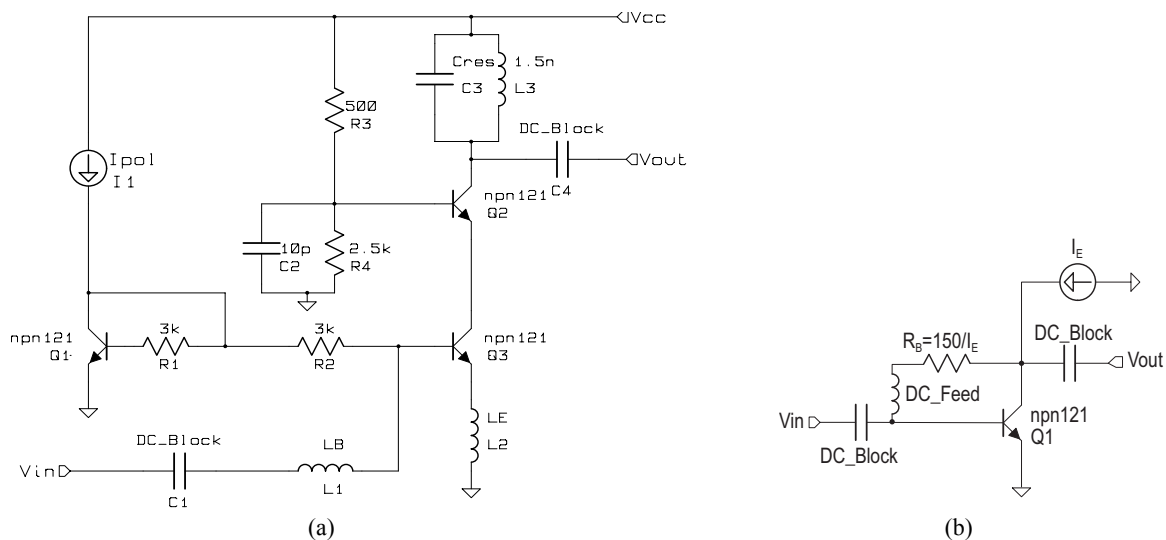


## Elettronica dei Sistemi Wireless

### Prova pratica del 17 dicembre 2013

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



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 a 50  $\Omega$ . I transistori bipolari HBT npn121 (disponibili nella libreria PRIMLIB del design kit AMS S35) sono tra loro identici e la loro lunghezza di emettitore è fissata a 10  $\mu\text{m}$ .

Il dimensionamento del circuito e il calcolo dei parametri di merito dell'LNA devono essere eseguiti alla frequenza centrale  $f_0 = 5,25$  GHz e alla temperatura di 25  $^\circ\text{C}$ .

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

#### 1. Matching integrato

- a. Dimensionare la corrente di polarizzazione  $I_{pol}$  e la molteplicità  $M$  dei transistori, in modo tale da minimizzare la cifra di rumore minima e ottenere una corrispondente resistenza di sorgente ottima per il rumore prossima a 50  $\Omega$ . Si proceda valutando la densità di corrente ottima di collettore  $J_{Copt}$  di un singolo transistorore ( $M = 1$ ) nella configurazione a emettitore comune, mediante il circuito mostrato in figura (b). Il valore della resistenza  $R_B$  è dato dall'espressione  $R_B = 150/I_E \Omega$ , dove  $I_E$  è il valore in ampere del generatore indipendente di corrente, che può essere fatto variare per determinare la densità di corrente di collettore ottima.
- 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 transistorore ( $M = 1$ ). Riportate per  $f_T$  il valore calcolato analiticamente a partire dagli altri parametri forniti nel punto di riposo dettagliato.
- c. Dimensionare con analisi parametrica, a partire dai valori calcolabili analiticamente,  $LE$  e  $LB$  in modo tale da avere il massimo trasferimento di potenza dalla sorgente all'amplificatore.

#### 2. Guadagno di trasduttore

- a. Dimensionare con analisi parametrica, a partire dal valore calcolabile analiticamente,  $C_{res}$  in modo tale da massimizzare il guadagno di trasduttore alla frequenza centrale  $f_0$ .
- b. Sul circuito completamente dimensionato valutare  $Z_{in}$ , 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  $Z_{opt}$ .
- c. Supponendo che l'LNA sia seguito da un mixer alimentato con un'oscillazione locale a 5,5 GHz, determinare il guadagno di trasduttore alla frequenza immagine  $f_{IM}$ .

#### 3. 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. 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  $P_{out21}$  alla frequenza  $2f_1 - f_2$ .
- c. Considerando i due toni in ingresso specificati al punto precedente, valutare l'ampiezza  $|V_{out1}|$  della componente a frequenza  $f_1$  del segnale di uscita, nei seguenti 2 casi:  
 1)  $P_{AIN1} = P_{AIN2} = -25$  dBm; 2)  $P_{AIN1} = -25$  dBm e  $P_{AIN2} = -5$  dBm.

Prova pratica ESW del 17/12/2013	Nome:
<b>Valutazione</b> (max 31 punti)	
Tempo a disposizione: <u>2 ore</u>	

### 1. Matching integrato (14 punti)

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

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

Dimensionamento analitico			Dimensionamento con analisi parametrica		
$LE$	$LB$	$Z_{in}^{(*)}$	$LE$	$LB$	$Z_{in}$

### 2. Guadagno di trasduttore (7,5 punti)

Analitico		Dimensionamento con analisi parametrica	
$C_{res}$	$G_T^{(**)}$	$C_{res}$	$G_T$

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

$f_{IM}$	$G_T @ f_{IM}$

### 3. Analisi della linearità (9,5 punti)

$iCP1dB$	$oCP1dB$

$f_1$	$f_2$	$P_{AIN}$	$P_{out1}$	$P_{out21}$	$iIP3$	$oIP3$

1) $ V_{out1}  @ P_{AIN1} = P_{AIN2} = -25 \text{ dBm}$	2) $ V_{out1}  @ P_{AIN1} = -25 \text{ dBm e } P_{AIN2} = -5 \text{ dBm}$

(\*) risultato ottenuto dalla simulazione del circuito, utilizzando per i parametri circuitali  $LE$ ,  $LB$  e  $C_{res}$  i valori calcolati analiticamente.

(\*\*) risultato ottenuto dalla simulazione del circuito, utilizzando per i parametri circuitali  $LE$  e  $LB$  i valori dimensionati mediante analisi parametrica e per  $C_{res}$  il valore calcolato analiticamente.

Prova pratica ESW del 17/12/2013	Nome: <b>SOLUZIONE</b>
<b>Valutazione</b> (max 31 punti)	
Tempo a disposizione: <u>2 ore</u>	

#### 4. Matching integrato (14 punti)

Singolo transistorore (M = 1)				LNA	
$I_{Copt}$	$J_{Copt}$	$NF_{opt}$	$Z_{opt}$	$I_{pol}$	$M$
<b>0,93 mA</b>	<b>0,23 mA/<math>\mu\text{m}^2</math></b>	<b>1,296 dB</b>	<b>261+j179 <math>\Omega</math></b>	<b>4,65 mA</b>	<b>5</b>

Parametri piccolo segnale del singolo transistorore (M = 1)			
$g_m$	$c_\pi$	$c_\mu$	$f_T$ (analitico)
<b>33,8 mA/V</b>	<b>137 fF</b>	<b>17 fF</b>	<b>34,9 GHz</b>

Dimensionamento analitico			Dimensionamento con analisi parametrica		
$LE$	$LB$	$Z_{in}^{(*)}$	$LE$	$LB$	$Z_{in}$
<b>0,228 nH</b>	<b>1,115 nH</b>	<b>43,9+j4,2 <math>\Omega</math></b>	<b>267 nH</b>	<b>993 pF</b>	<b>49,9-j0,1 <math>\Omega</math></b>

#### 5. Guadagno di trasduttore (7,5 punti)

Analitico		Dimensionamento con analisi parametrica	
$C_{res}$	$G_T^{(**)}$	$C_{res}$	$G_T$
<b>0,613 pF</b>	<b>13,85 dB</b>	<b>0,458 pF</b>	<b>14,11 dB</b>

$Z_{in}$	$NF @ 16,85^\circ\text{C}$	$NF_{min} @ 16,85^\circ\text{C}$	$Z_{opt} @ 16,85^\circ\text{C}$
<b>49,8 - j0,1 <math>\Omega</math></b>	<b>1,485 dB</b>	<b>1,464 dB</b>	<b>50,8-j10,2 <math>\Omega</math></b>

$f_{IM}$	$G_T @ f_{IM}$
<b>5,75 GHz</b>	<b>13,15 dB</b>

#### 6. Analisi della linearità (9,5 punti)

$iCP1dB$	$oCP1dB$
<b>-13,455 dBm</b>	<b>-0,346 dBm</b>

$f_1$	$f_2$	$P_{AIN}$	$P_{out1}$	$P_{out21}$	$iIP3$	$oIP3$
<b>5,2495 GHz</b>	<b>5,2505 GHz</b>	<b>-25 dBm</b>	<b>-11,03 dBm</b>	<b>-74,16 dBm</b>	<b>6,43 dBm</b>	<b>20,54 dBm</b>

1) $ V_{out1}  @ P_{AIN1} = P_{AIN2} = -25 \text{ dBm}$	2) $ V_{out1}  @ P_{AIN1} = -25 \text{ dBm e } P_{AIN2} = -5 \text{ dBm}$
<b>88,8 mV</b>	<b>82,6 mV</b>

(\*) risultato ottenuto dalla simulazione del circuito, utilizzando per i parametri circuitali  $LE$ ,  $LB$  e  $C_{res}$  i valori calcolati analiticamente.

(\*\*) risultato ottenuto dalla simulazione del circuito, utilizzando per i parametri circuitali  $LE$  e  $LB$  i valori dimensionati mediante analisi parametrica e per  $C_{res}$  il valore calcolato analiticamente.