

IQ5IN Lezione di elettronica per radioamatori

6a LEZIONE

Diodi, Transistor, Classi amplificatori a transistor

DIODI AL SILICIO

I diodi al silicio sono raffigurati graficamente con il simbolo visibile in fig.88.



Fig.88 Negli schemi elettrici il "diodo" viene indicato con il simbolo visibile sulla sinistra. La fascia colorata posta sul corpo del diodo indica il terminale Catodo.

Questi diodi si presentano come dei piccoli cilindretti in plastica o in vetro provvisti di due terminali, uno chiamato **Catodo** e l'altro chiamato **Anodo**. Su una sola estremità del loro corpo troviamo una sottile **fascia nera** oppure **bianca** che ci indica da quale lato fuoriesce il terminale chiamato **Catodo**.

Il diodo conduce se colleghiamo il **positivo** di una tensione continua sul suo **Anodo** (vedi fig.91) e **non conduce** se il positivo viene applicato sul suo **Catodo** (vedi fig.92).

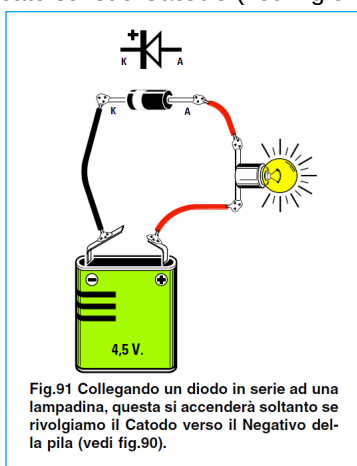


Fig.91 Collegando un diodo in serie ad una lampadina, questa si accenderà soltanto se rivolgiamo il Catodo verso il Negativo della pila (vedi fig.90).

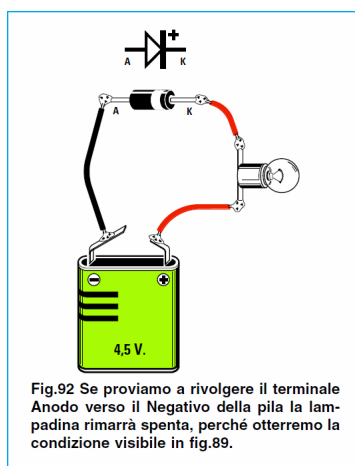


Fig.92 Se proviamo a rivolgere il terminale Anodo verso il Negativo della pila la lampadina rimarrà spenta, perché otterremo la condizione visibile in fig.89.

I diodi vengono utilizzati in elettronica per **raddrizzare** una **tensione alternata**, cioè per prelevare da una sua estremità le sole semionde **positive** oppure quelle **negative**.

Se sul terminale **Anodo** di un diodo applichiamo una **tensione alternata**, dal terminale opposto, cioè dal suo **Catodo**, preleviamo le sole **semionde positive** (vedi fig.89).

Se sul terminale **Catodo** di un diodo applichiamo una **tensione alternata**, dal terminale opposto, cioè dal suo **Anodo**, preleviamo le sole **semionde negative** (vedi fig.90).

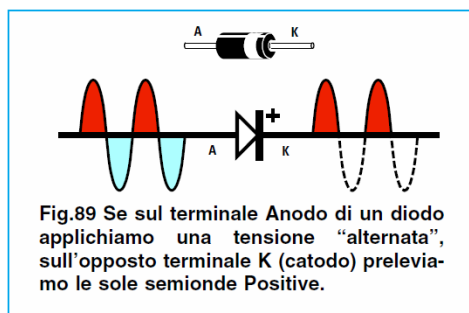


Fig.89 Se sul terminale Anodo di un diodo applichiamo una tensione "alternata", sull'opposto terminale K (catodo) preleviamo le sole semionde Positive.

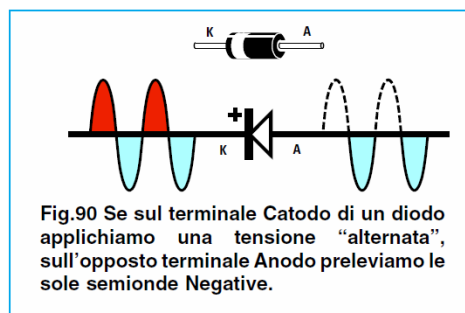


Fig.90 Se sul terminale Catodo di un diodo applichiamo una tensione "alternata", sull'opposto terminale Anodo preleviamo le sole semionde Negative.

Esistono diodi in grado di raddrizzare delle tensioni non **maggiori di 50 volt** e di lasciar passare **correnti** che non superino gli **0,1 amper**, altri in grado di raddrizzare tensione **maggiori di 50 - 100 volt** e di lasciar passare **correnti** sull'ordine dei **5 amper**, altri ancora in grado di raddrizzare tensioni di **400 volt** o di **1.000 volt**.

Le sigle, poste da ogni Casa Costruttrice sui loro corpi, ad esempio **BAY.73 - 1N.4148 - 1N.4004 - 1N.4007 ecc.**, servono per individuare quali sono quelli a bassa o ad alta **tensione** o a bassa e ad **alta corrente**.

IL TRANSISTOR

Il **transistor** è il nome di un semiconduttore utilizzato in elettronica per amplificare qualsiasi tipo di segnale elettrico, cioè dalla **Bassa Frequenza** alla **Radio Frequenza**.

Per quanti manuali un **principiante** possa aver letto, difficilmente sarà riuscito a capire come realmente funzioni un **transistor** perché questo componente viene descritto in modo troppo teorico e con complesse **formule** matematiche.

In questa Lezione cercheremo di spiegarvi in modo completamente diverso e con molti esempi **elementari** che cos'è e come funziona questo semiconduttore **chiamato transistor**.

Questo componente può avere forme e dimensioni diverse (vedi fig.413).



Fig.413 I transistor possono avere forme e dimensioni diverse. Quelli più piccoli vengono usati nei preamplificatori e quelli più grandi negli amplificatori finali di potenza.

In tutti gli **schemi elettrici** il transistor viene raffigurato con il simbolo grafico visibile nelle figg.414- 415, cioè con un cerchio dal quale fuoriescono **3 terminali** contrassegnati dalle lettere **E - B - C**.

- la lettera **E** indica l'**Emettitore**
- la lettera **B** indica la **Base**
- la lettera **C** indica il **Collettore**

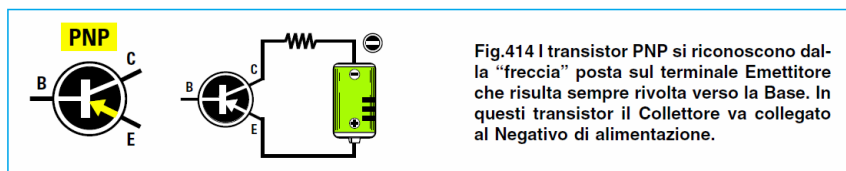


Fig.414 I transistor PNP si riconoscono dalla "freccia" posta sul terminale Emittitore che risulta sempre rivolta verso la Base. In questi transistor il Collettore va collegato al Negativo di alimentazione.

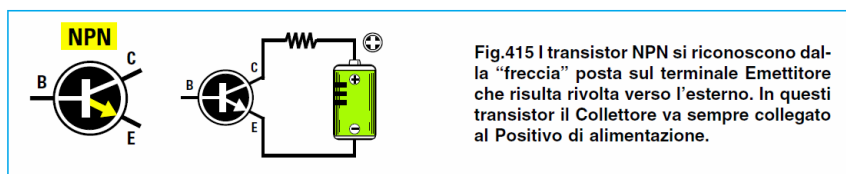


Fig.415 I transistor NPN si riconoscono dalla "freccia" posta sul terminale Emittitore che risulta rivolta verso l'esterno. In questi transistor il Collettore va sempre collegato al Positivo di alimentazione.

Nei **transistor** il segnale da **amplificare** viene quasi sempre applicato sul terminale **Base** e per farvi capire come questo terminale riesca a **controllare** il movimento degli **elettroni**, cioè ad aumentarli o a ridurli, paragoniamo un **transistor** ad un comune **rubinetto idraulico** (vedi fig.420).

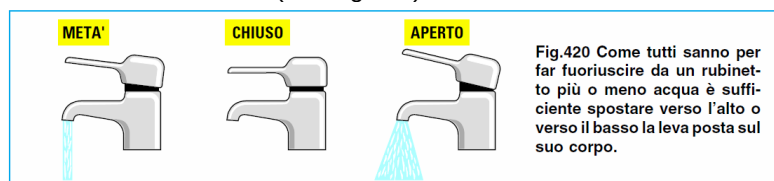


Fig.420 Come tutti sanno per far fuoriuscire da un rubinetto più o meno acqua è sufficiente spostare verso l'alto o verso il basso la leva posta sul suo corpo.

La **leva** che comanda l'apertura e la chiusura del flusso dell'acqua può essere paragonata al terminale **Base** del transistor. Se posizioniamo la **leva** del rubinetto a **metà corsa** da questo fuoriuscirà un flusso d'acqua di **media intensità**. Se posizioniamo la **leva** verso il **basso** il flusso dell'acqua **cesserà**, mentre se la posizioniamo verso l'**alto** il flusso dell'acqua **aumenterà**.

Se pensate ad un **transistor** come quello disegnato in fig.421, cioè composto da un tubo di **entrata** chiamato **Collettore**, da un tubo di **uscita** chiamato **Emettitore** e da un **rubinetto centrale** chiamato **Base**, potete intuire subito come funzionano tutti i transistor.

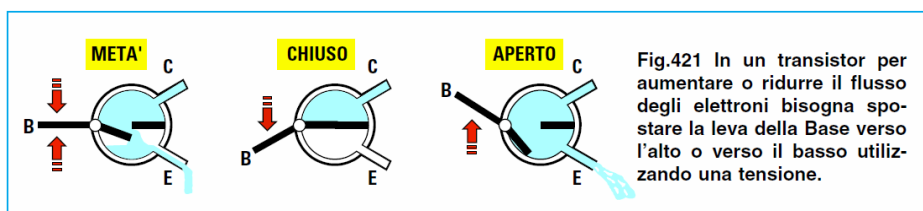


Fig.421 In un transistor per aumentare o ridurre il flusso degli elettroni bisogna spostare la leva della Base verso l'alto o verso il basso utilizzando una tensione.

Se la **leva** del rubinetto viene tenuta a **metà corsa** gli **elettroni** potranno passare al suo interno con **media intensità**. Se la leva viene spostata verso il **basso** in modo da **chiudere** il rubinetto gli **elettroni** non potranno più passare. Se la **leva** viene spostata verso l'**alto** in modo da **aprire** totalmente il rubinetto gli **elettroni** potranno passare con la **massima intensità**.

Per **amplificare** un segnale questo **rubinetto** non deve essere tenuto né tutto **chiuso** né tutto **aperto**, ma posizionato in modo da lasciare passare la **metà** degli **elettroni** che lo attraverserebbero se lo si aprisse **totalmente**. Da questa **posizione**, se spostiamo la leva verso l'alto il flusso degli elettroni **aumenterà**, se la spostiamo verso il basso il flusso degli elettroni **diminuirà**.

Giunti a questo punto vi chiederete come si fa a regolare un **transistor** affinché questo lasci passare **metà** elettroni ed ancora come si fa a **chiuderlo** o ad aprirlo **totalmente**.

Guardando lo schema elettrico di uno stadio **amplificatore** che utilizza un transistor **NPN** (vedi fig.422) possiamo notare che:

il terminale **Collettore** è collegato al **positivo** di alimentazione tramite la resistenza **R3**, il terminale **Base** è collegato ad un partitore resistivo **R1 - R2** collegato tra il positivo ed il negativo di alimentazione, il terminale **Emettitore** è collegato a **massa** tramite la resistenza **R4**.

Nota: è ovvio che se questo transistor fosse stato un **PNP** avremmo dovuto collegare sul terminale **Collettore** la polarità **negativa** di alimentazione anziché la positiva (vedi fig.423).

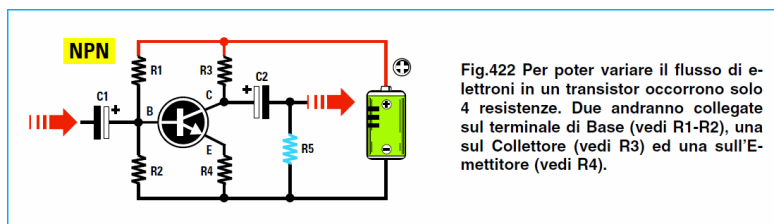


Fig.422 Per poter variare il flusso di elettroni in un transistor occorrono solo 4 resistenze. Due andranno collegate sul terminale di Base (vedi R1-R2), una sul Collettore (vedi R3) ed una sull'Emettitore (vedi R4).

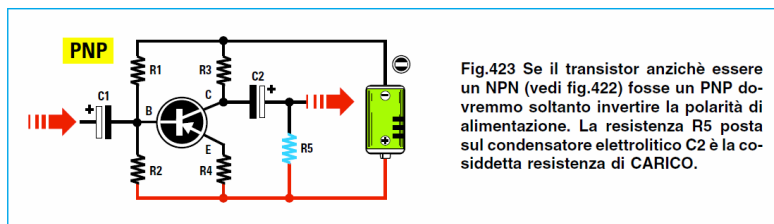


Fig.423 Se il transistor anziché essere un NPN (vedi fig.422) fosse un PNP dovremmo soltanto invertire la polarità di alimentazione. La resistenza R5 posta sul condensatore elettrolitico C2 è la cosiddetta resistenza di CARICO.

Il **valore** di queste **quattro resistenze** viene calcolato in fase di progettazione per leggere tra i due terminali **Collettore - Emettore** un valore di tensione che risulti molto prossimo alla **metà** del valore di alimentazione. Quindi se si alimenta il transistor con una tensione di **20 volt**, queste resistenze vanno calcolate in modo da rilevare tra il **Collettore** e l'**Emettitore** un valore di tensione dimezzato, cioè di soli **10 volt** (vedi fig.424). Se lo stesso transistor si alimenta con una tensione di **12 volt** queste resistenze vanno calcolate in modo da rilevare tra il **Collettore** e l'**Emettitore** una tensione di **6 volt** (vedi fig.425).

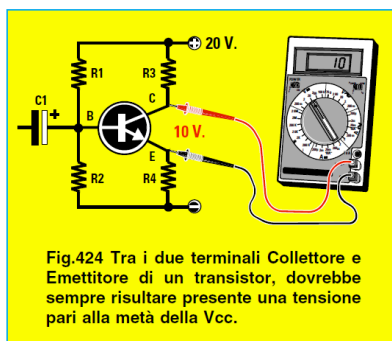


Fig.424 Tra i due terminali Collettore e Emettore di un transistor, dovrebbe sempre risultare presente una tensione pari alla metà della Vcc.

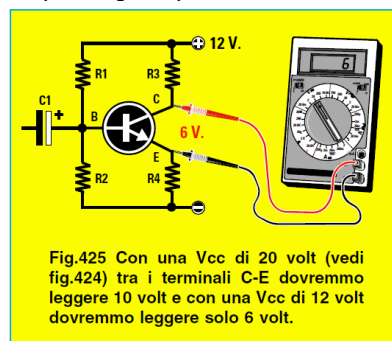


Fig.425 Con una Vcc di 20 volt (vedi fig.424) tra i terminali C-E dovremmo leggere 10 volt e con una Vcc di 12 volt dovremmo leggere solo 6 volt.

Solo quando sul **Collettore** risulta presente **metà tensione** di alimentazione avremo **dimezzato** il flusso degli elettroni e solo in questa condizione riusciremo ad **amplificare** i segnali applicati sulla **Base** senza nessuna **distorsione**.

Quindi per **amplificare** un qualsiasi segnale la **prima** operazione da compiere è quella di applicare sul terminale **Base** un valore di **tensione** in grado di far scendere la tensione presente sul terminale **Collettore** ad un valore pari alla **metà** di quella di alimentazione.

Per comprendere perché la tensione sul **Collettore** deve risultare pari alla **metà** di quella di alimentazione

prendete un foglio di carta a quadretti e su questo tracciate una **prima** linea in **basso** che corrisponde al terminale **Emettitore** ed una **seconda** linea in **alto** che corrisponde alla **tensione di alimentazione**.
 Se la tensione di alimentazione risulta di **12 volt** distanziate le due linee di **12 quadretti** in modo da assegnare ad ogni quadretto il valore di **1 volt** (vedi fig.432).

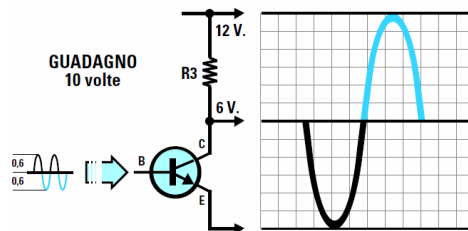


Fig.432 Se sul Collettore del transistor è presente "metà" tensione V_{cc} , potremo amplificare di 10 volte una sinusoide composta da una semionda positiva ed una negativa di 0,6 volt perchè il segnale amplificato rimarrà entro ai 12 quadretti.

Ammesso che il transistor risulti correttamente **polarizzato** in modo da rilevare sul suo **Collettore** una tensione di **6 volt**, tracciate una **terza** linea sul **6° quadretto**.

Se il transistor **amplifica** il segnale di **10 volte**, applicando sulla **Base** un segnale **sinusoidale** di **1,2 volt picco/picco**, vale a dire composto da una **semionda positiva** che raggiunge un massimo di **0,6 volt** ed una **semionda negativa** che raggiunge un minimo di **0,6 volt**, sul terminale **Collettore** ritroveremo la stessa sinusoide **amplificata** di **10 volte** (vedi fig.432), ma **invertita** di polarità.

Infatti ritroviamo la **semionda positiva** di **0,6 volt** applicata sulla **Base** che farà **scendere** la tensione sul **Collettore** di: $0,6 \times 10 = 6$ volt mentre ritroviamo la **semionda negativa** di **0,6 volt** applicata sulla **Base** che farà **salire** la tensione sul **Collettore** di: $0,6 \times 10 = 6$ volt.

Poiché la tensione sul **Collettore** diventa **6 volt** più **negativa** e **6 volt** più **positiva** rispetto ai **6 volt** presenti su questo terminale, la semionda che **scende** assumerà un valore di: $6 - 6 = 0$ volt e la semionda che **sale** un valore di: $6 + 6 = 12$ volt.

Come potete vedere in fig.432 la nostra sinusoide **amplificata rimane all'interno del tracciato**.

Se sulla **Base** applichiamo un segnale **sinusoidale** che raggiunge un massimo di **0,8 volt positivi** e di **0,8 volt negativi** (vedi fig.433), amplificando questo segnale di **10 volte** si dovrebbe in teoria prelevare sul **Collettore** un segnale di: $0,8 \text{ volt} \times 10 = 8 \text{ volt negativi}$, $0,8 \text{ volt} \times 10 = 8 \text{ volt positivi}$.
 In realtà poiché la tensione presente sul **Collettore** è di **6 volt**, l'onda amplificata verrà **tosata** su entrambe le estremità (vedi fig.433) perché le due semionde **negativa** e **positiva** supereranno le due **linee del tracciato**.

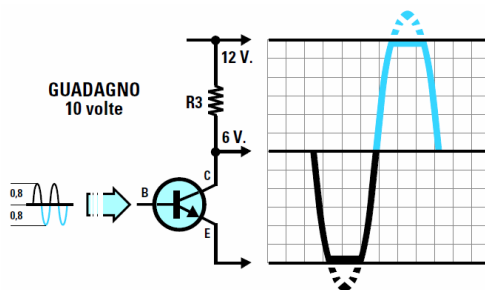


Fig.433 Se amplifichiamo di 10 volte una sinusoide composta da una semionda positiva ed una negativa di 0,8 volt, il segnale amplificato, superando alle due estremità i 12 quadretti, verrà "tosato" e il segnale amplificato risulterà distorto.

Quindi se alimentiamo un transistor con una tensione di **12 volt** ed **amplifichiamo un segnale di 10 volte** non potremo applicare sulla **Base** un segnale maggiore di **1,2 volt picco/picco**.

Nota: un segnale di **1,2 volt picco/picco** è composto da una **semionda negativa** di **0,6 volt** e da una **semionda positiva** di **0,6 volt**. Se alimentiamo il transistor con una tensione di **20 volt** ed amplifichiamo il segnale sempre di **10 volte** potremo applicare sulla **Base** un segnale di **2 volt picco/picco**.

Infatti, bisogna sempre tenere presente che il segnale amplificato può **salire** fino al **massimo** della tensione di alimentazione e **scendere** fino ad un **minimo** di **0 volt**.

Quindi con una tensione di alimentazione di **12 volt** noi potremo **amplificare** un segnale che abbia un'ampiezza di **1,2 volt picco/picco** fino a: $12 : 1,2 = 10$ volte massimo

Con una tensione di alimentazione di **20 volt** noi potremo **amplificare** un segnale che abbia un'ampiezza di **1,2 volt picco/picco** fino a: $20 : 1,2 = 16,6$ volte massimo

Dobbiamo far presente che il segnale verrà **tosato** anche quando la tensione presente tra **Collettore** ed **Emettitore** non risulta esattamente pari alla **metà di quella di alimentazione**.

La TENSIONE sul COLLETTORE

Per ottenere sul **Collettore** una tensione che si avvicini il più possibile alla **metà** di quella di alimentazione dobbiamo applicare sui tre terminali **Collettore- Base - Emittitore** delle resistenze di valore appropriato.

Prima di insegnarvi come calcolare queste resistenze dobbiamo ricordarvi che la **metà** della tensione di alimentazione di un **transistor** va sempre misurata tra i due terminali **Collettore – Emittitore** (vedi figg.424-425) e non tra il **Collettore** e la **massa** come spesso molti fanno.

Se misurassimo questa tensione tra il **Collettore** e la **massa** commetteremmo un grossolano **errore** perché non terremmo conto della **caduta di tensione** introdotta dalla resistenza **R4** presente tra l'**Emittitore** e la **massa**.

Quindi il valore di alimentazione di un transistor è quello che risulta presente tra **Collettore ed Emittitore** e di conseguenza è su questo valore che dovremo calcolare **metà** tensione.

Supponiamo di alimentare un transistor con una tensione di **12 volt** e che la resistenza di **Emittitore** siglata **R4** provochi una caduta di tensione di **1,4 volt**.

In queste condizioni il transistor **non** risulterà alimentato, come erroneamente si potrebbe supporre, da una tensione di **12 volt** ma da una di soli: **12 – 1,4 = 10,6 volt**

Perciò sul **Collettore** non dovrà risultare presente un valore di tensione di: **12 : 2 = 6 volt**

ma un valore pari alla **metà** di quello presente tra **Emittitore e Collettore**, cioè: **10,6 : 2 = 5,3 volt**

Ad ogni modo non soffermatevi con troppa pignoleria su questo valore di **metà tensione**, perché **non** riuscireste mai ad ottenerlo, quindi se in un montaggio qualsiasi rileverete una differenza di qualche **volt** in più o in meno **non** preoccupatevi. In fase di progettazione si tiene sempre conto di queste differenze di tensione che possono verificarsi per colpa delle **tolleranze** delle **resistenze** ed anche dello stesso **transistor**.

Sarebbe anche **inutile** correggerla perché se un domani dovete sostituire il **transistor** con un altro della stessa Casa Costruttrice e con la **stessa** sigla, vi ritrovereste sempre con un diverso valore **di tensione**.

Le CARATTERISTICHE di un TRANSISTOR

Anche se le **caratteristiche** di un transistor sono reperibili su quasi tutti i **manuali**, ad un principiante questi dati **non** servono a molto.

Tanto per portare un esempio prendiamo un **ipotetico** transistor ed andiamo a leggere le sue caratteristiche:

VCB = 45 volt max
VCE = 30 volt max
VEB = 6 volt max
IC = 100 mA max
Ptot = 300 milliwatt
Hfe = 100 - 200
Ft = 50 MHz

Non c'è quindi da stupirsi se in possesso di **tre identici** transistor, uno amplifica **105 volte**, uno **160 volte** ed un altro **195 volte**.

Ft – significa **frequenza di taglio** ed indica il valore di frequenza **massima** che il transistor riesce ad amplificare. Il transistor preso in esame riesce ad amplificare qualsiasi frequenza fino ad un massimo di **50 Megahertz** circa, ma non frequenze maggiori.

SIGNIFICATO delle SIGLE

Nelle formule che vi riportiamo per calcolare il valore delle quattro resistenze **R1 - R2 - R3 - R4** troverete delle **sigle** delle quali diamo di seguito il significato:

Vcc = valore della tensione di **alimentazione**.

Vce = valore della **tensione** presente tra i due terminali **Collettore - Emittitore**.

Questo valore nella maggioranza dei casi corrisponde a **Vcc : 2**.

Vbe = valore che per **tutti** i tipi di transistor si aggira sui **0,6 - 0,7 volt**. Nei calcoli si utilizza il valore **medio** cioè **0,65 volt**.

Vb = valore della **tensione** presente tra il terminale di **Base** e la **massa**. Questo valore corrisponde alla tensione presente ai capi della resistenza **R4**.

VR4 = valore dei **volt** presenti ai capi della resistenza

R4 collegata tra l'**Emittitore** e la **massa**.

R1 = valore della resistenza che occorre applicare tra la **Base** ed il **positivo** di alimentazione.

R2 = valore della resistenza che occorre applicarla tra la **Base** e la **massa**.

R3 = valore della resistenza che occorre applicarla tra il terminale **Collettore** e la tensione **positiva** di alimentazione.

R4 = valore della resistenza che occorre applicare tra l'**Emettitore** e la **massa**.

I_b = valore della **corrente di Base** in **mA**.

I_e = valore della **corrente di Emettitore** in **mA**.

I_c = valore della **corrente di Collettore** in **mA**.

H_{fe} = è il rapporto che esiste tra la **corrente di Collettore** e la **corrente di Base**.

Applicando sulla **Base** una determinata corrente, sul **Collettore** otterremo una corrente **maggiore** che risulterà pari alla corrente di **Base** moltiplicata per il valore dell'**H_{fe}**.

In pratica questo aumento corrisponde al **guadagno statico di corrente** del transistor.

Gain = indica di quante **volte** viene **amplificato** il segnale applicato sulla **Base**.

CALCOLO delle resistenze in uno stadio PREAMPLIFICATORE BF

Per calcolare il valore delle **quattro** resistenze **R1- R2 - R3 - R4** di uno stadio **preamplificatore** in configurazione **Common Emitter** (vedi fig.441)

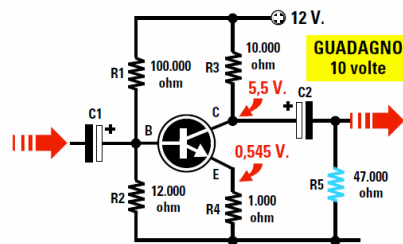


Fig.441 Stadio preamplificatore calcolato per un Guadagno di 10 volte alimentato con 12 volt. Sul Collettore vi sono 5,5 volt anziché 6 volt perché ai 12 volt Vcc vanno sottratti gli 0,545 volt presenti ai capi della resistenza R4 di Emettitore.

dobbiamo necessariamente conoscere questi tre parametri:

- il valore **V_{cc}** della tensione di **alimentazione**,
- il valore **H_{fe}** del transistor,
- il **Guadagno**, cioè sapere di quante volte desideriamo **amplificare** il segnale.

Ammetto di avere a disposizione questi dati:

tensione di alimentazione = 12 volt

valore medio della H_{fe} = 110

guadagno richiesto = 10 volte

Il metodo che vi permetterà di ricavare tutti i valori richiesti per le resistenze **R1 - R2 - R3 - R4**.

Non fate mai l'**errore** che tutti commettono di calcolare il valore delle resistenze in modo da far **guadagnare** il transistor per il suo **massimo**.

In pratica per avere la certezza che il segnale **amplificato** che preleveremo dal suo **Collettore** non venga mai **tosato**, conviene sempre lavorare con **guadagni** molto **bassi**, ad esempio **5 - 10 - 20 volte**, poi se l'amplificazione risulta **insufficiente** è sempre consigliabile utilizzare un **secondo stadio preamplificatore**.

Volendo ad esempio amplificare un segnale di **100 volte** conviene sempre utilizzare **due stadi** (vedi fig.440) e calcolare le loro resistenze di polarizzazione in modo da ottenere un **guadagno** per ogni **stadio di circa 10 volte**.

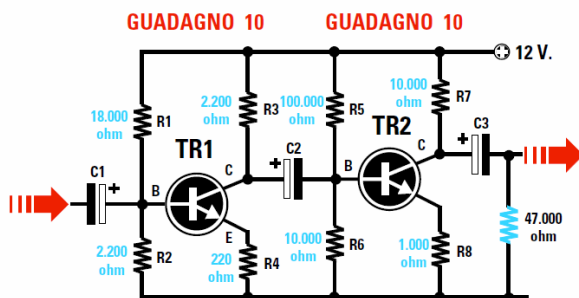


Fig.440 Per non tosare sulle due estremità un segnale è sempre consigliabile utilizzare due stadi calcolati per un basso guadagno. Per calcolare i valori delle resistenze si parte sempre dal transistor TR2, poi si passa a TR1.

In questo modo si ottiene un guadagno **totale** di: $10 \times 10 = 100$ **volte**

Si potrebbe anche calcolare il primo stadio **TR1** per un guadagno di **20 volte** ed il secondo stadio **TR2** per un guadagno di **5 volte**, ottenendo così un guadagno **totale** di: $20 \times 5 = 100$ **volte**. Quindi per ottenere delle **elevate** amplificazioni è sempre consigliabile usare **più stadi** amplificatori per evitare tutti i rischi in cui si incorrerebbe amplificando **per il suo massimo un solo transistor**.

Limitando il **guadagno** di un transistor si ottengono tutti questi vantaggi:

- Si evita la **distorsione**. Se amplifichiamo un segnale con un solo transistor in modo esagerato, i picchi delle **semionde positive e negative** verranno quasi sempre **tosati** quindi il nostro segnale **sinusoidale** si trasformerà in un'onda **quadra** generando una notevole **distorsione**.
- Si riduce il **fruscio**. Più un transistor amplifica più aumenta il **fruscio** prodotto dagli **elettroni** in movimento e ascoltare della **musica** con del **fruscio** non è gradevole.
- Si evitano **autooscillazioni**. Facendo amplificare un transistor per la sua **massima amplificazione** questo può facilmente **autooscillare** generandoci delle frequenze ultrasoniche, cioè non **udibili**, che farebbero **surriscaldare** il transistor al **punto da distruggerlo**.

- Si evita che il **corpo** del transistor si **surriscaldi**. In pratica, più **aumenta** la **temperatura** del suo corpo, più **aumenta** automaticamente la **corrente** di **Collettore** e quando questa corrente **aumenta** proporzionalmente **aumenta** anche la **temperatura**. In queste condizioni s'innesca un fenomeno di **reazione incontrollata** chiamato **effetto valanga** che porta il transistor alla **distruzione**.

Per ridurre questo rischio sul corpo dei **soliti** transistor **finali** di **potenza** si applica un'**aletta** di **raffreddamento** per dissipare il più **velocemente possibile il calore del loro corpo**.

- Non si riduce la **banda passante**. Infatti più risulta elevato il **guadagno** più si restringe la **banda passante**. Questo significa che in un preamplificatore **BF Hi-Fi** se facciamo amplificare il transistor non più di **20 - 30 volte** noi riusciamo ad amplificare tutta la gamma delle **frequenze acustiche** partendo da un **minimo** di **25 hertz** circa fino ad arrivare ad un **massimo** di **50.000 hertz**.

Al contrario se lo facciamo guadagnare **100 volte** più, non riuscirà più ad amplificare per il suo massimo tutte le frequenze delle note **Acute** superiori a **10.000 hertz**.

Dopo questa premessa possiamo proseguire spiegandovi quali operazioni occorre effettuare per ricavare il valore delle resistenze **R1 - R2 - R3 - R4** per uno stadio preamplificatore **BF** che utilizza un **solo transistor (vedi fig.441)**.

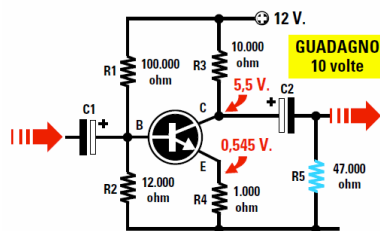


Fig.441 Stadio preamplificatore calcolato per un Guadagno di 10 volte alimentato con 12 volt. Sul Collettore vi sono 5,5 volt anziché 6 volt perché ai 12 volt V_{cc} vanno sottratti gli 0,545 volt presenti ai capi della resistenza R_4 di Emettitore.

CALCOLARE il valore di R_3

Per ricavare il valore da assegnare alla resistenza **R_3** , da collegare sul **Collettore**, dobbiamo anzitutto conoscere il valore **ohmico** della resistenza di **carico** sulla quale verrà applicato il segnale amplificato. Nell'esempio raffigurato in fig.441 il **carico** è costituito dal valore della resistenza **R_5** collegata, dopo il condensatore elettrolitico **C_2** , tra il **Collettore** e la **massa**.

In pratica il valore ohmico della resistenza **R_3** deve sempre risultare **inferiore** al valore della resistenza **R_5** . A tal proposito c'è chi consiglia di scegliere un valore **minore** di **6 - 7 - 8 volte**, ma all'atto pratico si può utilizzare un valore **minore** di **5 volte** ed anche meno.

Ammettendo che il valore della resistenza **R_5** sia di **47.000 ohm**, per ricavare il valore della resistenza **R_3** dovremo eseguire questa semplice divisione:

$$\text{ohm } R_3 = R_5 : 5$$

$$47.000 : 5 = 9.400 \text{ ohm}$$

Poiché questo valore non è **standard** utilizziamo il valore commerciale più prossimo, che nel nostro caso è **10.000 ohm**.

CALCOLARE il valore di R4

Scelto il valore della resistenza **R3** sui **10.000 ohm** possiamo eseguire la seconda operazione che ci permette di ricavare il valore ohmico della resistenza **R4** utilizzando la formula:

R4 = R3 : Guadagno

Poiché, come abbiamo già spiegato, non conviene mai scegliere dei **guadagni** superiori a **10 - 20 volte**, noi sceglieremo il **minimo** cioè **10 volte**.

Avendo scelto per **R3** un valore di **10.000 ohm**, la resistenza **R4** deve avere un valore ohmico di:
10.000 : 10 = 1.000 ohm

CALCOLARE la IC (corrente Collettore)

Come terza operazione dovremo calcolare il valore della **corrente** che scorre nel **Collettore** usando la formula:

Ic mA = [(Vcc : 2) : (R3 + R4)] x 1.000

Nota: il numero **1.000** che troviamo alla fine di questa formula non è il valore di **R4**, ma un moltiplicatore che ci consente di ottenere un valore di corrente espresso in **milliamper**.

Inserendo i nostri dati nella formula otteniamo: **[(12 : 2) : (10.000 + 1.000)] x 1.000 = 0,545 mA**

Quindi nel **Collettore** scorre una corrente **Ic** di **0,545 milliamper**.

CALCOLARE il valore di VR4

Proseguendo nei nostri calcoli dobbiamo ora calcolare il valore dei **volt** presenti ai capi della resistenza

R4, collegata tra l'**Emettitore** e la **massa**, utilizzando la formula: **Volt su R4 = (Ic x R4) : 1.000**

Eseguendo la nostra operazione otteniamo: **(0,545 x 1.000) : 1.000 = 0,545 volt**

CALCOLARE il valore di R2

Il valore della resistenza **R2** è legato al valore della resistenza **R4** ed al valore **Hfe medio** del transistor che vogliamo polarizzare. La formula da utilizzare per ricavare il valore della resistenza **R2** è la seguente:

R2 = (Hfe medio x R4) : 10

Inserendo nella formula i dati che già conosciamo otteniamo:

(110 x 1.000) : 10 = 11.000 ohm

Poiché questo valore non è **standard** dobbiamo ricercare il valore più prossimo che nel nostro caso potrebbe essere **10.000** o **12.000 ohm**. Nel nostro esempio scegliamo per la **R2** il valore **più alto** cioè **12.000 ohm**.

CALCOLARE il valore di R1

Trovato il valore della resistenza **R2** possiamo ricavare il valore della resistenza **R1** usando questa formula:

R1 = [(Vcc x R2) : (Vbe + VR4)] - R2

I dati da inserire in questa formula li conosciamo già, infatti:

Vcc = 12 volt

R2 = 12.000 ohm

Vbe = 0,65 volt

VR4 = 0,545 volt

Nota: poiché la **Vbe** di un transistor potrebbe risultare di **0,7 volt** oppure di **0,6 volt** conviene sempre scegliere il valore **medio** pari a **0,65 volt**. Inserendo i dati nella formula otteniamo:

[(12 x 12.000) : (0,65 + 0,545)] - 12.000 Come prima operazione eseguiamo la moltiplicazione:

12 x 12.000 = 144.000 poi sommiamo la **Vbe** con la **VR4**: **0,65 + 0,545 = 1,195**

Proseguendo **dividiamo** il primo risultato per il secondo: **144.000 : 1,195 = 120.500**

A questo numero sottraiamo il valore di **R2**: **120.000 - 12.000 = 108.000 ohm**

Poiché questo valore non è **standard** possiamo utilizzare per **R1** il valore commerciale più prossimo che ovviamente è **100.000 ohm**. Se ricordate quando abbiamo calcolato il valore di **R2** potevamo scegliere tra due valori **standard** cioè **10.000** oppure **12.000 ohm** e noi abbiamo scelto il secondo valore.

Possiamo ora controllare, sempre con la formula sopra riportata, quale valore avremmo dovuto scegliere per la resistenza **R1** se avessimo scelto per **R2** un valore di **10.000 ohm**.

R1 = [(12 x 10.000) : (0,65 + 0,545)] - 10.000 [(120.000) : (1,195)] - 10.000 = 90.418 ohm

poiché questo valore non è **standard** dobbiamo necessariamente scegliere il valore commerciale più prossimo, che potrebbe essere **82.000 ohm** oppure **100.000 ohm**.

CALCOLARE il Guadagno

Poiché in questi calcoli abbiamo arrotondato diversi valori di resistenze vogliamo conoscere di quante volte questo transistor **amplificherà** il segnale applicato sulla sua **Base**.

Per conoscere il **guadagno** possiamo usare questasemplice formula: **Guadagno = R3 : R4**

Poiché abbiamo scelto per la resistenza **R3** di Collettore un valore di **10.000 ohm** e per la resistenza **R4** di Elettore un valore di **1.000 ohm** il transistor **amplificherà** di: **10.000 : 1.000 = 10 volte**
 Se anziché usare per la resistenza **R4** un valore di **1.000 ohm** avessimo usato un valore di **820 ohm** il transistor avrebbe **amplificato** il segnale di: **10.000 : 820 = 12,19 volte**
 Se avessimo invece usato un valore di **1.200 ohm** il transistor avrebbe **amplificato** di:
10.000 : 1.200 = 8,33 volte

Con questo esempio vi abbiamo dimostrato che in uno **stadio amplificatore** è sufficiente **variare** il valore della resistenza **R4** per aumentare o ridurre il suo **guadagno**.

Nota: la formula **R3 : R4** è valida solo se **non risulta** inserito in parallelo alla **R4** nessun **condensatore elettrolitico** come visibile in fig.447.

MASSIMO segnale sulla Base

Conoscendo il **guadagno** ed il valore della tensione di alimentazione **Vcc** possiamo calcolare il **segnale massimo** da applicare sulla **Base** per poter prelevare dal **Collettore** un segnale **non distorto** utilizzando la formula: **Volt Base = (Vcc x 0,8) : guadagno**

Con un guadagno di **10 volte** noi potremo applicare sulla **Base** un segnale la cui **ampiezza** non dovrà mai superare il valore di: **(12 x 0,8) : 10 = 0,96 volt picco/picco** Con un guadagno di **12,19 volte** potremo applicare sulla **Base** un segnale la cui **ampiezza** non dovrà mai superare il valore di:
(12 x 0,8) : 12,19 = 0,78 volt picco/picco

Nota: il fattore di moltiplicazione **0,8** si utilizza per evitare di **tosare** il segnale sulle due estremità nel caso la tensione presente sul **Collettore** risulti leggermente maggiore o minore rispetto al richiesto per colpa della **tolleranza** delle resistenze.

IL CONDENSATORE sull'EMETTITORE

In molti schemi di stadi preamplificatori è normalmente inserito in **parallelo** alla resistenza **R4** di **Elettore** un **condensatore elettrolitico** (vedi fig.447) e logicamente vi chiederete a cosa serve.

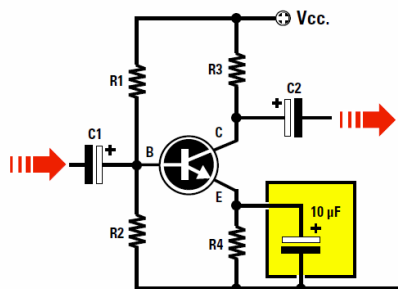


Fig.447 Applicando in parallelo alla resistenza **R4** di Elettore un condensatore elettrolitico da 1 a 22 microfarad riusciremo ad aumentare il Guadagno dello stadio preamplificatore di circa 10 volte rispetto a quanto da noi calcolato.

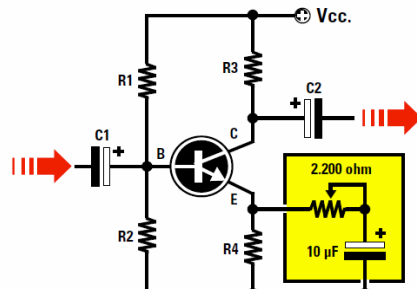


Fig.448 Per evitare che con un eccesso di guadagno il segnale fuoriesca dal suo Collettore tosato (vedi fig.433) è sufficiente collegare in serie al condensatore elettrolitico un trimmer o una resistenza calcolata in modo da ridurre il suo guadagno.

Questo condensatore applicato in **parallelo** alla **R4** serve per aumentare il **guadagno** di circa **10 volte** rispetto a quello **calcolato**.

Quindi se abbiamo un transistor che in condizioni normali amplifica un segnale di **4,55 volte**, collegando sull'**Elettore** questo condensatore il segnale verrà **amplificato** di circa: **4,55 x 10 = 45,5 volte**.

Questo **condensatore** si usa solo quando occorre amplificare **notevolmente** un segnale utilizzando un **solo** transistor. Applicando in **serie** a questo **elettrolitico** una **resistenza** (vedi fig.448) noi possiamo **ridurre** il massimo **guadagno** di **10 volte** su valori **inferiori**, ad esempio su valori di **7 - 6 - 5 - 4 - 2 volte**.

Più **alto** è il valore ohmico della resistenza posta in **serie** a questo condensatore, più ridurremo il suo **massimo guadagno**.

Ammetto che serva un esatto **guadagno di 35 volte** la soluzione più semplice per conoscere il valore ohmico da utilizzare è quello di collegare in **serie** all'**elettrolitico** un **trimmer**. Inserendo un segnale nella **Base** si ruoterà il cursore di questo **trimmer** fino a quando non otterremo l'esatto **guadagno** richiesto.

A questo punto si misurerà il valore **ohmico** del **trimmer** poi lo si sostituirà con una resistenza di identico valore. Negli stadi preamplificatori in cui il condensatore risulta inserito in **parallelo** alla resistenza **R4**, tutte le resistenze di polarizzazione, cioè **R1 - R2 - R3 - R4**, vengono calcolate per un guadagno massimo di **2 - 3 volte** onde evitare che il segnale amplificato fuoriesca distorto.

LE 3 CLASSICHE CONFIGURAZIONI

Tutti penseranno che il segnale da **amplificare** si debba necessariamente applicare sul terminale di **Base** e prelevare dal terminale **Collettore**. Come ora vedrete, il segnale amplificato si può anche applicare sull'**Emettitore** e prelevare dal suo **Collettore**, oppure applicare sulla **Base** e prelevare dal suo **Emettitore**. Questi tre diversi modi di utilizzare un transistor come stadio amplificatore vengono chiamati:

Common Emitter o **Emettitore comune** In questa configurazione il segnale da amplificare si applica sulla **Base** ed il segnale **amplificato** si preleva dal **Collettore** (vedi fig.451).

Common Collector o Collettore comune

In questa configurazione (vedi fig.452) il segnale da amplificare si applica sulla **Base** ma si preleva dall'**Emettitore** anzichè dal Collettore.

Poiché questa configurazione **non amplifica** viene normalmente utilizzata come stadio **separatore** per convertire un segnale ad **alta impedenza** in un segnale a **bassa impedenza**. Il segnale che si preleva dal suo **Emettitore** non risulta sfasato, vale a dire che la **semionda positiva** applicata sulla **Base** rimane **positiva** sull'uscita dell'**Emettitore** e la **semionda negativa** applicata sulla **Base** rimane **negativa** sull'**Emettitore**.

Common Base o Base Comune (vedi fig.453)

In questa configurazione il segnale da amplificare si applica sul terminale **Emettitore** ed il segnale **amplificato** si preleva dal **Collettore**. Nel **Common Base** una piccola variazione di **corrente** sull'**Emettitore** determina una **media** variazione di **corrente** sul **Collettore**.

Il segnale che si preleva dal **Collettore** non risulta sfasato, vale a dire che la **semionda positiva** e la **semionda negativa** che entrano nell'**Emettitore** si prelevano nuovamente **positiva** e **negativa** sul terminale **Collettore**.

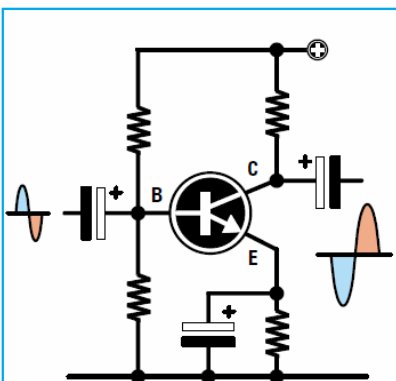


Fig.451 Common Emitter.

Il segnale viene applicato sulla Base e prelevato dal terminale Collettore.

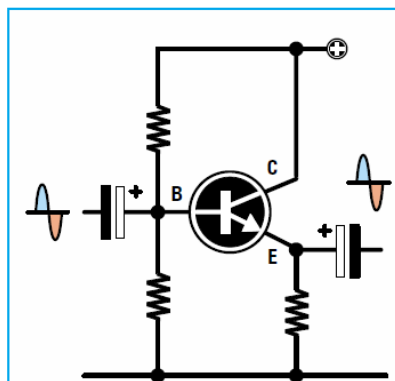


Fig.452 Common Collector.

Il segnale viene applicato sulla Base e prelevato dal terminale Emettitore.

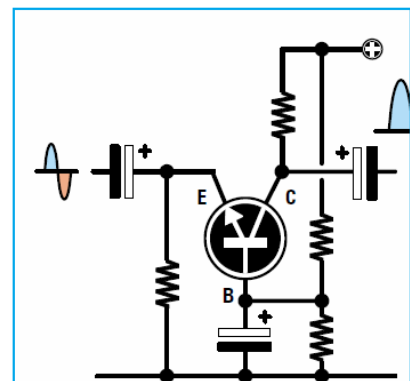


Fig.453 Common Base.

Il segnale viene applicato sull'Emettitore e prelevato dal terminale Collettore.

	Common Emitter	Common Collector	Common Base
Guadagno in tensione	medio	nullo	elevato
Guadagno in corrente	medio	medio	nullo
Guadagno in potenza	alto	basso	medio
Impedenza d'ingresso	media	elevata	bassa
Impedenza d'uscita	elevata	bassa	elevata
Inversione di fase	SI	NO	NO

In questa Tabella sono indicate le differenze che si ottengono nelle tre diverse configurazioni.

TRANSISTOR IN CLASSE A

Per far lavorare un transistor in classe A occorre polarizzare la **Base** in modo che nel Collettore scorra la metà della sua corrente massima che. Nel nostro esempio, sarebbe di 2,72mA.

In queste condizioni tra il terminale **Collettore** e l'**Emettitore** sarà presente una tensione di 6 volt, pari alla metà della V_{cc} (vedi fig.511), che viene sempre indicata V_{ce} (volt collettore/emettitore).

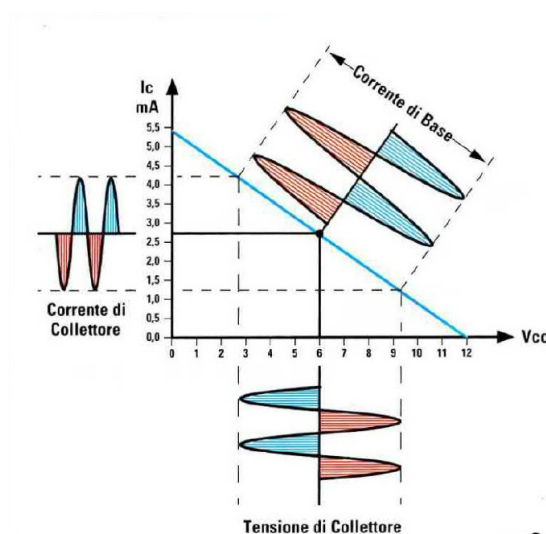


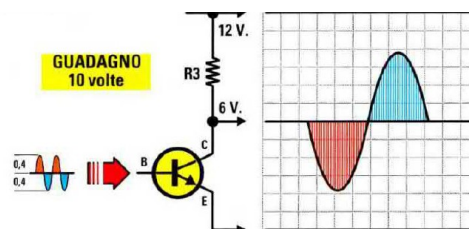
Fig.511 Per far lavorare un transistor in "classe A" dovremo polarizzare la sua Base in modo che, in assenza di segnale, sul Collettore risulti presente metà tensione di alimentazione. Quando sulla Base applicheremo un segnale alternato, in presenza delle semionde Negative il transistor assorbirà meno corrente e in presenza delle semionde Positive assorbirà più corrente.

Se ora applichiamo un segnale alternato sulla **Base** del transistor quando la sua semionda positiva raggiunge la massima ampiezza, il transistor assorbirà più corrente e di conseguenza la tensione sul **Collettore** scenderà verso gli 0 volt.

Quando la semionde negative raggiungerà la sua massime ampiezza, il transistor assorbire meno corrente e di conseguenza le tensione sul **Collettore** salirà verso i 12 volt (vedi fig.511)

Guardando il grafico di fig.512 riuscirete a comprendere molto più facilmente come variano la tensione e la corrente sul **Collettore** quando il transistor amplifica un segnale alternato.

Fig.512 In questo grafico è evidenziato come la semionda positiva applicata sulla Base fa scendere la tensione sul Collettore da 6 volt verso gli 0 volt, mentre la semionda negativa la fa salire da 6 volt verso i 12 volt.



TRANSISTOR IN CLASSE B

Per far lavorare un transistor in classe B occorre polarizzare la sua **Base** in modo che il suo punto di lavoro si trovi sul limite inferiore della sua retta di carico come visibile in fig.519.

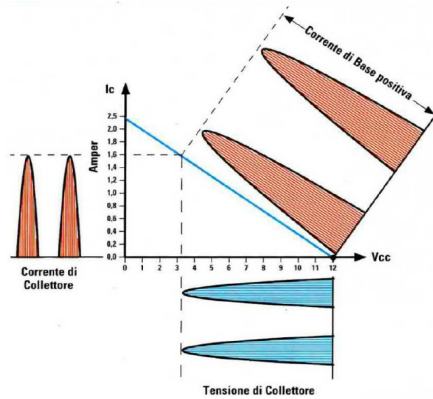


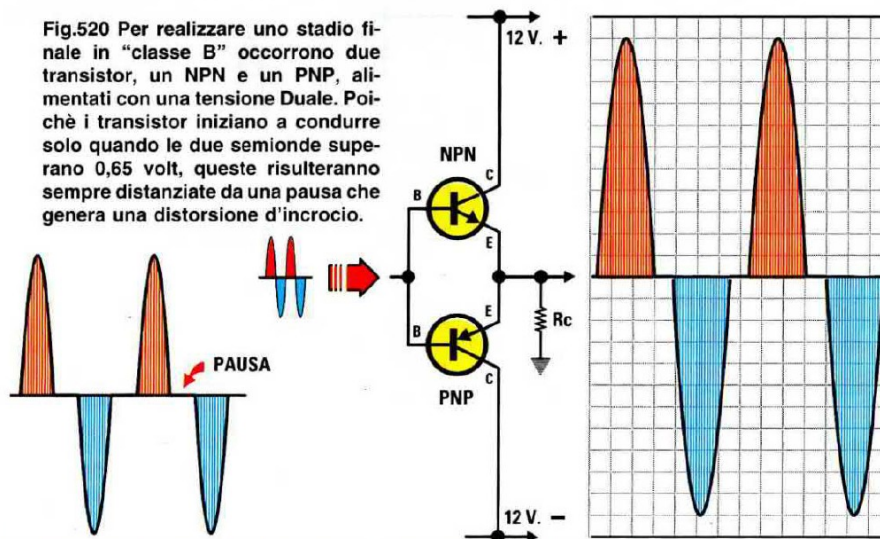
Fig.519 Se NON polarizziamo la Base di un transistor, questo lavora in "classe B", quindi in assenza di un segnale nel Collettore non scorrerà nessuna corrente, pertanto su questo terminale sarà presente la massima tensione positiva.

In assenza di segnale, nei **Collettore** non scorre nessuna corrente e quando sulla sua Base giunge un segnale di BF il transistor inizia a condurre quando questo supera gli 0,65 volt necessari per portarlo in conduzione.

Pilotando un transistor **NPN** questo riuscirà a portarsi in conduzione solo in presenza delle semionde positive e non delle semionde negative, che pertanto non verranno mai amplificate.

Pilotando un transistor **PNP** questo riuscirà a portarsi in conduzione solo in presenza delle semionde negative e non delle semionde positive, pertanto questa non verranno mai amplificate.

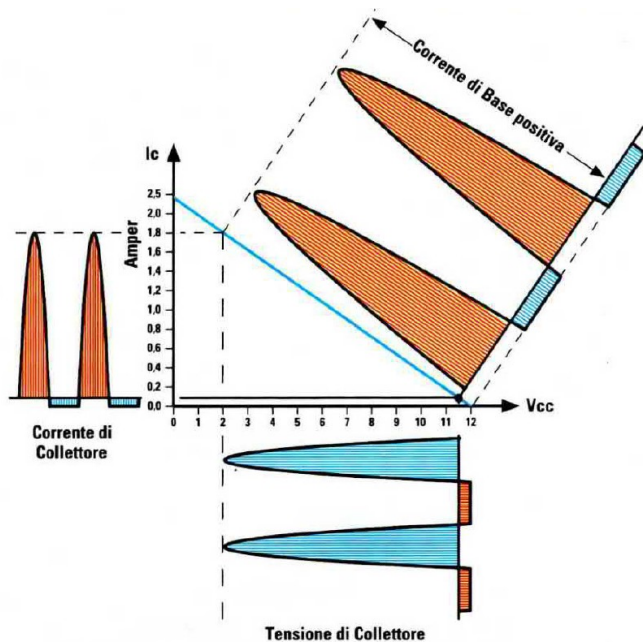
Sapendo che in classe B un transistor **NPN** è in grado di amplificare le sole semionde positive e un transistor **PNP** le sole semionde negative, per poterle amplificare entrambe è necessario utilizzare due transistor uno **NPN** e uno **PNP** collegati in serie come visibile in fig.520.



Prelevando il segnale dai due **Emettitori** dei transistor riusciamo ad ottenere l'onda sinusoidale completa applicata sull'ingresso.

La classe B presenta il vantaggio di fornire in uscita delle potenze elevate, anche se con una notevole distorsione. Infatti, prima che la semionda positiva riesca a portare in conduzione il transistor **NPN** e la semionda negativa a portare in conduzione un transistor **PNP**, i due segnali devono superare il richiesto livello di soglia di 0,65 volt.

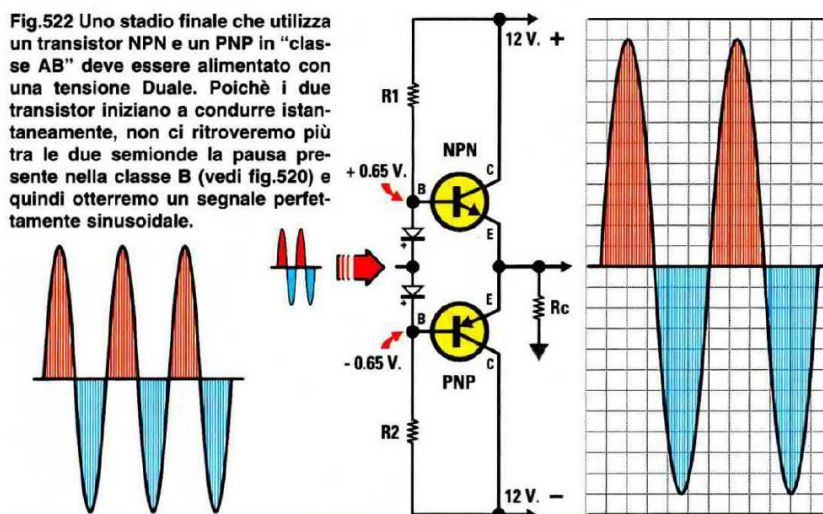
Quindi quando il segnale passa dalla semionda positiva alla semionda negativa o viceversa, si ha un tempo di pausa nel corso del quale nessuno dei due transistor risulta in conduzione (vedi fig.520).



TRANSISTOR IN CLASSE AB

Per riuscire ad ottenere sull'uscita di uno stadio finale la elevate potenze di un classe B senza che risulti presente la non gradita distorsione di incrocio, si usa la classe **AB** e un transistor **NPN** collegato in serie ad un **PNP**.

Sapendo che un transistor inizia a condurre quando sulla sua **Base** è presente una tensione di 0,65 volt, possiamo applicare quest'ultima inserendo due diodi alimentati dalle resistenze R1- R2 come visibile in fig.522.



Quando sulla **Base** del transistor **NPN** giunge un segnale di **BF**, questo provvede ad amplificare le semionde positive complete perchè già si trova in conduzione, ma non è in grado di amplificare le opposte semionde negative.

Quando sulla **Base** del transistor **PNP** giunge un segnale di **BF**, questo provvede ad amplificare le semionde negative complete perchè già si trova in conduzione, ma non è in grado di amplificare le opposte semionde positive.

Prelevando il segnale amplificato dagli **Emettitori** dei transistor **NPN** e **PNP** otteniamo una onda sinusoidale completa.

Il segnale sinusoidale che fuoriesce da questo stadio risulta privo di distorsione, perchè non esiste più quella pause tra la semionda positiva e la semionda negativa presente nella classe **B**.

Il principale vantaggio offerto dalla classe **AB** è quello di riuscire a prelevare in uscita una elevata potenza facendo assorbire ai **Collettori** dei transistor una corrente irrisoria in assenza di segnale. Dissipando a riposo una minima corrente, i transistor riscaldano molto meno rispetto ad uno stadio finale in classe **A**. quindi è possibile ridurre le dimensioni dell'aletta di raffreddamento necessaria per dissipare il calore generato. La classe **AB** viene normalmente utilizzato per realizzare degli stadi finali di potenza HI-FI.

TRANSISTOR IN CLASSE C

La classe **C** non viene mai utilizzata per amplificare dei segnali di **BF** perchè, anche se si riescono ad ottenere in uscita delle potenze elevate, il suo segnale ha una notevole distorsione: per questo motivo la classe C si usa esclusivamente per **realizzare degli stadi finali per alta frequenza**.

Come potete vedere in fig.524, la **Base** di un transistor in classe **C** non viene mai polarizzata e in quasi tutti gli schemi si puo notare che la **Base** risulta collegata a massa tramite una impedenza **RF** (vedi fig.525), che serve solo ad impedire che il segnale RF che giunge dal transistor pilota si scarichi verso massa.

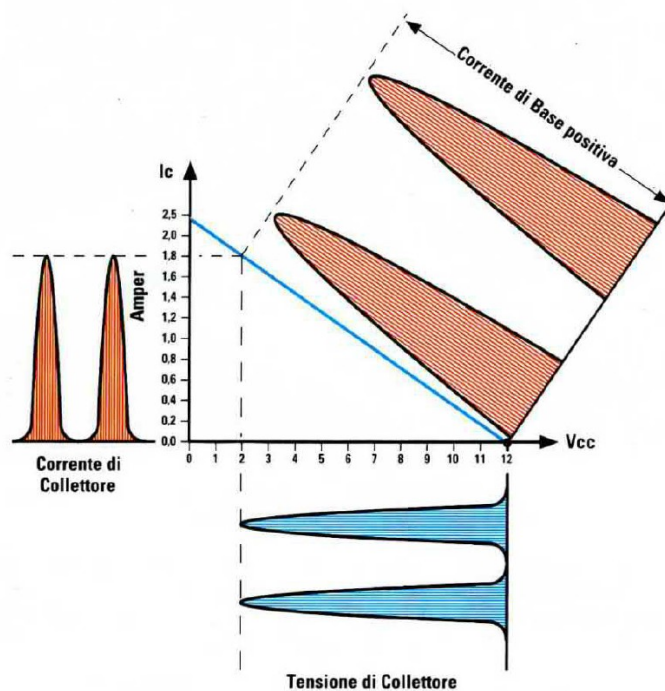


Fig.524 Anche la Base di un transistor che lavora in "classe C" non risulta polarizzata perchè collegata a massa tramite una impedenza RF (vedi JAF1 in fig.525). Quando la semionda positiva applicata sulla Base supera il livello di soglia di 0,65 volt, il transistor provvede ad amplificarla per il suo MASSIMO guadagno. Anche se viene amplificata una sola semionda, sarà il circuito di accordo C1/L1 o il filtro Passa/Basso, sempre collegati sul Collettore, a ricreare la semionda mancante perchè agiscono da "volano". In assenza di segnale nel Collettore non scorrerà nessuna corrente e quando sulla Base giungerà un segnale RF, il transistor assorbirà la sua massima corrente.

Fig.525 Schema elettrico di uno stadio amplificatore in "classe C". Il circuito di accordo C1-L1 va calcolato per accordarsi sulla frequenza di lavoro.

