

OTTIMIZZAZIONE DELLA SOLUZIONE DI PROBLEMI DI PROGETTO DI CIRCUITI NON LINEARI

C.A. Borghi, M. Fabbri, F. Mastri

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Bologna,
Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna
ca.borghi@mail.ing.unibo.it, massimo.fabbri@mail.ing.unibo.it, franco.mastri@mail.ing.unibo.it

Quando è necessario ottimizzare il progetto di un circuito non lineare, si presenta un problema di ottimizzazione multiobiettivo. I criteri di progetto sono sintetizzati da alcune funzioni di rete (guadagno di trasduzione, efficienza, perdite di ritorno, guadagno di compressione, ecc.). Le variabili di progetto sono i parametri delle rete ed le tensioni di polarizzazione dei transistori presenti. Ogni funzione di rete è funzione delle variabili di progetto ed ha un minimo la cui soluzione solitamente non coincide con quello delle altre. La determinazione dei parametri di progetto di un circuito non lineare può essere effettuata determinando la soluzione di un problema di ottimizzazione nella forma:

$$\min P$$

dove la funzione “prestazione globale” P tiene conto dei vincoli e delle specifiche richieste sulle funzioni di rete del circuito. La funzione P è definita come:

$$P = \left[\sum_+ (w_i e_i)^2 \right]^{1/2} \text{ if } \max e_i \geq 0; \quad P = - \left[\sum_+ (-w_i e_i)^2 \right]^{-1/2} \text{ if } \max e_i < 0$$

dove $e_i = f_i - f_{\max}$ ($i = 1, \dots$), se f_i è limitata superiormente, $e_i = f_{\min} - f_i$, se f_i è limitata inferiormente, w_i è un coefficiente di pesatura e il pedice + indica che la somma è estesa solo agli e_i positivi. La prima parte della funzione “prestazione globale” è la consueta norma Euclidea sui residui positivi e_i . La scelta delle specifiche corrette per le funzioni di rete richiede una conoscenza “a priori” sui loro minimi; infatti, una scelta errata della specifiche porta a determinare soluzioni non ottimali. Per superare questa difficoltà, la funzione P è stata estesa ai valori negativi dei residui. In questo modo l’ottimizzazione può continuare a migliorare le prestazioni del dispositivo anche quando le specifiche sono state raggiunte.

I metodi deterministici basati sul gradiente, quando riescono a determinare una soluzione, ottengono solitamente un minimo locale, dipendente dalla soluzione di tentativo utilizzata. Questi metodi possono essere utilizzati soltanto per minimizzare funzioni, continue e derivabili, di variabili reali. Viceversa, i metodi stocastici tendono a convergere alla soluzione di minimo globale per qualunque punto iniziale. Inoltre, essi sono robusti sotto il profilo numerico anche nel caso di problemi non-analitici, malposti o discreti. Il maggior inconveniente presentato dai metodi statistici è il tempo di calcolo, generalmente significativamente maggiore di quello impiegato dai metodo deterministici.

Nelle applicazioni studiate si è impiegato un metodo di ottimizzazione stocastico (algoritmo (1+1) Evolution Strategy) al fine di confrontarne le prestazioni con un metodo deterministico basato sul gradiente (Quasi Newton). Per ridurre il tempo di calcolo richiesto dal metodo (1+1) ES per raggiungere la convergenza, è stata modificata la strategia di generazione. Invece di generare casualmente una nuova direzione di ricerca ad ogni iterazione, la stessa direzione di ricerca, se ha portato ad una riduzione di P , viene utilizzata ripetutamente finché P decresce.

Entrambi i metodi di ottimizzazione sono stati utilizzati per progettare un amplificatore di potenza ad uno stadio (vedi Fig. 1). Le incognite sono i parametri delle reti di ingresso ed uscita ed le tensioni di polarizzazione dei transistori FET. Le specifiche sono assegnate sul guadagno di trasduzione (f_1), sull'efficienza (f_2), sulla perdita di ritorno (f_3) e sul guadagno di compressione (f_4). La presenza dei trasformatori ha consentito di effettuare un confronto tra l'ottimizzazione con variabili continue, considerando i rapporti spire come numeri reali (Caso 1), e quella a variabili discrete, considerando i numeri di spire come numeri interi (Caso 2). Il metodo QN è quindi applicabile solo nel Caso 1. In entrambi i casi si è utilizzato il metodo del Bilanciamento Armonico per risolvere il problema di analisi circuitale [1]. I risultati dell'ottimizzazione, illustrati nella Tabella I, mostrano che il metodo ES ottiene risultati migliori del QN, indipendentemente dal tipo di variabili. Tuttavia il tempo di CPU richiesto è circa dieci volte maggiore.

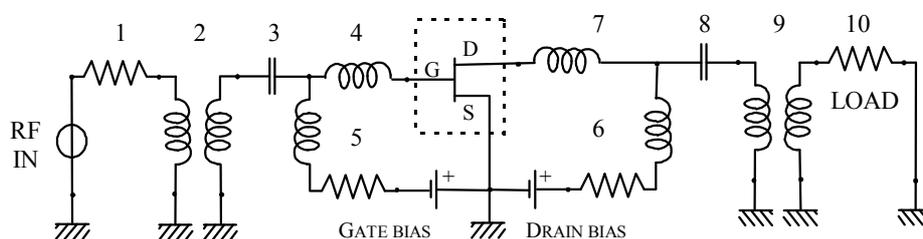


Fig. 1 – Schema di un amplificatore di potenza ad uno stadio.

Tabella I – Confronto dei risultati per l'amplificatore di potenza ad uno stadio.

	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Caso 1 - QN (*)	Caso 1 - ES	Caso 2 - ES
$(N_{\text{secondario}}/N_{\text{primario}})_2$	0.2	2.0	0.290871	0.245575	14/57
L_4 [nH]	0.0	10.0	0.337117	0.383789	0.38395
L_7 [nH]	0.0	10.0	0.143119	0.165111	0.164964
$(N_{\text{primario}}/N_{\text{secondario}})_9$	0.2	2.0	0.707619	0.653022	17/26
Gate bias [V]	-4.0	0.0	-0.546	-0.892	-0.895
Drain bias [V]	2.0	14.0	5.533	5.196	5.196
f_1 [dB]	9.0	-	9.59193	9.39289	9.391
f_2 [%]	40	-	41.0334	43.8731	43.9017
f_3 [dB]	15.0	-	15.0923	16.023	15.967
f_4 [dB]	-	1.0	0.915291	0.593924	0.591758
P	-	-	$-5.319 \cdot 10^{-5}$	$-2.22586 \cdot 10^{-4}$	$-2.22584 \cdot 10^{-4}$

(*) L'ottimizzazione si ferma poiché l'errore di arrotondamento è dominante.

Bibliografia

- [1] V. Rizzoli, A. Lipparini, A. Costanzo, F. Mastri, C. Cecchetti, A. Neri, D. Masotti, "State-of-the-Art Harmonic-Balance Simulation of Forced Nonlinear Microwave Circuits by the Piecewise Technique", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 40, no. 1, pp. 12-28, January 1992.