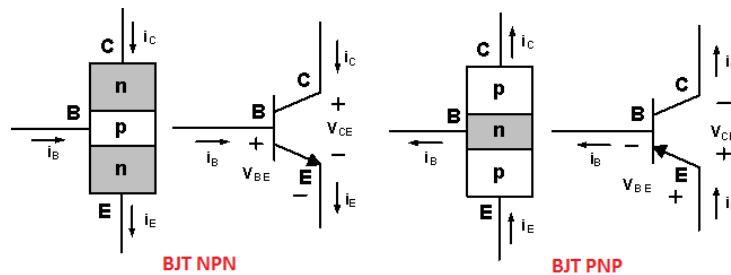


Titolo: I Transistor

Nome: Samuele Sandrini

4AT

05/10/14



Un **transistor** a giunzione bipolare (**BJT** – Bipolar Junction Transistor) è formato da tre zone di semiconduttore con diverso drogaggio, separate da due giunzioni:

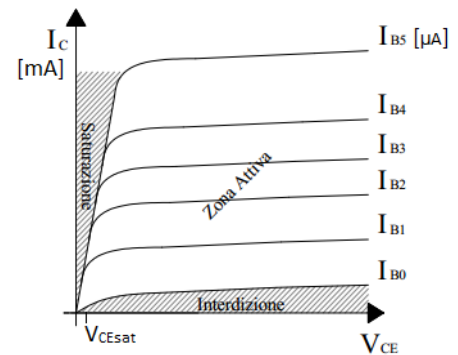
- Il BJT **NPN** ha due zone di tipo N separate da una di tipo P;
- Il BJT **PNP** ha due zone di tipo P separate da una di tipo N.

La zona intermedia, ed il terminale collegato ad essa, è detto base, mentre quelle esterne sono dette rispettivamente collettore ed emettitore.

Il transistor ha lo scopo di controllare la corrente che scorre tra collettore ed emettitore tramite la base.

Il transistor possiede tre zone di funzionamento:

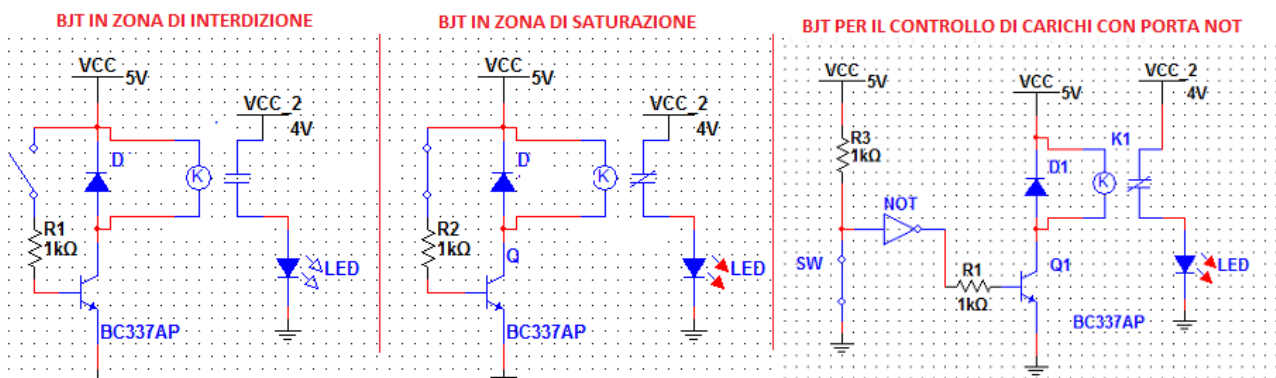
1. Zona di **saturazione** è quella per cui al variare della corrente I_C la $V_{CE} \approx V_{CEsat} \approx 0,2V$ e la I_B deve essere sufficientemente grande. In zona di saturazione il transistor funziona come un circuito normalmente chiuso (**ON**) e bisogna ricordare che il diodo tra collettore e base è polarizzato direttamente;
2. Zona di **interdizione** quando $I_B = 0V$, $I_C = 0V$ e qualsiasi sia la V_{CE} , il transistor si comporta come un circuito normalmente aperto (**OFF**);
3. Zona **attiva** quando $V_{CE} > V_{CEsat}$ & $I_B > 0$. Inoltre, in zona attiva la I_C è proporzionale ad I_B



($I_C \approx \beta \cdot I_B$) dove β è il **guadagno di corrente** del transistor in corrente nella zona attiva ed è dato dal rapporto tra la I_C e la I_B . Bisogna ricordare che il diodo base-emettitore è polarizzato direttamente. In zona attiva il transistor si comporta come un **amplificatore di segnale** comportandosi come un generatore di corrente.

Il transistor trova molte applicazioni nel campo dell'elettronica come per esempio:

1. Il BJT utilizzato in funzionamento ON-OFF per comandare un carico;
2. Il BJT utilizzato in zona attiva come amplificatore di tensione;
3. Il BJT come amplificatore di corrente;
4. Il BJT per il controllo su carichi non dissipativo (PWM).



Il BJT utilizzato in funzionamento ON-OFF per comandare un carico

Tale circuito utilizza un transistor BJT NPN (in funzionamento ON-OFF) per separare galvanicamente l'elemento di comando dal carico che può essere a tensioni molto superiori; in questo modo anche con un semplice circuito digitale può essere controllata la corrente di base del transistor il quale comanda un **relè**, il cui carico può lavorare a tensioni molto più elevate rispetto al **circuito di controllo**.

Il **relè** è un elemento **elettromagnetico meccanico** costituito da una bobina che viene eccitata quando si verifica un passaggio di corrente e determina l'apertura o la chiusura dei contatti.

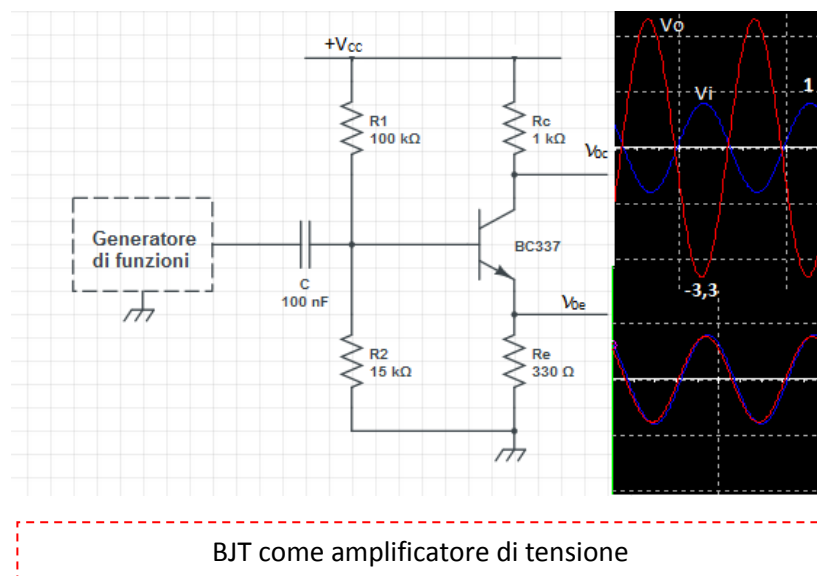
Un relè si definisce **normalmente aperto** se a riposo presenta un interruttore aperto mentre si definisce **normalmente chiuso** se presenta un interruttore chiuso quando è in situazione di riposo.

Il funzionamento ON-OFF del transistor ammette solo due condizioni estreme di funzionamento, la saturazione e l'interdizione, nelle quali il comportamento del BJT è assimilabile ad un interruttore chiuso o aperto tra i terminali C ed E, pilotato dalla corrente di base (I_B). Analizzando il circuito si può notare che:

- Quando l'interruttore è **aperto**, la $I_B = 0A$ e di conseguenza $I_C = 0A$, per cui il transistor è in zona di **interdizione**; in tale situazione il transistor funziona come un interruttore normalmente aperto per cui la bobina del relè non si eccita ed il contatto rimane aperto, il carico non viene alimentato.
- Quando l'interruttore è **chiuso**, la $I_B > 0A$ e la $V_{CE} > V_{CEsat}$ per cui il transistor è in zona di **saturazione** e si comporta come un interruttore normalmente chiuso; la bobina si eccita al passaggio della corrente ed il carico viene alimentato.

In parallelo al relè vi è un diodo, il "**diodo di riciclo**", che serve per dissipare la forte corrente che si crea quando il relè si diseccita; senza tale accorgimento la corrente creata causerebbe la rottura del transistor.

2. Il BJT utilizzato in zona attiva come amplificatore di tensione



Per utilizzare il BJT come amplificatore bisogna realizzare un **circuito di polarizzazione** con opportune correnti e tensioni in modo tale che il BJT funzioni in zona attiva.

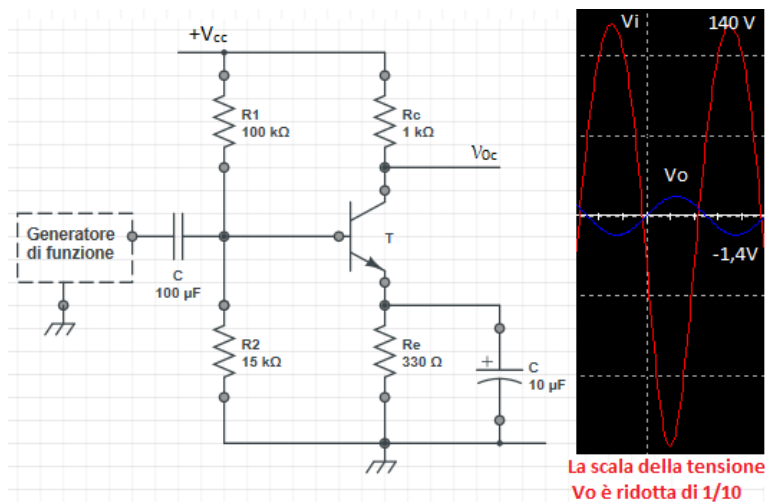
Il guadagno dell'amplificatore è un guadagno di tensione ($g = \frac{v_o}{v_i}$) ed è dato dal rapporto tra la tensione e

quella in ingresso, esso dipende fondamentalmente dal circuito di polarizzazione e in maniera secondaria dal transistor.

Si dimostra che nel circuito rappresentato in figura il:

- **Guadagno sull'emettitore** ($g_E = \frac{v_{0E}}{v_i} \approx 1$) vale circa uno (**circuito inseguitore**), in quanto la tensione di uscita è uguale a quella di ingresso;
- **Guadagno sul collettore** si determina che equivale a $g_C = \frac{v_{0C}}{v_i} = -\frac{R_C}{R_E}$ per cui il circuito è un **amplificatore invertente**.

Tale circuito presenta un **condensatore di disaccoppiamento** che ha la funzione di separare punti con diverse tensioni.



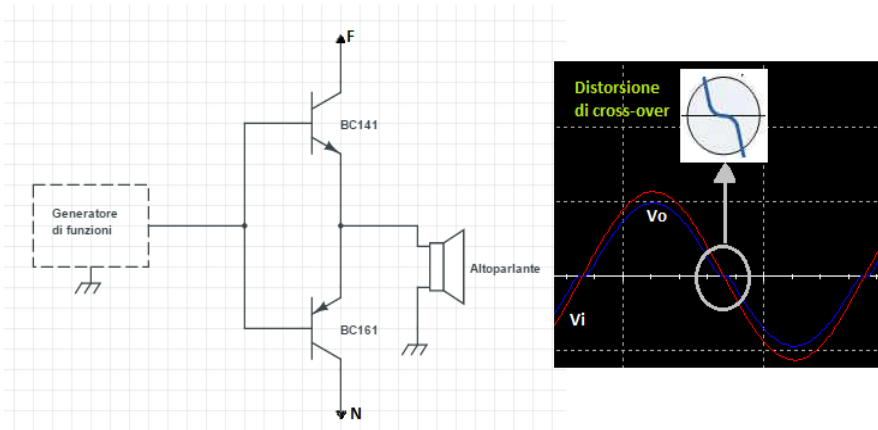
BJT come amplificatore di tensione ad emettitore comune

L'amplificatore invertente ad emettitore comune rappresentato in figura presenta un elevatissimo guadagno: si dimostra che il **guadagno sul collettore** ($g_C \approx -40V_{RC}$).

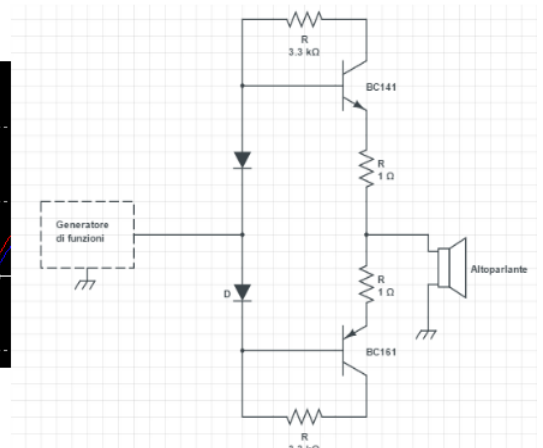
Tale circuito presenta un **condensatore di bypass** in parallelo ad R_e e serve per mantenere costante la tensione sull'emettitore (V_{RE}).

3. Il BJT come amplificatore di corrente

CIRCUITO PUSH PULL CON RELATIVO SEGNALE INGRESSO/USCITA



CIRCUITO PUSH PULL: ELIMINA CROSS-OVER



I circuiti **"Push Pull"** sono circuiti alimentati con **tensione duale** e non sono amplificatori di tensione ma di corrente per cui di potenza.

Tali circuiti vengono realizzati sfruttando le caratteristiche dei transistor NPN e PNP, infatti analizzando il segnale di ingresso in relazione al funzionamento dei transistor, del primo circuito rappresentato sopra, si può osservare che:

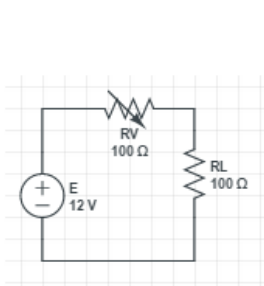
- Nella **semionda positiva**, il circuito è in funzionalità **"push"** per cui il BJT PNP è in zona di interdizione, al contrario entra in funzione il BJT NPN (il "diodo" del transistor è polarizzato direttamente) e quindi $v_o = v_i - 0,6V$;
- Nella **semionda negativa** il circuito è in funzionalità **"pull"** per cui il BJT NPN è in zona di interdizione, mentre entra in funzione il BJT PNP (il "diodo" del transistor è polarizzato direttamente) e quindi $v_o = v_i - 0,6V$;
- In **assenza di segnale** ($-0,7 < V_{CE} < 0,7$) entrambi i transistor sono **interdetti** ed infatti nel passaggio dalla funzionalità push, in cui il lavora il BJT NPN, a quella pull, in cui lavora il BJT PNP, si verifica il fenomeno della distorsione di **cross-over**, fastidiosa in campo audio.

La distorsione di cross-over può essere rimossa utilizzando il secondo circuito rappresentato sopra grazie all'aggiunta delle due resistenze di 1Ω in serie ai transistor; inoltre i due diodi inseriti fanno sì che la tensione in ingresso è uguale a quella di uscita in quanto $v_o = v_i + 0,7V - 0,7V$ e per questo il guadagno in tensione è circa 1 (non amplifica la tensione ma la corrente, ovvero la potenza).

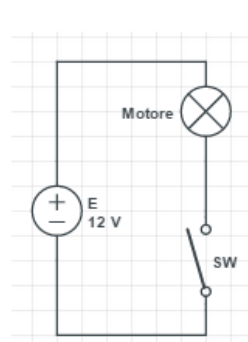
Negli **amplificatori** solitamente il segnale di ingresso viene amplificato prima in tensione (con un **amplificatore di tensione**) e successivamente in corrente (con un circuito **push-pull**).

5. Il BJT per il controllo su carichi non dissipativo (PWM).

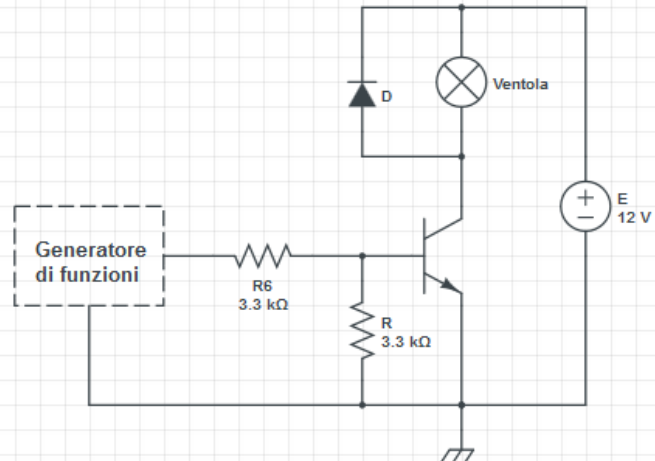
CONTROLLO DISSIPATIVO



CIRCUITO DI PRINCIPIO: PWM



CONTROLLO PWM CON TRANSISTOR



Per controllare la potenza su di un carico si può procedere con il **metodo dissipativo** o quello **non dissipativo (PWM)**.

Il metodo dissipativo che consiste nel mettere in serie al carico una resistenza variabile in modo tale che la potenza "indesiderata" viene dissipata attraverso calore dalla resistenza inserita. Tale metodo presenta però alcuni inconvenienti:

- La regolazione è **manuale**;
- La R_V inserita in serie è fisicamente grande (**reostato**);
- La potenza non utilizzata viene "**persa**" su R_V ed il rendimento è basso a causa del sistema di regolazione. Si dimostra facilmente che se carico e resistenza sono caratterizzati dalla stessa resistenza la potenza dissipata (sprecata) è circa il 50%

$$P_{MAX} = \frac{E^2}{R_L} [W] \quad P_{EROGATA} = P_{RV} + P_{RL} \quad P_{RL(MOTORE)} = R_L * I^2 [W] \quad P_{RV(PERSA)} = R_L * I^2 [W] \quad \text{dove } I = \frac{E}{R_L + R_V}$$

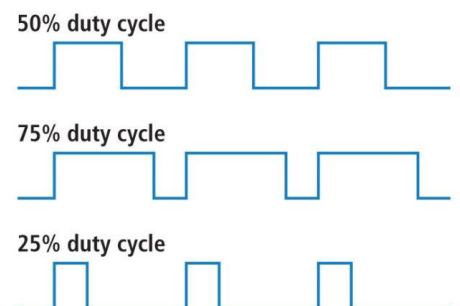
Il metodo non dissipativo (PWM – **pulse with modulation**) evita di sprecare energia; si immagina di inserire in serie al motore un interruttore e cambiando velocemente il suo stato il motore non si spegne in corrispondenza dell'apertura dell'interruttore poiché esso possiede una determinata **inerzia** che lo rende

sensibile al **valor medio** ($V_{L(MEDIO)} = \frac{E}{2}$). In tal modo, inoltre, l'interruttore non dissipa mai:

- se l'interruttore è aperto la corrente è pari a zero per cui la potenza è nulla (persa per il controllo);
- se l'interruttore è chiuso la tensione è pari a zero per cui la potenza è nulla (persa per il controllo).

Per ottenere tale caratteristiche non si utilizza realmente un interruttore ma viene fornito una forma d'onda con **duty cycle [DC]** variabile in modo tale da modificare la larghezza dell'impulso che agisce sul transistor.

Il duty cycle indica il rapporto tra il tempo in cui il segnale rimane a livello alto (1) e la durata del periodo (T). In tal modo se il duty cycle è un quarto vuol dire che la potenza che arriva sul carico è il 25%, se è un mezzo vuol dire che la potenza che arriva sul carico è il 50% ed il tutto con un rendimento del 100% con la possibilità di regolare la tensione del motore (carico) come vogliamo ($V_L = E * DC$).



Analizzando il circuito (controllo PWM) in figura si può commentare che: quando il livello del segnale proveniente dal generatore di funzioni è a livello basso, la corrente di base del transistor è pari a zero per cui il transistor è in zona di interdizione (OFF) mentre quando il livello del segnale è alto il transistor è in zona di saturazione (ON).