

Schemi e caratteristiche dei principali amplificatori a BJT

Sommario argomenti trattati

Schemi e caratteristiche dei principali amplificatori a BJT	1
Amplificatore emettitore comune o EC	1
Amplificatore base comune o BC	2
Amplificatore collettore comune o CC	3
Amplificatore a doppio carico	4
Amplificatore differenziale a singolo BJT	5
Amplificatore differenziale ad accoppiamento d'emettitore	6
Funzionamento statico	6
Amplificatori a più BJT (multistadio)	7
Amplificatori integrati	7

In questo capitolo vogliamo riportare una panoramica delle principali configurazioni amplificatrici utilizzando BJT, con indicate le principali caratteristiche e le possibili applicazioni.

Amplificatore emettitore comune o EC

Viene così chiamato in quanto, per le frequenze di interesse, l'emettitore si trova collegato a massa, ossia a potenziale comune, per effetto della capacità di bypass C_E , lo schema è il seguente:

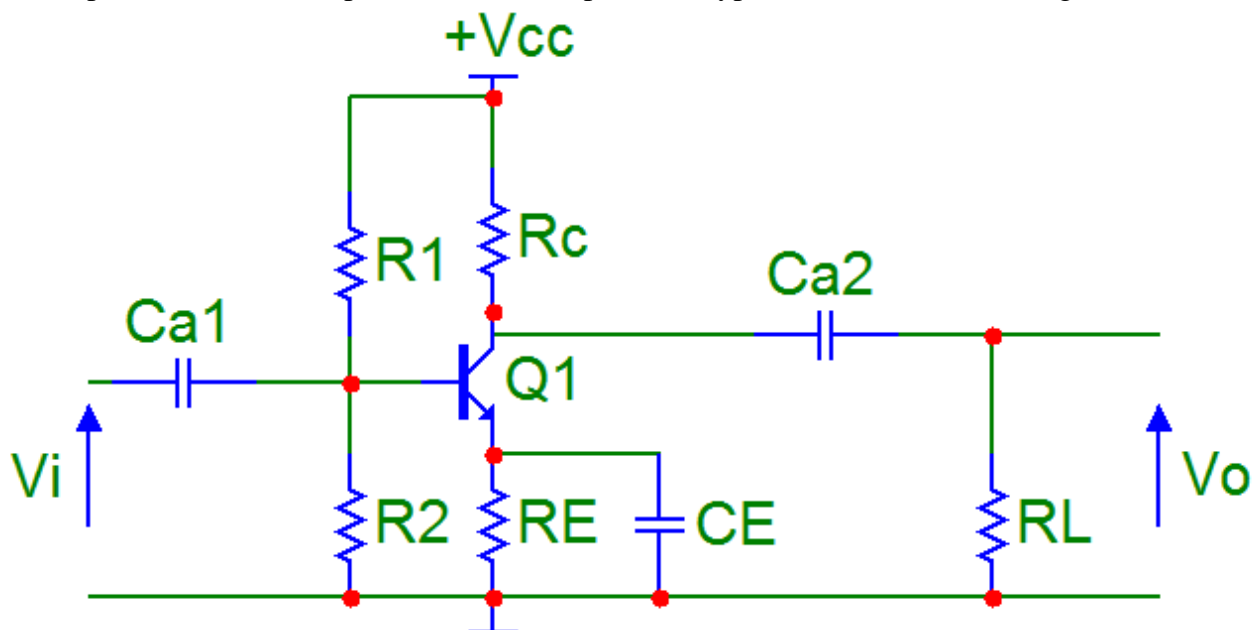


Fig. 1 Amplificatore emettitore comune

A_v : elevato invertente (circa 100-1000)

A_i : elevato (circa h_{fe} ossia 50-500)

R_i : media (k Ω)

R_o : media (k Ω)

L'amplificatore emettitore comune è l'amplificatore che realizza il miglior compromesso fra le varie configurazioni amplificatrici ad un BJT, viene perciò molto utilizzato per amplificatori di tensione per audiofrequenze e radiofrequenze.

Amplificatore base comune o BC

Viene così chiamato in quanto, per le frequenze di interesse, la base si trova collegata a massa, ossia a potenziale comune, per effetto della capacità di bypass C_B , lo schema è il seguente:

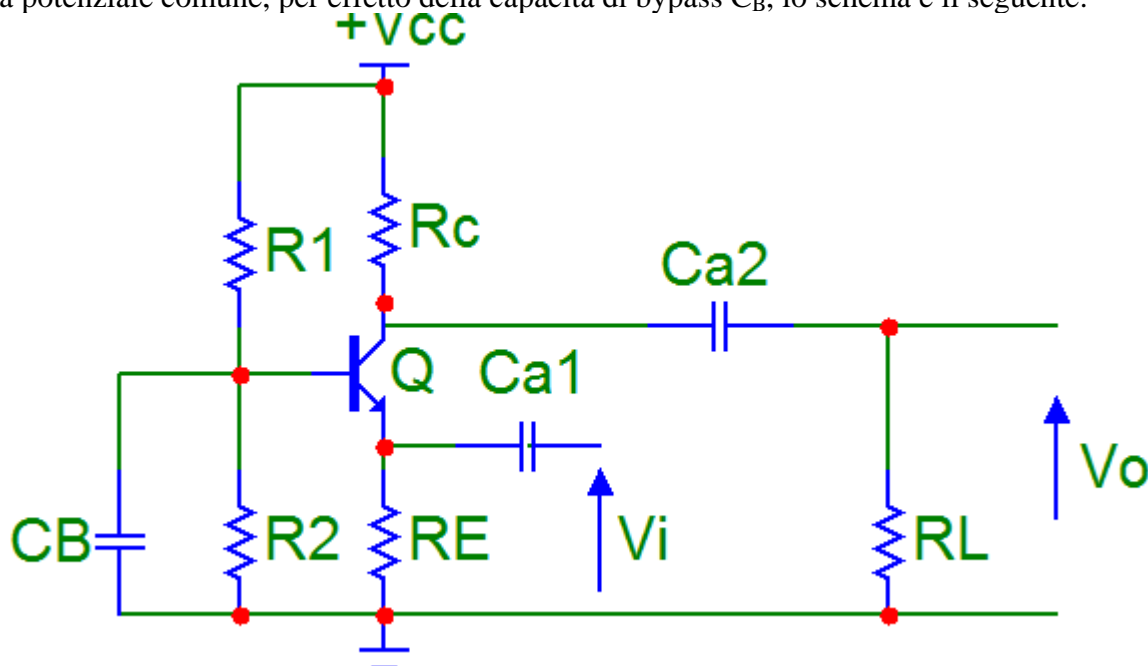


Fig. 2 Amplificatore base comune

A_v : elevato non invertente (circa 100-1000), in pratica è dello stesso ordine di grandezza del EC

A_i : minore di 1 (normalmente molto vicino a 1)

R_i : piccola (10-100 Ω)

R_o : elevata (100k Ω -1M Ω)

L'amplificatore BC è usato per:

1. Amplificatori di tensione non invertenti, anche se come amplificatore di tensione ha qualche problema in quanto non soddisfa in modo adeguato le condizioni di massimo trasferimento di tensione.
2. Amplificatori per alte frequenze (radio, tv e telecomunicazioni in generale) dove la resistenza d'ingresso bassa è richiesta per motivi di adattamento di impedenza, e anche perché fra tutti gli amplificatori a BJT è quello che garantisce la banda passante più ampia.
3. Generatori di corrente.
4. Amplificatori di corrente, in quanto nonostante il guadagno sia unitario, soddisfa appieno le condizioni di massimo trasferimento di corrente sia in ingresso che in uscita.

Amplificatore collettore comune o CC

Viene così chiamato in quanto, per le frequenze di interesse, il collettore si trova collegata a massa, ossia a potenziale comune, per effetto della capacità di bypass C_C , lo schema è il seguente:

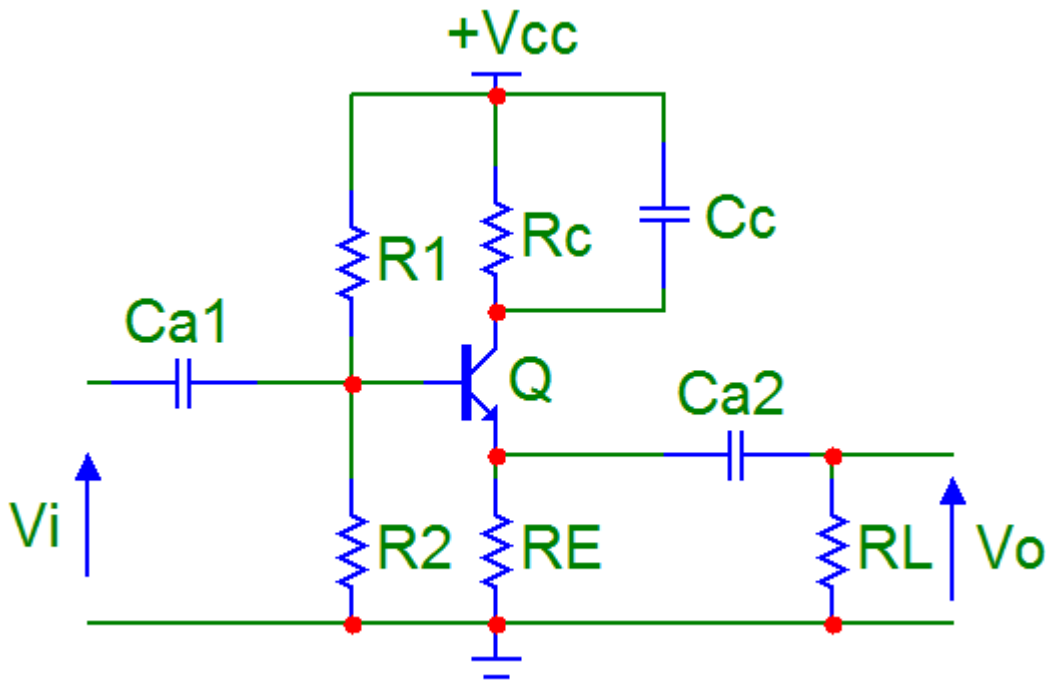


Fig. 3 Amplificatore collettore comune (versione poco usata)

Molto spesso, considerato che $+V_{CC}$ dal punto di vista dinamico è zero e quindi coincide con la massa, considerato che la R_C non risulta necessaria né per limitare la I_C e neppure per stabilizzare il punto di lavoro (ad entrambe le cose ci pensa R_E), si collega direttamente il collettore a $+V_{CC}$, risparmiando un resistore ed un condensatore.

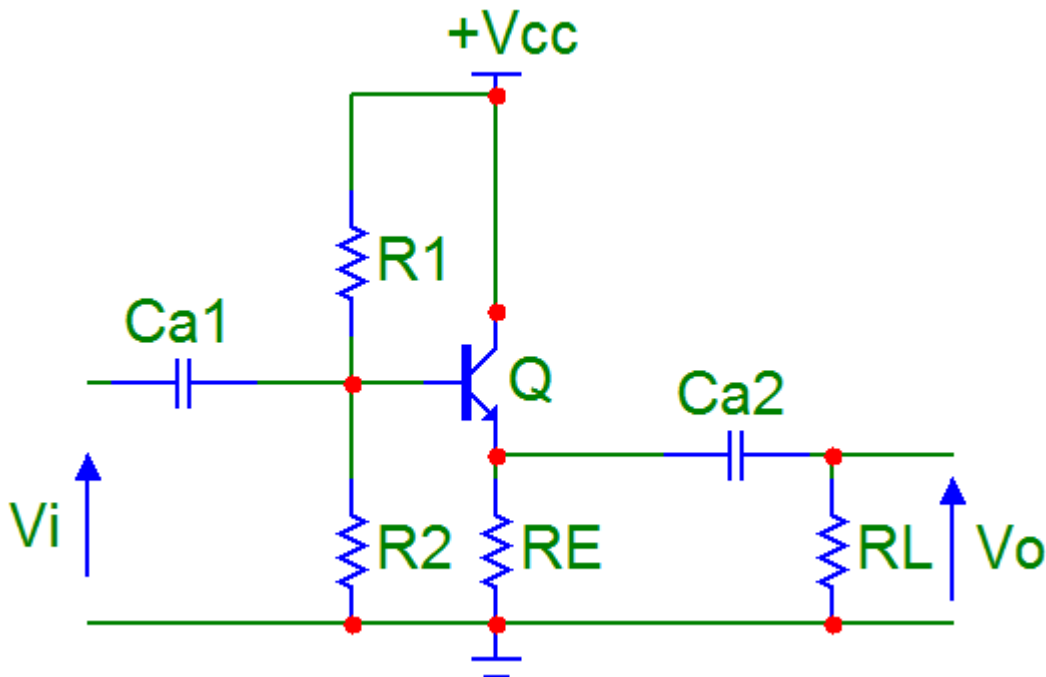


Fig. 4 Amplificatore collettore comune (versione più utilizzata)

A_v : minore di 1 (normalmente molto vicino a 1)

A_i : elevato (circa $h_{fe}+1$ ossia 50-500)

R_i : elevata (10-100 k Ω)

R_o : piccola (10-100 Ω)

L'amplificatore CC è anche chiamato **inseguitore di tensione** (*voltage follower*) o **inseguitore di emettitore** (*emitter follower*) in quanto osservando con un oscilloscopio contemporaneamente sia v_o che v_i , sembra che v_o inseguia v_i .

L'amplificatore CC è usato per:

1. Adattatore di impedenza (per garantire il massimo trasferimento di tensione).
2. Negli amplificatori di potenza per ottenere elevata corrente in uscita.

Amplificatore a doppio carico

Viene così chiamato in quanto, è presente una resistenza di carico sia sul collettore che sull'emettitore, pertanto l'amplificatore può disporre di due uscite, lo schema è il seguente:

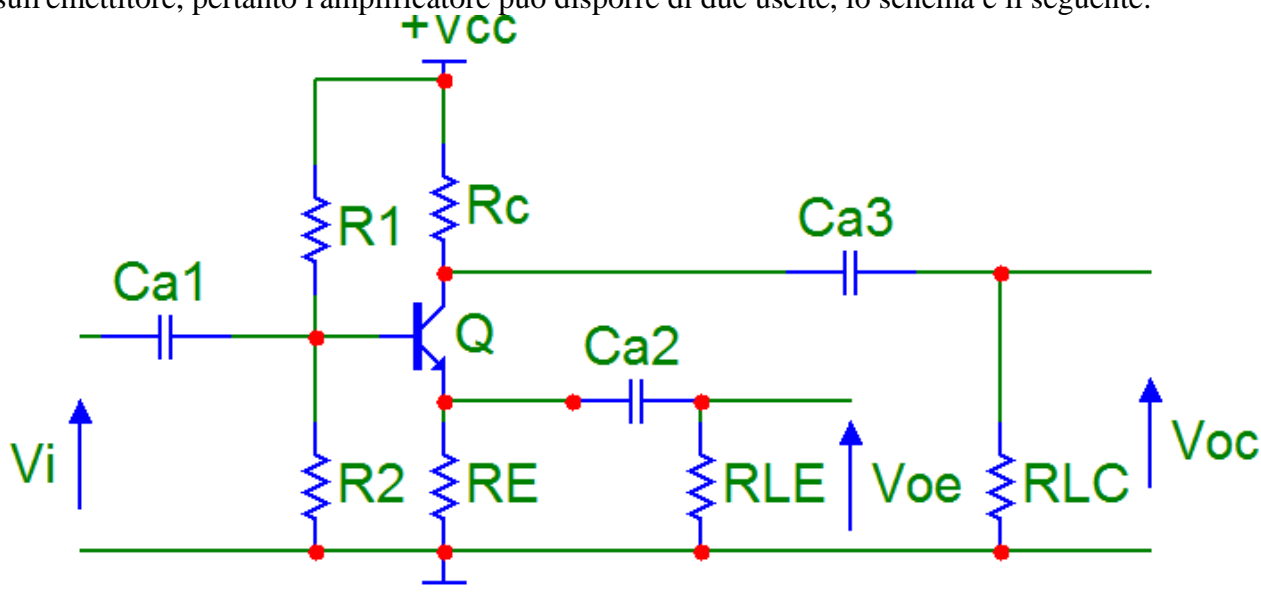


Fig. 5 Amplificatore doppio carico

R_i : elevata (10-100 k Ω) praticamente uguale a quella del CC

Uscita di emettitore:

Il comportamento è praticamente uguale a quello di un CC

A_v : minore di 1 (normalmente molto vicino a 1)

A_i : elevato (circa $h_{fe}+1$ ossia 50-500)

R_o : piccola (10-100 Ω)

Uscita di collettore:

A_v : medio invertente (10-100)

A_i : elevato (circa h_{fe} ossia 50-500)

R_o : elevata (100k Ω -1M Ω)

In particolare il guadagno sull'uscita di collettore risulta in prima approssimazione dato dal seguente rapporto:

$$A_v \cong -\frac{R_{PC}}{R_{PE}} \text{ dove } R_{PC} \text{ é la resistenza complessiva presente sul collettore e } R_{PE} \text{ é la resistenza}$$

complessiva presente sull'emettitore, entrambe valutate nel circuito dinamico.

Questo risultato è di notevole importanza, in quanto ci dice che il guadagno dell'amplificatore è indipendente dal BJT (nelle relazioni non appare nessuno parametro del BJT, quale h_{fe} , etc..) e si può definire facilmente scegliendo opportunamente i valori resistivi. Di conseguenza il progetto risulta notevolmente semplificato ed il comportamento dell'intero amplificatore molto simile da circuito a circuito, mancando l'influenza del componente con maggiori tolleranze di fabbricazione: il BJT.

Utilizzi dell'amplificatore doppio carico:

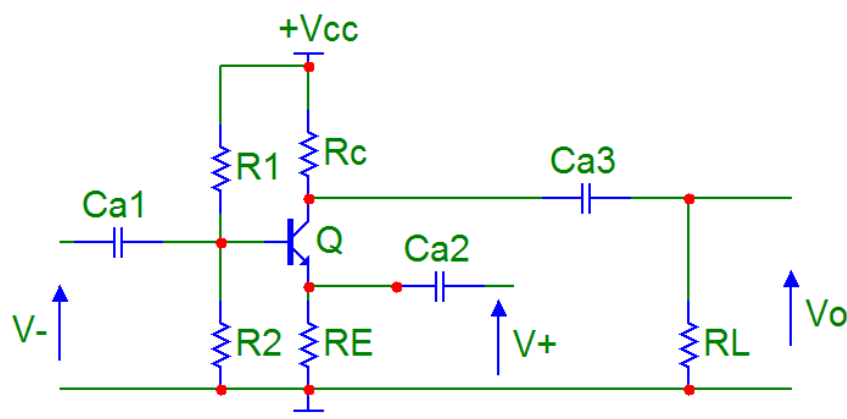
1. Adattatore di impedenza (per garantire il massimo trasferimento di tensione).
2. Negli amplificatori di potenza per ottenere elevata corrente in uscita.
3. Negli amplificatori di potenza come phase splitter.

Ricordo che il phase splitter è un circuito che, a partire da un segnale fornito in ingresso, produce in uscita due segnali di uguale ampiezza ed in opposizione di fase.

Il phase splitter si può ottenere da un doppio carico ponendo $R_{PC} = R_{PE}$ ed utilizzando entrambe le uscite disponibili.

Amplificatore differenziale a singolo BJT

L'amplificatore differenziale è un circuito che fornisce in uscita una tensione proporzionale alla



differenza delle due tensioni applicate in ingresso. La versione più semplice fa uso di un solo transistor con segnale d'ingresso sia sulla base che sull'emettitore (vedi Fig. 6). Dimostriamo che si tratta di un differenziale, perciò determiniamo la tensione di uscita considerando presente una tensione d'ingresso alla volta.

Fig. 6 - Amplificatore differenziale a singolo BJT

Con riferimento all'ingresso v_+ , ($v_-=0$), l'amplificatore diventa un normale base comune (la base è a massa tramite C_{a1}), per cui la tensione di uscita risulterà in fase con quella d'ingresso ed amplificata:

$$v_o' = A_1 v_+$$

Con riferimento all'ingresso v_- , ($v_+=0$), l'amplificatore diventa un normale emettitore comune (l'emettitore è a massa tramite C_{a2}), per cui la tensione di uscita risulterà in opposizione di fase con quella d'ingresso ed amplificata:

$$v_o'' = -A_2 v_-$$

La tensione di uscita in presenza di entrambi gli ingressi diventa:

$$v_o = v_o' + v_o'' = A_1 v_+ - A_2 v_-$$

se i due guadagni sono uguali, come all'incirca è, si ottiene la classica espressione della v_o di un amplificatore differenziale.

$$\text{Eq. 1 } v_o = A_d (v_+ - v_-) \quad \text{se } A_1 \approx A_2$$

La configurazione ad un solo transistor non si avvicina molto alla comportamento ideale, in quanto l'uguaglianza dei due guadagni si ha solo approssimativamente, inoltre le resistenze d'ingresso

viste dall'ingresso di emettitore e di base sono notevolmente diverse (la prima è piccola e la seconda è media), cosicché l'effetto di carico sui due generatori d'ingresso non è lo stesso e ciò può influenzare notevolmente la validità dell'eq. 1.

Allo scopo di avvicinarsi ancora di più al differenziale ideale, si è passati ad una configurazione a due transistori.

Amplificatore differenziale ad accoppiamento d'emettitore

La configurazione circuitale che costituisce la base di ogni stadio d'ingresso degli attuali amplificatori operazionali integrati è costituita dall'*amplificatore differenziale ad accoppiamento di emettitore* o semplicemente amplificatore differenziale, il cui schema è riportato in Fig. 7.

La prima cosa che si può notare è l'assenza di capacità di accoppiamento e di by-pass, pertanto l'amplificatore è del tipo ad accoppiamento diretto o in continua, in grado perciò di amplificare anche tensioni continue. Si noti che l'assenza di capacità è molto importante nel mondo dei circuiti integrati, in quanto la loro realizzazione è estremamente onerosa, in termini di spazio occupato sul chip, inoltre non risultano realizzabili capacità molto elevate con le immaginabili conseguenze sulla frequenza di taglio inferiore ottenibile.

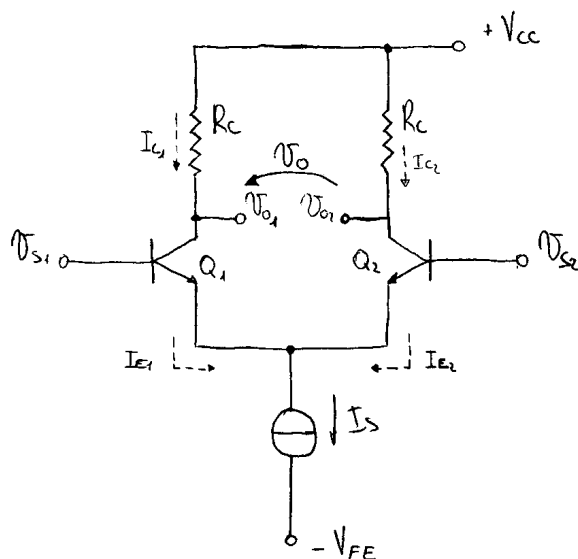


Fig. 7 Amplificatore differenziale ad accoppiamento di emettitore

capire appieno la natura di due importanti parametri di un op-amp reale: la tensione di offset in uscita e le correnti di polarizzazione.

Le correnti di polarizzazione sono dunque le correnti continue di base necessarie per la polarizzazione in regione attiva dei BJT di ingresso, mentre la tensione di offset in uscita è la tensione continua in uscita che si manifesta se non risulta $V_{CC} = R_C I_C$, a causa delle inevitabili tolleranze di costruzione.

L'amplificatore presenta due ingressi, v_{s1} e v_{s2} , due uscite riferite alla massa v_{o1} e v_{o2} (*uscite sbilanciate*) ed una uscita v_o non riferita alla massa (*uscita bilanciata*).

Funzionamento statico

Ponendo $v_{s1} = v_{s2} = 0$, nell'ipotesi di BJT perfettamente identici, si avrà $I_{B1} = I_{B2} = I_B$, $I_{C1} = I_{C2} = I_C$, $I_{E1} = I_{E2} = I_{EQ} = I_S/2$

La tensione di uscita è fornita da:

$$\text{Eq. 2} \quad V_O = V_{CC} - R_C I_C$$

Per cui se si desidera avere uscita in continua uguale a zero (come in un op-amp ideale) si deve porre la caduta su R_C uguale alla tensione di alimentazione V_{CC} .

Si osservi come questa semplice analisi ci faccia capire appieno la natura di due importanti parametri di un op-amp reale: la tensione di offset in uscita e le correnti di polarizzazione.

Le correnti di polarizzazione sono dunque le correnti continue di base necessarie per la polarizzazione in regione attiva dei BJT di ingresso, mentre la tensione di offset in uscita è la tensione continua in uscita che si manifesta se non risulta $V_{CC} = R_C I_C$, a causa delle inevitabili tolleranze di costruzione.

Amplificatori a più BJT (multistadio)

Ciascuna configurazione amplificatrice a singolo BJT presenta alcuni limiti (guadagno insufficiente, resistenza troppo piccola, etc.), allora per ottenere un amplificatore che sommasse le caratteristiche desiderate si ricorre al collegamento in cascata di più stadi amplificatori.

Esempio: vogliamo ottenere un amplificatore di tensione ad alto guadagno non invertente, che soddisfi alle condizioni di massimo trasferimento di tensione in ingresso ed uscita.

Posso utilizzare un CC (alta resistenza d'ingresso), seguito da un BC (alto guadagno non invertente) ed infine da un CC (resistenza di uscita piccola).

Amplificatori integrati

Con lo sviluppo della tecnologia dei circuiti integrati si è posto il problema di realizzare anche tali amplificatori in forma integrata, purtroppo questi così come li abbiamo visti sono risultati poco adatti ad essere integrati principalmente per la presenza di numerosi condensatori.

Infatti, i condensatori, così come gli induttori, sono difficili da fare in forma integrata in quanto:

1. Occupano molto spazio sulla fetta di silicio;
2. Si riescono ad ottenere solo capacità piccole (dell'ordine dei nF);
3. Sono molto scarsi ossia presentano effetti indesiderati molto forti (bassa resistenza dell'isolante, forte dipendenza dalle condizioni ambientali, etc..).

Per questi motivi i progettisti hanno cercato di sviluppare amplificatori privi di capacità o almeno con il minor numero possibile da collegare al circuito integrato dall'esterno.

Eliminate le capacità di accoppiamento si pone il problema di impedire alla continua di arrivare all'ingresso e all'uscita, una soluzione comunemente adottata è quella di ricorrere ad una alimentazione duale (con aumento dei costi del circuito).