

**TENTAMEN I ANALOG KONSTRUKTION
KURS LET563**

- Datum:** Fredag 20e december, 2013, förmiddag
- Hjälpmedel:** Kursbok, valfri miniräknare, slides från föreläsningar samt allt annat material som har delats ut under kursen via kurshemsidan. Alla former av minnesanteckningar är också okej. Liksom olika typer av diagram. Inga diagram eller tabeller delas ut med tentan utan studenterna ansvarar själva för att ta med det de tror sig behöva för att lösa uppgifterna.
- Betygsgränser:** För godkänt krävs 8p
Betyg på kursen baseras på poäng från både tenta och projekt enligt modell i kurs-pm
- Allmän info:** *Tentan utgörs av fem uppgifter om vardera fyra poäng. Uppgifterna består av deluppgifter (a, b, c, ...). Om föregående deluppgift ej har lösts så godtas antagna värden nödvändiga för att lösa nästkommande uppgift under förutsättning att dessa värden är fysikaliskt rimliga.*

Efter examen från Chalmers har du startat ditt första jobb som elektronikkonstruktör vid en mindre firma som tillverkar radiosystem. Din första uppgift blir att förbättra lågbrusförstärkaren till en mikrovågsmottagare med 8 parallella mottagarkedjor, samtliga matas från en enda antenn följt av din lågbrusförstärkare varefter signalen splittas i åtta delar. Företaget har en stor volym av en transistortyp som för kollektorspänning och ström $V_{cc}=5V$, $I_c=10mA$ vid frekvensen $f=2.4GHz$ har följande S parametrar och brusdata

$$[S] = \begin{bmatrix} 0.5 \angle 135^\circ & 0.01 \angle 60^\circ \\ 4. \angle 180^\circ & 0.5 \angle -90^\circ \end{bmatrix}$$

$$F_{min}=1.5 \text{ dB}, \Gamma_{opt} = 0.3 \angle -90^\circ \text{ och } R_N=40\Omega.$$

Du ska undersöka om denna transistor duger för lågbrusförstärkaren som ska klara brusfaktor $F < 2\text{dB}$, förstärkning $G > 40\text{dB}$, och linjäritet $P_{1\text{dB}} > 10\text{dBm}$.

Lågbrusförstärkaren samt andra delar av mottagaren ska implementeras på PCB med tjocklek $t=0.75\text{mm}$ och en relativ permittivitet $\epsilon_r=3.8$. Systemet kommer att använda ISM bandet vid 2.4GHz och är smalbandigt.

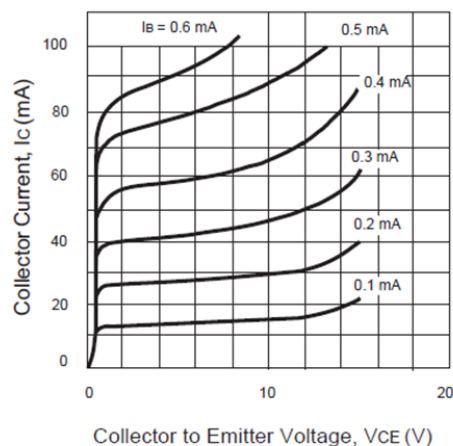
LYCKA TILL!

1. Systemarkitekturen där utsignalen från lågbrusförstärkaren splittas i åtta lika delar ställer krav på förstärkning och uteffekt. För att klara specifikationer på brus respektive förstärkning krävs att lågbrusförstärkaren har tre steg.
 - a) Vilken förstärkning kan teoretiskt uppnås ifall första steget optimeras för brus och resterande två för max förstärkning? Uppfylls specen på $G > 40\text{dB}$?
 - b) Vad blir totala brusfaktorn i detta fall? Uppfylls specen $F < 2\text{dB}$?

(4p)

2. Förstärkaren designad i uppgift 1 riskerar att gå i kompression om tredje steget designas för max gain. Du inser att du för att klara kraven på linjäritet måste designa om utgångssteget efter principerna för effektförstärkare. *(Felaktiga svar kan ge avdrag, totalpoäng på uppgift kan dock inte bli mindre än 0p)*

- a) Betrakta DC karaktäristiken och välj en biaspunkt så att förstärkaren opererar i klass A för lämpligt vald ineffekt och lastimpedans
- b) Beskriv skillnaden mellan en småsignalförstärkare och en effektförstärkare
- c) Vad skulle du ändra om du istället ville att förstärkaren skulle operera i klass B
- d) Rita lastlinje för klass A respektive Klass B förstärkaren
- e) vad är fördelen med en klass B förstärkare, jämfört med klass A
- f) Hur ser utsignalerna från klass A respektive klass B förstärkare ut i frekvensdomän om insignalen är en ren sinussignal?
- g) Uppskatta i dBm hur stor uteffekt som går att få från förstärkaren designad för max gain samt för effektförstärkaren som du har designat i denna uppgift



(4p)

3. Ingångsmatchningsnätet som designas för minimalt brus (Γ_{opt}) måste ha låga förluster. Du överväger olika alternativ: 1. En bit transmissionsledning av valfri längd och impedans, 2. enkelstubbsmatchningsnät, 3. Diskret matchningsnät.
 - a) Ett av dessa kommer inte fungera. Vilket? (motivera svaret!)
 - b) Designa enkelstubbsmatchningsnätet (välj kortsluten stubbe och välj lösningen som ger kortast möjliga stubbe, nu är dina val på fråga a) endast två:)
 - c) Designa det tredje matchningsnätet

(4p)

4. Designa ett biasnät som kan användas för samtliga tre förstärkarsteg
 - a) Designa biasnätet, ange längd och bredd på ledningar samt lämpligt värde på avkopplingskondensatorer
 - b) Gör en layoutskiss på biasnät sammankopplat med ingångstegets ingångsmatchningsnät
 - c) Hur kommer detta biasnät fungera vid frekvensen 4.8 GHz?

(4p)

5. Din kollega som skulle ha designat oscillatoren har tyvärr blivit sjuk i ett kritiskt skede av projektet och inte lyckats fullfölja sina åtaganden. Du måste backa upp för honom och ta ansvar för design av oscillatoren. Du bestämmer dig för att göra designen "quick-and-dirty", systemet ställer inte stora krav på fasbrus. Av kostnadsskäl vill du helst basera oscillatoren på samma transistor som lågbrusförstärkaren ovan.
 - d) Varför är transistorn ovan inte lämplig för design av en oscillator, motivera med en beräkning
 - e) Du hittar istället en annan transistor som för $V_{cc}=5V$ och $I_c=10mA$ vid 2.4GHz har S parametrar

$$[S] = \begin{bmatrix} 0.8 \angle 135^\circ & 0.1 \angle -135^\circ \\ 3 \angle 60^\circ & 0.4 \angle 150^\circ \end{bmatrix}$$

Motivera med samma beräkning varför denna transistor funkar för att designa en oscillator

- c) Designa oscillatoren, föreslå termineringsnät samt lastnät för bas respektive kollektor

(4p)

1 Börja med att kolla stabilitet

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} = 7.11$$

$$|\Delta| = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| = 0.76$$

testa om det går att räkna unilateralt

$$U = \frac{|S_{11}| |S_{12}| |S_{21}| |S_{22}|}{(1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)} = 0.0178$$

a) Matcha första steg för brus
och steg 2, 3 för max-gain

$$\text{steg 1 } \Gamma_s = \Gamma_{\text{opt}} = 0.3 \angle -90^\circ$$

$$\Gamma_L = S_{22}^* = 0.5 \angle 90^\circ$$

$$G_{T, \text{LNA}} = \frac{(1 - |\Gamma_{\text{opt}}|^2) |S_{21}|^2}{|1 - \Gamma_{\text{opt}} S_{11}|^2 (1 - |S_{22}|^2)} = 23.56 \text{ (13.72 dB)}$$

$$G_{T, \text{MAX}} = \frac{|S_{21}|^2}{(1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)} = 28.44 \text{ (14.54 dB)}$$

$$\begin{aligned} G_{\text{TOT, dB}} &= G_{\text{LNA}}|_{\text{dB}} + 2 G_{T, \text{MAX}}|_{\text{dB}} = \\ &= 13.72 + 2 \cdot 14.54 \text{ dB} = 42.80 \end{aligned}$$

b) Beräkna brusfaktor för garnsteg

$$F = F_{\min} + \frac{4R_0}{Z_0} \frac{|1 - \Gamma_s - \Gamma_{\text{opt}}|^2}{(1 - |\Gamma_s|^2) |1 + \Gamma_{\text{opt}}|^2} = \left\{ \Gamma_s = \Gamma_{\text{opt}} \right\}$$

$$= 10^{1.5} + \frac{4 \cdot 50}{50} \frac{|0.5 \angle -135^\circ + j0.3|^2}{(1 - 0.5^2) |1 - j0.3|^2} =$$

$$= 3.0417$$

Fries formel: $F_{\text{TOT}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_2 G_3} =$

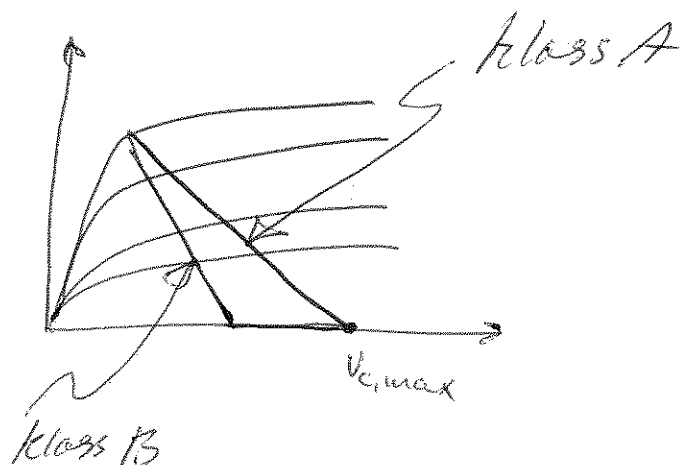
$$= 10^{1.5/10} + \frac{3.0417 - 1}{23.86} + \frac{3.0417 - 1}{23.86 \cdot 28.44} = 1.45 \text{ (1.62 dB)}$$

2a) $V_{CC} = 8V$, $I_{CQ} = 50mA$

b) I en smalsignalförstärkare är RF signalen liten i jämförelse med DC-bias. Lastlinjen svänger över mindre (obetydlig del av DC karakteristika)

c) Jämfört med klass A så skulle DC strömmen (sätts) $I_{CQ} = 10mA$ och lastimpedansen

d)

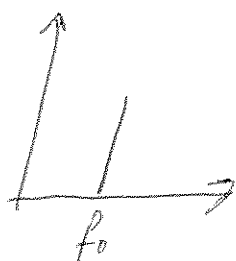


e) Bättre verkningsgrad

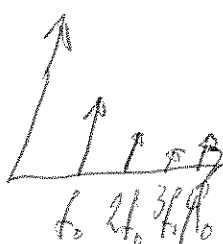
f) klass A är ganska linjär och utsignalen blir nära en sinus

klass B är ganska icke-linjär, utsignal får mycket övertoner

klass A



klass B



g) Ut effekt begränsas av DC effekt och
verkningsgrad

$$\text{Maximal förstärkning} \quad \left. \begin{array}{l} P_{DC} = 5 \cdot 10 \text{ mW} \\ \eta = 10\% \end{array} \right\} \Rightarrow P_{RF} = 5 \text{ mW}$$

$$P_{RF, \text{dBm}} = 10 \lg(5 \text{ mW}) = 7 \text{ dBm}$$

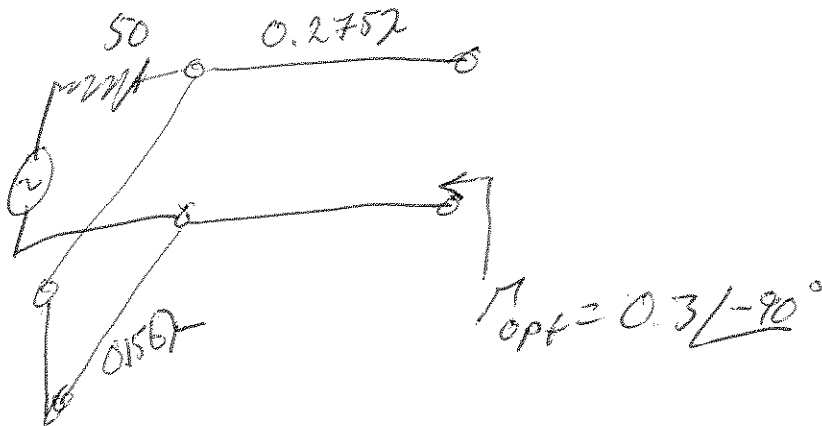
$$\text{Klass A} \quad \left. \begin{array}{l} P_{DC} = 8 \cdot 50 \text{ mW} \\ \eta = 50\% \end{array} \right\} \Rightarrow P_{RF} = 200 \text{ mW}$$

$$P_{RF, \text{dBm}} = 10 \lg(200) = 23 \text{ dBm}$$

~~CH~~

3) a) En bär T.h by Γ_{opt} ligger utanför $r=1$ och $g=1$.

b) Enkelstubsmatchningsnät



c) Diskret matchningsnät

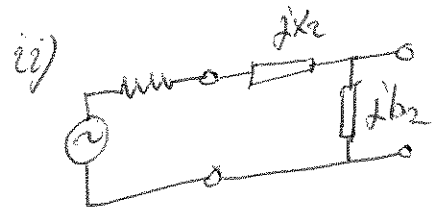
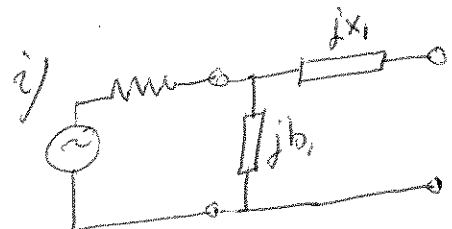
Two möjliga lösningar

$$jb_1 = j0.4$$

$$jx_1 = -j0.55 - (-j0.35) = -j0.2$$

$$jx_2 = -j0.4$$

$$jb_2 = j0.55 - j0.35 = j0.2$$



4) a) Använd kvartsvagsledning. Beräkna våglängd
på substrat

$$\lambda_{TEM} = \frac{c_0}{v_{Er}} \Rightarrow \lambda_{TEM} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.4 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{3.8}} =$$

Valj ledningsimpedans $Z_0 = 100 \Omega \Rightarrow \frac{W}{h} = 0.5$

$$\Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_{TEM}} = 1.2$$

$$\Rightarrow \lambda = 1.2 \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2.4 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{3.8}} = 7.69 \text{ cm}$$

$$Z \approx \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow C > \frac{0.01}{\omega C} \Rightarrow |Z| < 0.01 \Omega$$

$$\Rightarrow C = 66 \text{ pF}$$

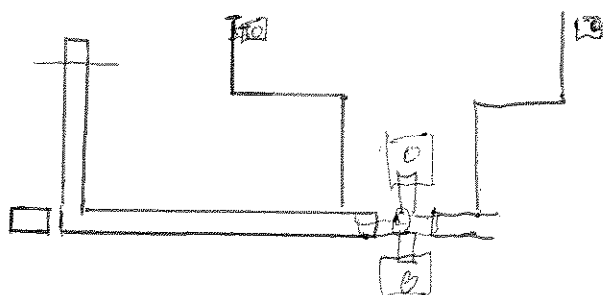
$$\text{ledningsbredd} = 0.5 \cdot 0.75 \text{ mm} = 0.375 \text{ mm}$$

$$\text{längd} = \frac{7.69 \text{ cm}}{4} = 1.92 \text{ cm}$$

b)

$$50 \Omega \quad \frac{Z_0 W}{\lambda_{TEM}} = 2 \Rightarrow W = 1.8 \text{ mm} \quad \frac{\lambda}{\lambda_{TEM}} = 1.13$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{1.13}{1.20} \cdot \lambda_{TEM}$$



5) a) Beräkna stabilitetsfaktor

$$\begin{cases} K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} = \frac{4.89}{2.116} \\ |\Delta| = 0.36 \end{cases}$$

Overtilltaget stabilt, inte bra för oscillator

b) $K = 0.33$ Pot. instabil kan bli oscillator

c) Designa stab. cirkel för utgång

$$C_L = \frac{(S_{22} - \Delta S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} = 2.41 / -150^\circ$$

$$R_L = \left| \frac{S_{12}S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| = 1.87$$

Välj $\Gamma_T = 1 / -150^\circ$

T.ex. öppen TL $l = \frac{150}{2.3602} = 0.20832$

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_T}{1 - S_{22}\Gamma_T} = 1.3 / 135^\circ$$

$$Z_{IN} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{IN}}{1 - \Gamma_{IN}} = -7.6 + j2.03$$

$$R_L = -\frac{R_{IN}}{3} = 2.53 \Omega$$

$jX_L = -j20.3 \Rightarrow \bar{X}_L = -j0.4$ T.ex. öppen TL $\theta = 68^\circ$

$$\theta = \arctan\left(\frac{50}{20.3}\right) = 68^\circ \quad l = \frac{68}{360} \lambda = 0.18947$$