

INTRODUZIONE AI TRANSISTORS di Zeppieri Fabio

Breve cenno sulla nascita del Transistore.

Già nei primi del '900 era molto sentita l'esigenza di una veloce espansione della telefonia per ripristinare un segnale indebolito in un collegamento su lunga distanza .

L'invenzione del tubo a vuoto aveva in parte colmato questa esigenza, ma solo dopo la seconda G.M. era ripartita la ricerca di un dispositivo migliore del tubo a vuoto che era di facile rottura e produttore di calore. La soluzione venne data nel 1947 con il transistor (ved. N° Scala Parlante) che divenne una pietra miliare nello sviluppo dell'Elettronica.

Principi di funzionamento

Un transistor può essere considerato come una elaborazione di un comune diodo a giunzione.

Consiste di due parti di materiale semiconduttore di composizione leggermente differente, uniti con conduttori per collegare ciascuna parte.

Sebbene la differenza nella composizione chimica delle due parti è leggera, la differenza nelle caratteristiche elettriche è molto grande.

Per identificare questi differenti materiali, una viene chiamata "Materiale di tipo P" e l'altro "Materiale di tipo N".

L'aspetto fisico di queste caratteristiche non è trattato in questa prima parte; è sufficiente dire che un diodo a giunzione condurrà facilmente se si applica ai suoi capi una tensione positiva al materiale di tipo P e negativa al materiale di tipo N (Figura 1).

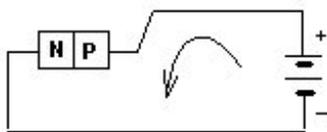


FIGURA 1

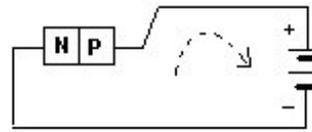


FIGURA 2

ma condurrà solo debolmente se la polarità viene invertita (Figura 2)

Quando un diodo conduce con facilità si dice che è polarizzato in senso diretto, quando conduce debolmente è polarizzato in senso inverso. Se si estende la struttura di questo diodo in modo da includere un'altra giunzione, lasciando la giunzione primitiva polarizzata in senso inverso e fornendo una polarizzazione in senso diretto al nuovo diodo a giunzione che è stato formato aggiungendo la parte P alla sinistra, il circuito apparirà come segue (Figura 3):

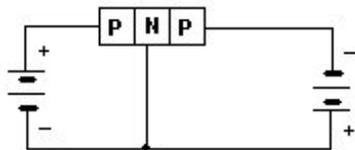


FIGURA 3

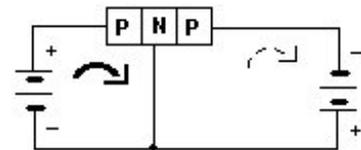


FIGURA 4

Si potrebbe supporre (erratamente) che una corrente maggiore scorra nel diodo polarizzato in senso diretto, che nel diodo polarizzato in senso inverso scorra una piccola corrente e che non vi sia differenza fra i due diodi (Figura 4):

Ma questo discorso non vale.

Per il circuito mostrato, la corrente della polarizzazione in senso diretto del diodo di sinistra scorrerebbe completamente attraverso ambedue le giunzioni, fuorché per una piccola corrente che scorrerebbe come mostrato nella Figura 5:

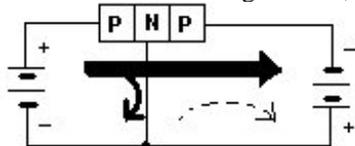


FIGURA 5

Questo imprevisto modo di funzionare che possiamo osservare solo se la regione di centro è sottile, è il fondamento del funzionamento del transistor.

Dato che la parte P di sinistra "emette" corrente nel transistor, questa viene chiamata **emettitore**.

La regione centrale, (qui è N) attraverso cui passa la corrente dell'emettitore è chiamata **base**.

La parte P di destra che "convoglia" la corrente emessa dall'emettitore è chiamata **collettore** (Figura 6)

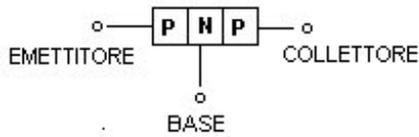


FIGURA 6

(Combinazione chiamata PNP)

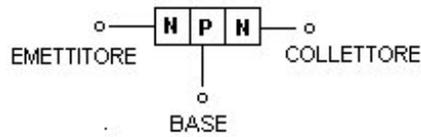


FIGURA 7

(Combinazione chiamata NPN)

La differenza importante fra i due è che le varie tensioni applicate al transistor PNP debbono essere invertite rispetto a quello NPN.

Nella comune simbologia degli schemi elettrici un transistor **PNP** viene raffigurato come da Figura 8, mentre quello **NPN** come da Figura 9.

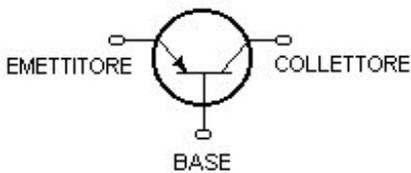


FIGURA 8

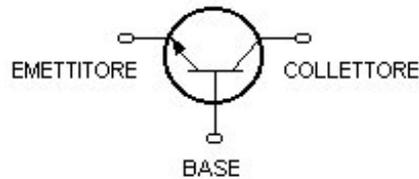
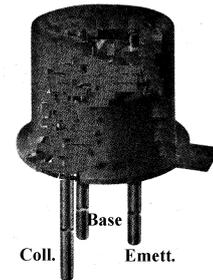


FIGURA 9



E' da osservare che entrambi i transistor PNP e NPN sono simmetrici (a sinistra ed a destra); cioè emettitore e collettore di un dato transistor sono entrambi fatti dello stesso materiale, e apparentemente collegati alla base nello stesso modo.

E' logico chiedere quale parte esterna è il collettore e quale l'emettitore. In alcuni transistor chiamati simmetrici, non vi è alcuna differenza. Nella maggior parte dei transistor tuttavia, l'emettitore ed il collettore sono fabbricati diversamente.

E' questa differenza che determina il nome esatto di queste parti. In pochissimi casi un transistor può venire impiegato scambiando indifferentemente i collegamenti del collettore e dell'emettitore.

Confronto tra transistor e tubo elettronico

Un transistor usato come amplificatore somiglia a un tubo elettronico nel quale i tre elementi del transistor corrispondono (approssimativamente) ai tre elementi del triodo.

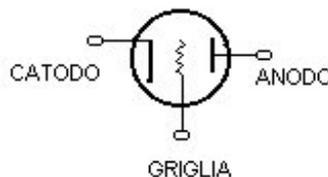
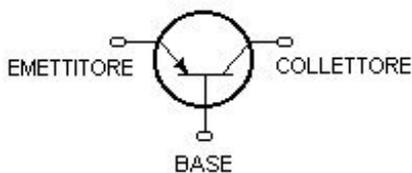
TRANSISTOR

Emettitore
Base
Collettore

TUBO ELETTRONICO

Catodo
Griglia
Anodo (placca)

Questa corrispondenza tra transistor e tubo elettronico può essere usata per creare i simboli equivalenti (Fig. 10):



Tuttavia non possiamo proprio ammettere che questa equivalenza sia effettiva, ma solo approssimata:

Per esempio, consideriamo la differenza tra griglia e base. Una griglia, polarizzata negativamente, nelle normali condizioni di funzionamento, non assorbe corrente. La corrente di catodo fluisce quindi completamente nel circuito di placca (Figura 11)

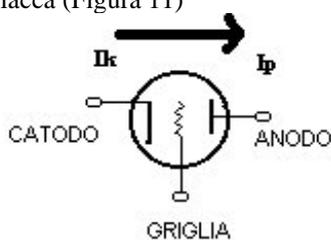


FIGURA 11

In precedenza si era detto che la corrente

dell'emettitore in un transistor si divide tra il collettore e la base cosicché nella base scorre una corrente apprezzabile

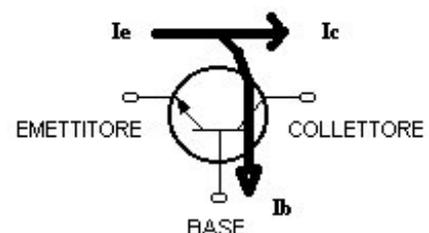


FIGURA 12

(Figura 12) Poiché la corrente che scorre (per una data tensione) è un'indicazione dell'impedenza del circuito, il fatto che la base conduce mentre la griglia no, fa concludere che l'impedenza presentata dalla base è molto più piccola di quella presentata dalla griglia (un tubo si sa ha una impedenza di griglia di parecchi Mohms /Figura. 13) mentre un tipico transistor ha un'impedenza di base minore di 2Kohms (Figura 14)

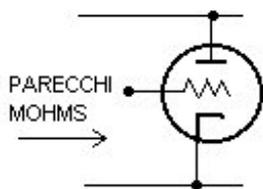


FIGURA 13

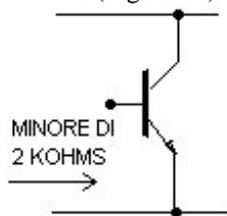


FIGURA 14

Un po' di teoria : Il parametro Alfa & Beta

Sebbene nel circuito della base scorra una corrente sufficiente a far apparire bassa l'impedenza della base stessa, la corrente di base rappresenta solo una piccola frazione della corrente dell'emettitore (circa il 2% in un tipico transistor).

Il rimanente 98% scorre nel circuito di collettore.

Questa divisione della corrente è usata per definire un parametro importante del transistor chiamato **alfa**.

Se il 98% della corrente dell'emettitore di un certo tipo di transistor scorre nel suo collettore, il transistor ha un alfa di 0,98 che matematicamente viene dato da :

$$\alpha_{cc} = \frac{I_c}{I_e}$$

Dato che la corrente I_c (corrente di collettore) e I_e (corr. Emittitore) sono correnti di polarizzazione, il loro rapporto è detto "alfa in corrente continua" (per questo si pone dopo alfa, cc).

Più frequentemente, la parola alfa si riferisce al rapporto della corrente di segnale (dove i_c ed i_e rappresentano correnti di segnale (alternate) rispettivamente nel collettore e nell'emettitore).

$$\alpha_A = \frac{i_c}{i_e}$$

La parola alfa come è usata qui, si riferisce sempre al rapporto della componente alternata della corrente, a meno che non si stabilisca il contrario. E' interessante osservare, per inciso, che entrambe le definizioni danno per alfa quasi lo stesso valore.

Poiché la corrente del collettore è sempre di poco minore alla corrente dell'emettitore, alfa risulterà sempre poco meno di 1.

Quindi un transistor apporterà una attenuazione invece di amplificazione per un segnale applicato all'emettitore e misurato al collettore (Figura 15):

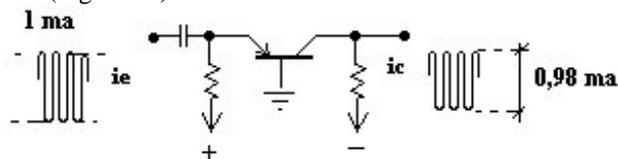


FIGURA 15

Possiamo fare un dispositivo utile usando un circuito di questo tipo sebbene non ci dia un guadagno di corrente. Alcuni modi di usare questa configurazione, che è chiamata "con base a massa" li discuteremo più avanti.

Quando è quindi possibili ottenere il guadagno di corrente ?

Analizziamo il comportamento di un transistor collegato come in Figura 16.

Applichiamo un segnale (corrente fluttuante) alla base, vedremo che la corrente di base controllata da una piccola corrente fluttuante provocherà una corrispondente fluttuazione nella corrente di emettitore, che è molto più grande.

Ciò causerà a sua volta, una fluttuazione nella corrente di collettore .

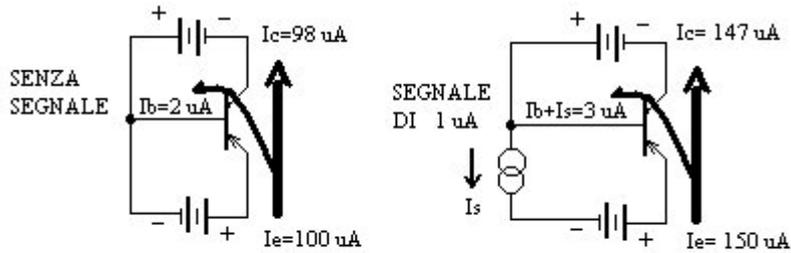


FIGURA 16

Dato che una corrente fluttuante introdotta nel circuito di base fa circolare nel circuito di collettore una corrente fluttuante più grande, diciamo che vi è stato un guadagno di corrente. In pratica ad un aumento del 50% di I_b (da 2 a 3 μA) fa corrispondere un 50% di aumento anche di I_c (da 100 a 150 μA).

Se I_e è data dalla somma di $I_c + I_b$, ne deriva che $I_e = 147 \mu A$. Il guadagno ottenuto, stabilisce chiaramente il rapporto tra la corrente di collettore e quella di base. Questo rapporto è un altro importante parametro del transistor detto "beta". Matematicamente si stabilisce:

$$\beta_{cc} = \frac{I_c}{I_b}$$

Più di frequente si fa riferimento a beta come rapporto di correnti alternate:

$$\beta_{ca} = \frac{i_c}{i_b}$$

Come si è visto, una corrente di segnale di 1 μA circolante in base ha causato una variazione di 49 μA (147 $\mu A - 98 \mu A$) nella corrente di collettore.

Il Beta (guadagno in corrente) sarebbe :

$$\beta = \frac{49}{1} = 49$$

Questo è un valore abbastanza tipico.

Le "curve" caratteristiche di un transistor.

All'inizio di questo argomento, il transistor è stato presentato come una estensione di un ordinario diodo a giunzione. Questo tipo di avvicendamento può essere adoperato per ricavare le curve caratteristiche di un tipo di transistor che funziona come ci si può aspettare.

Se in un esperimento di laboratorio applicassimo a un diodo a giunzione parecchie differenti polarizzazioni in senso inverso e misurassimo poi le correnti risultanti (Figura 18) potremmo tracciare la curva che mostra le caratteristiche di un diodo a giunzione polarizzato in senso inverso (Figura 19).

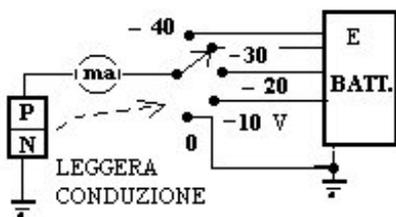


FIGURA 18

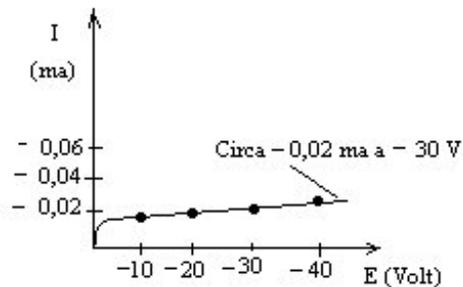


FIGURA 19

Semplicemente elaborando questo diodo, che è polarizzato in senso inverso (per trasformarlo in un transistor) la curva non cambierà (Figure 20 e 21)

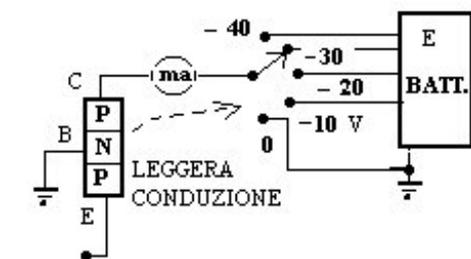


FIGURA 20

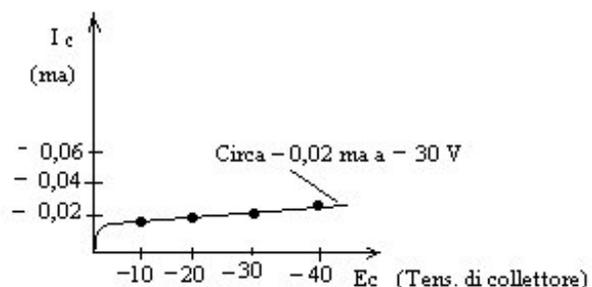


FIGURA 21

Ma polarizzando in senso diretto la nuova giunzione (che stabilisce il funzionamento del transistor), si causerà una variazione definita, nella curva. Questo perché la corrente della polarizzazione diretta, scorrerà in entrambe le giunzioni e nel circuito contenente il milliamperometro (Figura 22)

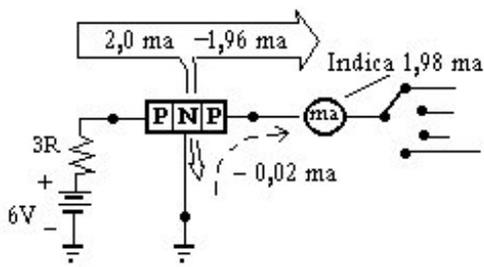


FIGURA 22

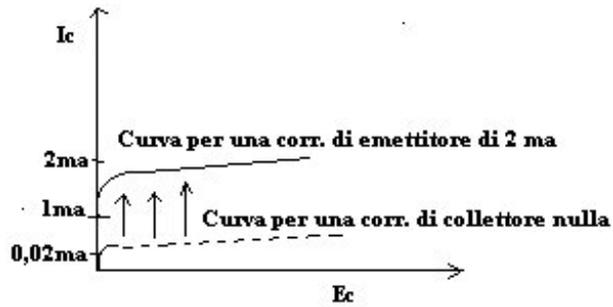


FIGURA 23

L'aumento di corrente farà spostare la curva verso l'alto (Figura 23)

Scegliendo allora parecchi valori diversi della corrente di emettitore e tracciando una curva per ognuno, possiamo costruire una intera famiglia di curve (Figura 24)

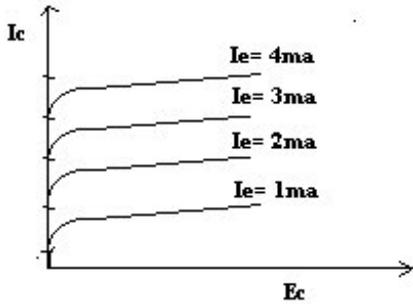


FIGURA 24

Questa famiglia di curve è tipica nei dati forniti nei cataloghi.

Transistor come amplificatore

Supponiamo che una parte di apparato radio sia costituita da un transistor amplificatore a base comune (usando un transistor PNP come in Figura 25)

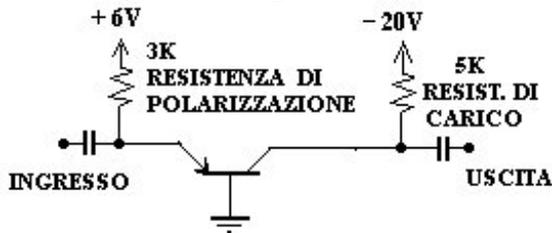


FIGURA 25

Vogliamo ora sapere come funziona questo amplificatore, quale è la sua tensione di base, quale è la corrente del collettore e quale è la sua amplificazione. Tutti questi dati possono essere ricavati da una semplice costruzione sulle caratteristiche del transistor con base comune (o base a massa). Nello stesso modo, la retta di carico per un amplificatore a base comune passerà per -20V e 4ma (Figura 26)

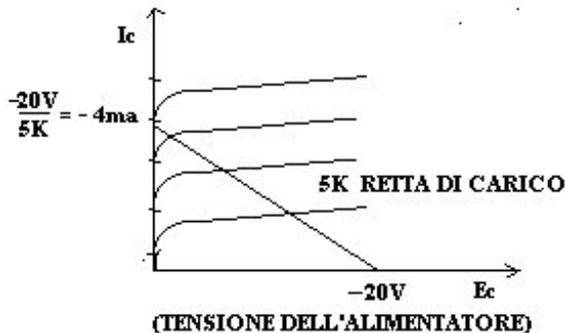


FIGURA 26

Tuttavia la polarizzazione per questo transistor amplificatore è fornita dalla corrente e non dalla tensione. E questa corrente di polarizzazione è quella causata dalla tensione della batteria di 6V che passa nel circuito formato dalla resistenza di 3Kohms in serie con quella offerta dalla giunzione emettitore-base in senso diretto

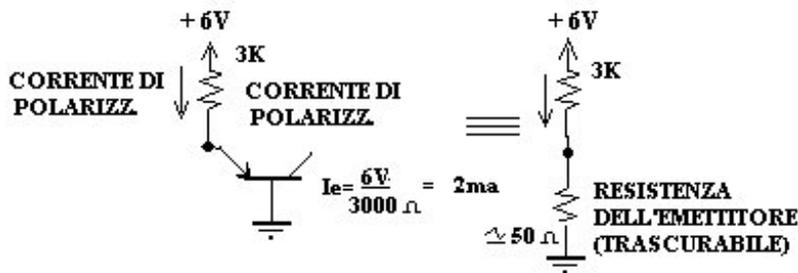


FIGURA 27

determinerà il punto di funzionamento (o di lavoro) all'intersezione tra la retta di carico e la curva di 2ma (Figura 28)

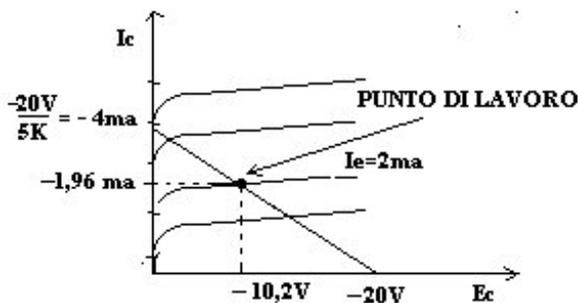
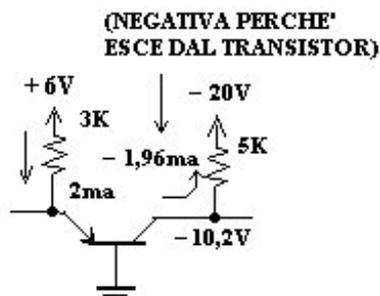


FIGURA 28



Questo transistor amplificatore funziona quindi con una corrente di polarizzazione di 2ma, una corrente di collettore di -1,96 ma ed una tensione di collettore di -10,2V. Se volessimo sapere quanta potenza dissipa questo transistor amplificatore, avremo: $P = I_c \times E_c = (-1,96 \text{ ma}) \times (-10,2\text{V}) = 19,9$ milliwatts.

Il guadagno di questo amplificatore dipende dal tipo di guadagno che si vuole ottenere, se di tensione (Gv) o di corrente (Gi). Il guadagno di tensione può essere grande, mentre quello di corrente è sempre minore di 1, cioè questo amplificatore determina una attenuazione di corrente invece di una amplificazione. Il suo guadagno di corrente è uguale ad alfa (circa 0,98)

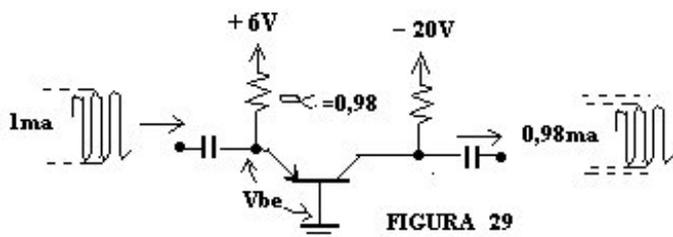


FIGURA 29

Il guadagno di tensione (rapporto tra tensione di uscita e tensione di ingresso) può essere calcolato per mezzo delle impedenze di uscita e di ingresso. L'impedenza di uscita in questo caso è una resistenza di 5K, mentre l'impedenza d'ingresso era stata stabilita vagamente "minore di 50 ohms".

Fortunatamente vi è un modo semplice per calcolare l'impedenza di ingresso (resistenza dell'emettitore): questa è data da:

$$R_e = \frac{V_{be}}{I_e} = \frac{25,6\text{mV}}{I_e}$$

(*) Dato fornito dal costruttore

In questa formula R_e è la resistenza dell'emettitore in Ohms, ed I_e è la corrente in milliamperes. Per il transistor amplificatore, l'emettitore è polarizzato, in questo esempio, con 2ma, cosicché la resistenza dell'emettitore è

$$R_e = \frac{25,6\text{mV}}{2\text{ma}} = 12,8 \text{ ohms}$$

Ora, conoscendo entrambe le impedenze di ingresso e di uscita, possiamo calcolare anche il Guadagno di tensione. Un segnale di 1ma che scorre in questo amplificatore produce una tensione di 12,8 mv ai terminali della resistenza di emettitore di 12,8 ohms (Figura 30)

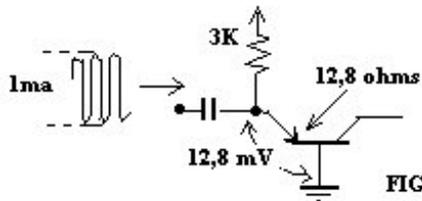


FIGURA 30

Quasi tutto il segnale (il 98%) di 1 ma scorre nella resistenza di carico di 5K, producendo una caduta di tensione di 5V ai suoi capi (Figura 31)

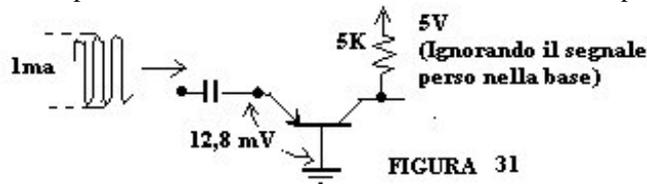


FIGURA 31

$$G_v = \frac{5V}{12,8mV} = \frac{5}{0,0128} = 391$$

Il guadagno di tensione (Gv) in questo caso è

Ma si può ottenere lo stesso valore calcolando il rapporto tra la resistenza di uscita e quella di ingresso:

$$G_v = \frac{5000 \text{ Ohms}}{12,8 \text{ Ohms}} = 391$$

Lo stesso amplificatore a base comune dà quindi un Gv di 391, ma dà un Gi minore di

1. E' quindi chiaramente vantaggioso usare questo tipo di amplificatore come amplificatore di tensione. Ma quale è la differenza tra un amplificatore di tensione ed uno di corrente ?

Amplificatore di corrente e di tensione

Se un amplificatore a base comune ha una impedenza di ingresso 12 12,8 ohms, deve essere alimentato da una sorgente di impedenza ancora più bassa perché possa essere classificato come un amplificatore di tensione.

Consideriamo il circuito di Figura 32.

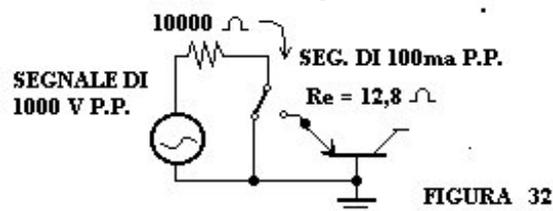


FIGURA 32

In cui la sorgente di tensione è in corrente alternata (generatore in corrente alternata al posto della batteria).

L'impedenza di un alimentatore (10000 ohms) è certamente molto grande rispetto all'impedenza dell'emettitore.

Una corrente di 100ma picco picco scorrerà nel circuito senza considerare la posizione del commutatore.

Pilotato così da un alimentatore a corrente alternata, il transistor può essere considerato come un amplificatore di corrente.

Sfortunatamente questa particolare configurazione non dà un utile guadagno di corrente. Con un segnale di 100ma che scorre nell'emettitore, solo 98ma passeranno attraverso il collettore (alfa circa 0,98).

L'amplificatore a base comune dà in questo caso una perdita di corrente invece che un guadagno. Il funzionamento di un amplificatore a base comune può essere riassunto così.

Se è disponibile una sorgente ad impedenza molto bassa, il transistor funzionerà come amplificatore di tensione fornendo una grande amplificazione. Tali sorgenti sono tuttavia piuttosto rare, per amplificatori a larga banda. Se si

dispone di una sorgente ad impedenza moderatamente alta, il transistor funzionerà come amplificatore di corrente, ma darà un guadagno di corrente minore di 1 e quindi inutile. Malgrado queste restrizioni, la configurazione a base comune è usata in una varietà di circuiti quali trasformatori di impedenza, isolatori di capacità, ecc.

Amplificatori ad emettitore comune e collettore comune

La configurazione ad **emettitore comune** (Figura 33) corrisponde grossolanamente ad un tubo elettronico con catodo a massa (Fig. 34)

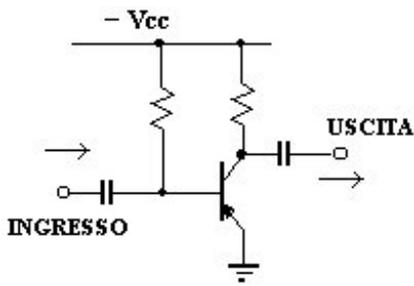


FIGURA 33

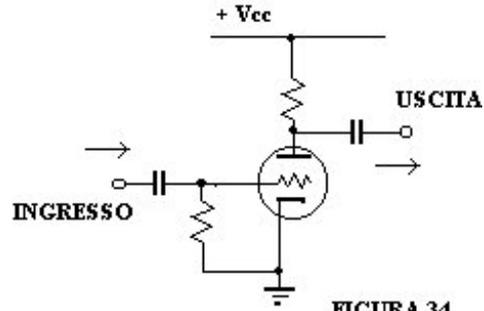


FIGURA 34

Questa configurazione è una delle più usate del transistor, principalmente perché permette di ottenere la più alta amplificazione delle altre configurazioni e poi perché ha una maggiore impedenza d'ingresso. La configurazione ad emettitore comune consente una grande amplificazione di corrente poiché la corrente del segnale è applicata alla base, dove si aggiunge e si sottrae alla piccolissima corrente di polarizzazione. Dato che la corrente della base (corrente di polarizzazione più corrente del segnale in ingresso) è una percentuale fissa della corrente del collettore, variazioni nella corrente della base causeranno variazioni proporzionali (Fig. 35)

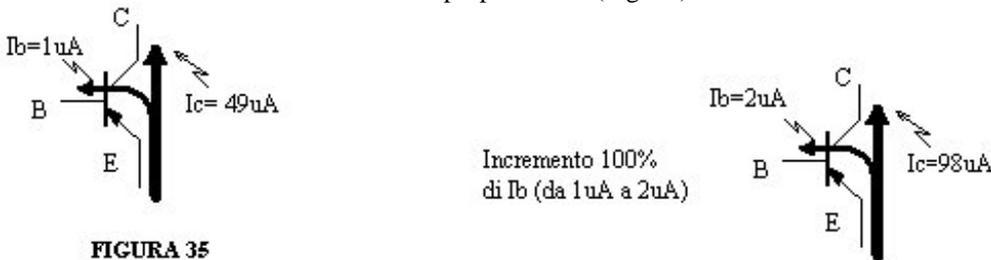


FIGURA 35

In modo veloce abbiamo analizzato gli amplificatori a base comune ed emettitore comune in cui il primo può dare una grande amplificazione in tensione ma non in corrente (alpha minore di 1) mentre il secondo può dare amplificazione in tensione ed in corrente.

L'ultima configurazione è quella che va sotto il nome di **collettore comune** la cui caratteristica è quella di dare una grande amplificazione di corrente ma non in tensione (beta minore di 1).

L'uso del transistor in questa configurazione non trova largo impiego e le curve caratteristiche in questa configurazione sono raramente pubblicate nei cataloghi, tuttavia proviamo ad analizzare il circuito (Figura 36)

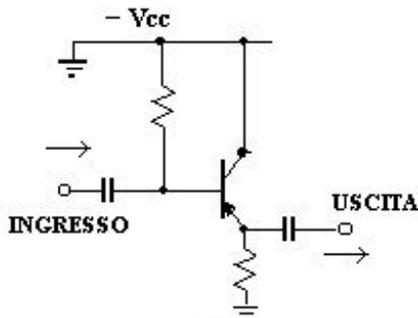
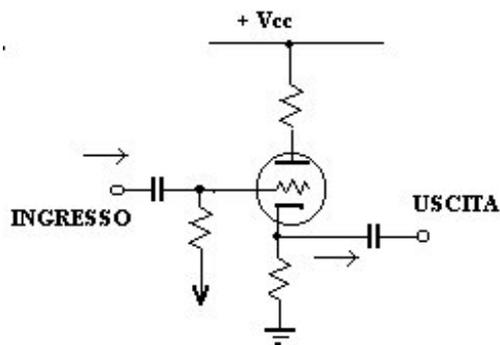


FIGURA 36



Come si vede, qui il transistor è pilotato da una sorgente di corrente costante, e possiamo anche capire che se per ipotesi si immette in ingresso un segnale di 0,05 V, questo si perde nella caduta di potenziale tra base ed emettitore.

Ammettendo didatticamente di avere il ns transistor di "beta" 49, nel circuito a C.C. avremo generalmente una amplificazione di "Beta + 1" (Fig. 37)

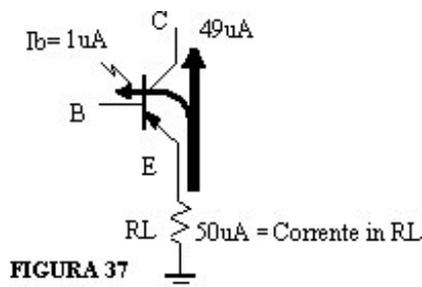


FIGURA 37

Per riassumere

	BC	EC	CC
Parametri			
Amplif. di corrente	0,98	49	50

Effetti della temperatura

Gli effetti termici producono sul transistor due effetti, uno è un aumento della corrente di collettore che a sua volta è causa di un aumento della potenza dissipata ($P_c = V_c \times I_c$ watt), l' altro è un aumento della temperatura di giunzione che causa a sua volta un aumento esponenziale della corrente di dispersione di collettore (Figure 38)

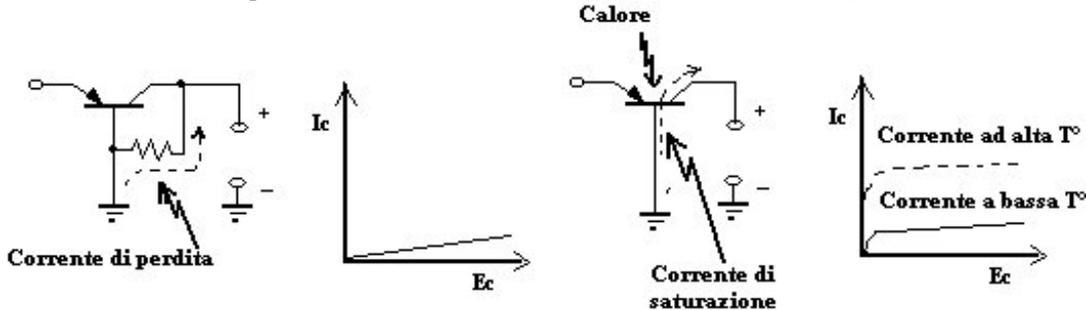


FIGURA 38

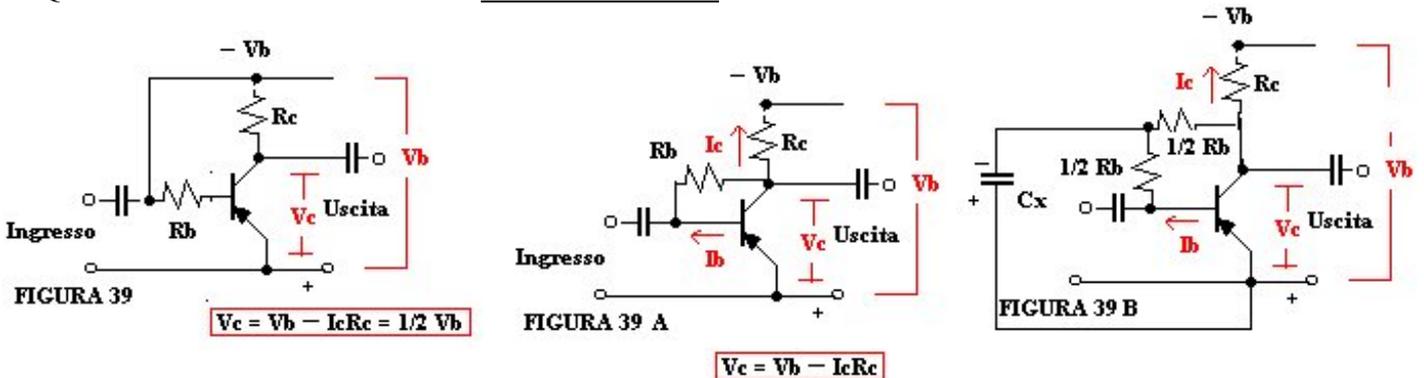
FIGURA 38A

A temperatura sufficientemente alta il segnale è completamente tagliato ed il transistor va in saturazione. Poiché quando il transistor è in saturazione non si ottiene amplificazione, bisogna evitare con cura questa situazione, sia evitando le alte temperature, sia migliorando il circuito di polarizzazione o agendo in entrambi i sensi.

Circuiti di Stabilizzazione

Il circuito di un transistor comprende normalmente sia una resistenza di base che una di collettore (ved. Figura 39). Se il circuito è predisposto in maniera che la tensione di collettore non sia superiore alla metà dell'alimentazione, la stabilità termica è garantita sempre.

Questo sistema di stabilizzazione si dice "a batteria dimezzata"



Anche utilizzando il sistema a batteria dimezzata, può avvenire che il punto di lavoro si sposti qualora in un circuito venga sostituito un transistor con un altro dello stesso tipo ma con caratteristiche di produzione lievemente diverse. In questo caso la corrente di collettore varierà ed il punto di lavoro cambierà e rimarrà stabile su quel valore.

E' allora necessario effettuare una "stabilizzazione in corrente continua" (Figura 39A).

Infatti ogni aumento della I_c (corrente di collettore) aumenta la caduta di tensione ai capi di R_c riducendo quindi la tensione di collettore V_c .

Questo metodo di stabilizzazione ha lo svantaggio che la reazione in corrente continua ha sempre l'effetto di sovrapposizione con la reazione della corrente di segnale che tende a ridurre il guadagno.

Si deve quindi correggere il difetto mediante il collegamento di un condensatore come indicato in Figura 39B.

Ovviamente la massima stabilizzazione si ottiene con l'azione combinata dei due metodi come nell'esempio di Figura 39C che è poi quella che troviamo frequentemente nei circuiti radioelettrici.

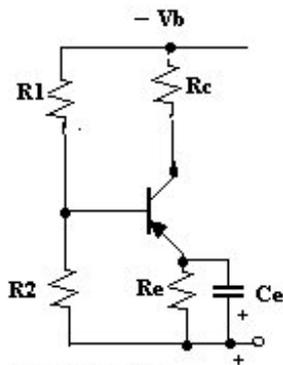


FIGURA 39C

Progetto Didattico N° 1

Visualizzazione della corrente di perdita per effetto termico.

Questo semplicissimo circuito da modo di vedere la corrente di perdita del transistor che si ha per effetto termico. Alimentando inizialmente il circuito di Figura 40 vedremo il Led lievemente acceso.

Poggiando la punta calda del saldatore sul transistor si potrà osservare che dopo pochi istanti il Led diverrà più luminoso a causa dell'aumento della corrente di perdita.

Passando al circuito di Figura 41 e ripetendo l'esperienza si vedrà annullato l'effetto descritto.

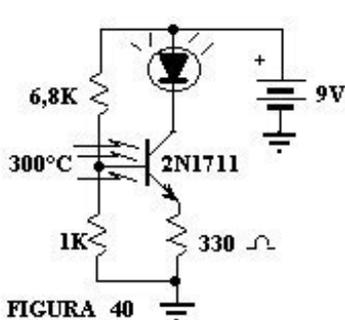


FIGURA 40

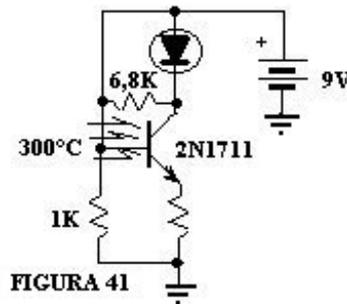
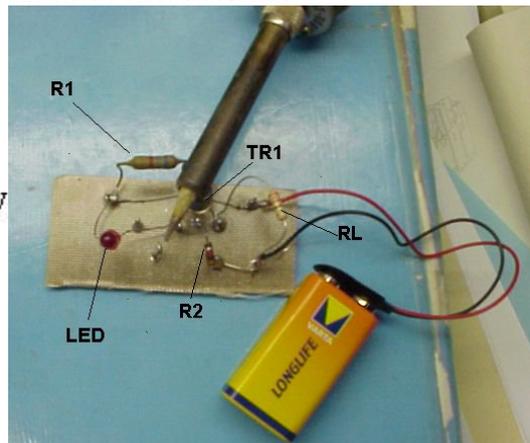


FIGURA 41



COMPONENTI

R1= 6,8 K Ohm TR= 2N1711 (o 2N2219 o equiv)
 R2= 1K Ohm LED = Led rosso
 RL = 330 Ohm Batteria = Pila 9V

NOTA: Munirsi di basetta isolante per i collegamenti elettrici.

Il transistor come amplificatore di piccoli segnali periodici

Nel corso di questa esposizione, abbiamo visto come il transistor opportunamente collegato ad una rete elettrica poteva produrre in uscita uno stesso segnale applicato in ingresso ma di ampiezza maggiore cioè amplificata.

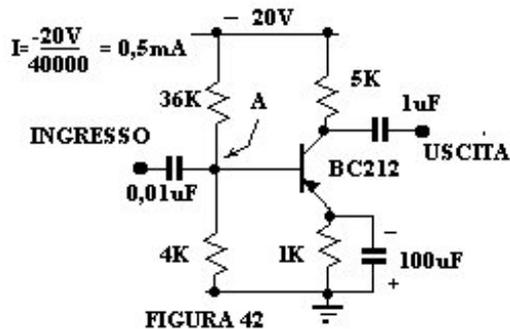
Un amplificatore si dice per piccoli segnali, quando l'ampiezza del segnale in ingresso è molto piccola e la potenza di uscita si aggira intorno a qualche centinaio di mW. Se invece, la potenza in uscita è dell'ordine dei Watt, l'amplificatore è detto di potenza. Inoltre è importante considerare il campo di frequenze nel quale deve lavorare il nostro transistor per cui distinguiamo gli **amplificatori di bassa ed alta frequenza**.

Ai primi appartengono gli amplificatori fino a circa 16KHz (soglia delle frequenze audio udibili dal nostro orecchio) mentre ai secondi appartengono quelli da 16KHz in poi.

Analizziamo qui un tipico amplificatore ad emettitore comune usato nella pratica.

Supponiamo che in un complesso radio elettrico vi sia il circuito mostrato in figura 42.

Cerchiamo di conoscere come funziona, questo amplificatore, quale è la sua polarizzazione, quale è la sua amplificazione.



Sebbene in genere si analizzino prima le curve caratteristiche del transistor utilizzato in configurazione EC, si può fare una analisi abbastanza accurata anche senza queste ultime, dato che la resistenza di 1Kohm collegata all'emettitore stabilizza il circuito e quindi rende il suo funzionamento in c.c. abbastanza indipendente dalle caratteristiche del transistor. Iniziamo con l'osservare che se il transistor **non** fosse collegato al circuito nel punto "A" si misurerebbe in quel punto una tensione di -2V, ciò stabilisce che le resistenze da 36K e da 4K si dicono resistenze di polarizzazione della base. Con il transistor collegato in A la tensione di polarizzazione si altera di pochissimo per il fatto che alla corrente di 0,5mA che scorrerebbe nelle due resistenze, si sommerebbe quella di base del transistor.

Ora, molto velocemente occupiamoci della corrente di emettitore.

Dato che la tensione Base-Emettore è di -2V, allora sulla resistenza di 1K scorrerà una corrente di 2mA . Fissati questi semplici elementi di valutazione, passiamo a analizzare l'amplificatore di figura 42 come viene "visto" da un segnale di **bassa frequenza** (es.: pick-up) diciamo da 10uA. Vedendo le Figure 43 e 43A scopriamo che una parte di questi 10uA vanno perduti nelle resistenze da 36K e 4K, mentre solo una parte va alla base (rappresentata qui da una resistenza di 650ohms)

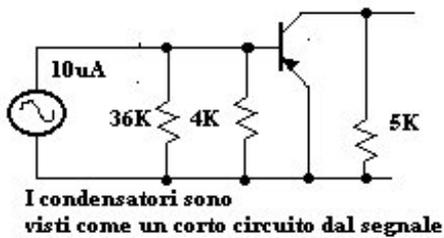


FIGURA 43

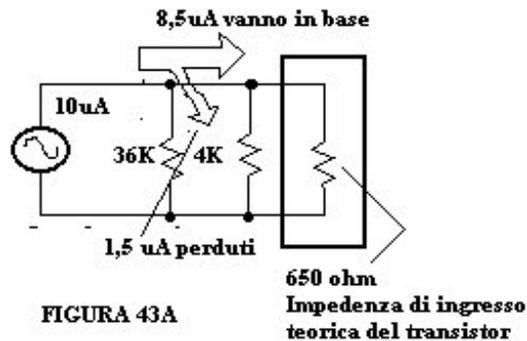


FIGURA 43A

A questo punto osserviamo che, se il nostro BC212 avesse un guadagno di 50 (hfe) avremo sul collettore una corrente amplificata data da :

$$I_c = \beta I_b = 50 \times 8,5 = 425 \mu A$$

$$\text{Tens. di Uscita} = 425 \times 5000 = 2,1V$$

Progetto didattico N° 2

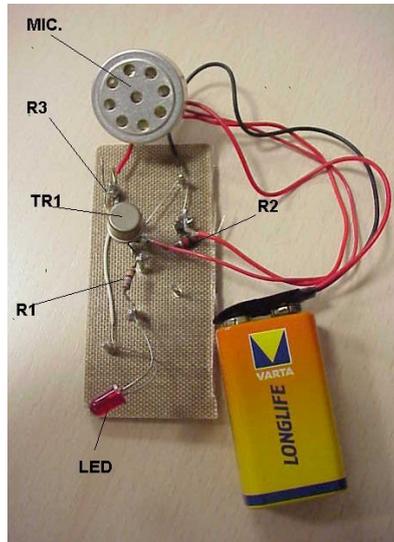
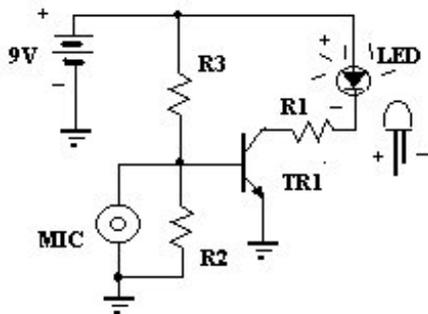
Costruzione elementare di un pre-amplificatore BF.

Per mettere semplicemente in pratica i concetti finora esposti, proviamo a "vedere" la nostra voce amplificata attraverso l'accensione di un led..

Si tratta di realizzare uno schemino con un solo transistor collegato ad emettitore comune il cui carico è un led .

Parlando nel microfono il led si illuminerà più intensamente poiché il segnale della nostra voce amplificata dal transistor e disponibile sul collettore transiterà nel diodo Led (passerà ovviamente solo la semionda negativa).

NOTA: Vista la poca amplificazione in gioco (un solo transistor) è opportuno parlare molto vicino al microfono oppure soffiarsi .In questo modo si potrà osservare il led illuminarsi più intensamente perché attraversato anche dalla corrente di segnale amplificata.



COMPONENTI

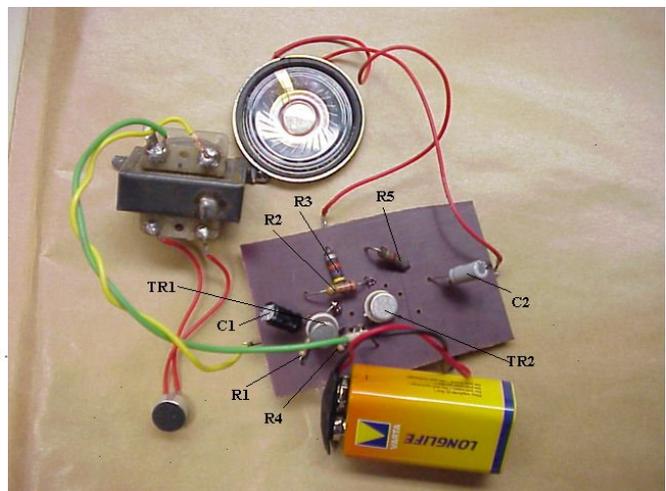
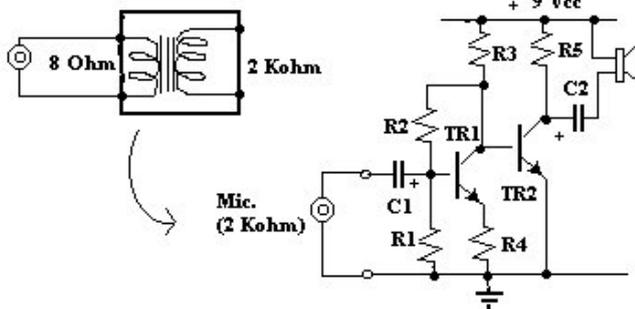
R1 = 680 ohm R2 = 1Kohm
R3=18Kohm TR1= 2N2219 (o 2N1711 o equiv)
MIC= Microfono piezo LED =Led rosso

Per realizzare il circuito pratico non è richiesta una particolare attrezzatura, è necessario procurarsi oltre i componenti, un supporto isolante in vetronite preforata oppure dei rivetti o torrette da circuito stampato da applicare su un supporto isolante qualunque.

Progetto Didattico N° 3

Costruzione di un preamplificatore microfonico con circuito finale BF

La costruzione di questo semplice circuito a due transistor si osserva la capacità del transistor di pilotare un piccolo Altoparlante (o auricolare) con il segnale amplificato del microfono.



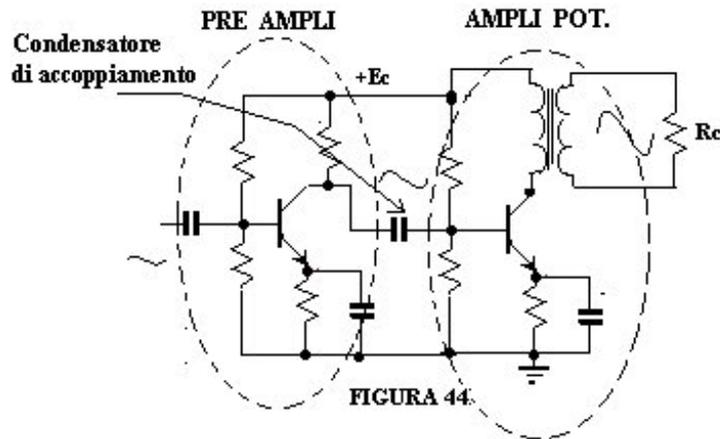
COMPONENTI

R1= 220 Kohm C1= 47uF /16V
R2= 27 Kohm C2= 10uF / 16V
R3= 47 Kohm TR1 = 2N1711 (o 2N2219 o equiv.)
R4= 47 Ohm TR2 = Idem a TR1
R5= 2,2 Kohm AP = Altop. 8 Ohm
Mic =Microfono Dinamico 2Kohm

NOTA: Si può usare un Microfono dinamico da 8 Ohm collegato ad un piccolo trasformatore di alimentazione (220V/12V) usato come adattatore di impedenza.

Il circuito si può allestire su una semplice basetta isolante .

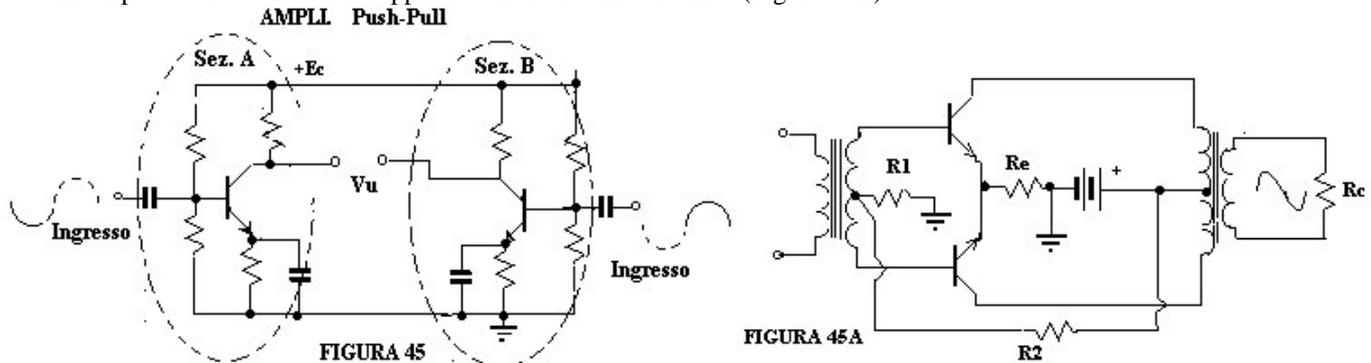
In genere l'esempio riportato nel circuito di figura 43 da solo non basta per soddisfare le applicazioni pratiche. Il concetto di amplificazione deve essere meglio definito distinguendo tra amplificatori di segnale ed amplificatori di potenza. Siccome la potenza del segnale dipende dalla tensione e dalla corrente, si comprende che per ottenere una certa potenza, occorre che uno di questi due parametri sia di ampiezza sufficientemente elevata. Generalmente gli amplificatori di potenza debbono essere "pilotati" cioè necessitano di un circuito pilota che fornisca in ingresso un segnale già parzialmente amplificato. I circuiti di pilotaggio degli amplificatori di potenza sono detti perciò preamplificatori. Uno schema tipico di un circuito di potenza con relativo circuito pilota, è quello di figura 44 e vale sempre per i segnali di bassa frequenza. Per la sua particolare configurazione, questo amplificatore viene catalogato del tipo a "resistenza e capacità".



In molti schemi elettrici di amplificatori a transistor è possibile trovare dei circuiti di potenza che non utilizzano un solo transistor ma due collegati come in Figura 45.

Questo perché il primario del trasformatore d'uscita è attraversato anche dalla corrente continua di batteria che può provocare la saturazione del nucleo magnetico. Si potrebbe evitare il tutto dimensionando il trasformatore in modo che esso lavori con un basso valore di induzione magnetica. Tuttavia si è trovato il modo di ovviare al problema collegando i due elementi attivi (transistor) in controfase (in inglese push-pull) collegati alla stessa batteria. Il segnale d'ingresso viene fatto amplificare per metà da una sezione e per metà dall'altra sezione dell'amplificatore in maniera da ottenere segnali tra loro ugualmente amplificati ma in opposizione di fase.

Nella pratica il circuito si compone anche di un trasformatore di carico con presa centrale onde ottenere il segnale ricomposto sul secondario ed applicato alla resistenza di carico (Figura 45A).



Gli amplificatori push-pull se pure impiegati con successo da vari costruttori radio, richiedeva come abbiamo visto l'impiego del trasformatore d'uscita.

La tendenza dei costruttori nel realizzare circuiti amplificatori a bassa frequenza era quella di eliminare dal progetto tutti i trasformatori, sia quello d'uscita che quelli di accoppiamento (anche per il loro costo e per il loro ingombro).

La realizzazione di amplificatori privi di trasformatore può avvenire in diversi modi di collegamento dei transistori che comunque vengono fatti lavorare in controfase. Nella Figura 46 c'è un esempio di questo tipo di realizzazione battezzato "simmetria complementare" poiché i due transistori, del tutto simili nelle caratteristiche (selezionati) ma uno è PNP l'altro NPN.

Come detto, il vantaggio di impiegare questo tipo di amplificatori è quello di sfruttare un solo transistor per amplificare solo metà periodo del segnale senza bisogno di trasformatore d'uscita.

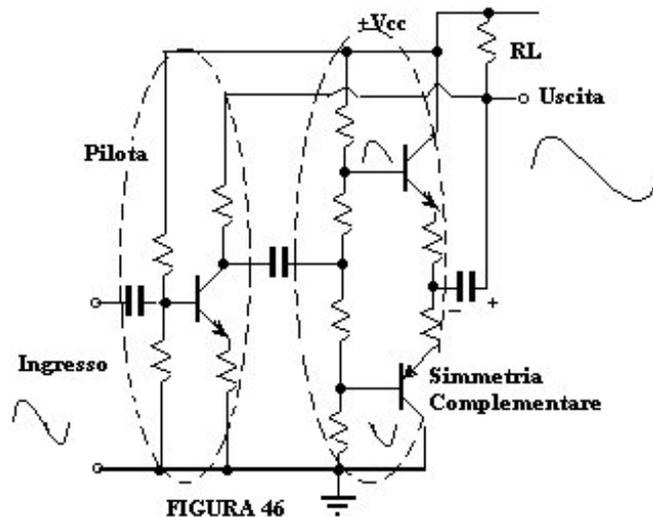


FIGURA 46

Abbiamo osservato finora il comportamento di un transistor alle basse frequenze, ma alle **alte frequenze**, le capacità parassite (capacità tra le giunzioni) cominciano a presentare una reattanza non più elevata ed il loro effetto si è più trascurabile.

La curva di risposta del transistor varia quindi rispetto alle frequenze più basse nel senso che i parametri di amplificazione, superato un certo limite decadono sensibilmente. Questo limite viene generalmente definito come **Frequenza di taglio** del transistor.

Nella Figura 47 viene dato un esempio di come potrebbe essere la curva di risposta di un amplificatore ad uno stadio in funzione della frequenza del segnale da amplificare.

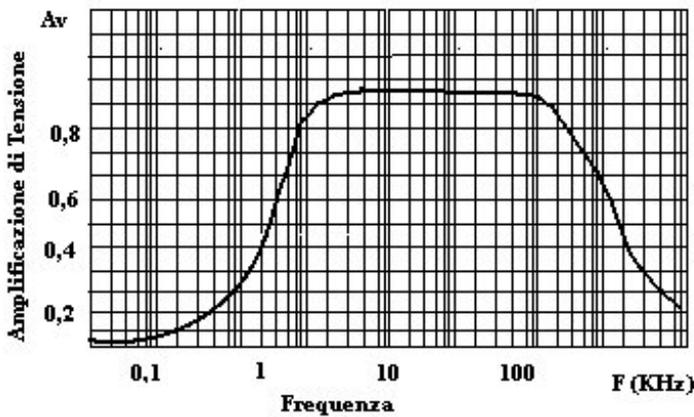


FIGURA 47

Gli amplificatori a resistenza e capacità come quello visto prima (Figura 44) ha la particolarità di avere una larga banda passante, infatti i segnali di frequenza 0,1KHz fino a molte decine di KHz vengono amplificati quasi linearmente.

A volte però, specialmente nel campo delle alte frequenze, è necessario che i segnali da amplificare siano solo quelli compresi in una certa banda di frequenza (Banda Passante "B") escludendo dall'amplificazione tutti quelli fuori da quella banda. Gli amplificatori di questo tipo vengono detti **Selettivi**.

In genere gli amplificatori selettivi sono amplificatori di tensione.

Parlando di selettività bisogna definire il campo entro cui si intende far lavorare il frequenza l'amplificatore, questo campo si individua mediante due frequenze f_1 e f_2 (freq. di taglio inferiore e superiore) $B = f_2 - f_1$ (Figura 48)

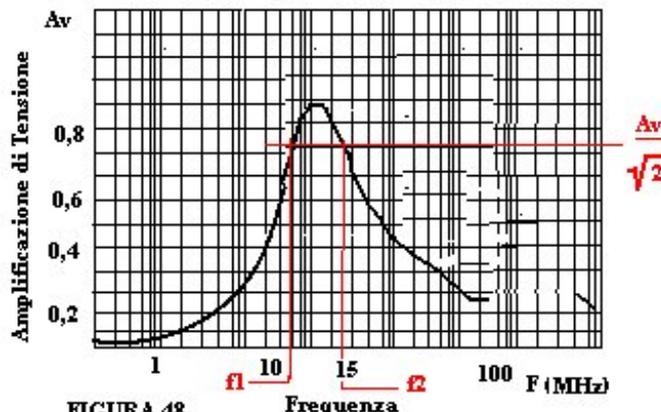


FIGURA 48

Per ottenere una simile prestazione gli amplificatori selettivi debbono necessariamente avere un circuito risonante parallelo come impedenza di carico (Figura 49)

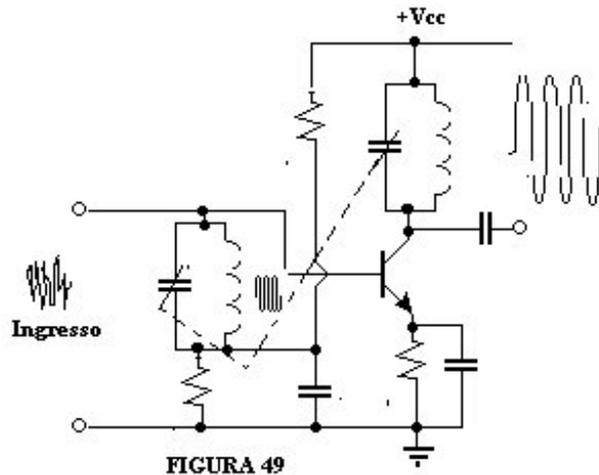


FIGURA 49

Gli oscillatori a sfasamento (RC) ed a circuito accordato (LC).

Abbiamo visto in modo molto elementare che il transistor può amplificare un segnale periodico sia di bassa che di alta frequenza, ma osserviamo ora cosa accadrebbe se una parte di segnale amplificato viene riportata in ingresso. L'effetto che si può avere da questa "forzatura" a reagire potrebbe essere di due tipi, interferire con il segnale amplificato (reazione negativa) oppure esaltare il segnale amplificato (reazione positiva).

Quest'ultima reazione è quella viene di solito sfruttata per far lavorare il transistor come **oscillatore**.

Il circuito di Figura 50 è un esempio di un oscillatore a bassa frequenza (audio) che viene detto a **sfasamento** perché ottenuto grazie ad una rete RC (in questo esempio le celle sono 3 ma può essere fatto anche da una sola cella).

Il valore delle resistenze e dei condensatori della rete determina la frequenza dell'oscillatore, diciamo meglio che determina la frequenza per cui lo sfasamento della rete RC è di un certo valore (es: 90°, 180°, ecc).

Ogni cella Cx Rx determina uno sfasamento del segnale (di reazione) inferiore a 90°, quindi in pratica per uno sfasamento di 180° si ricorre a tre celle RC in genere di identico valore.

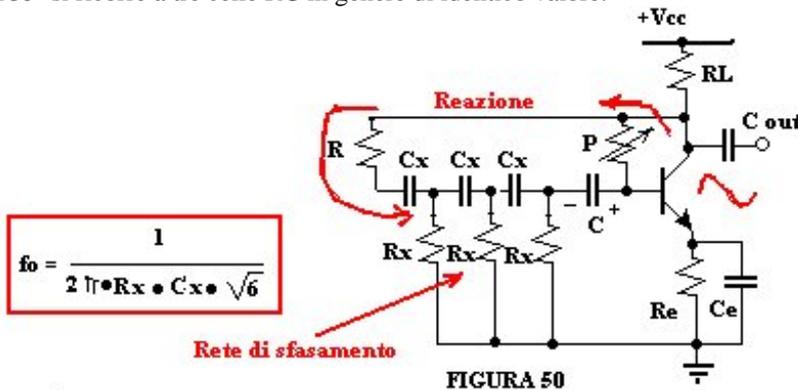


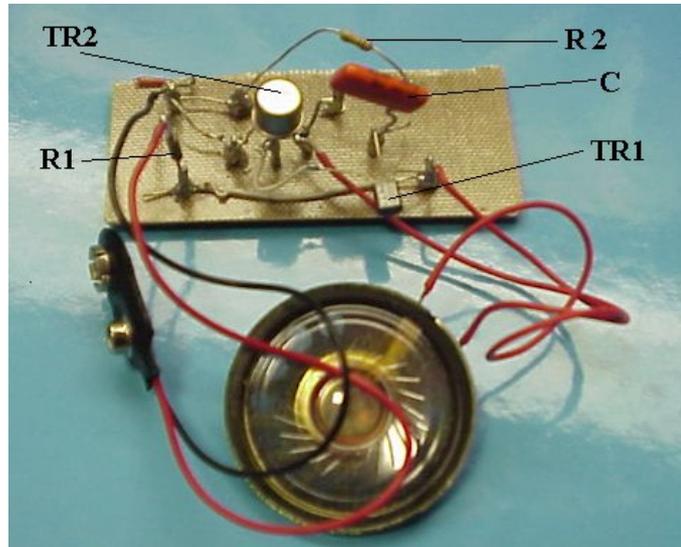
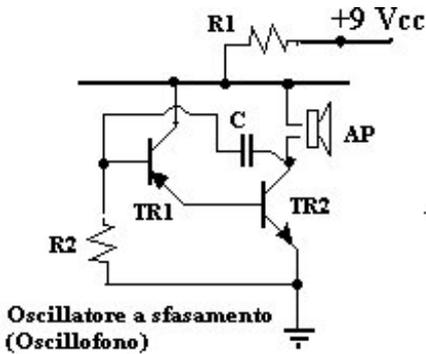
FIGURA 50

NOTA: Nella formula di calcolo, la frequenza fo è in Hz, Rx in Ohm e Cx in Farad.

Progetto Didattico N° 4

Costruzione di un oscillofono (Oscill. a sfasamento)

Il circuito presentato di seguito mette in evidenza l'azione della rete di sfasamento C-R2 sul transistor TR1. Inizialmente il TR2 è aperto e C attraverso la bobina dell'altoparlante ed R2 si carica portando gradualmente TR1 in conduzione. Qui il TR2 viene polarizzato positivamente da TR1 e quindi condurrà verso massa scaricando il condensatore. L'oscillatore produrrà una nota acustica data dai valori di R2 e C.



COMPONENTI

R1= 100 Ohm

R2= 150K Ohm

C= 47 nF

AP= Altop. o auricolare 8 Ohm

TR1 = BC212 (o BC327 o equiv.) PNP

TR2 = 2N1711 (o 2N2219 o equiv.) NPN

Basetta millefori in vetronite o supporto isolante

Sebbene gli oscillatori di questo tipo siano di facile realizzazione, in radiotecnica non possono essere usati a causa della instabilità alle frequenze alte, perciò, per l'impiego degli oscillatori in questo settore fanno ricorso a circuiti accordati di tipo LC anziché RC.

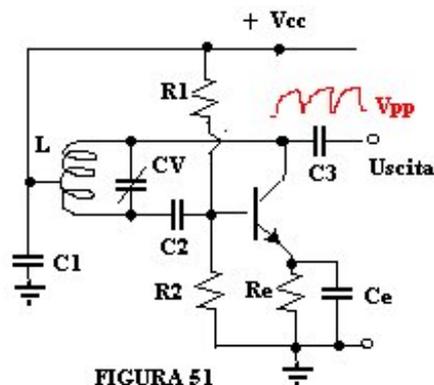
In materia di oscillatori RF ci sarebbe molto da dire in quanto sono molte le configurazioni sviluppate dai vari inventori (Hartley, Colpitts, ecc), qui ci limitiamo a dare alcune informazioni di principio su come lavora il transistor sotto l'azione di un circuito LC impiegato come carico.

Vi sono alcuni accorgimenti fondamentali che occorre rispettare per ottenere un buon funzionamento del sistema:

- Scegliere un transistor che abbia una frequenza di tagli maggiore della frequenza di lavoro a cui è sottoposto.
- Scegliere transistor con guadagno molto alto.
- Considerare che alle alte frequenze entrano in gioco le capacità parassite proprie del transistor ed esterne ad esso (collegamenti del circuito)

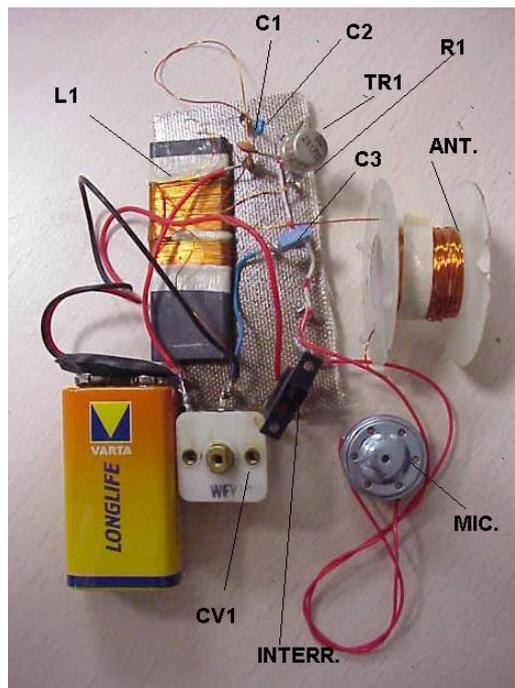
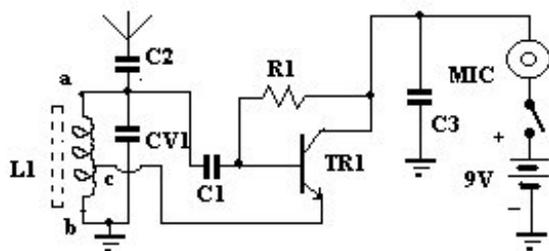
La Figura 51 raffigura un oscillatore VFO (Variable Frequency Oscillator) dovuto al fatto che il CV dà la possibilità al circuito di poter ottenere in uscita un segnale a frequenza variabile.

Il circuito LC è dato dal C1 ed L.



Progetto didattico N° 5

Costruzione di un oscillatore- trasmettitore elementare in OM con ascolto su un comune ricevitore AM (Portata di 1-2mt)



COMPONENTI

L1 =60 spire (filo smaltato mm 0,25) con presa centrale alla 20° spira / usare supporto di ferrite piatta 50 x 13 x 5 mm
CV1 = Variabile 350pF R1= 100kOhms
C2= 10-15 pF MIC= Microfono dinamico 500 Ohms
C1= 1000pF TR1= 2N1711 (2N2219 o eq.) / La freq. di taglio di questo transistor è circa 1MHz
C3=68KpF ANT.= 2-3 mt di filo smaltato avvolto su un rocchetto.

Per comprendere il funzionamento di questo elementare circuito, con le informazioni acquisite fin qui, partiamo dall'alimentazione del transistor.

Modulando con la voce (BF) la polarizzazione di base, il transistor modulerà in BF il circuito risonante costituito da L1 e CV1 sulla frequenza portante di 400-800KHz.

La portata di questo micro trasmettitore è di pochi metri e la modulazione (voce) si può ascoltare con una radio in AM. Data la semplicità del circuito e la non peculiarità dei suoi componenti, si può facilmente realizzare il progetto con poca spesa.

In mancanza del microfono dinamico da 500 ohms, si può usare in alternativa una sezione di una cuffia .

Per la costruzione della L1, basta attenersi alle indicazione fornite nel disegno con l'accortezza di prelevare la presa intermedia alla 20° spira lato massa.

Gli amplificatori selettivi ed il rivelatore in AM.

Nelle Figure 48 e 49 è stato accennato alla necessità di realizzare amplificatori selettivi nei circuiti radioelettrici e si è visto come poter realizzare un simile sistema impiegando un transistor che avesse come carico un circuito risonante parallelo. Nella realtà però non basta fare uso di solo circuito accordato per ottenere una buona selettività, bisogna perciò realizzare più stadi di amplificazione.

La difficoltà che si incontra utilizzando il transistor in questo tipo di applicazione è dovuta al tipo di accoppiamento e non è possibile pensare al tipo di accoppiamento RC come nel caso dei tubi poiché la caratteristica intrinseca del transistor fa sì che un accoppiamento RC tra stadi di amplificazione ridurrebbe notevolmente il fattore di merito "Q" e quindi la selettività stessa del circuito.

L'accoppiamento fra stadi non potrà essere quindi che induttivo per non alterare il suddetto "Q".

Nella pratica, gli amplificatori a frequenza intermedia FI usati nei ricevitori in supeterodina sono accoppiati per mezzo di filtri passa-banda dai quali dipende in gran parte la bontà dell'apparecchio ricevitore.

In figura 52 è riportato un circuito tipico di accoppiamento fra stadi di un amplificatore selettivo in cui l'accoppiamento è effettuato tramite il filtro passa-banda L1-C1 e L2-C2.

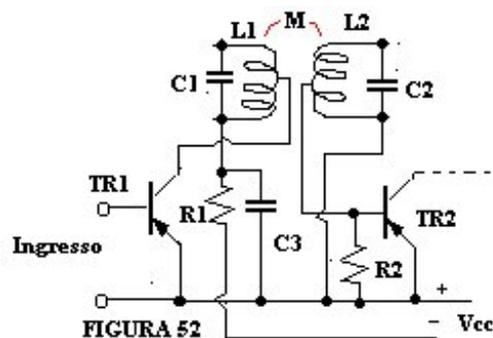


FIGURA 52

Il segnale a radiofrequenza o frequenza intermedia modulato in AM viene rivelato dal transistor similmente come accade per i tubi, cioè mediante un diodo rettificatore e da una rete RC con la differenza che l'impedenza di ingresso del transistor è molto bassa come sappiamo in confronto ai tubi.

Vedendo la Figura 53 il C2, che è di capacità piuttosto grande, viene caricato fino al valore di picco del segnale RF. Per aggirare l'ostacolo, viene di solito applicata in ingresso al transistor una resistenza di alto valore.

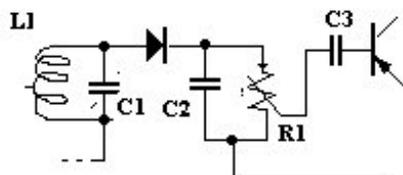


FIGURA 53

Progetto Didattico N° 6

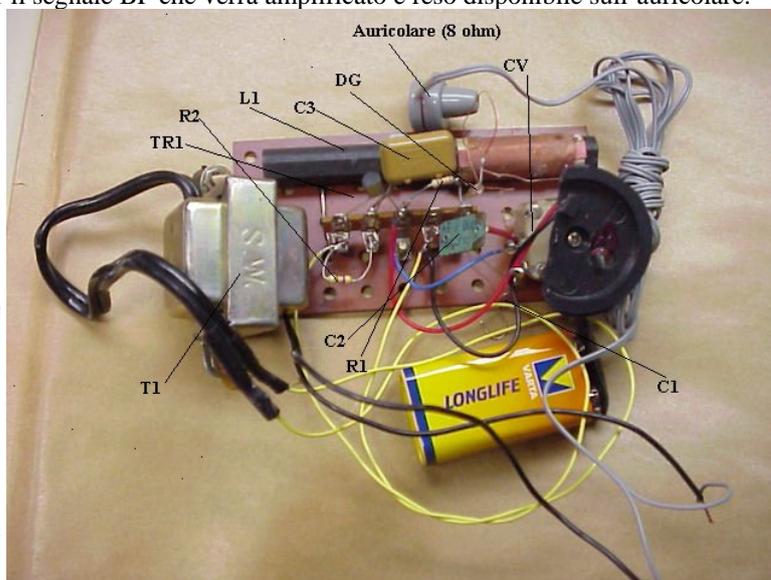
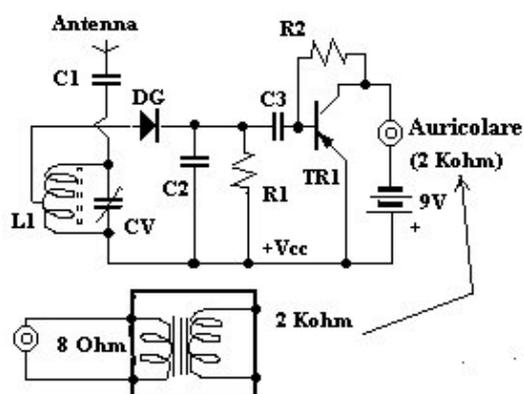
Costruzione di un semplice ricevitore in AM

Questo semplice circuito è adatto ai principianti che si avvicinano per la prima volta al transistor.

Il segnale ricevuto in antenna viene fatto risonare dal circuito L1-CV onde ottenere la massima ampiezza.

Il diodo al germanio DG permetterà il passaggio della sola componente positiva del segnale che poi si presenterà ai capi della rete C2-R1 (rivelazione BF).

Il C3 farà transitare sulla base polarizzata del TR1 il segnale BF che verrà amplificato e reso disponibile sull'auricolare.



NOTA: Se non è reperibile un auricolare di 2 Kohm, se ne può impiegare uno da 8 ohm "adattato" con un piccolo trasformatore di alimentazione(220V/12V) usato come adattatore di impedenza.

L'antenna può essere costituita da 2-3 mt di filo in aria.

COMPONENTI

C1= 10 pF

CV= 350 pF (Variabile)

C2=100 pF

C3= 0,1 uF

DG=OA90 (o equiv. al germanio) L1= 70 spire di filo smaltato 0,25 mm bacchetta di ferrite da 8 mm / la presa centrale alla 20° spira lato positivo batteria.

R1= 100 Kohm

R2= 470 Kohm

TR1= 2N2905 (o altro equiv.)