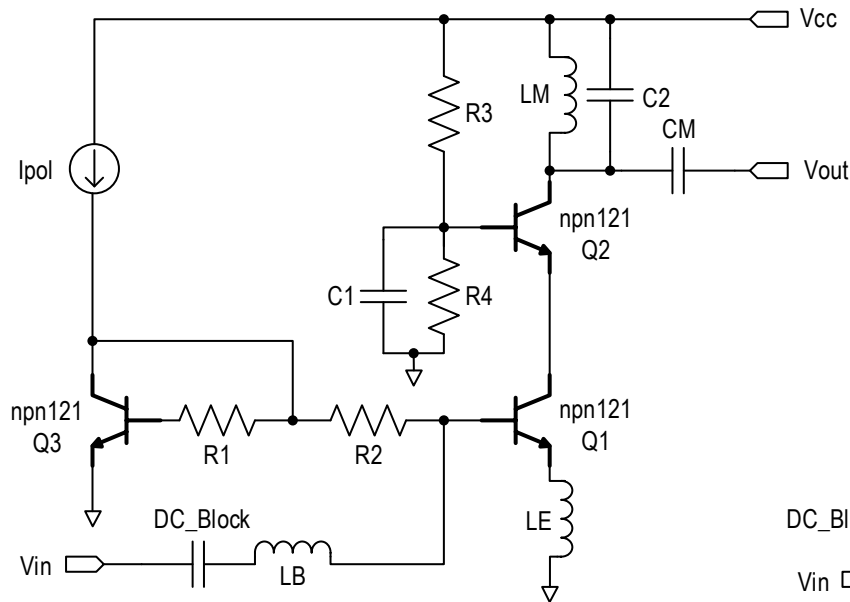
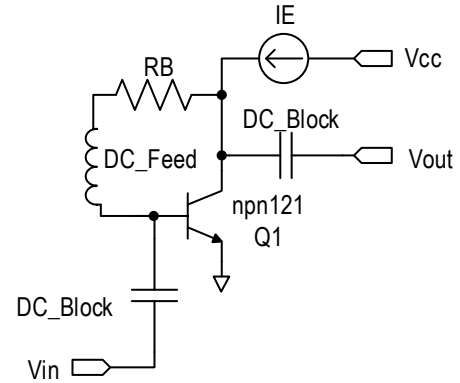


## Elettronica dei Sistemi Wireless - Prova pratica 17 dicembre 2015

Considerare lo schema dell'LNA riportato nella figura seguente (a).



R1	$M \times R2$
R2	3 k $\Omega$
R3	500 $\Omega$
R4	2,5 k $\Omega$
C1	15 pF
C2	4,5 pF
LM	1,5 nH
CM	15 pF



(a)

(b)

La tensione di alimentazione  $V_{cc}$  del circuito è pari a 3 V e le resistenze di sorgente e di carico, non mostrate in figura, sono uguali tra loro e pari a 50  $\Omega$ . I transistori bipolari HBT npn121 Q1-Q3 (presenti nella libreria PRIMLIB del design kit AMS S35) hanno tutti **lunghezza di emettitore fissata e pari a 14  $\mu\text{m}$** , **Q1 e Q2 hanno molteplicità  $M$  da determinare e Q3 è un transistoro singolo**. Il dimensionamento del circuito e il calcolo dei parametri di merito dell'LNA devono essere eseguiti alla **frequenza  $f_0 = 1,95 \text{ GHz}$**  e alla temperatura di 25  $^\circ\text{C}$ , se non specificato diversamente nel seguito.

**Facendo riferimento ai punti sotto elencati completare la scheda riportata sul retro del foglio.**

1. Matching integrato e valutazione parametri di merito lineari
  - a. Dimensionare la corrente di polarizzazione  $I_{pol}$  e la molteplicità  $M$  dei transistori, al fine di ottimizzare le prestazioni in termini di rumore dell'LNA. Si proceda valutando la densità di corrente ottima di collettore  $J_{Copt}$  di un singolo transistoro ( $M = 1$ ) nella configurazione a emettitore comune, mediante il circuito mostrato in figura (b). Il valore della resistenza  $R_B$  è dato dall'espressione  $R_B = 140/IE$ , dove  $IE$  è il valore in ampere del generatore indipendente di corrente  $IE$ .
  - b. Estrarre nel punto di lavoro "ottimo", i parametri  $g_m$ ,  $c_{\pi}$ ,  $c_{\mu}$ ,  $f_T$  ( $r_b$  può essere trascurata) del circuito per piccoli segnali relativo a un singolo transistoro ( $M = 1$ ). Riportate per  $f_T$  il valore calcolato analiticamente a partire dagli altri parametri forniti nel punto di riposo dettagliato.
  - c. Valutare il punto di riposo dell'LNA e, in particolare, la corrente  $I_{C1}$ .
  - d. Dimensionare con analisi parametrica, a partire dai valori calcolati analiticamente,  $LE$  e  $LB$  in modo tale da avere il massimo trasferimento di potenza dalla sorgente all'amplificatore.
  - e. Sul circuito dimensionato valutare: l'impedenza di ingresso  $Z_{in}$ , quella di uscita  $Z_{out}$  il guadagno di trasduttore  $G_T$  e, alla temperatura standard di 16,85  $^\circ\text{C}$ , la cifra di rumore  $NF$ , la cifra di rumore minima  $NF_{min}$  e la corrispondente impedenza ottima di sorgente  $Z_{opt}$ .
  - f. Determinare la frequenza  $f_C$  alla quale si ha il massimo guadagno di trasduttore  $G_{T0}$  e il limite inferiore  $f_L$  e superiore  $f_H$  di banda a -1 dB.
  - g. Determinare il guadagno di trasduttore  $G_{T1}$  quando in uscita è collegato il carico  $Z_L = 400 - j500 \Omega$ .
2. Analisi della linearità con la tecnica Harmonic Balance
  - a. Valutare il punto di compressione a 1 dB in ingresso  $iCP1dB$  e in uscita  $oCP1dB$ .
  - b. Valutare il punto di intercetta del terzo ordine  $iIP3$ , utilizzando due toni  $f_1, f_2$  centrati a  $f_0$  e separati tra loro 1 MHz ( $f_1 < f_2$ ). Indicare la potenza disponibile  $P_{AIN}$  utilizzata per i due toni in ingresso, la potenza sul carico  $P_{out1}$  alla frequenza  $f_1$  e quella  $P_{out2,-1}$  alla frequenza  $2f_1 - f_2$ .
3. Adattamento dell'impedenza di uscita
  - a. Dimensionare, se possibile,  $LM$  e  $CM$  affinché si abbia il massimo trasferimento di potenza in uscita sul carico  $Z_L = 400 - j500 \Omega$ . Riportare il valore dell'impedenza di uscita  $Z_{out}$  ottenuto e valutare il guadagno di trasduttore  $G_{T2}$  in questa condizione.

Prova pratica ESW del 17/12/2015	Nome:
<b>Valutazione</b> (max 31 punti)	
Tempo a disposizione: <u>2 ore</u>	

**1. Matching integrato e valutazione parametri di merito lineari (19 punti)**

Singolo transistoro ( $M = 1$ )				LNA	
$I_{Copt}$	$J_{Copt}$	$NF_{opt}$	$Z_{opt}$	$M$	$I_{pol}$

Parametri piccolo segnale del singolo transistoro ( $M = 1$ )			
$g_m$	$c_\pi$	$c_\mu$	$f_T$ (analitico)

	Dimensionamento analitico			Dimensionamento con analisi parametrica	
$I_{C1}$	$LE$	$LB$	$Z_{in}^{(a)}$	$LE$	$LB$

$Z_{in}$	$Z_{out}$	$G_T$	$NF @ 16,85 \text{ }^\circ\text{C}$	$NF_{min} @ 16,85 \text{ }^\circ\text{C}$	$Z_{opt} @ 16,85 \text{ }^\circ\text{C}$

$f_c$	$G_{T0} @ f_c$	$f_L$	$f_H$	$G_{T1}$

**2. Analisi della linearità (8 punti)**

$iCP1dB$	$oCP1dB$

$f_1$	$f_2$	$P_{AIN}$	$P_{out1}$	$P_{out2,-1}$	$iIP3$	$oIP3$

**3. Adattamento dell'impedenza di uscita (4 punti)**

$LM$	$CM$	$Z_{out}$	$G_{T2}$

<sup>(a)</sup>Risultato ottenuto dalla simulazione del circuito, utilizzando per i parametri circuitali  $LE$  e  $LB$  i valori calcolati analiticamente.

Prova pratica ESW del 17/12/2015	Nome: <b>SOLUZIONE</b>
<b>Valutazione</b> (max 31 punti)	
Tempo a disposizione: <u>2 ore</u>	

### 1. Matching integrato e valutazione parametri di merito lineari (19 punti)

Singolo transistoro ( $M = 1$ )				LNA	
$I_{Copt}$	$J_{Copt}$	$NF_{opt}$	$Z_{opt}$	$M$	$I_{pol}$
509 $\mu$ A	91 $\mu$ A/ $\mu$ m <sup>2</sup>	0,739 dB	453 +j354 $\Omega$	9	509 $\mu$ A

Parametri piccolo segnale del singolo transistoro ( $M = 1$ )			
$g_m$	$c_\pi$	$c_\mu$	$f_T$ (analitico)
19 mS	141 fF	23 fF	18,4 GHz

	Dimensionamento analitico			Dimensionamento con analisi parametrica	
$I_{C1}$	$LE$	$LB$	$Z_{in}^{(a)}$	$LE$	$LB$
4,35 mA	432 pH	4,8 nH	40 + j14 $\Omega$	550 pH	3,66 nH

$Z_{in}$	$Z_{out}$	$G_T$	$NF @ 16,85^\circ C$	$NF_{min} @ 16,85^\circ C$	$Z_{opt} @ 16,85^\circ C$
50 $\Omega$	13 - j188 $\Omega$	16,7 dB	0,933 dB	0,877 dB	47 - j19 $\Omega$

$f_c$	$G_{T0} @ f_c$	$f_L$	$f_H$	$G_{T1}$
1,77 GHz	17,9 dB	1,601 GHz	1,929 GHz	13,53 dB

### 2. Analisi della linearità (8 punti)

$iCP1dB$	$oCP1dB$
-16,3 dBm	-0,6 dBm

$f_1$	$f_2$	$P_{AIN}$	$P_{out1}$	$P_{out2,-1}$	$iIP3$	$oIP3$
1,9495 GHz	1,9505 GHz	-30 dBm	-13,4 dBm	-67,2 dBm	-3,2 dBm	13,5 dBm

### 3. Adattamento dell'impedenza di uscita (4 punti)

$LM$	$CM$	$Z_{out}$	$G_{T2}$
1,343 nH	184 fF	398 +j498 $\Omega$	28,5 dB

<sup>(a)</sup>Risultato ottenuto dalla simulazione del circuito, utilizzando per i parametri circuitali  $LE$  e  $LB$  i valori calcolati analiticamente.

**Nota:** Nella scelta di  $I_{pol}$  è stato trascurato l'errore dello specchio amplificatore di corrente usato per polarizzare lo stadio cascode costituito dai transistori Q1 e Q2. Il transistoro Q1 viene comunque a essere polarizzato con una densità di corrente di collettore pari a 86  $\mu$ A/ $\mu$ m<sup>2</sup>, molto prossima a quella ottima ( $J_{Copt} = 91 \mu$ A/ $\mu$ m<sup>2</sup>).