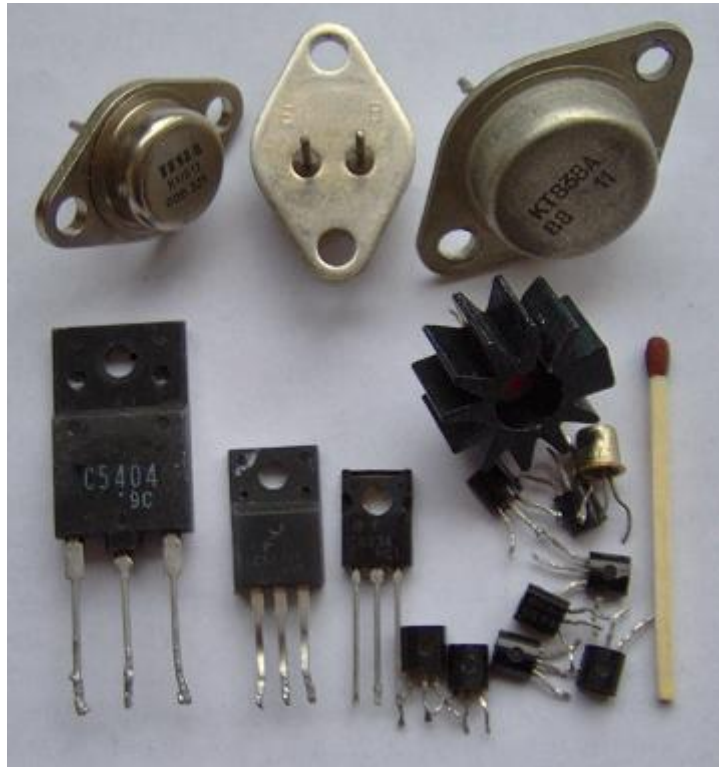
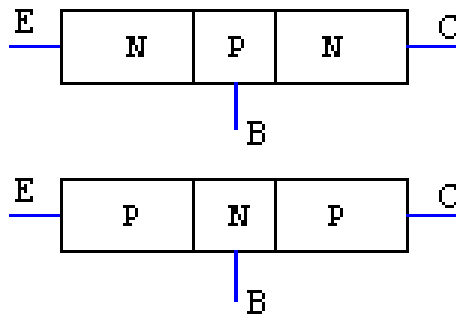


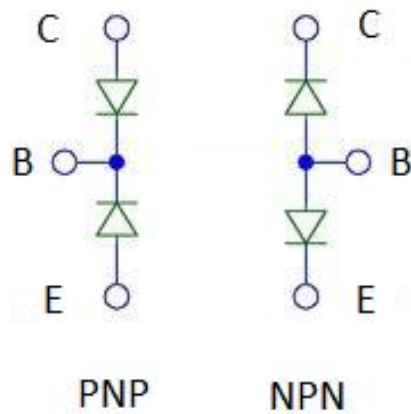
IL TRANSISTOR BJT



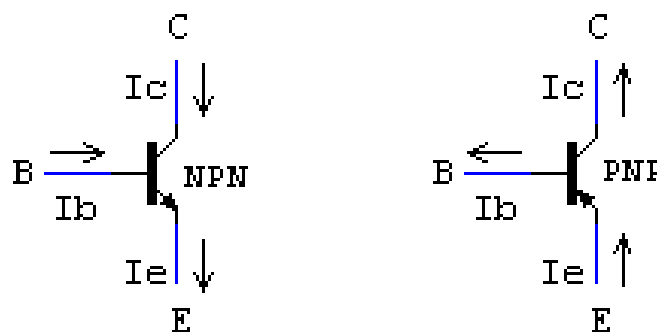
Bjt significa **transistor bipolare a giunzione**. Giunzione poichè è un ulteriore sviluppo della **giunzione PN** dei comuni diodi che è stata spiegata approfonditamente nell'articolo "diodi e diodi led".



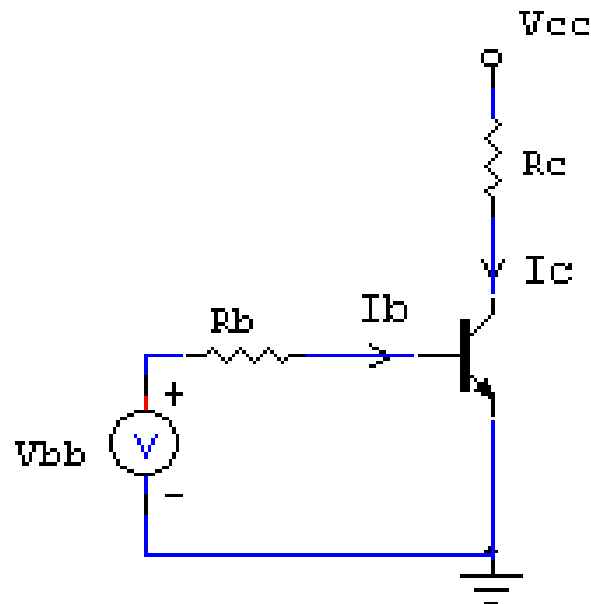
I tre piedini del transistor vengono comunemente chiamati **Emettitore, Base, Collettore**. In poche parole rispetto al diodo normale, dispone di un ulteriore polo quindi diventa una giunzione a tre strati **PNP** oppure **NPN**. La configurazione più utilizzata è la **NPN**, poichè permette di lavorare con correnti alla **Base** positive:



Come illustrato nella figura, potete immaginare la composizione del Bjt simulata attraverso comuni diodi. Le giunzioni presenti all'interno del transistor agiscono infatti esattamente come diodi: per polarizzare correttamente il diodo fra **C** e **B** nel caso **NPN**, servirà una tensione in **Base** superiore a 0,7v rispetto alla tensione sul **Collettore**. Gli 0,7v sono la tensione di soglia necessaria per attivare una comune giunzione PN e renderla conduttrice. Allo stesso modo, applicando all'**Emettitore** una tensione di 0,7 volt inferiore rispetto alla **Base**, si polarizza il diodo tra **B** ed **E**. Nel caso **PNP** avviene semplicemente l'opposto.



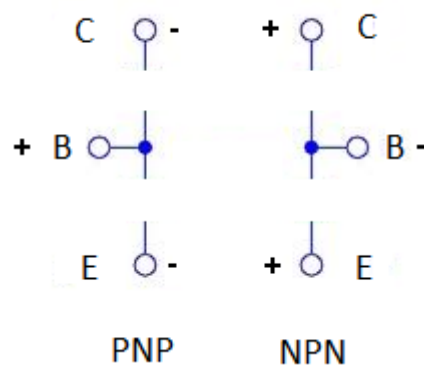
Prima di tutto memorizziamo il simbolo del BJT: la freccia nel simbolo indica l'unico verso in cui può scorrere la corrente durante il suo funzionamento, come potete constatare anche notando la direzione della corrente **Ie** e la corrente **Ic**. Come dicevo poco sopra, le correnti nella versione NPN sono l'esatto opposto rispetto al PNP e questo vale anche per la più importante di tutte, la **corrente di base Ib**.



La rete esterna alla quale il transistor viene connesso, viene chiamata **rete di polarizzazione**: essa va studiata per far giungere le correnti al Bjt nel verso corretto e permetterne quindi il funzionamento. Nell'immagine di esempio potete notare grazie alla freccia del simbolo che si tratta di un NPN, quindi l'emettitore va posto a potenziale più basso, mentre nel caso del PNP a potenziale più basso sarebbe stato collegato il collettore così da permettere il flusso della corrente verso l'alto, no?

Le tre correnti in gioco, I_c per il collettore, I_b per la base ed I_e per l'emettitore, sono legate tra loro dall'equazione $I_e = I_b + I_c$. Combinando i vari casi di polarizzazione dei diodi interni, è possibile ottenere tre diversi stati di funzionamento del Bjt.

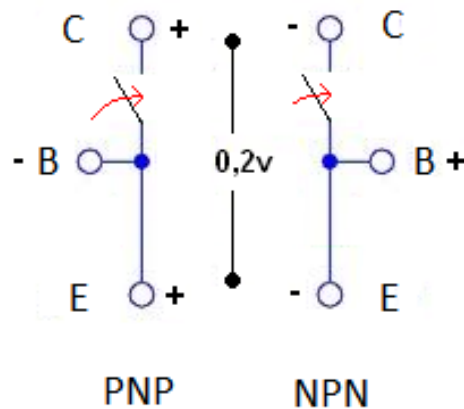
Interdizione



Il Bjt si dice **interdetto** quanto entrambi i diodi interni sono polarizzati inversamente oppure le tensioni in gioco non superano la soglia di 0,7v necessaria per la conduzione elettrica. Piccole variazioni della corrente di base in questo caso

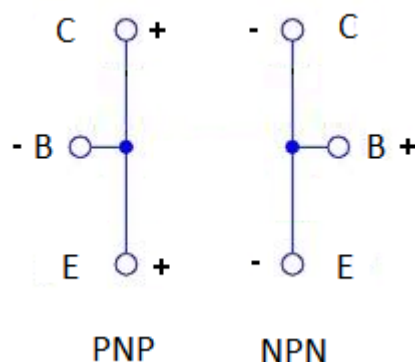
non hanno effetto. In generale, il transistor **NPN** è interdetto quanto le tensioni sul **Collettore** ed **Emettitore** sono maggiori rispetto alla tensione sulla **Base**. Viceversa il transistor **PNP** è interdetto quando la tensione sulla **Base** è maggiore rispetto alle tensioni tra **Collettore** ed **Emettitore**.

Regione Attiva



Il Bjt funziona in modo normale -cioè nella **regione attiva**- quando la giunzione B-E è polarizzata in modo corretto e quindi conduce, mentre la giunzione B-C non è polarizzata completamente. Essendo la giunzione B-C prossima alla conduzione, anche piccole variazioni della corrente di base creano una grande variazione nella corrente I_c , e proprio questo fenomeno alla base dell'amplificazione. In definitiva, un transistor **NPN** lavora in regione attiva quando la tensione sull'Emettitore è inferiore a quella sulla Base di almeno 0,7v mentre la tensione di Collettore è inferiore a quella della Base ma non abbastanza per attivare la giunzione, quindi attorno gli 0.5v. Si ha quindi una **differenza di tensione tra Collettore ed Emettore di circa 0.2v**. Ovviamente nel Bjt PNP si lavora all'esatto contrario, ovvero la tensione sull'Emettitore è maggiore rispetto a quella di Base di almeno 0.7v mentre il Collettore ha una tensione inferiore rispetto all'Emettitore di 0.2v.

La saturazione



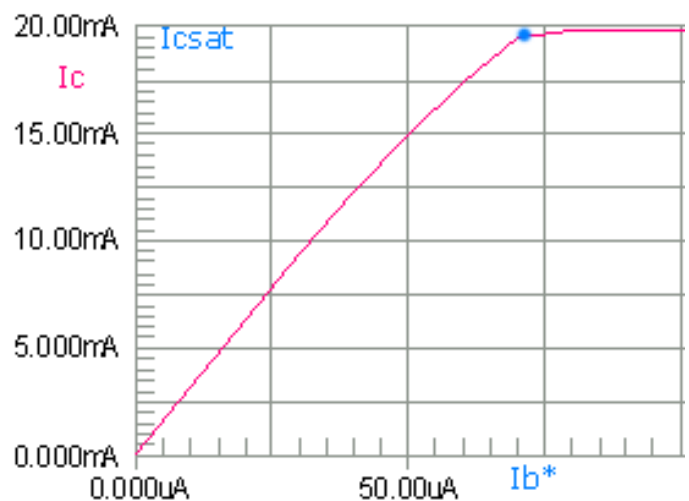
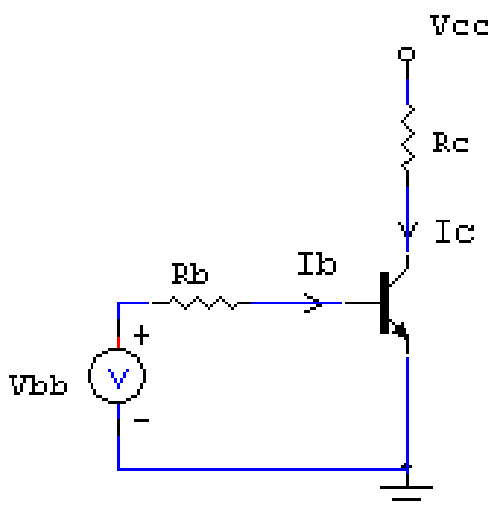
Il Bjt si dice in saturazione invece, quando entrambe le giunzioni sono polarizzate correttamente e sono quindi in conduzione. Piccole variazioni della corrente di

base in questo caso non hanno alcun effetto. Perché il Bjt **NPN** saturi è necessario che la tensione di Base sia superiore a quella del Collettore ed anche a quella dell'Emettitore. Per il transistor PNP invece vale il contrario.

Tipi di utilizzo

Fin'ora abbiamo parlato teoricamente di come si comporta un transistor Bjt nei vari casi possibili, ma durante l'applicazione reale, questi casi vanno saputi sfruttare per ottenere l'effetto desiderato. Di seguito facciamo i due esempi classici, ovvero la modalità "interruttore" **ON-OFF**, dove il transistor grazie alla piccola corrente **I_b** può controllare una più grande corrente che lo attraversa **I_c**; oppure la modalità di **Amplificazione**, in modo che a seconda del segnale in entrata sulla base si possa trovare tale segnale amplificato **proporzionalmente** sul collettore. La prima modalità è molto simile al funzionamento di un relè o di un mosfet, la seconda invece è modalità propria degli amplificatori per esempio audio.

Modalità ON-OFF



A sinistra abbiamo il circuito da dimensionare, mentre a destra abbiamo la curva che mostra come varia la corrente I_c in base alla corrente I_b .

Il massimo valore che I_c può raggiungere, ovvero quando il transistor è in saturazione (come se al suo posto ci fosse un interruttore su ON) è determinato solamente dalla presenza di R_c , come in un normale circuito, quindi **$I_{cmax} = V_{cc}/R_c$** .

La zona di linea retta dove la corrente I_c cresce proporzionalmente ad I_b per ora non ci interessa, essa sarà utilizzata successivamente nella modalità di amplificazione. Il nostro Bjt arriva in saturazione dove la curva diventa orizzontale, ovvero la massima conduzione oltre la quale anche aumentando **I_b** , **I_c** non può crescere ulteriormente. Per ottenere un funzionamento ON-OFF, sarà necessario

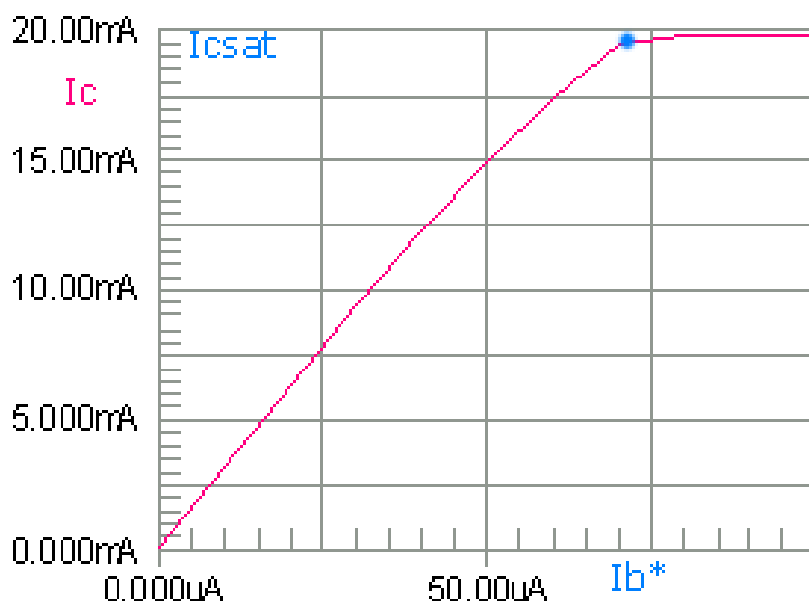
far si che quando V_{bb} raggiunge la soglia interessata il transistor vada in saturazione, mentre quando V_{bb} ritorna a zero il transistor si stabilizzi in interdizione. Per esempio se volessimo pilotare il transistor con un PIC la tensione di soglia V_{bb} dovrebbe essere 5volt (vedi il PIC16F84). La corrente I_c dipende quindi da I_b , la quale a sua volta dipende da R_b e V_{bb} : si ha che $R_b = (V_{bb} - V_{be})/I_{bsat}$.

V_{be} è la caduta di tensione tra Base ed Emettore (normalmente 0,7v) trovate questo valore sul datasheet del vostro Bjt.

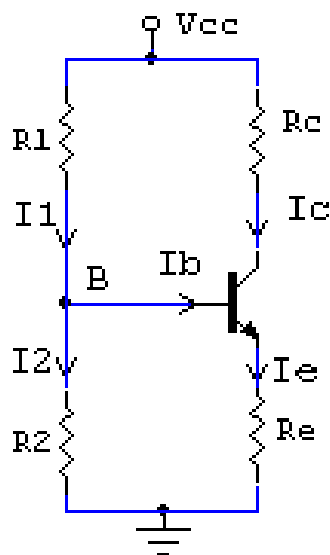
I_{bsat} è la corrente di saturazione: se fornita alla base del transistor, esso entra in saturazione e la corrente I_c aumenterà fino al suo massimo valore, trasformando il transistor in un interruttore impostato su ON. Per calcolare la corrente di saturazione $I_{bsat} = I_c/hFE$.

hFE è il guadagno del vostro transistor, che potete trovare nel suo datasheet assieme ad altri parametri; il parametro I_c invece è la corrente che volete ottenere al collettore, quindi dipende da che "carico" desiderate pilotare: per esempio un led acceso avrebbe una corrente I_c di circa 20mA. In questo modo avete tutto quello che vi serve per calcolare la resistenza adatta che vi permetta di ottenere la giusta corrente I_b quando V_{bb} raggiunge i 5 volt, in modo che il transistor entri in conduzione. Ricordatevi di calcolare una R_c adatta a far si che la corrente I_c non superi le soglie limite del vostro transistor in caso di cortocircuito (sempre da datasheet) altrimenti rischiate di comprometterlo: $R_c = (V_{cc} - V_{ce})/I_c$! V_{ce} di saturazione solitamente è attorno gli 0.2v.

Modalità Amplificazione



Abbiamo visto che nella semplice modalità ON-OFF, viene inserita una resistenza calcolata in modo da mandare totalmente in conduzione il transistor quando la tensione sulla Base raggiunge il valore di 5volt. Ma se noi volessimo amplificare ad esempio un segnale audio, dobbiamo fare in modo che questo avvenga in modo proporzionale, per evitare distorsioni. Dal grafico delle correnti I_b ed I_c si può notare la linea retta obliqua che corrisponde all'incremento proporzionale di I_c rispetto ad I_b . L'amplificazione ottenuta è indicata attraverso il rapporto h_{FE} da datasheet, solitamente attorno 100. Per ottenere un'amplificazione priva di distorsioni è necessario dimensionare il circuito in modo che il livello massimo e minimo di corrente sulla base rientrino nella la zona di proporzionalità. **Per comodità si può considerare una I_c di lavoro posizionata al centro della retta, in questo esempio circa $I_c=13mA$.** Per ottenere questa polarizzazione è necessario un circuito differente, chiamato ad **Emettitore Comune**:



In questo circuito spiccano le resistenze $R1$ ed $R2$ le quali agiscono da partitore di tensione necessario per creare una tensione sulla Base maggiore dell'Emettitore ma comunque inferiore al Collettore, in modo da polarizzare il diodo interno B-E senza polarizzare completamente invece il diodo C-B. Come vanno calcolate queste resistenze?

Prima di tutto è necessario considerare la corrente I_p che scorre attraverso $R1$ ed $R2$ molto maggiore rispetto ad I_b , **ad esempio 10-100 volte I_b** . In questo modo la corrente sulla Base sarà trascurabile, permettendoci di calcolare $R1$ ed $R2$ come un normale partitore.

$$I_b = I_c / h_{FE}$$

$$I_p = 10 * I_b$$

$$R1 = V_{be}/I_p$$

$$R2 = (V_{cc}/I_p) - R1$$

La resistenza R_e agisce come stabilizzatrice in caso di variazioni di amplificazione del transistor: il guadagno infatti dipende da molti fattori, primo tra i quali l'aumento di temperatura. Quando l'amplificazione aumenta, aumenta anche la corrente circolante attraverso R_e la quale quindi genera una caduta di tensione maggiore. Questo influisce su $R2$, attraverso la quale scorre maggiore corrente, sottraendola alla Base. Così facendo il guadagno torna a diminuire e quindi si ristabilizza.

Per calcolare R_e prima di tutto si stabilisce un valore

$V_{re} = (1/10)V_{cc}$ e successivamente:

$$R_e = V_{re}/I_c$$

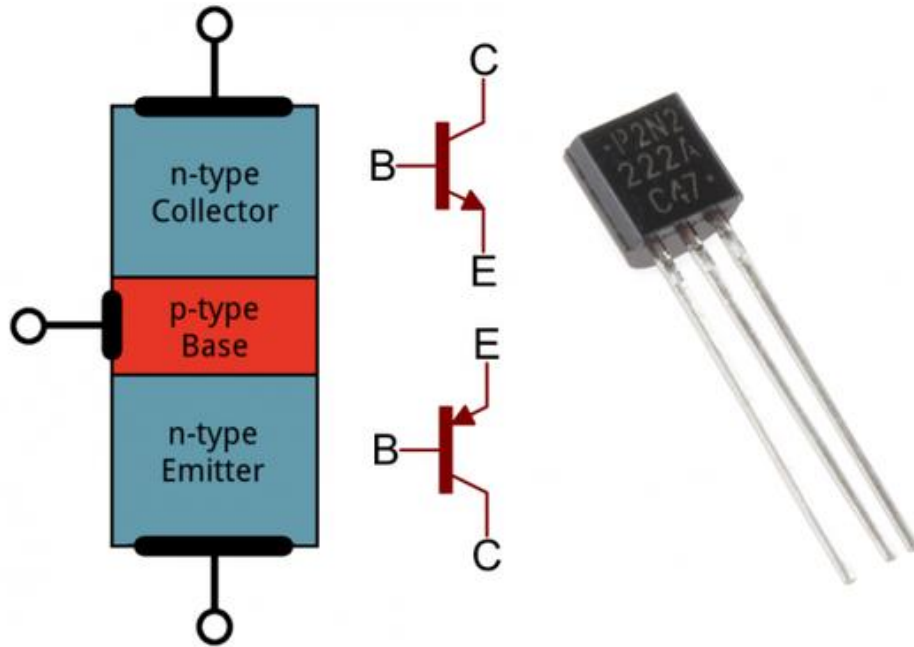
Ora manca semplicemente il calcolo di R_c , che è la parte più semplice di tutto il lavoro:

$$R_c = (V_{cc} - V_{ce} - V_{re}) / I_c$$

Ora il Bjt può amplificare perfettamente un segnale in ingresso tra $R1$ ed $R2$.

TRANSISTOR, COSA SONO E COME FUNZIONANO

I transistor sono la base dell'elettronica moderna. Sono essenziali per il controllo in quasi tutti i circuiti. A volte li vedi, altre sono nascosti all'interno di un circuito integrato. In questo tutorial apprenderemo le basi del transistor a giunzione bipolare (BJT).



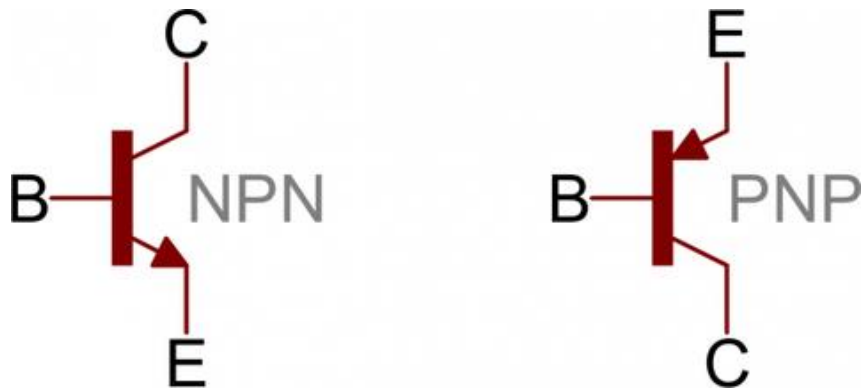
In piccole quantità i transistor possono essere utilizzati per creare semplici interruttori elettronici, "logica digitale" e circuiti di amplificazione dei segnali. In quantità di migliaia, milioni o miliardi i transistor sono interconnessi e incorporati in minuscoli chip per creare memorie per computer, microprocessori e altri circuiti integrati complessi.

In questa esercitazione

Dopo la lettura di questo tutorial dovresti avere una visione più ampia di come funzionano i transistor. Non andremo a scavare troppo nella fisica dei semiconduttori o equivalenti, ma capirete come un transistor può essere utilizzato sia come interruttore che come amplificatore.

SIMBOLI PIN E COSTRUZIONE

I transistor sono dispositivi costituiti da tre terminali. Su un transistor a giunzione bipolare (BJT) i pin sono etichettati come **Collettore (C)**, **Base (B)** ed **Emettitore (E)**. I simboli circuitali sia per il BJT NPN e PNP sono i seguenti:



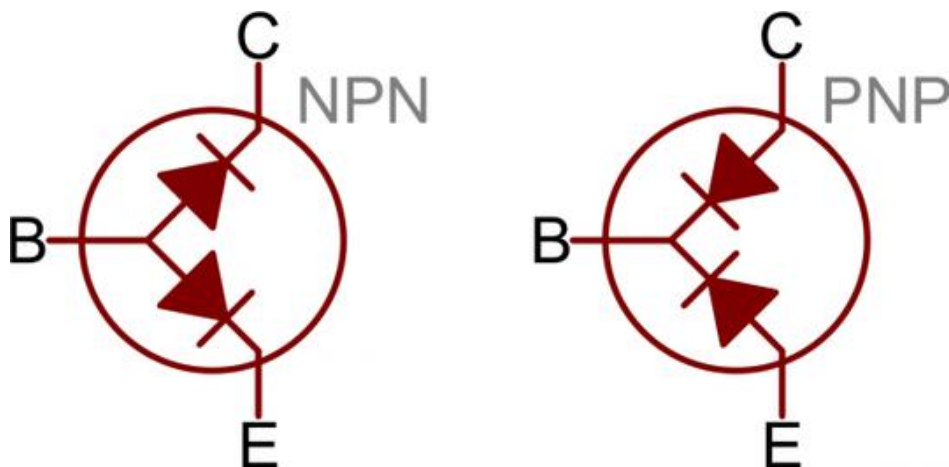
L'unica differenza tra un NPN e PNP è la direzione della freccia sull'emettitore.

Costruzione

I transistor si basano sui semiconduttori. Un semiconduttore è un materiale che non conduce molto (come il filo di rame) ma non è neanche un isolante (come l'aria). La conduttività di un semiconduttore dipende da variabili quali la temperatura o la presenza di più o meno elettroni. Vediamo brevemente come è composto un transistor al suo interno.

Un transistor come due diodi

I transistor sono solo due diodi con i loro catodi (o anodi) legati insieme.



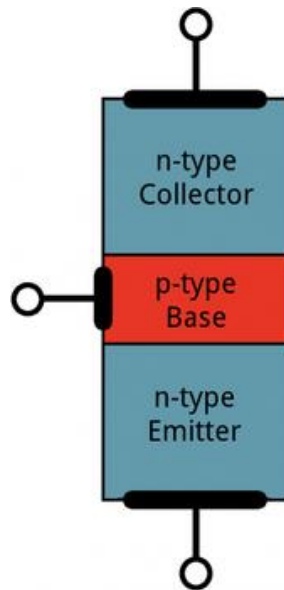
La rappresentazione dei diodi è un buon punto di partenza ma non basate la vostra comprensione di funzionamento di un transistor su quel modello (non cercate di replicare su una breadboard, non funzionerà).

Questo modello è utile per testare un transistor. Utilizzando la funzione di prova di un diodo sul [multimetro](#) è possibile misurare tra i terminali BE e BC per verificare la conduttività o meno.

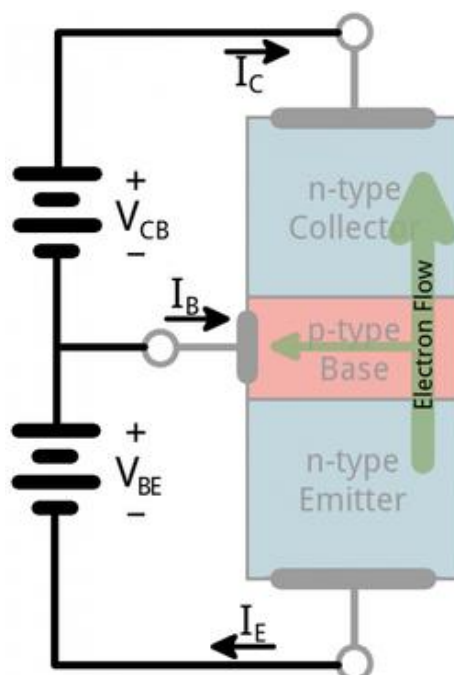
Transistor struttura e funzionamento

I transistor sono costruiti sovrapponendo tre diversi strati di materiale semiconduttore. Alcuni di questi strati hanno elettroni extra aggiunti (tramite un processo chiamato "doping" o "drogaggio") e altri hanno mancanza di elettroni (drogato con "lacune" assenza di elettroni).

Un materiale semiconduttore con elettroni in più è chiamato **tipo n** (n sta per negativo perchè gli elettroni hanno una carica negativa) e un materiale con mancanza di elettroni viene chiamato di **tipo p** (positivo).



Possiamo dire che gli elettroni possono fluire facilmente da una **regione n** a una **regione p**, purchè abbiano una piccolissima forza (tensione) per spingerli. Ma scorrere da una regione p a una regione n richiederebbe un sacco di tensione.



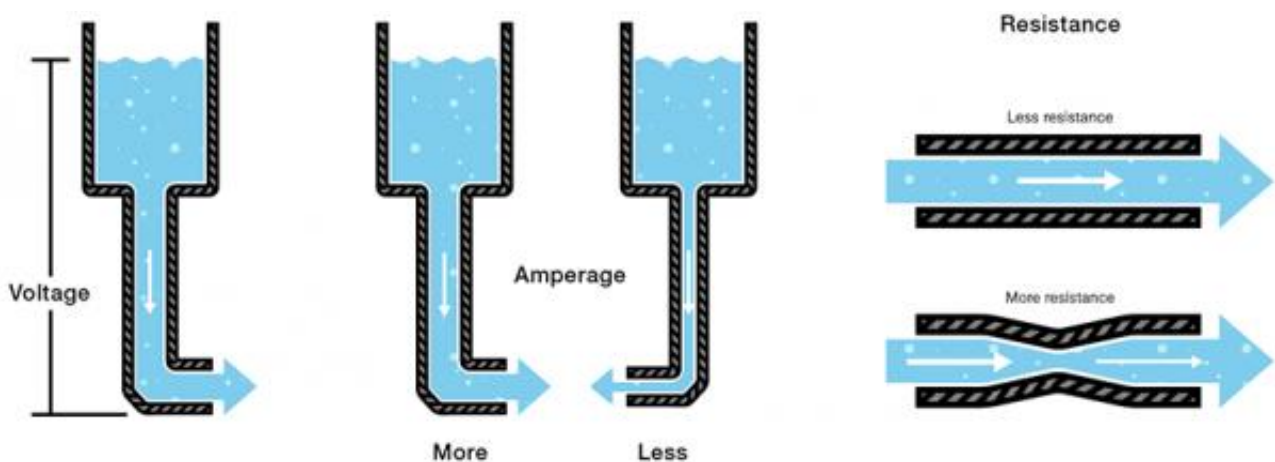
Il transistor NPN è progettato per trasmettere elettroni dall'emettitore al collettore (la corrente fluisce in modo convenzionale dal collettore all'emettitore).

Il transistor è un po' come una valvola di elettroni, la base è come se fosse una maniglia per consentire agli elettroni di fluire dall'emettitore al collettore.

Cerchiamo di approfondire questa analogia...

Transistor come rubinetno, analogia con l'acqua

Se avete letto altri tutorial sul concetto di energia elettrica probabilmente siete abituati alle analogie con l'acqua. Diciamo che la corrente è analoga alla portata d'acqua, la tensione è la pressione che spinge l'acqua in un tubo e la resistenza è la larghezza del tubo stesso.



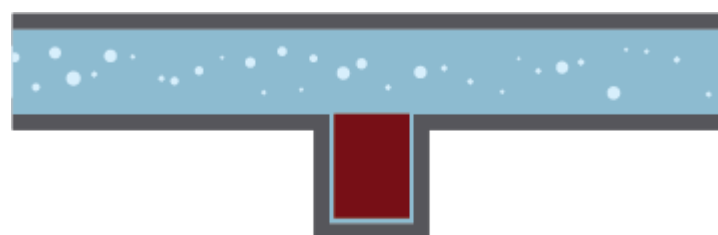
L'analogia con l'acqua può essere estesa ai transistor. Un transistor è come un **valvola**, un meccanismo che possiamo usare per **controllare la portata**.

Possiamo elencare tre stadi di utilizzo di una valvola, ciascuno dei quali ha un diverso effetto sul tasso di flusso di un sistema.

1) ON - Corto Circuito

Una valvola può essere aperta, permettendo all'acqua di fluire liberamente

Allo stesso modo, nelle giuste circostanze, un transistor può apparire come un corto circuito tra i pin collettore ed emettitore.

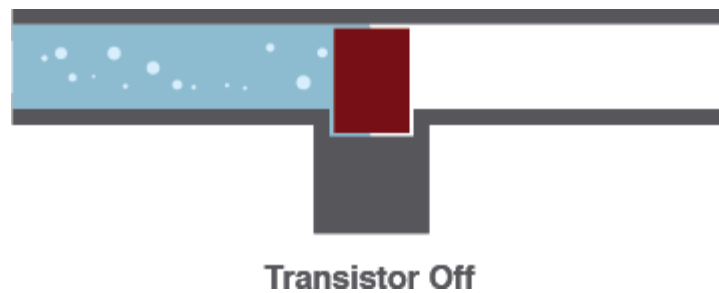


Transistor On

2) OFF- Circuito Aperto

Quando una valvola è chiusa può fermare il flusso d'acqua completamente.

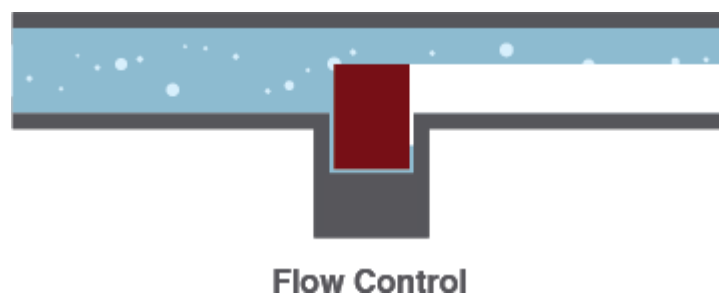
Allo stesso modo un transistor può essere usato per creare un circuito aperto tra il pin collettore ed emettitore



3) Controllo lineare del flusso

Una valvola può essere regolata per controllare la portata d'acqua tra completamente aperta e chiusa.

Un transistor può fare la stessa cosa (controllo lineare della corrente) attraverso un circuito tra completamente OFF (circuito aperto) e completamente ON (corto circuito).



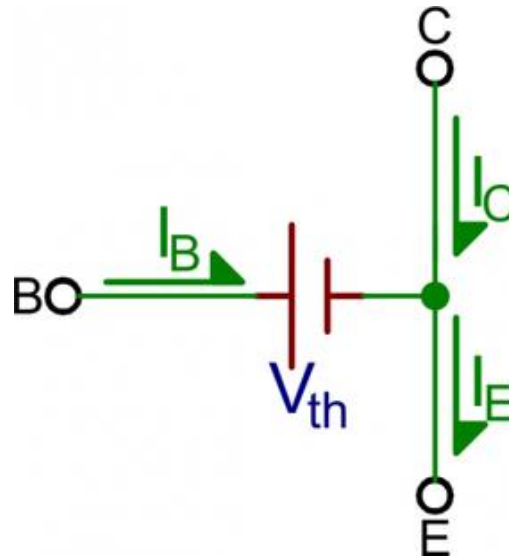
Modalità operative

Diversamente dalle [resistenze](#) che attuano una relazione lineare tra tensione e corrente, i transistor sono dispositivi non lineari. Hanno diverse modalità di funzionamento a seconda della corrente che li attraversa. (Quando parliamo del flusso della corrente che attraversa il transistor, intendiamo **la corrente che fluisce dal collettore all'emettitore di un NPN**).

Nota: La maggior parte di questa parte di pagina si concentrerà sui transistor NPN. Per capire come funziona un PNP bisognerà semplicemente capovolgere la polarità.

Modalità Saturazione

Un transistor in modalità saturazione si comporta come un cortocircuito tra collettore ed emettitore.



In modalità saturazione entrambi i "diodi" del transistor sono polarizzati direttamente. Ciò significa che V_{BE} deve essere maggiore di 0: In altre parole, V_B deve essere superiore sia a V_E che a V_C .

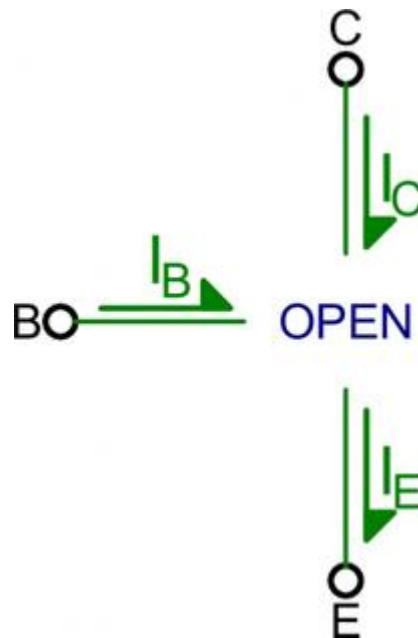
$$V_B > V_C$$

$$V_B > V_E$$

Poiché la giunzione base-emettitore appare come un [diodo](#), in realtà, V_{BE} deve essere maggiore di una **tensione di soglia** per entrare in saturazione. Il valore effettivo varia da transistor a transistor (oltre anche alla temperatura). Per molti di questi (a temperatura ambiente) possiamo stimare la soglia a circa 0,7V.

Modalità di taglio o interdizione

La modalità di taglio è l'opposto della saturazione. Quindi possiamo descriverlo come un circuito aperto.



Per ottenere un transistor in modalità di taglio, la tensione sulla base deve essere inferiore sia all'emettitore che al collettore. V_{BC} e V_{BE} devono essere entrambi negativi.

$$V_C > V_B$$

$$V_E > V_B$$

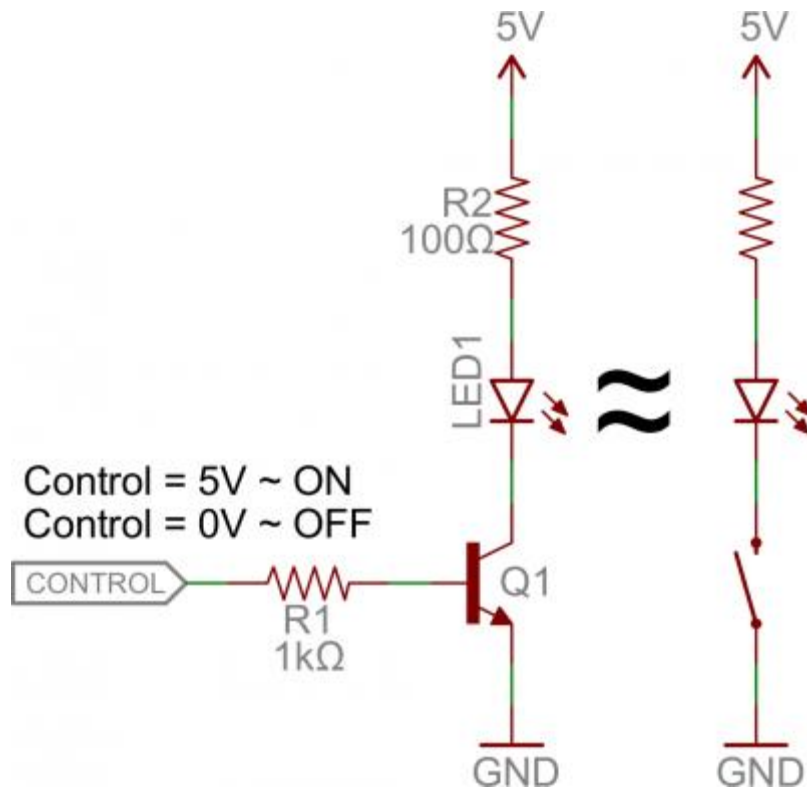
In realtà V_{BE} può essere compreso tra 0V e $\sim 0,7V$.

Applicazioni dei transistor

Una delle applicazioni più usate per i transistor è quella di controllare un flusso di energia utilizzandolo come interruttore elettrico. Gli interruttori a transistor sono blocchi fondamentali per i circuiti, servono per fare porte logiche, che vanno a creare microcontrollori, microprocessori e altri circuiti integrati. Qui di seguito ci sono alcuni esempi.

Transistor come interruttore

Diamo un'occhiata al circuito interruttore a transistor NPN più utilizzato. Qui useremo un NPN per controllare un LED.



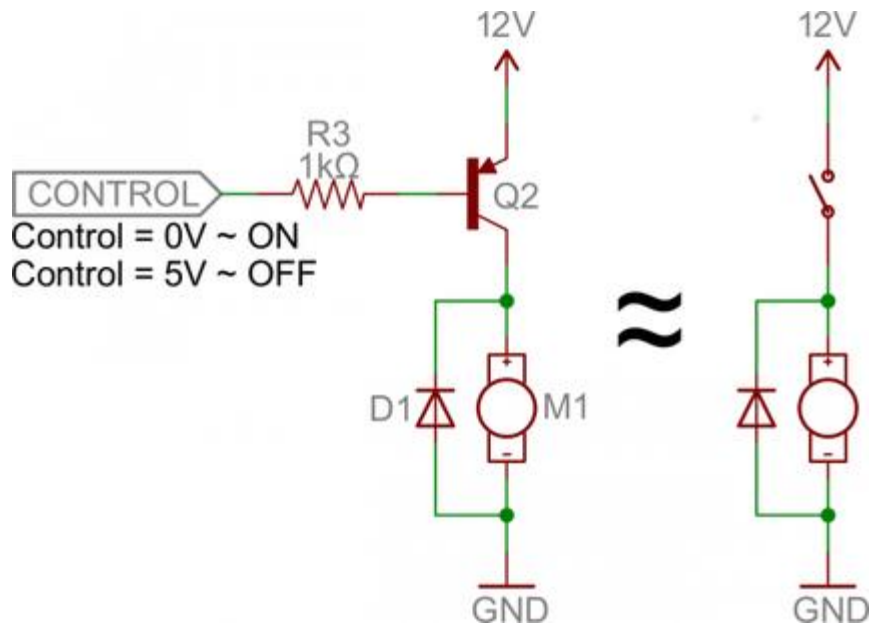
Quando la tensione di controllo è fatta fluire sulla base, l'emettitore è mantenuto ad una tensione fissa.

Mentre un normale interruttore richiederebbe un intervento fisico, questo interruttore è controllato dalla tensione al pin base. Un microcontrollore ha pin I/O come quelli su Arduino e può essere programmato HIGH/LOW per accendere o spegnere un LED.

Quando la tensione sulla base è maggiore di 0,7V il transistor si presenta come un cortocircuito tra il collettore e l'emettitore. Quando la tensione sulla base è inferiore di 0,7V il transistor è in modalità cut-off e nessuna corrente fluisce perchè è come se fosse un circuito aperto tra C ed E.

Il circuito sopra è chiamato **interruttore low-side**.

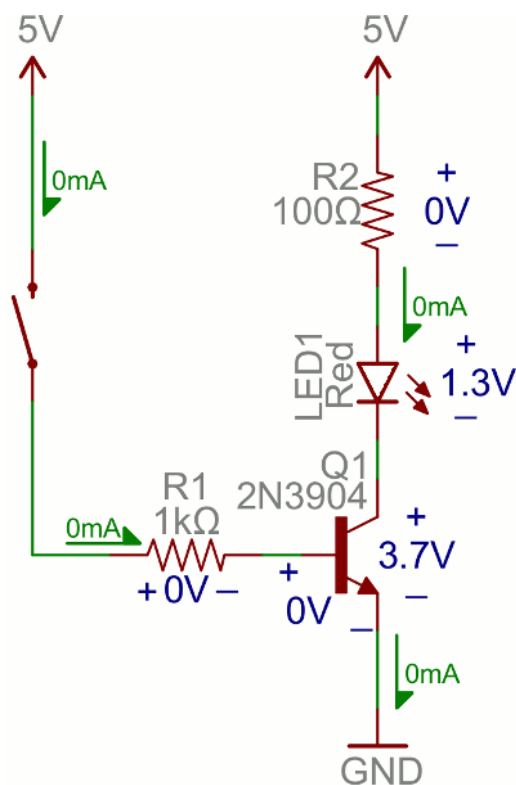
In alternativa, si può utilizzare un transistor PNP per creare un interruttore high-side:



Resistenze sulla base

Noterete che ciascuno di tali circuiti utilizza un resistore in serie tra l'ingresso (controllo) e la base del transistor. Non dimenticare di aggiungere questa resistenza! Un transistor senza resistenza sulla base è come un LED senza [resistore limitatrice di corrente](#).

Alcuni transistor possono essere attraversati da una corrente massima di 10-100 mA. Se si fornisce una corrente oltre il valore massimo il transistor potrebbe esplodere.



La resistenza deve essere abbastanza grande da limitare la corrente.

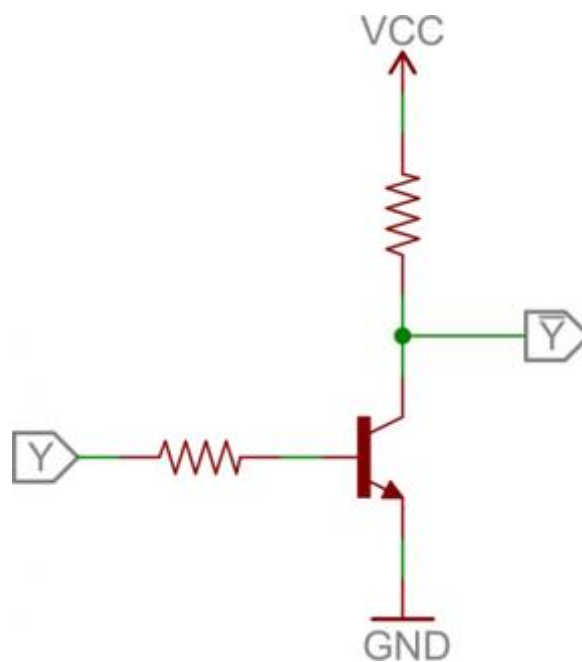
Di solito da 1mA a 10mA è sufficiente, ma controllate sempre il datasheet del transistor.

Porte logiche con i transistor

I transistor possono essere combinati per creare tutte le porte logiche fondamentali: AND, OR e NOT

Inverter NOT

Ecco un circuito a transistor che implementa un inverter o porta NOT:

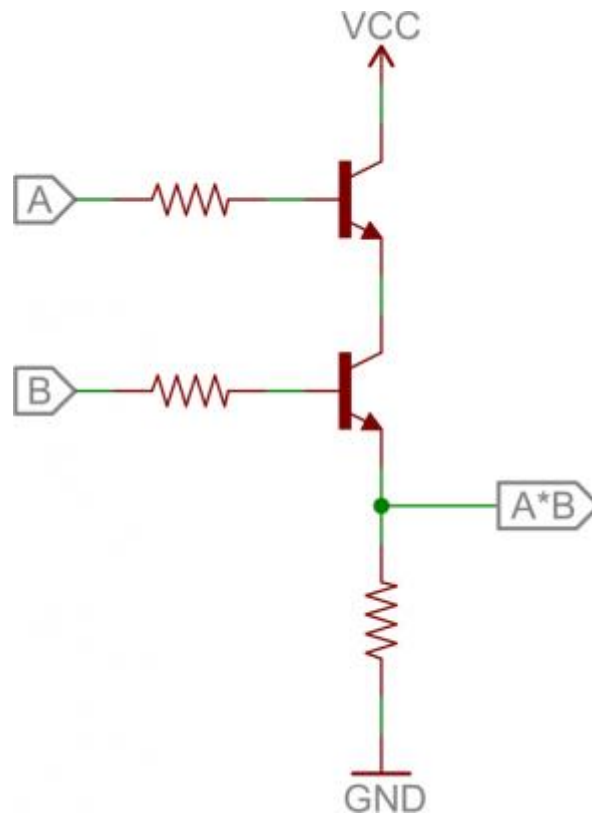


Qui una tensione sulla base attiverà il transistor, che quindi collegherà il collettore all'emettitore.

(Questo è in realtà una configurazione a transistor fondamentale chiamato **emettitore comune** . Ne ripareremo più avanti.)

Porta AND

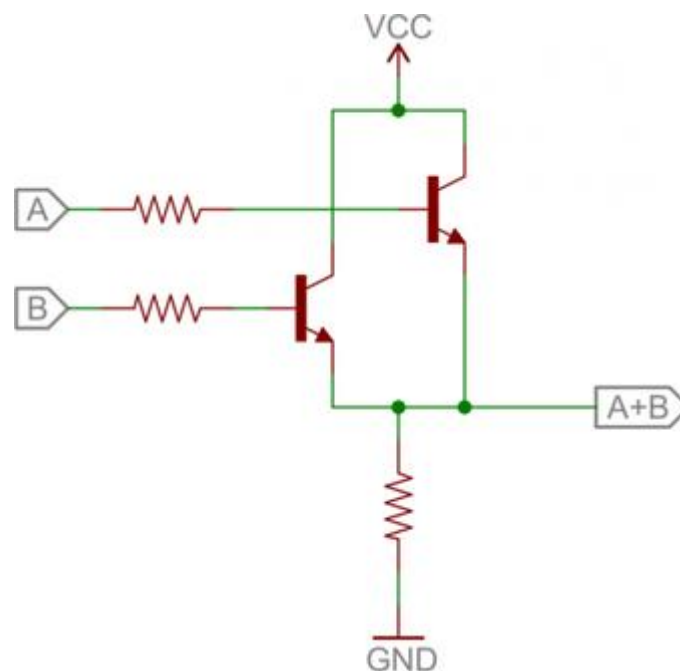
Qui troviamo una coppia di transistor utilizzati per creare i **2 input della porta AND**



Se uno dei transistor è spento, l'uscita del collettore del secondo transistor sarà bassa. Se entrambi i transistor sono alti (alimentati alla base) allora l'uscita del circuito è alta.

Porta OR

E infine ecco **2 ingressi porta OR**:

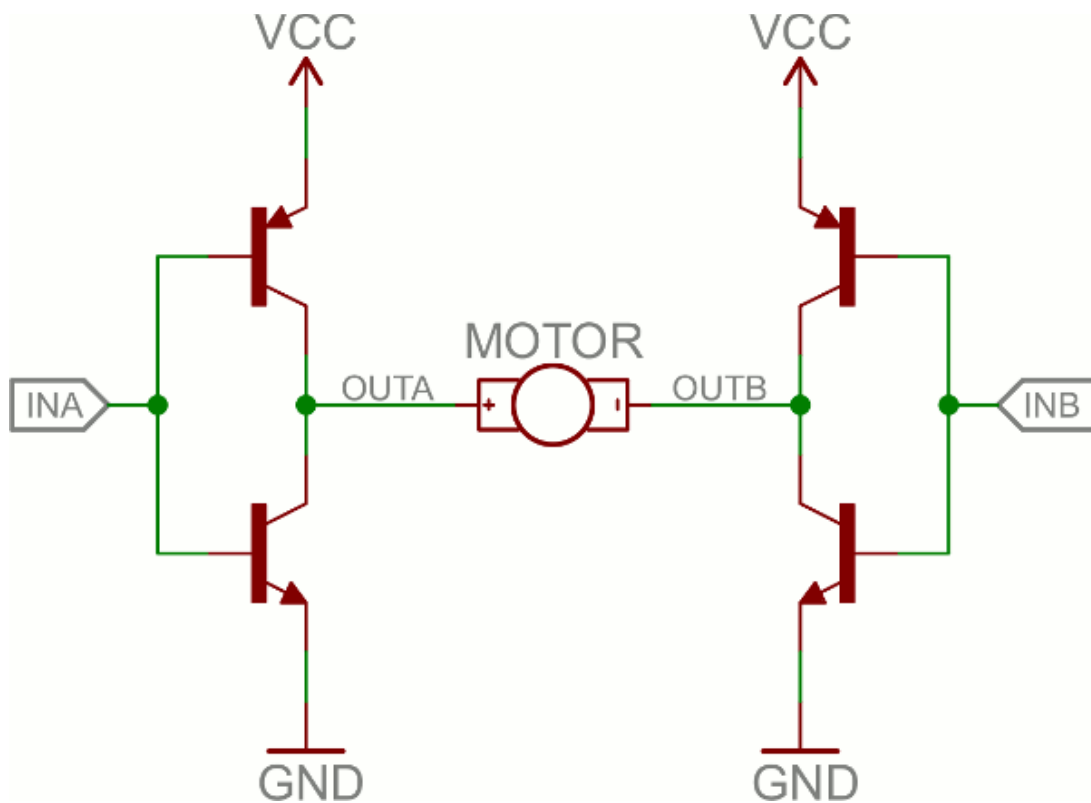


In questo circuito se uno (o entrambi) A e B sono alti, attivano il rispettivo transistor e portano l'uscita alta. Se entrambi i transistor sono spenti, l'uscita è portata bassa dalla resistenza.

Ponte-H

Un ponte-H in grado di **azionare i motori in senso orario e antiorario**. È un circuito molto popolare ed è la forza trainante di innumerevoli robot che sono in grado di muoversi sia in avanti che indietro.

Fondamentalmente un ponte-H è una combinazione di quattro transistor con due ingressi e due uscite.



Nota: di solito c'è un po' più in un ponte-H ben progettato che include diodi flyback, resistenze sulla base e trigger di Schmidt.

Se entrambi gli ingressi sono alla stessa tensione le uscite al motore saranno alla stessa tensione e il motore non sarà in grado di girare. Ma se i due ingressi sono opposti il motore girerà in un senso o nell'altro.

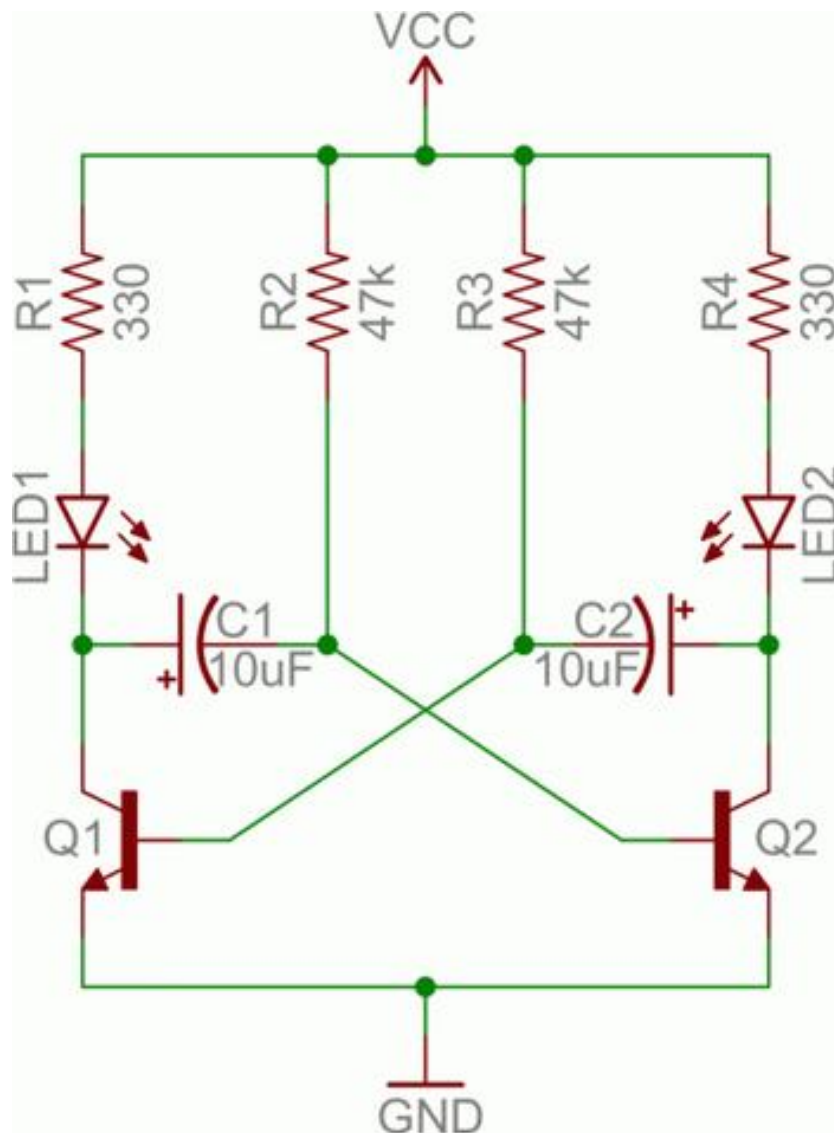
Il ponte-H ha una tabella di verità:

ingresso A	ingresso B	uscita A	uscita B	direzione del motore
0	0	1	1	Arrestato (frenatura)
0	1	1	0	Senso orario
1	0	0	1	Antiorario
1	1	0	0	Arrestato (frenatura)

Oscillatori

Un oscillatore è un circuito che produce un segnale periodico che oscilla tra una tensione bassa e alta. Gli oscillatori sono utilizzati in tutti i tipi di circuiti: dal semplice lampeggiare di un LED alla produzione di un segnale di clock per guidare un microcontrollore. Ci sono molti modi per creare un circuito oscillatore tra cui cristalli di quarzo, amplificatori operazionali e naturalmente i transistor.

Ecco un esempio di circuito oscillante chiamato **multivibratore astabile**. Utilizzando il **feedback** possiamo usare una coppia di transistor per creare due segnali oscillanti.



Oltre ai due transistor, i **condensatori** sono la vera chiave di questo circuito. I condensatori alternano carica e scarica il che fa sì che i due transistor si azioneranno alternativamente ON e OFF.

Analizziamo il funzionamento del circuito per capire il funzionamento dei condensatori e dei transistor. Per cominciare C1 è completamente carico (immagazzina una tensione di circa V_{cc}), C2 viene scaricato, Q1 è acceso e Q2 è

spento.

Ecco cosa succede dopo:

- Se Q1 è attivato, piastra sinistra di C1 (sullo schema) è collegato a circa 0V. Questo permetterà a C1 di scaricarsi attraverso il collettore di Q1.
- Mentre si sta scaricando C1, C2 carica rapidamente attraverso la resistenza di valore inferiore - R4.
- Una volta che C1 si scarica completamente, il suo piatto destro sarà ad una tensione di circa 0,6 V, che si rigetterà in Q2.
- A questo punto : C1 viene scaricata, C2 è carica, Q1 è spento, e Q2 è ON. Ora facciamo la stessa cosa ma nella direzione opposta.
- Mentre Q1 è spento, C1 può caricare, in tempi relativamente brevi attraverso R1.
- Una volta che C2 si scarica completamente, Q1 sarà di nuovo nella condizione dove abbiamo iniziato.

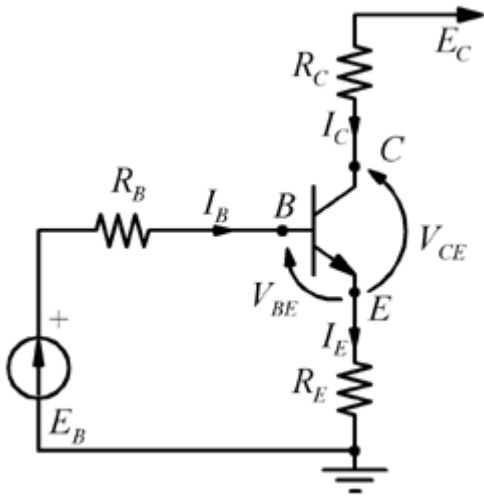
Con la scelta de valori specifici per C1, C2, R2, e R3 (e mantenendo R1 e R4 relativamente bassi) siamo in grado di impostare la velocità del nostro circuito multivibratore:

$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot (R_2 C_1 + R_3 C_2)}$$

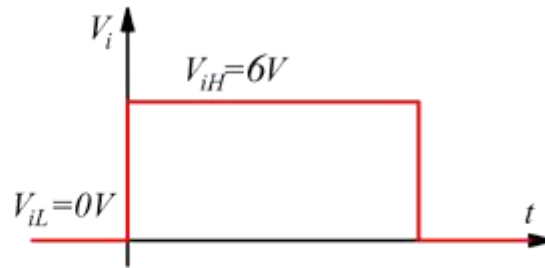
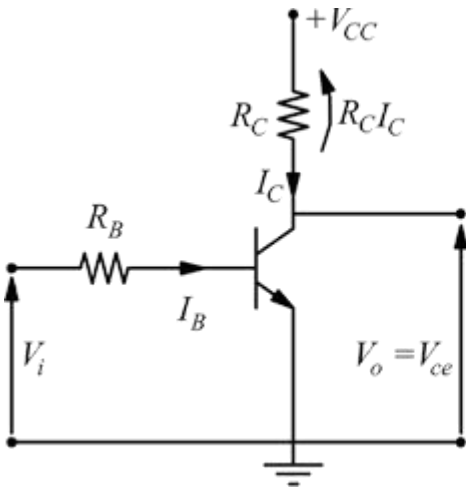
Così, con i valori dei condensatori e delle resistenze fissate rispettivamente a 10µF e 47kΩ, la nostra frequenza dell'oscillatore è di circa 1,5 Hz. Ciò significa che ogni LED lampeggia circa 1,5 volte al secondo.

Come si può vedere ci sono tonnellate di circuiti che fanno uso di transistor. Questi esempi mostrano principalmente come il transistor può essere utilizzato in saturazione e modalità cut-off come un interruttore.

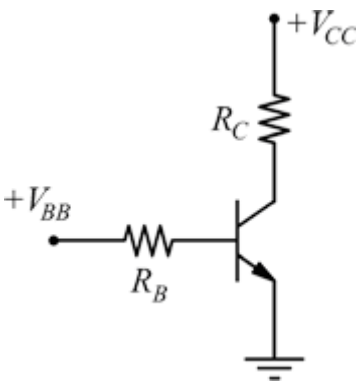
ESERCIZI



ex 1



ex 6



$$V_{CC} = 9V \quad V_{BB} = 5V$$

$$h_{FE} = 100$$

$$R_B = 70k\Omega$$

$$R_C = 2,7k\Omega$$

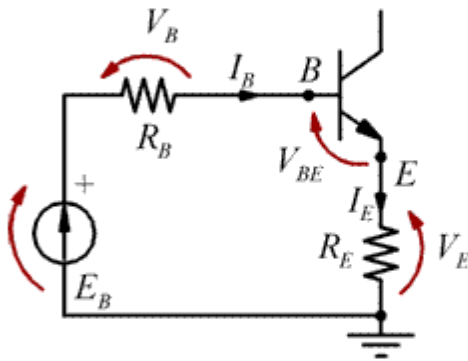
Verificare se il BJT sia in zona attiva o in saturazione. Verificare cosa succede se si pone $R_C = 1k\Omega$

ex 8

Esercizio no.1 soluzione:

La prassi della soluzione per questo tipo di circuito è sempre la stessa: prima si imposta la legge di Kirchoff alla maglia di ingresso al fine di ricavare I_B e la I_C tramite la relazione $I_C = \beta I_B$. Poi si esegue la legge di Kirchoff sulla maglia di uscita al fine di ricavare la V_{CE} .

Eq. alla maglia di ingresso



considerando che $I_C = \beta I_B$ avremo

$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta \cdot I_B = I_B(1 + \beta)$$

L'equazione alla maglia è:

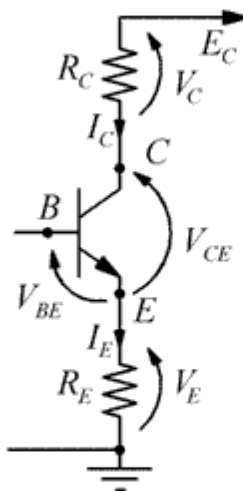
$$E_B = R_B I_B + V_{BE} + R_E(\beta + 1) I_B$$

Ricavo I_B

$$I_B = \frac{E_B - V_{BE}}{R_B + R_E(\beta + 1)} = \frac{10 - 0,7}{20 + 0,2(101)} = 0,231 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 23,1 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 23,1 + 0,231 = 23,331 \text{ mA}$$



dalla maglia di uscita ricavo

$$E_C = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$$

$$E_C = R_C I_C + V_{CE} + R_E(I_B + I_C)$$

$$V_{CE} = E_C - R_C I_C - R_E(I_B + I_C) = 20 - (0,3 \cdot 23,1) - (0,2 \cdot 23,331) = 20 - 6,93 - 4,66 = 8,4V$$

La tensione V_{CE} trovata è compresa fra 0 ed E_C e pertanto l'ipotesi fatta $I_C = \beta I_B$ è valida (transistor in zona attiva lineare).

Esercizio no.6:soluzione

Ipotizziamo che per $V_i=6V$ il transistor vada in saturazione: con $V_{CE(sat)}=0,2V$ e $V_{BE(sat)}=0,8V$

$$I_C = -\frac{1}{R_C}V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} = -\frac{0,2}{1} + \frac{12}{1} = 12 - 0,2 = 11,8mA$$

Alla maglia di ingresso avremo:

$$V_i = V_B + V_{BE} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$6 = I_B \cdot 10 + 0,8 \quad \rightarrow \quad I_B = \frac{6 - 0,8}{10} = 0,52mA$$

$$\text{Poi si ha } \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{11,8}{100} = 0,118mA$$

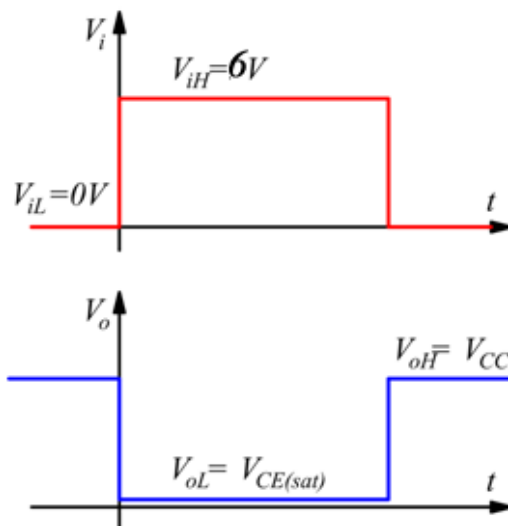
$$0,52 = I_B > \frac{I_C}{h_{FE}} = 0,118$$

Viene confermata la saturazione del dispositivo

Quando $V_i = 0 \Rightarrow V_{BE} = 0$ (interdizione)

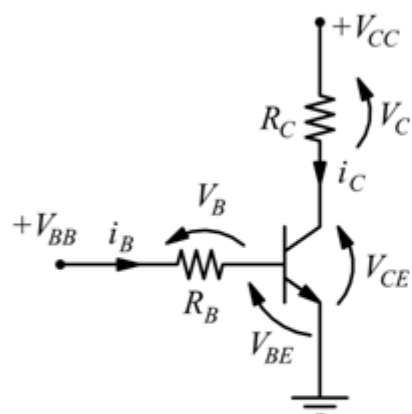
$$I_B = 0 \Rightarrow I_C = h_{FE} \cdot I_B = 0$$

$$0 = -\frac{1}{R_C}V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 12V$$



Esercizio no.8:soluzione

Ipotizzando il BJT saturo con $V_{CE} = 0,2V$ $V_{BE} = 0,8$ Alla maglia di ingresso si ha



$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE(sat)} \Rightarrow 5 = 70 I_B + 0,8$$

$$I_B = \frac{4,2}{70} = 0,06mA$$

Alla maglia di uscita

$$V_{CC} = V_{CE(sat)} + R_C I_C \Rightarrow 9 = 0,2 + 2,7 I_C$$

$$I_C = \frac{8,8}{2,7} = 3,26mA$$

$$0,06 = I_B > \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{3,26}{100} = 0,032$$

Il transistor è in saturazione

Se $R_C=1k$

$$V_{CC} = V_{CE(sat)} + R_C I_C \Rightarrow 9 = 0,2 + 1 \cdot I_C \Rightarrow I_C = 8,8mA$$

$$\frac{I_C}{h_{FE}} = 0,088mA$$

$$0,06 = I_B < \frac{I_C}{h_{FE}} = 0,088$$

Il transistor non è in saturazione ma si trova in zona attiva, quindi deve essere $V_{BE}=0,7V$

$$V_{BB} = V_{BE} + I_B R_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{70} = 0,061mA$$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CE} = 9 - 1 \cdot 6,14 = 2,857V$$

Il punto di funzionamento Q è dunque:

$$V_{CE}=2,857V \quad I_C=8,8mA$$