



Volfango Furgani

STADIO AMPLIFICATORE CON JFET

7 January 2004

Domanda:

Gent.mo Professor Volfango Furgani

io sono uno studente di Ingegneria Elettronica; innanzitutto ringrazio anticipatamente tutto lo Staff di ElectroPortal per la fornitura un servizio gratuito di consulenza e di consultazione quale quello che state offrendo Voi, che risulta di supporto a studenti come me e a quanti vogliano avvicinarsi al mondo dell'elettrotecnica e dell'elettronica.

Detto questo vengo alla mia domanda. Nello studiare il comportamento in frequenza di stadi amplificatori a transistor (in particolare farò riferimento a JFET) ho visto come spesso, negli stadi a source comune, si faccia uso del teorema di Miller per scomporre la capacità di ponte C_{gd} in due capacità equivalenti C_{gdG} e C_{gdD} poste rispettivamente tra gate e massa e tra drain e massa. Così, come verifica, ho provato a ricavare la funzione di trasferimento esatta v_{out}/v_{in} dello stadio, dapprima con le capacità originali C_{gs} e C_{gd} , e poi con le capacità C_{gs} , C_{gdG} e C_{gdD} , ma ho ottenuto due funzioni di trasferimento diverse; io penso che sia perché la funzione di trasferimento analizza il comportamento in frequenza del circuito, e quindi si fa variare la pulsazione; invece le condizioni di applicazione del teorema di Miller vogliono che le condizioni in cui si trova ad operare il circuito prima e dopo l'applicazione del teorema siano le stesse; questa è la prima cosa di cui chiedo conferma. Analizzando più attentamente la situazione anche con altri stadi amplificatori, mi sono accorto che la differenza tra le due funzioni di trasferimento sta nella sola mancanza di alcuni zeri nella funzione di trasferimento del circuito ottenuto dopo la sostituzione di C_{gd} con C_{gdG} e C_{gdD} , mentre tutti i poli e alcuni altri zeri restano invariati; mi chiedo se questo sia un comportamento generale e se sì, una sua spiegazione; mi chiedo inoltre se ci sia una regola più precisa per capire, dopo un'errata applicazione del teorema di Miller (come penso sia in questo caso), quali siano gli zeri che spariscono; se una tale regola esistesse e se possibile chiederei anche una sua dimostrazione. Infine ho visto anche che in realtà, dopo la sostituzione di C_{gd} con C_{gdG} e C_{gdD} , come capacità tra drain e massa non viene messa la vera capacità C_{gdD} ottenuta dal teorema di Miller, ma viene messa la stessa capacità C_{gd} ; mi sono quindi costruito il diagramma di Bode della funzione di trasferimento v_{out}/v_{in} di quest'ultima configurazione circuitale e ho notato che questo risulta quasi uguale a quello ottenuto con una rigorosa applicazione del Teorema di Miller (con la vera capacità C_{gdD}) e cioè diverso dal diagramma esatto per la mancanza

di uno zero; mi chiedo quindi se ci sia una regola generale per capire in quali casi, dopo un'applicazione del teorema di Miller, si possa sostituire una delle due capacità equivalenti con un'altra (e in generale quale e con quale) senza che la funzione di trasferimento cambi significativamente. In attesa di una sua risposta, La ringrazio ancora e le porgo distinti saluti.

Risponde Volfango Furgani

Quello che posso fare per lei è sottolineare alcune condizioni di impiego effettivo dell'approssimazione di Miller. Preferisco il termine approssimazione perché quando si applica il teorema di Miller, di solito per il calcolo di frequenze di taglio, lo si fa per semplificarsi la vita e non per raggiungere risultati o livelli di analisi di precisione assoluta. Per applicare Miller ad un amplificatore è necessario conoscere a priori il guadagno, ossia il rapporto delle tensioni che si trovano ai due capi della capacità o, più in generale dell'impedenza, di collegamento fra il circuito di ingresso ed il circuito di uscita: nel nostro caso C_{gd} . Tale rapporto viene espresso come un numero reale A pari al guadagno a centro banda dell'amplificatore che viene calcolato quindi con i soli parametri resistivi. E non è esatto. Perché se ci stiamo occupando di capacità, non dovremmo trascurare i loro effetti nel calcolo di A che così viene ad essere un numero complesso. Per chiarire: di solito si dice che $C_{gd}G = G_{gd}(1 + g_m R_{eq})$. $G_m R_{eq}$ è il guadagno calcolato senza tener conto degli effetti capacitivi dei quali ci stiamo interessando e questo porta a calcolare un valore di $C_{gd}G$ superiore a quello effettivo. Inoltre, spesso, nei calcoli si trascura l'influenza della capacità C_{gdD} di norma di valore molto più basso di C_{gdG} e si considera la sola capacità complessiva di ingresso. Voglio dire: il circuito di Miller è un circuito fittizio che equivale a quello di partenza solo sotto condizioni molto strette. Altrimenti i risultati ottenuti con l'analisi rigorosa e con quella di Miller non possono che divergere in maniera più o meno significativa. Osservo infine che due funzioni di trasferimento non possono assolutamente differire nella loro struttura per il cambiamento di frequenza come mi pare lei ipotizzi all'inizio della sua domanda. Una perplessità mi resta riguardo alla dizione da lei utilizzata "mancanza di alcuni zeri" e "alcuni altri zeri". Se stiamo parlando di amplificatori ad uno stadio e consideriamo le capacità C_{gd} e C_{gs} la funzione di trasferimento alle alte frequenze contiene, al più, due poli e due zeri.

Volfango Furgani