

Distorsione negli stadi CE e CER

In Fig.1A è riportato lo schema di uno stadio common emitter (CE) con una rete di polarizzazione che mantiene la tensione al collettore pari a $V_{cc}/2$ (10V) ed una I_{cq} pari a 1mA. In Fig.1B è mostrato uno stadio CE con resistenza di emettitore (CER) con un circuito di polarizzazione analogo a precedente. Lo stadio CER risulta polarizzato con la stessa I_{cq} del primo ma con una V_{ceq} leggermente inferiore (9V). Con formule approssimate si può stimare un guadagno (ai piccoli segnali) per lo stadio CE pari a circa 400, mentre per lo stadio CER pari a 10. La presenza di R_e (R_9) provoca una retroazione intesa a linearizzare il comportamento dello stadio CE.

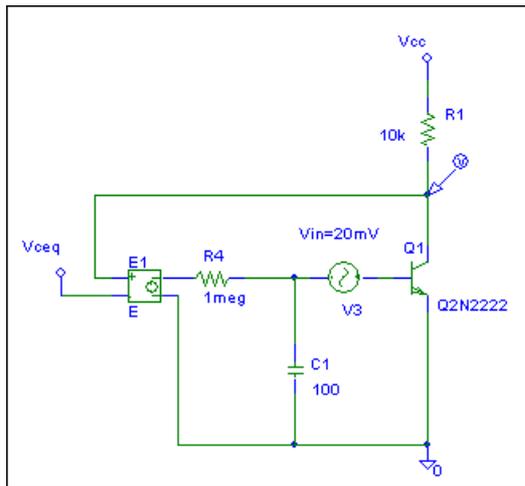


Fig.1A - Stadio CE

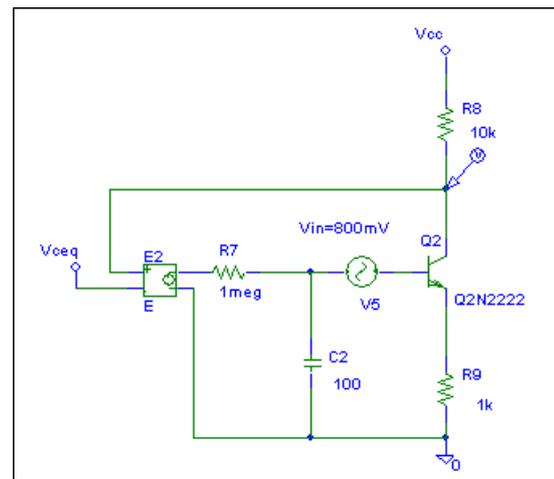


Fig.1B - Stadio CER

In Fig.2 sono riportati gli andamenti delle tensioni di uscita dei due stadi. Per avere le ampiezze delle due tensioni di uscita confrontabili fra loro, noti i guadagni stimati, lo stadio CE ha un segnale di ingresso di 20 mV mentre lo stadio CER ha un segnale di ingresso di 800 mV. La tensione di uscita al collettore dello stadio CE (Fig.2A) presenta una distorsione dovuta alla modulazione di g_m con il segnale stesso. La tensione di uscita al collettore dello stadio CER (Fig.2B) si presenta meno distorta. Nello stadio CE, per tensione di uscita massima la corrente di collettore è minima ed anche il corrispondente valore di g_m e quindi si nota la riduzione di guadagno in termini di compressione del segnale. Per tensione di uscita minima la corrente di collettore è massima ed anche il valore di g_m . Si nota infatti una tendenza ad un valore maggiore del guadagno.

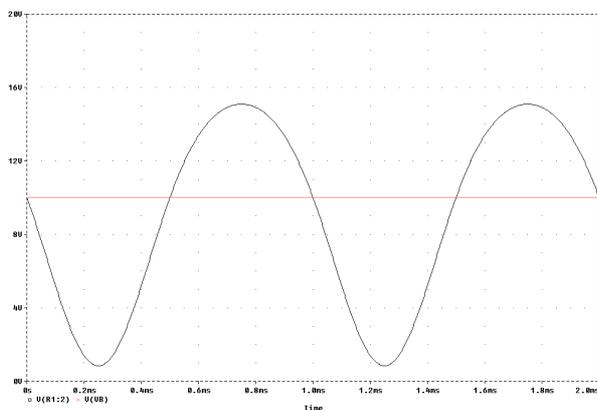


Fig.2A - Tensione di uscita stadio CE

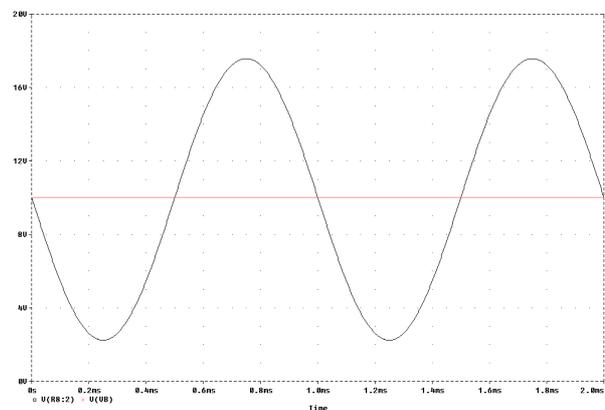


Fig.2B - Tensione di uscita stadio CER

Osservando la tensione di ingresso (V_{be}) dei due stadi (Fig.3) si osserva che per lo stadio CE la tensione è, ovviamente, sinusoidale, mentre per lo stadio CER la retroazione produce una deformazione della tensione di ingresso allo stadio che si oppone alla successiva deformazione dovuta alla non linearità dell'amplificazione. Il valore massimo della tensione di ingresso viene compresso ed infatti, dato che l'amplificatore è invertente, la stessa tensione viene espansa dal maggiore guadagno corrispondente alla maggiore I_c . Viceversa il valore minimo viene espanso per poi essere compresso dal ridotto guadagno dello stadio in tale situazione che prevede un valore inferiore di I_c .

Per produrre una tale deformazione sulla V_{be} deve essere presente una deformazione complementare su R_e (la somma è un segnale sinusoidale) e quindi anche I_e deve essere deformata e lo stesso vale per V_{out} che dipende da I_c . La retroazione quindi può compensare solo parzialmente la deformazione della tensione di uscita.

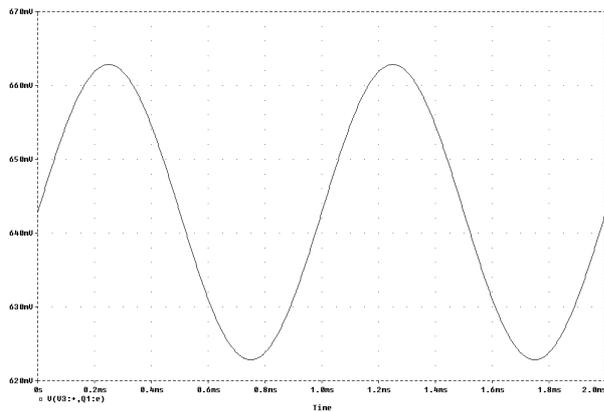


Fig.3A - Tensione base-emettitore stadio CE

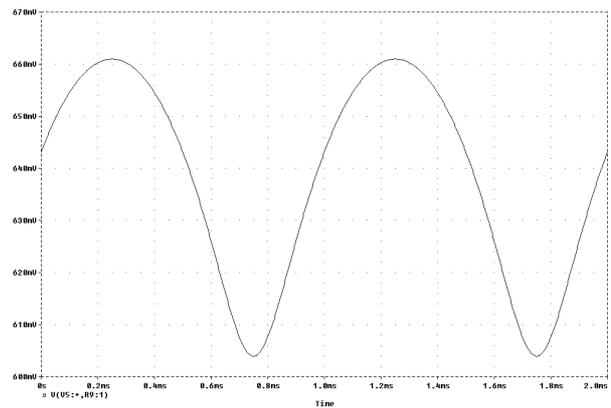


Fig.3B - Tensione base-emettitore stadio CER

Da ultimo vale la pena osservare gli spettri dei segnali di uscita nei due casi (Fig.4). Come ovvio si nota una maggiore ampiezza delle armoniche di ordine ridotto sulla tensione di uscita dello stadio CE rispetto allo stadio CER derivante dall'evidente compressione della forma d'onda. La seconda armonica è infatti molto elevata (circa 1V) rispetto alla fondamentale del segnale (circa 7V) per lo stadio CE mentre è 20 volte inferiore sullo stadio CER, grazie alla retroazione dovuta alla resistenza di emettitore dello stadio.

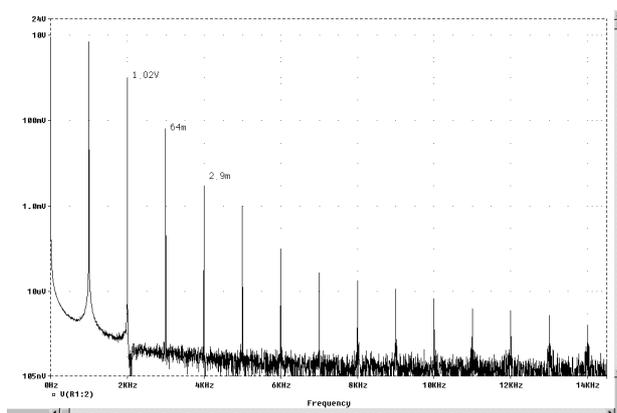


Fig.4A - Spettro della tensione di uscita dello stadio CE

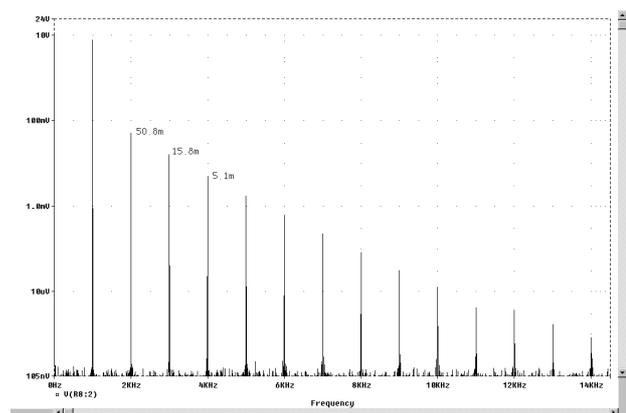


Fig.4B - Spettro della tensione di uscita dello stadio CER

Si nota inoltre che le armoniche presentano un decadimento più ripido delle armoniche dello stadio CE (circa -24dB/ottava) rispetto al decadimento delle armoniche dello stadio CER (circa -12dB/ottava). Questa differente pendenza di decadimento, fa sì che alcune armoniche dello stadio

CER, come si vede meglio in Fig.5 , risultino di ampiezza superiore alle corrispondenti armoniche dello stadio CE, nonostante la retroazione operi nel senso di ridurre le armoniche.

In conclusione si può dire che la retroazione ha ridotto le prime armoniche a discapito di un aumento di quelle a frequenza maggiore oppure, da un altro punto di vista, si può pensare che la retroazione ha ridotto tutte le armoniche di una data quantità e, contemporaneamente, ne ha create di nuove che si sommano alle precedenti.

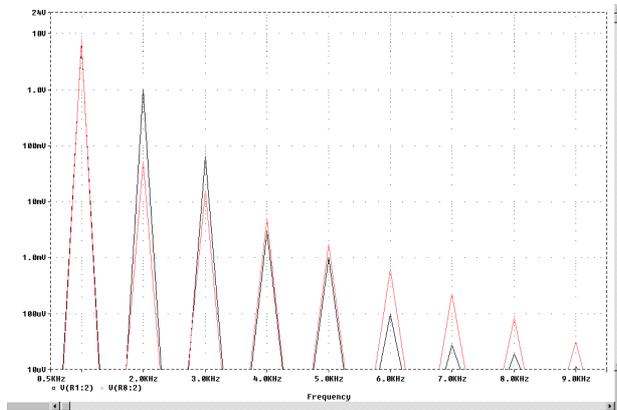


Fig.5 - Spettri della tensione di uscita dei due stadi (Nero=CE; Rosso=CER)

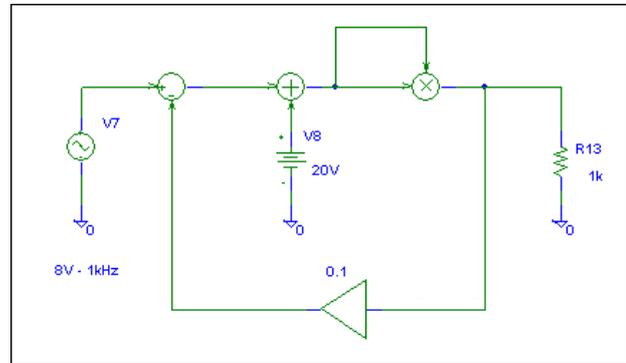


Fig.6 - Modello di amplificatore a caratteristica quadratica

A parziale dimostrazione di questa affermazione, consideriamo come esempio un modello di amplificatore a catena aperta con una guadagno polinomiale del secondo ordine (la tensione di uscita è proporzionale al segnale di ingresso ed al suo quadrato) come riportato in Fig.6 ($V_{out}=400+40*V_{in}+1*V_{in}^2$; guadagno ai piccoli segnali $A_v=40$, guadagno blocco di retroazione=0.1). Con un ingresso sinusoidale, a catena aperta, in uscita sarà presente solo una componente di seconda armonica come mostrato in Fig.7A dello spettro della tensione di uscita. In un sistema a retroazione, invece, all'ingresso dell'amplificatore sarà presente anche una componente di seconda armonica proveniente dalla retroazione. Questo segnale di ingresso (prima e seconda armonica) processato attraverso la legge quadratica dell'amplificatore, produce sull'uscita un termine di terza e di quarta armonica, e così via (Fig.7B). Quindi, con la retroazione, sono state generate delle armoniche che non c'erano nel sistema a catena aperta e, anche se la distorsione complessiva si è ridotta, la distribuzione e la proporzione reciproca delle armoniche è stata modificata. Questo spiega perché alcune armoniche dello stadio CER sono superiori a quelle dello stadio.

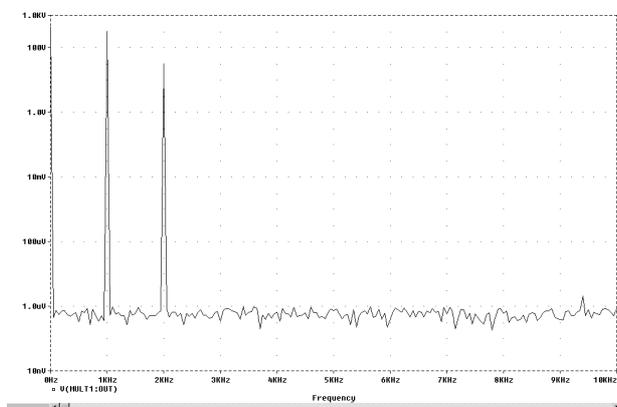


Fig.7A - Spettro della tensione di uscita ad anello aperto

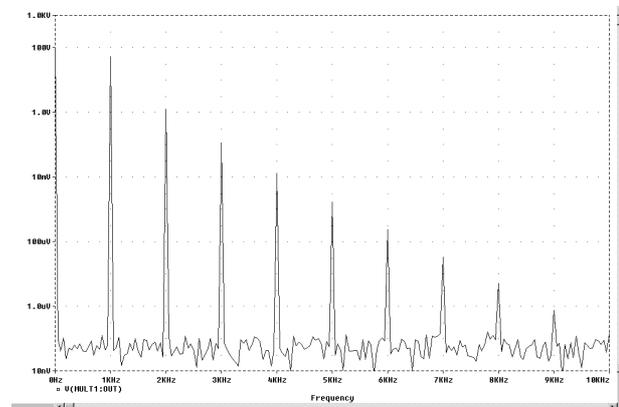


Fig.7B - Spettro della tensione V_{out} in presenza di retroazione