1** e abbiamo visto come **modificare e i due motori del robot** partendo da due comuni servocomandi analogici di tipo standard. Nel fascicolo 33 abbiamo anche visto come **il funzionamento dei motori sia legato all'elettronica di controllo dei servo**, che risponde alle caratteristiche del segnale impulsivo inviato in ingresso alla linea di controllo. La **scheda motori di RZB-1** che realizzeremo e testeremo a partire da oggi si comporterà quindi come un **generatore di impulsi a durata variabile**, controllabile per mezzo di **due segnali digitali per ogni motore** (Motore ON/OFF e Direzione, per un totale di **quattro linee di controllo**). Prima di dedicarci completamente al primo circuito elettronico del nostro robot è necessario introdurre un nuovo dispositivo elettronico, che sarà alla base del funzionamento di questa scheda: **il trigger di Schmitt**.

IL TRIGGER DI SCHMITT >>>

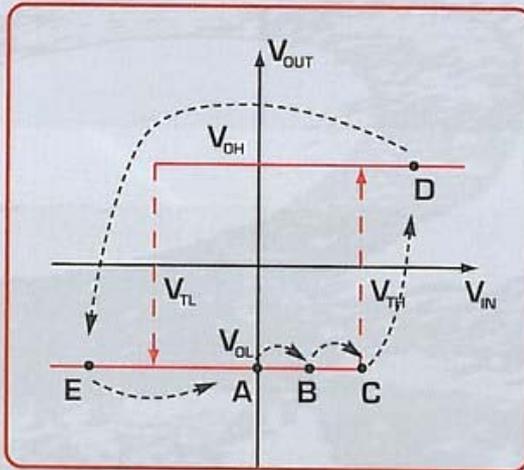
Il **trigger di Schmitt** (il cui simbolo è mostrato in basso) è un dispositivo elettronico che trasforma il segnale analogico presente sul suo terminale di ingresso in uno digitale (a due livelli elettrici), attraverso un processo chiamato **'ciclo di isteresi'**. Cerchiamo di capire il significato di questo termine apparentemente complesso. Il ciclo di isteresi è un particolare comportamento nel quale **la transizione del livello logico di uscita avviene al superamento di due precise soglie elettriche di riferimento**, che chiameremo V_{TL} (soglia di ingresso inferiore) e V_{TH} (soglia di ingresso superiore).

↳ Il simbolo elettrico con cui indicheremo il trigger di Schmitt. Nei negozi di elettronica è acquistabile come circuito integrato.



Il prototipo della scheda di controllo dei motori di RZB-1, in questo caso realizzato con la tecnica dei circuiti stampati.

Come puoi osservare dal grafico in alto nella pagina successiva, dove viene rappresentato un generico ciclo di isteresi, mentre **il valore dell'uscita nei due semipiani esterni al ciclo è definito in modo univoco**, nella porzione di spazio compresa tra V_{TL} e V_{TH} l'uscita può assumere sia il valore alto V_{OH} , sia il valore basso V_{OL} . Da cosa dipende allora l'uscita? Dipende dall'evoluzione 'storica' del segnale di ingresso. Proviamo a fare un esempio pratico. Immaginiamo di attivare un trigger di Schmitt, fornendo corrente al circuito integrato che lo contiene. Immaginiamo, inoltre, di **porre in ingresso una tensione $V_{IN}=V_A$** e di avere uno stato di uscita basso (**punto A** sul grafico a pagina 7 in alto). Ora ipotizziamo che **la tensione del segnale di ingresso aumenti progressivamente**: partendo



Il ciclo di isteresi di un trigger di Schmitt. L'uscita V_{OUT} può assumere solo valori V_{OL} o V_{OH} , mentre V_{TL} e V_{TH} sono le tensioni di soglia del trigger.

segnale di uscita (ecco perché lo vedi indicato con una freccia rivolta verso l'alto) l'uscita si manterrà alta. Facciamo decrescere ancora V_{IN} fino alla tensione

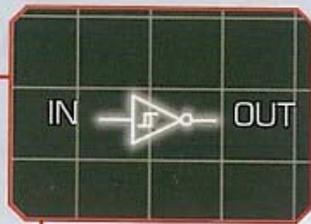
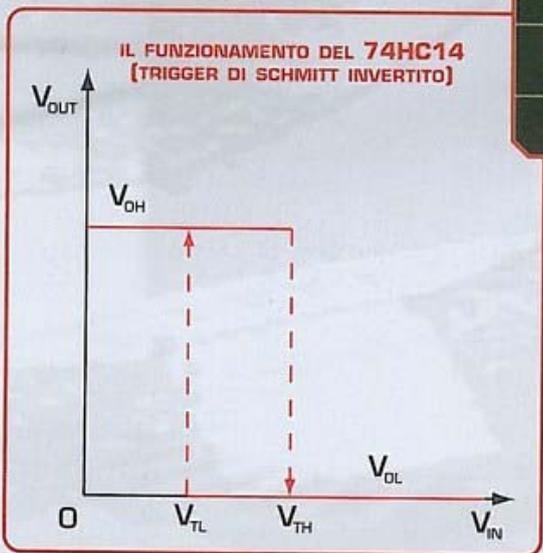
V_{TL} . Come vedi nel grafico, anche questa soglia inferiore è indicata da una freccia, che è però rivolta verso il basso. V_{TL} rappresenta la soglia di discesa dell'uscita, ossia il valore di ingresso al di sotto del quale l'uscita viene 'forzata' al valore basso V_{OL} . Per completare il ciclo, immaginiamo di far diminuire il segnale di ingresso sino al valore V_E (punto E), al cui raggiungimento V_{IN} riprenderà a crescere; dal punto E ci muoveremo nuovamente lungo il tratto 'basso' del grafico

dal punto A ci muoveremo verso destra sulla curva caratteristica del trigger passando per il punto B (nel quale $V_B > V_A$) fino a raggiungere il valore di soglia V_{TH} nel punto C ($V_C = V_{TH}$). Non appena il segnale di ingresso supererà tale tensione di soglia, avverrà la transizione del livello dell'uscita, che diverrà alto. Ora ipotizziamo che l'ingresso continui a crescere fino al raggiungimento del punto D ($V_D > V_{TH}$), per poi iniziare a decrescere progressivamente. Il valore di ingresso diminuirà nel tempo sino a diventare inferiore di V_{TH} , ma poiché tale soglia è solo un punto di 'salita' del

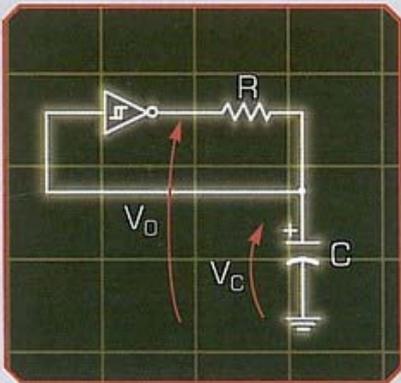
caratteristico del trigger fino ad arrivare nuovamente al punto A, in corrispondenza del quale si chiuderà così il ciclo. Nella costruzione della scheda di controllo dei motori di RZB-1 utilizzeremo un circuito 74HC14 che mette a disposizione sei trigger di Schmitt invertiti (ossia trigger di Schmitt seguiti da una porta NOT che inverte il segnale di uscita). Il grafico di funzionamento del 74HC14 e il suo simbolo elettrico sono mostrati nelle figure che trovi a fondo pagina.

DAL TRIGGER DI SCHMITT ALL'OSCILLATORE >>>

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come i trigger di Schmitt funzionino sulla base di due tensioni di soglia. Vediamo ora come questi dispositivi possono essere sfruttati per costruire un semplicissimo tipo di oscillatore, ossia un circuito che produce una sequenza alternata e periodica di livelli alti e bassi. Innanzitutto conviene ricordare quanto hai già visto nel fascicolo 18 relativamente ai condensatori e ai 'circuiti RC' (ossia formati da un resistore e da un condensatore in serie). In quel fascicolo, in particolare, abbiamo visto come si sviluppa il processo di carica dei condensatori e come la sua 'velocità' sia inversamente proporzionale ai valori di capacità e resistenza dei componenti utilizzati. Vediamo cosa accade collegando un trigger di Schmitt invertito a una rete RC dalla quale riportiamo in ingresso il valore di tensione presente



Sopra, il simbolo elettrico di un trigger di Schmitt invertito. A sinistra il suo grafico di funzionamento, simile a quello riportato in alto, ma opposto per effetto dell'invertitore.



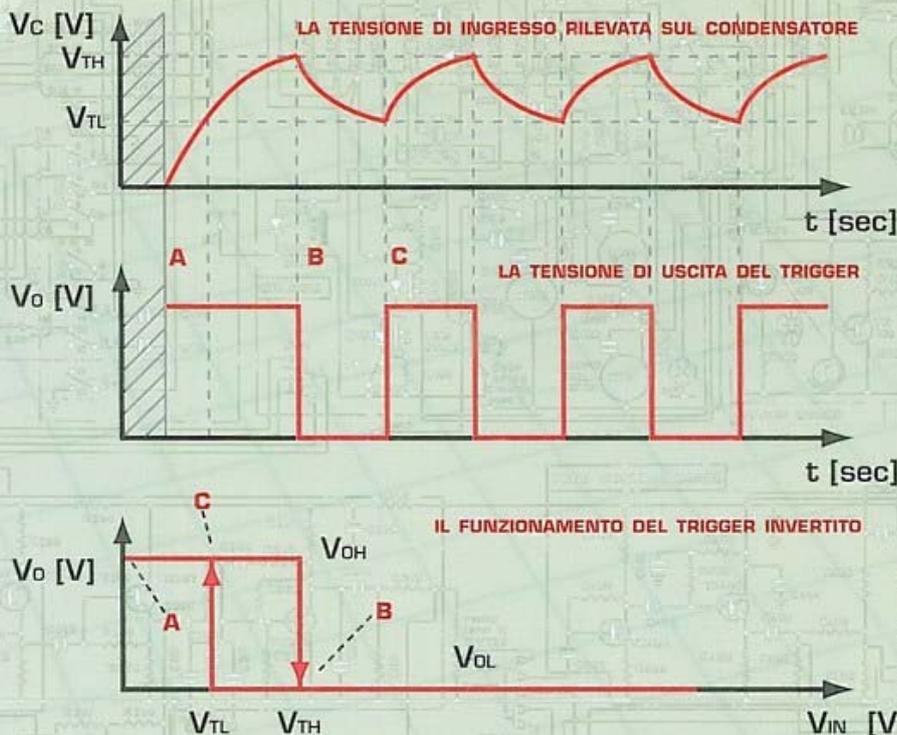
Il circuito mostra un esempio di oscillatore (generatore di onda quadra) basato su un trigger di Schmitt e un semplice ramo RC.

sul condensatore, come mostrato nello schema in alto. Per comprendere meglio il funzionamento di questo semplice circuito, ci aiuteremo con la serie di grafici mostrati in basso, nei

quali puoi vedere rappresentato l'andamento della tensione sul condensatore V_C e sull'uscita V_O del trigger. Nel terzo grafico del box in basso, caratteristico del 74HC14, potrai vedere evidenziati, invece, i riferimenti agli stati elettrici del circuito. Ipotizziamo una condizione iniziale nella quale il condensatore è completamente scarico ($V_C=0$ V). Immaginiamo ora di accendere il circuito: il trigger 'vedrà' sul suo ingresso una tensione pari a 0 V del condensatore e, per via della sua caratteristica 'invertente' produrrà un'uscita di $V_O=V_H$ (punto A). Ai capi del ramo RC è ora presente una tensione che inizia a far fluire cariche all'interno del condensatore, caricandolo. La tensione V_C , di conseguenza, cresce

secondo il modello di carica visto nel fascicolo 18, ma cosa accade quando V_O raggiunge la soglia V_{TH} ? Ci troviamo nel punto B del grafico, nel quale il trigger cambia lo stato logico dell'uscita portandola bassa, ossia a massa. Ne consegue che il condensatore, attraverso il resistore R, inizierà il suo processo di scarica durante il quale avremo una diminuzione progressiva della tensione V_C , che calerà sino al raggiungimento della soglia inferiore V_{TL} . Raggiunta questa tensione (punto C) il trigger cambierà nuovamente il suo stato, portando l'uscita alta e riprendendo il ciclo di carica del condensatore... Ed ecco ottenuta un'onda quadra con duty cycle del 50% (ossia con intervalli

L'ANDAMENTO TEMPORALE DELL'OSCILLATORE BASATO SU TRIGGER DI SCHMITT



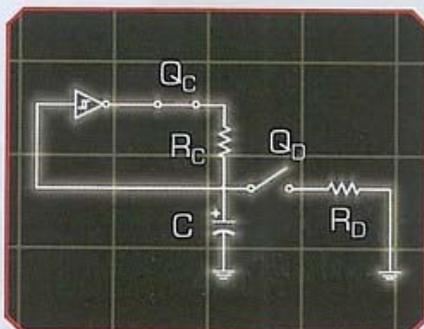
Dall'alto sono mostrati: l'andamento della tensione V_C sul condensatore C dell'oscillatore, l'andamento della tensione di uscita del trigger e uno schema del grafico di funzionamento del trigger di Schmitt invertito. Una volta acceso il circuito (istante A) il condensatore inizia a caricarsi per via della tensione di uscita alta del trigger. Al raggiungimento della tensione di soglia V_{TH} (istante B) il trigger inverte l'uscita, iniziando il processo di scarica del condensatore, che prosegue fino alla tensione di soglia inferiore (istante C), momento in cui riprende il ciclo di vita del circuito.

alti e intervalli bassi d durata uguale), la cui frequenza sarà legata al prodotto RC dei componenti.

IL TRIGGER NELLA SCHEDA DI CONTROLLO DEI MOTORI >>>

Abbiamo visto come generare un'onda quadra regolare; tuttavia abbiamo iniziato questo Workshop ricordando che i servocomandi sono controllati con un treno di impulsi, la cui durata contiene l'informazione relativa alla posizione desiderata. È anche necessario ricordare che gli impulsi in ingresso ai servocomandi devono essere distanziati con intervalli di tempo al di sotto (e al di sopra) dei quali viene a mancare il corretto funzionamento dell'attuatore (quindi non è sufficiente variare la frequenza dell'onda quadra per poter inviare correttamente impulsi di durata superiore o inferiore). Vediamo innanzitutto come possiamo variare il duty cycle dell'onda. Ipotizzando di mantenere fissa la capacità di C, sappiamo che i tempi

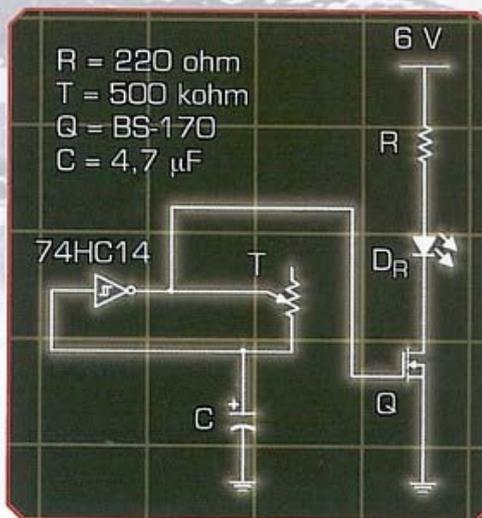
Un oscillatore con linee distinte per la carica e la scarica del condensatore. Il processo di carica avviene lungo Q_C e R_C, mentre quello di scarica grazie alla linea costituita da Q_D e R_D.



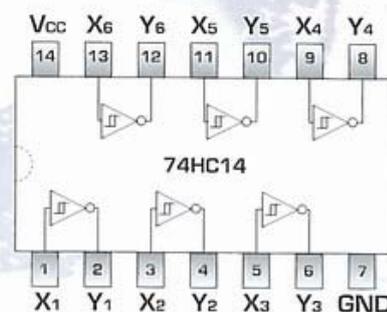
MINI ESPERIMENTI

Puoi sperimentare il funzionamento dell'oscillatore descritto nell'articolo costruendo sulla tua breadboard il circuito mostrato nello schema a lato.

Nell'esperienza che ti presentiamo potrai variare il tempo di carica e scarica del condensatore C (e con esso la frequenza dell'onda quadra) agendo sul trimmer T. L'effetto dell'oscillazione sarà visibile osservando il LED D_R, che si illuminerà in modo intermittente grazie alla presenza del transistor Q collegato all'uscita del trigger. Come trigger puoi usare un 74HC14, la cui struttura integrata è mostrata nello schema posto al di sotto del circuito.



- R = 220 ohm
- T = 500 kohm
- Q = BS-170
- C = 4,7 μF



di carica e scarica del condensatore sono legati al valore del resistore R: se R ha valore molto alto i tempi si allungano (è come se 'stringesse' il canale in cui fluisce la corrente); al contrario con R basso i tempi sono più rapidi (il canale è più 'aperto'). Volendo generare un'onda asimmetrica quindi potremmo pensare di creare due differenti 'vie di passaggio' aventi caratteristiche resistive differenti e che funzionino in modo alternato. La prima di queste vie dovrebbe essere

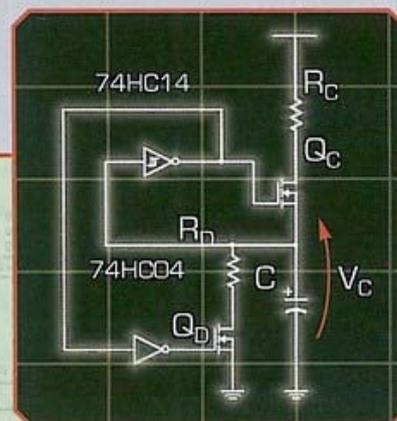
attiva in fase di carica e dovrebbe far entrare cariche nel condensatore per mezzo di un resistore di carica, che chiameremo R_C, mentre una seconda linea dovrebbe permettere la scarica dal condensatore attraverso un secondo resistore R_D (vedi schema elettrico a sinistra). Servono, però, anche due interruttori (Q_C e Q_D), che inibiscano o abilitino i singoli rami in funzione dell'uscita del trigger (Q_C attivo quando l'uscita del trigger è alta, Q_D quando è bassa). Come vedi, in questo

primo schema abbiamo utilizzato i simboli elettrici di **due interruttori meccanici**, ma è ovvio che non saranno questi i componenti realmente necessari. Conosciamo bene, infatti, quali dispositivi elettronici possono operare come 'switch', rispondendo proprio alle nostre esigenze: **i transistor**. Ridisegniamo nuovamente il circuito inserendo **due FET a canale N**, come i **BS-170** che hai già avuto occasione di sperimentare negli StepbyStep dei precedenti Workshop. Inseriamo anche **una porta NOT (74HC04)** tra l'uscita del trigger e il gate del transistor di scarica e vediamo cosa accade (grafici sotto). Quando l'uscita del trigger è 'alta', il transistor Q_C si trova in stato

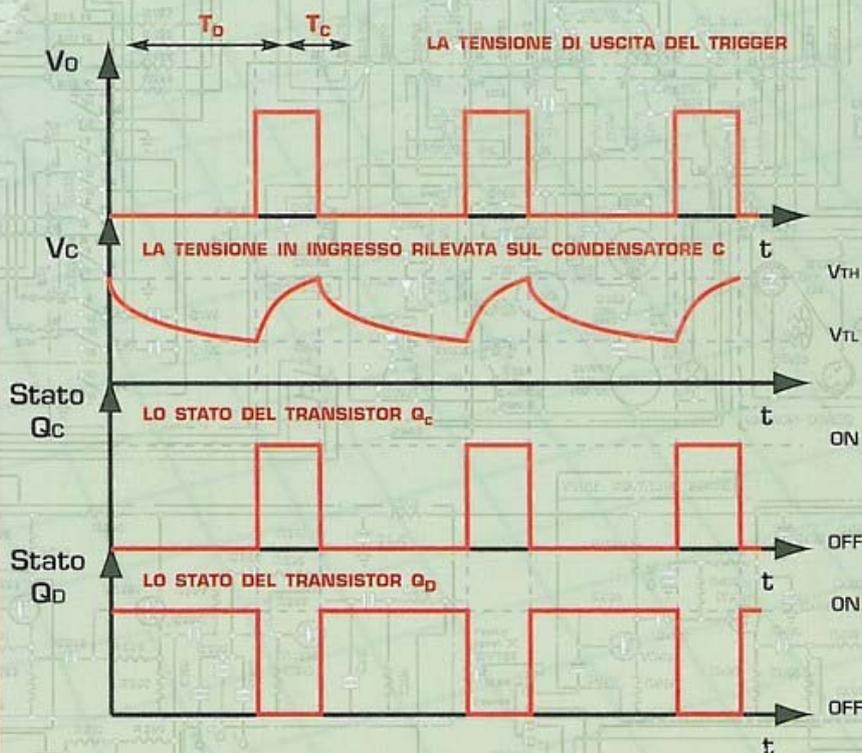
attivo ($V_{GS}=V_{CC}>V_T$). La porta NOT, a sua volta, inverte il livello di uscita del trigger **mettendo a massa il gate del transistor Q_D** , che si comporta come un circuito aperto. Il condensatore inizia quindi il **transitorio di carica attraverso Q_C e R_C** . Non appena la tensione V_C supera la **soglia superiore del trigger**, però, il **74HC14** **abbassa il livello dell'uscita a 0 V**. A questo punto è Q_C **a trovarsi in stato di inibizione** per via del gate a massa, mentre **la porta NOT, invertendo l'uscita bassa del trigger, porta in conduzione il transistor di scarica Q_D** . Inizia, così, la **fase di scarica del condensatore** attraverso il transistor Q_D e il resistore R_D , che termina al raggiungimento

della tensione di soglia inferiore del trigger, punto in cui si chiude il ciclo di funzionamento del circuito. Come hai potuto osservare, in questo tipo di circuito **possiamo scegliere R_C e R_D in modo da generare tempistiche di carica e di scarica ben definite**. Nel prossimo fascicolo vedremo come aggiungere un **terzo ramo** a questo circuito che, unito a una **rete digitale combinatoria**, costituirà il nucleo elettronico di base della scheda di controllo dei motori di RZB-1.

🔧 **Un oscillatore con linee di carica e scarica indipendenti pilotate da una coppia di FET.**



UN OSCILLATORE CON RAMI DI CARICA E SCARICA INDIPENDENTI



I grafici a lato descrivono l'andamento di alcuni parametri elettrici del circuito soprastante. Puoi osservare come i transistor Q_C e Q_D operino in maniera **complementare** (quando uno è in conduzione l'altro è inibito e viceversa) e come i tempi di carica e scarica del condensatore C siano differenti, per via della presenza dei due diversi resistori R_C e R_D . **Nel caso specifico abbiamo R_D maggiore di R_C** (il tempo di scarica T_D , infatti, è più 'lento' di quello di carica T_C).