



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

RELAZIONE DI LABORATORIO

Progetto di un Mixer bilanciato

Studenti:

Guadagnoli Emanuele

Roselli Claudio

Veltroni Lorenzo

Zavagli Paolo

A.A. 2005/2006

1. Introduzione

L'esercitazione consiste nel progetto e nella misura delle caratteristiche di un mescolatore bilanciato. Questo tipo di dispositivo trova impiego in una vastità di applicazioni in cui è richiesta una traslazione in frequenza (radar, ricevitori), ed è costituito da due mescolatori a diodo singolo collegati in serie, a cui il segnale di oscillatore locale viene inviato in controfase, mentre il segnale a radiofrequenza viene inviato in fase. Ovviamente la conduzione dei diodi è determinata dal solo segnale di OL, in quanto l'ampiezza del segnale RF non è sufficiente alla loro polarizzazione. Quindi il segnale RF risulta presente alla sezione ad IF soltanto per un semiperiodo dell'oscillatore locale, mentre nell'altro semiperiodo il diodo rimane interdetto. Questo permette una completa reiezione della frequenza dell'OL, poiché per esso il punto di connessione tra i diodi (da cui si preleva la IF) risulta sempre a tensione nulla, per simmetria.. Rispetto alla configurazione a diodo singolo, quindi, il mescolatore bilanciato permette sia di eliminare un eventuale rumore sovrapposto all'oscillatore locale sia di ottenere un maggior isolamento tra sezione a RF e sezione a IF.

Le specifiche di progetto sono le seguenti:

- $f_{RF} = 2.45\text{GHz}$
- $P_{RF} = -10\text{dBm}$
- $f_{OL} = 2.2\text{GHz}$
- *Perdita di conversione* $< 8\text{dBm}$

Una volta realizzato il dispositivo, si procederà all'analisi spettrale delle componenti presenti a frequenza intermedia, alla determinazione delle perdite di conversione al variare della potenza dell'OL e dell'isolamento OL/RF e viceversa. Determineremo quindi il punto di compressione a 1dB del mixer e le sue prestazioni in termini di prodotti di intermodulazioni del terzo ordine.

2. Progetto

Per realizzare la somma/differenza dei segnali OL ed RF è possibile utilizzare un anello ibrido (ibrido a 180°); per semplicità, tuttavia, implementeremo il dispositivo utilizzando linee ideali, dimensionandole in modo tale da ottenere il medesimo comportamento (v. Figura 1).

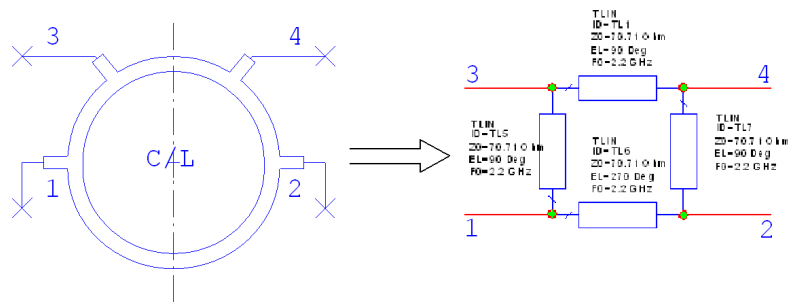


Figura 1: Anello ibrido ed equivalente in linee ideali

Nella struttura a linee ideali ogni ramo ha lunghezza elettrica corrispondente alla lunghezza elettrica del corrispettivo tratto di circonferenza dell'anello ibrido. L'impedenza caratteristica delle linee è stata scelta in modo tale da far lavorare l'anello ibrido in configurazione *RAT-RACE*, ovvero come divisore di potenza a -3dB. Il valore è dato dalla formula:

$$Z_0 = Z_A * \sqrt{2}$$

dove Z_A è l'impedenza delle linee di adduzione. Il grafico completo del mixer così realizzato è riportato in Figura 2:

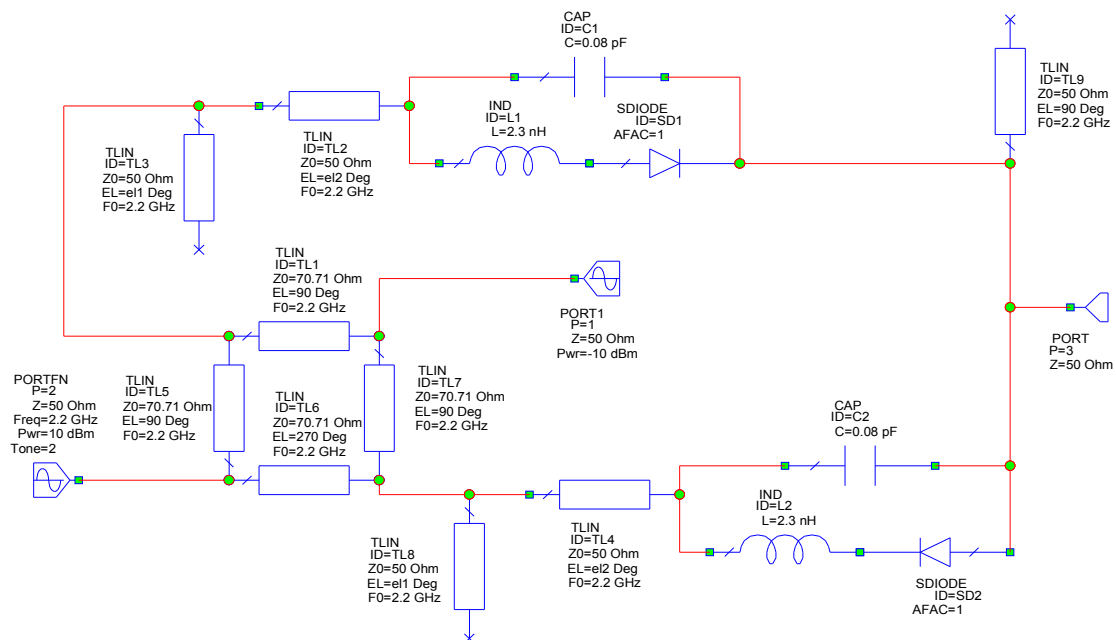


Figura 2: Schema elettrico del mixer

Prima di costruire il circuito in figura, tuttavia, si è provveduto a realizzare il circuito equivalente

del singolo diodo, comprensivo di rete di adattamento. Per modellare il componente non lineare si è utilizzato il modello SPICE, con i parametri indicati in Tabella 1. Abbiamo quindi modellato le reattanze parassite introdotte dal package attraverso le induttanze serie L_1 , L_2 e le capacità parallelo C_1 , C_2 .

$I_s = 0.046 \mu\text{A}$	$R_s = 6 \Omega$
$N = 1.09$	$TT = 0$
$C_{j0} = 0.18 \text{ pF}$	$V_j = 0.5$
$M = 0.5$	$BV = 7.3 \text{ V}$
$Fc = 0.5$	$IBV = 0.1 \text{ mA}$
$EG = 0.69$	$T = 27^\circ\text{C}$

Tabella 1: Parametri del modello SPICE del diodo

Il circuito equivalente del diodo è stato quindi adattato alla frequenza di 2.2 GHz dell'oscillatore locale, utilizzando linee di trasmissione ideali.

Abbiamo quindi collegato i due circuiti così realizzati alle opportune porte dell'anello, con l'accortezza di invertire la polarità di uno dei due diodi (l'adattamento non viene perturbato). I segnali di ingresso rispettano le specifiche assegnate. Simulando la potenza delle componenti armoniche ad IF si ottengono i risultati visualizzati in Figura 3.

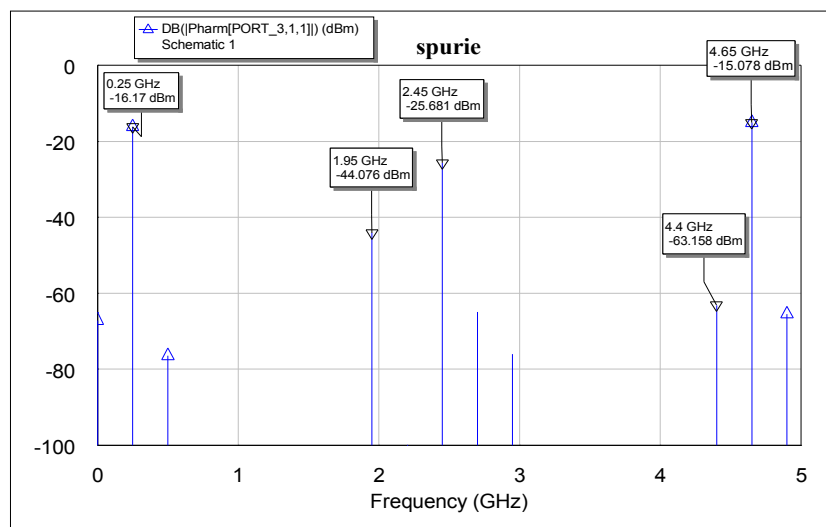


Figura 3: Spettro del segnale a IF

La totale reiezione del segnale dell'oscillatore locale è dovuta all'inserimento, a frequenza intermedia, di uno *stub* in circuito aperto di lunghezza elettrica $\pi/2$, che permette di trasferire tutta la potenza dell'OL nei diodi e di ridurre, di conseguenza, la perdita di conversione (pari a 6.17dB). Prima dell'inserimento dello *stub*, come si può notare in Figura 4, non era infatti stato possibile ottenere la perdita richiesta. L'assenza dello *stub* è anche responsabile, ovviamente, della minore reiezione del segnale di OL.

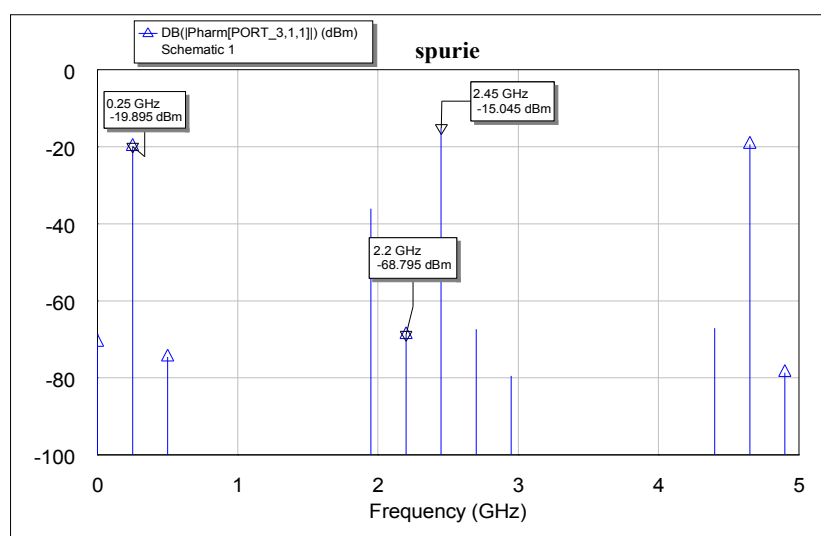


Figura 4: Spettro del segnale a IF (prima dell'inserimento dello *stub*)

3. Misure

Determiniamo innanzitutto l'andamento della perdita di conversione al variare della potenza del segnale dell'oscillatore locale. Per fare questo si collega all'ingresso dell'OL una porta che permette di effettuare uno *sweep* in potenza, selezionando il range $[0 - 12]$ dBm. Quindi si rappresenta su un diagramma rettangolare il parametro $S[3;1]$ per grandi segnali, selezionando la misura a due toni (LSSnm2SP). Il grafico risultante è riportato in Figura 5:

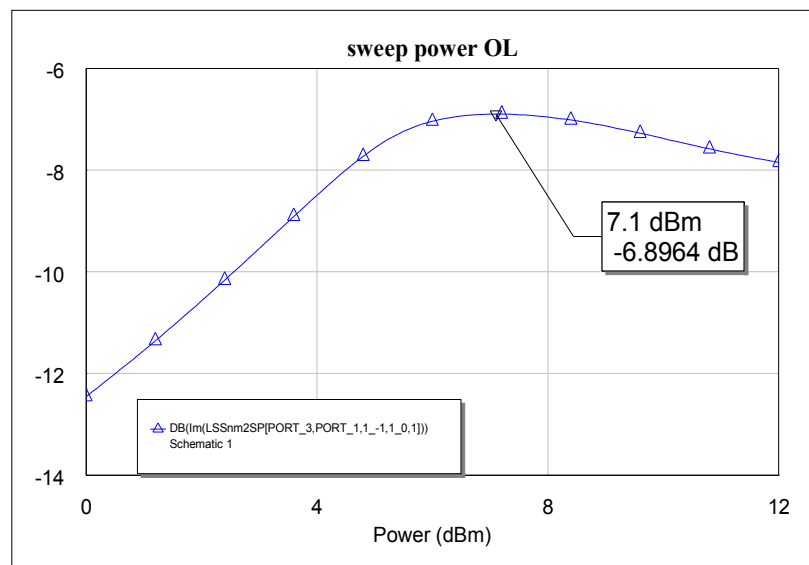


Figura 5: Perdita di conversione

Si può vedere come la curva presenti un massimo per un valore di potenza dell'OL pari a circa 7.1dB. Sarà quindi opportuno lavorare sempre con questa potenza; le misure successive sono realizzate scegliendo questa impostazione.

Misuriamo ora l'isolamento OL/RF ed RF/OL, misurando i parametri $S[1;2]$ ed $S[2;1]$ per grandi segnali. Poiché l'ibrido è progettato per funzionare a 2.2GHz, il segnale OL arriva alla porta RF seguendo due percorsi sfasati di 180° ($90^\circ+90^\circ$ e $180^\circ+270^\circ$), quindi ci aspettiamo che quest'ultima risulti praticamente isolata a tale frequenza. Non è invece vero il contrario: le lunghezze elettriche non sono complementari alla frequenza di 2.45GHz e non si ottiene isolamento tra RF ed OL. Tuttavia c'è da dire che questo non è particolarmente importante, mentre è importante che il segnale di alto livello dell'OL non si riversi a RF, in quando quest'ultimo è a bassa potenza e risulterebbe

compromesso. Il risultato della simulazione è riportato in Figura 6.

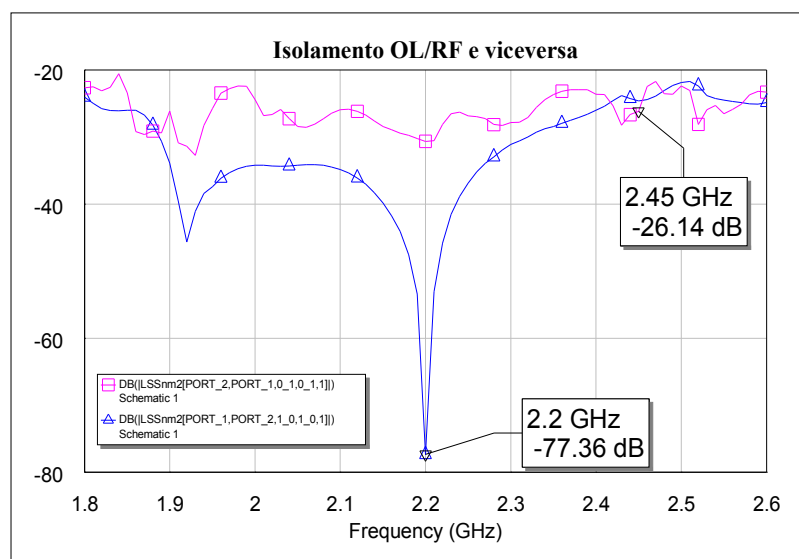


Figura 6: Isolamento tra i due ingressi

Come si può vedere, l'andamento più in basso evidenzia l'ottimo isolamento tra OL ed RF. La porta OL non risulta invece perfettamente isolata dalla porta a RF.

Studiamo ora l'andamento del punto di compressione ad 1dB, collegando nella porta ad RF un oscillatore a potenza variabile ed effettuando uno *sweep* tra -15dBm e 5dBm.

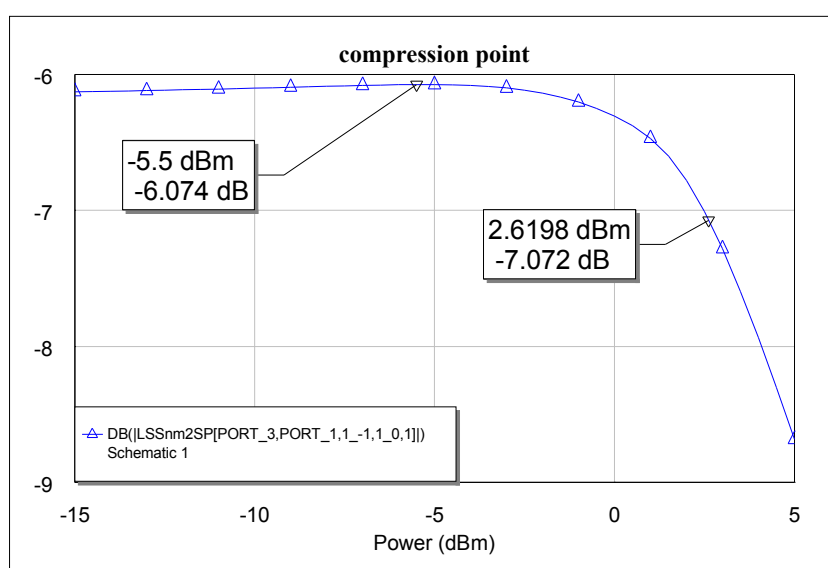


Figura 7: Punto di compressione a 1dB

Dalla simulazione (Figura 7) risulta $P_{-1dB} \approx 2.62\text{dBm}$, un valore piuttosto soddisfacente considerando la scarsa ampiezza dei tipici segnali a radiofrequenza.

Determiniamo infine i prodotti di intermodulazione del terzo ordine, eccitando la porta a radiofrequenza con due segnali di ampiezza pari a -10dBm e frequenza 2.45GHz e 2.495GHz . Alla frequenza intermedia, i prodotti di intermodulazione del terzo ordine saranno a frequenza $2f'_1 - f'_2$ e $2f'_2 - f'_1$, dove $f'_1 = 250\text{MHz}$ e $f'_2 = 295\text{MHz}$. Ci aspettiamo quindi di trovare i due toni alle frequenze 205MHz , 340MHz . Lo spettro del segnale è riportato in Figura 8:

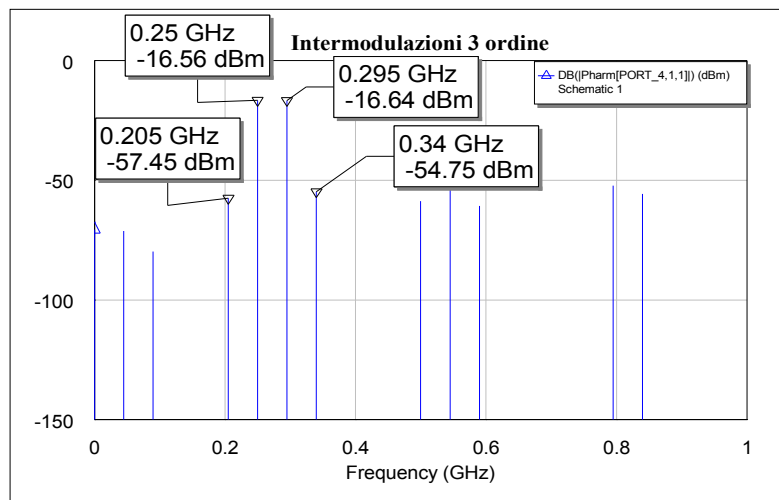


Figura 8: Spettro del segnale a FI con due toni a RF

Il livello dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine è quindi pari a circa -55dBm . La differenza tra i livelli è dovuta al diverso adattamento. Possiamo inoltre ricavare $\text{IM3} = 40\text{dB}$ (valore medio).

4. Conclusioni

Il mixer bilanciato realizzato nell'esercitazione è implementato utilizzando un anello ibrido ideale a cui sono opportunamente collegati i modelli di due diodi. La maggiore complessità rispetto ad un semplice mixer a diodo singolo è compensata dalla possibilità di ottenere un ottimo isolamento tra sezione a RF e sezione ad IF e dalla completa reiezione della frequenza dell'OL. Questo permette di realizzare una perdita di conversione più contenuta, con una differenza di circa 3dB .

Il dispositivo non raggiunge, tuttavia, le ottime prestazioni del mixer a diodo singolo per quanto riguarda i prodotti di intermodulazione del terzo ordine, la cui potenza risulta più elevata.