

# HFT 37, Tentamen i högfrekvensteknik, kurskod EEM021

## 2010-04-09, 08:30 i "Maskin"-salar. Längd: 4 timmar.

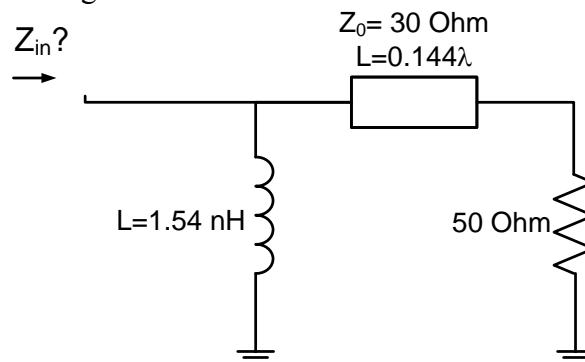
<b>Tillåtna hjälpmedel:</b>	Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, formelsamling i Elektromagnetisk fältteori, egna anteckningar i formelsamlingen och på en A4 blad (dock inte lösningar till uppgifter)
<b>Frågor uppg 1-4, 6-7</b>	Vincent Desmaris, tel ankn. 1846
<b>Frågor uppg 5</b>	Hans Hjelmgren, tel 070-520 13 46
<b>Resultatet</b>	Anslås på kursens hemsida
<b>Granskning</b>	Skер på tid och plats som anges på kurshemsida
<b>Betygsgränser</b>	24p för betyg 3, 36p för betyg 4 och 48p för betyg 5
<b>Kom ihåg</b>	<b>Lösningen på uppgift 5 lämnas i separat omslag</b>
<b>Observera</b>	Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!

### Duggadelen

Om summan av poängen på uppgifterna markerade med **D** understiger resultatet på duggan, kommer duggaresultatet ersätta det vid sammanräkning av totalpoäng på tentan.

### Transmissionsledningar:

1. (**D**-10p) Hitta in-impedansen av följande krets vid 6 GHz genom att endast använda Smith-diagramet. (E är elektriska längden av den förlustfria transmissionsledningen)



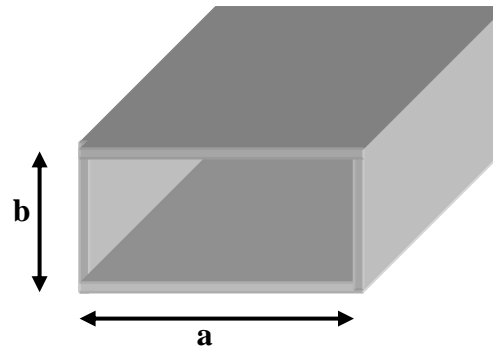
2. (D-10p) Ingenjören Hawal vill tillverka en 20 dB dämpare, genom att bestämma längden av en rektangulär vågledare ( $a=1.07$  cm,  $b=0.43$ ), som opererar i  $TE_{10}$  moden vid 20 GHz. Vågledaren är gjort av mässing ( $\sigma=1,6 \cdot 10^7$  S.m<sup>-1</sup>) och fylld med ett dielektriskt material (permittivitet  $\epsilon_r=2.2$  och  $\tan\delta=0.002$ ).

- Hur långt vågledaren skall vara?

### Vågledare

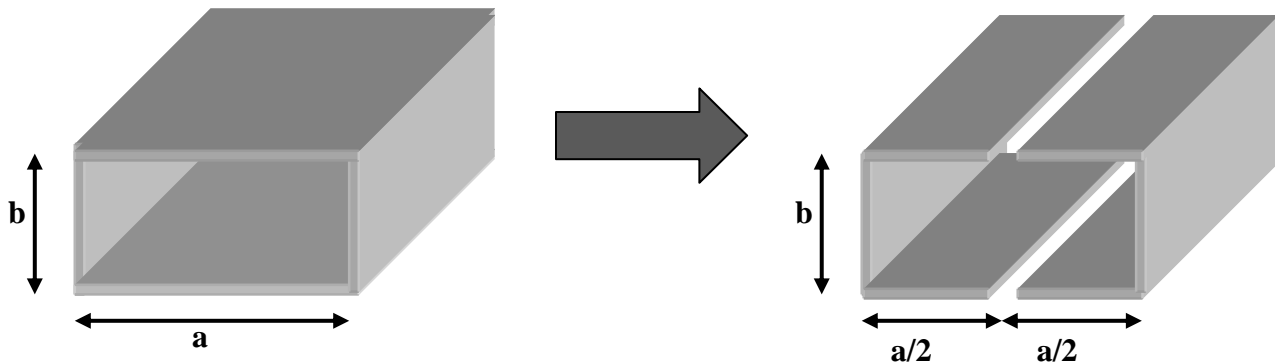
3. (8p) En elektromagnetisk våg med våglängden 10 cm utbreder sig i en luftfylld rektangulär vågledare ( $b>a/2$ ) med  $TE_{10}$  moden.  $TE_{10}$  vågen utbreder sig med en säkerhet marginal av 30% (d.v.s. frekvensen är 30% högre än vågledarens brytfrekvens). På samma sätt är brytfrekvensen för nästa mod 30% högre än den utbredande vågen.

- Beräkna vågledarens dimensioner



4. (7p)

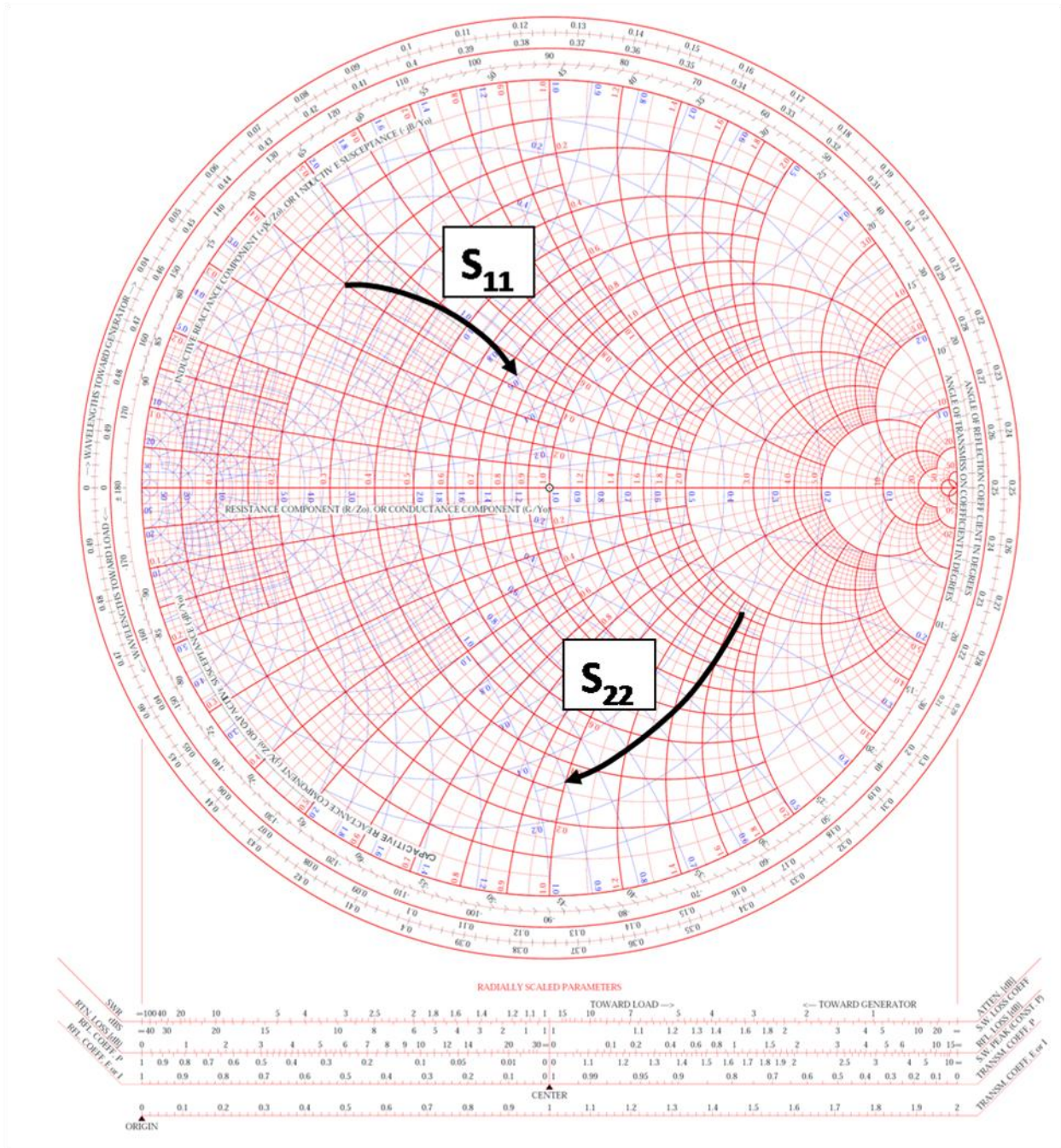
- Härled ytströmtätheten på väggarna av en rektangulär vågledare ( $a>b$ ) för  $TE_{10}$  moden.
- Varför kan man skära ett litet vertikalt snitt i mitten av den breda vägen ( $a$ ), utan att störa fältutbredningen och strömfördelningen i vågledaren?



# Mikrovågselektronik

5. (10p). Y/Z Smith-diagrammet nedan visar  $S_{11}$  och  $S_{22}$  för en tvåport. Frekvensen har svepts upp till 3.5 GHz och  $Z_0=50 \Omega$ . Både  $S_{12}$  och  $S_{21}$  är lika med noll för alla frekvenser.

- a) (3p) Avläs i Smithdiagrammet  $S_{11}$  och  $S_{22}$  för  $f=3.5$  GHz.
- b) (5p) Bestäm m.h.a. Smithdiagrammet ett ekvivalent elektriskt schema för tvåporten.
- c) (2p) För vilken frekvens startar svepet av  $S_{11}$ ?



## Antenner

6. (9p) Det elektriska fjärrfältet (far-zone electric field) genererad av en Hertz-dipole i z-axeln ges av:

$$E_{\theta}(r, \theta, \phi) = V_0 \sin \theta \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \text{ (V/m)}$$

$$E_{\phi}(r, \theta, \phi) = 0 \text{ (V/m)}$$

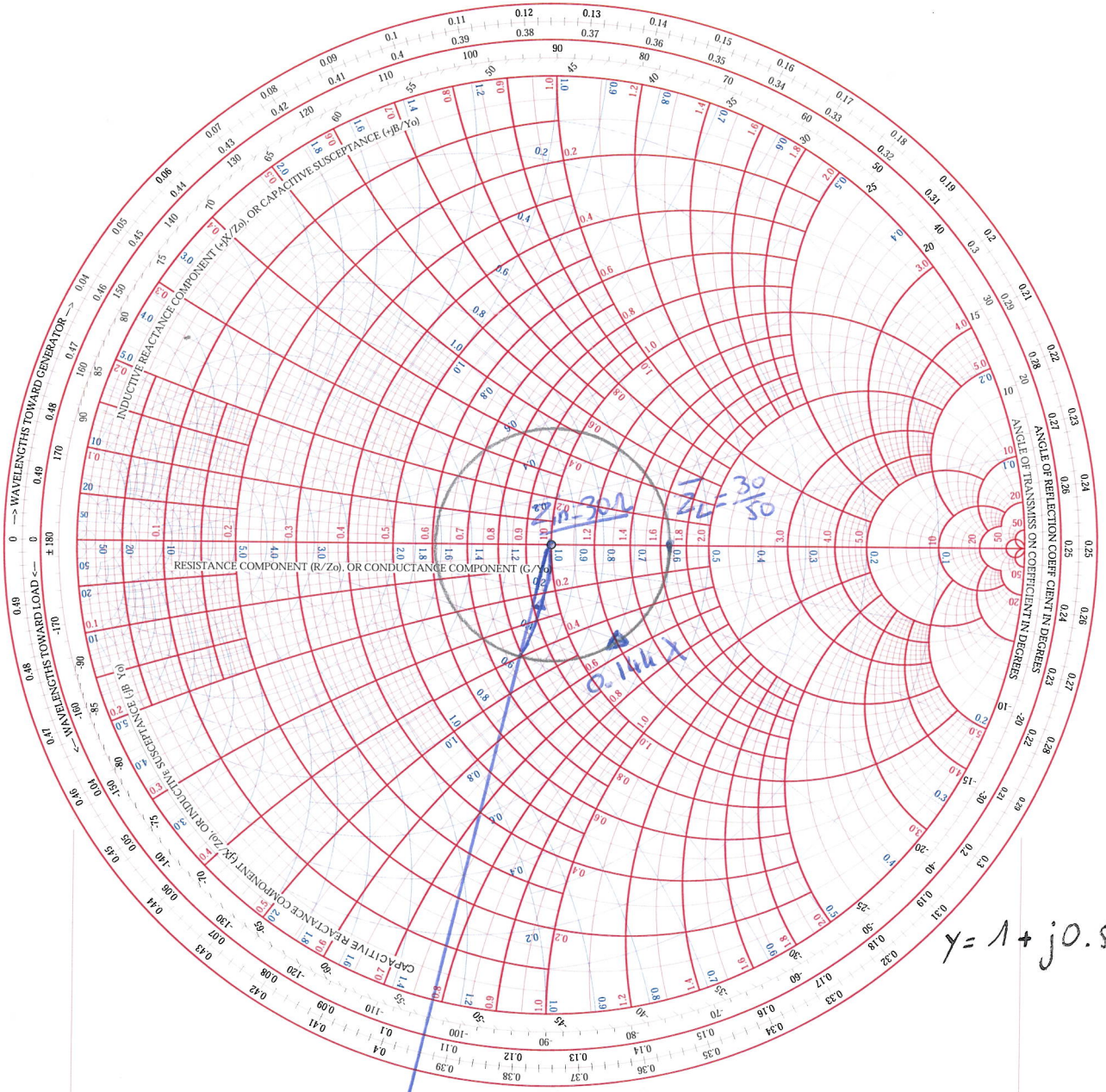
- **Beräkna huvudlobpositionen, lobbredden och direktivitet.**

7. (6p) För att kommunicera med en rymdskepp på Mars använder man en antenn som har effektiv area  $1200 \text{ m}^2$  och rymdskeppets antensns effektiva area är  $10 \text{ m}^2$ .

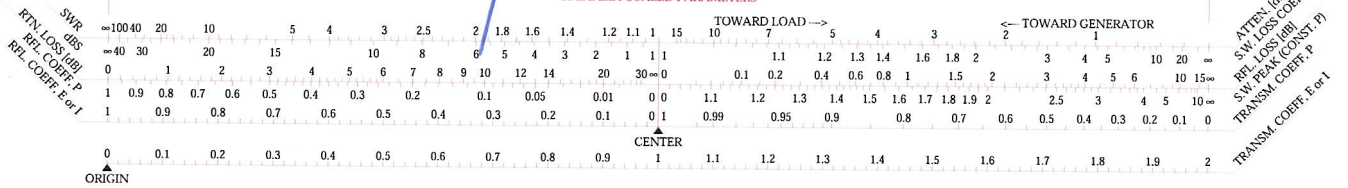
- Vilken effekt behöver vi sända för att rymdskeppet ska kunna detektera det om den minsta infallande effekt som rymdskeppets antenn kan mäta är  $10^{-11} \text{ mW}$ ? (Antag att vi sänder när vi är närmast Mars (då avståndet är  $77 \cdot 10^6 \text{ km}$ ) och frekvensen är  $6 \text{ GHz}$ ).**
- Antag att vi vill använda en standard bilradioantenn (längd  $1 \text{ m}$ ) som en sändande antenn vid  $1 \text{ MHz}$ . Effekten vi vill sända ut är  $10 \text{ W}$ . Vilken antennström behöver vi?**

NAME	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM ZY-01-N	Microwave Circuit Design - EE523 - Fall 2000	DATE

### NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



#### RADIALLY SCALED PARAMETERS



$$\underline{2:} \quad k = \sqrt{\epsilon_r} k_0 = \sqrt{2.2} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} = \sqrt{2.2} \cdot \frac{2\pi}{3 \cdot 10^8} \times 20 \cdot 10^9 = 621 \text{ m}^{-1}$$

$$\beta = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} = 547.5 \text{ m}^{-1}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\omega \mu}{2\sigma}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 20 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^7}} = 0.070 \Omega$$

$$\eta = 377 / \sqrt{\epsilon_r} = 254 \Omega$$

dielectriska förluster:  $\alpha_D = \frac{k^2 \tan \delta}{2\beta} = 0.705 \text{ Np/m} = 6.12 \text{ dB/m}$

Metalliska förluster:  $\alpha_M = \frac{R_s}{a^3 b \beta k \eta} (2b\pi^2 + a^3 k^2) = 0.086 \text{ Np/m} = 0.74 \text{ dB/m}$

totala förluster:  $\alpha = \alpha_D + \alpha_M = 6.86 \text{ dB/m}$

$\Rightarrow$  Hållal behöver = 2,91 m.

3

$$\lambda = 10^{-1} \text{ m} \rightarrow f = 3 \text{ GHz}$$

$$\bullet \quad f = f_{c\text{TE}_{10}} + f_{c\text{TE}_{10}} \cdot 0.3 \rightarrow f_{c\text{TE}_{10}} = \frac{f}{1.3} = 2.3 \text{ GHz}$$

$$f_{c\text{TE}_{10}} = \frac{c}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{a} \rightarrow a = 6.5 \text{ cm}$$

• Nästa moden är  $\text{TE}_{01}$  ( $b > \frac{a}{2}$ )

$$f_{c\text{TE}_{01}} = f + f \cdot 0.3 \rightarrow f_{c\text{TE}_{01}} = 1.3 \times f = 3.897 \text{ GHz}$$

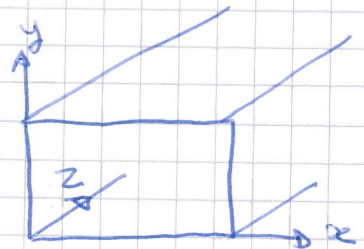
$$f_{c\text{TE}_{01}} = \frac{c}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{b} \rightarrow b = 3.85 \text{ cm}$$

4 : TE<sub>10</sub> moden:

$$H_x = \frac{j\beta a A}{\pi} \sin \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z}$$

$$H_y = 0$$

$$H_z = A \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z}$$



$\vec{J}_s = \hat{n} \times \vec{H}$  där har vi följande strömmar på väggarna:

bottom:  $\hat{n} = \hat{y} \rightarrow \vec{J}_s = -\hat{z} \frac{j\beta a A}{\pi} \sin \frac{\pi z}{a} e^{j\beta z} + \hat{x} A \cos \frac{\pi z}{a} e^{-j\beta z}$

top:  $\hat{n} = -\hat{y} \rightarrow \vec{J}_s = \hat{z} \frac{j\beta a A}{\pi} \sin \frac{\pi x}{a} e^{j\beta z} - \hat{x} A \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z}$

höger:  $\hat{n} = -\hat{x} \rightarrow \vec{J}_s = -\hat{y} A e^{-j\beta z}$

vänster:  $\hat{n} = \hat{x} \rightarrow \vec{J}_s = \hat{y} A e^{-j\beta z}$

i mitten av den breda vägen  $x = \frac{a}{2}$

då:  $\vec{J}_s = \pm \hat{z} \frac{j\beta a A}{\pi} e^{-j\beta z}$

strömmen flödar i  $\hat{z}$  leden därför en liten snitt i  $\hat{z}$  leden stör inte strömfördelningen.

6: Hovedlob  $\rightarrow \sin \theta = 1 \rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}$

Lobbredd:

$$\sin^2 \theta > 0.5 \rightarrow 45^\circ < \theta < 135^\circ \Rightarrow \text{lobbredden} = 90^\circ$$

$$\int_0^{\pi} \int_0^{\pi} \sin^3 \theta d\theta d\varphi = 2\pi \left[ \frac{1}{3} \cos^3 \theta - \cos \theta \right]_0^{\pi} = \frac{8\pi}{3}$$

$$G_0 = \frac{4\pi}{\frac{8\pi}{3}} = 1.5 \quad (\text{direkthvilet})$$

7: a)  $\frac{P_L}{P_{\text{ut}}} = \frac{G_0 G_2 \lambda^2}{(4\pi R)^2} = \frac{A_e A_{ez}}{(\lambda R)^2}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.05 \text{ m} \rightarrow P_{\text{ut}} = \frac{0.05 \cdot 77 \cdot 10^9 \cdot 10^{-14}}{1200 \cdot 10} = 12.35 \text{ W}$$

b)  $\lambda = \frac{c}{f} = 300 \Rightarrow l \rightarrow$  approximera med Hertz-dipol

$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{P}{80\pi^2 (l/\lambda)^2} = \frac{10 \cdot 300^2}{80\pi^2} = 1140$$

$$I = 33.7 \text{ A}$$



Omtenta 2010-04-09  
Uppgift 5.

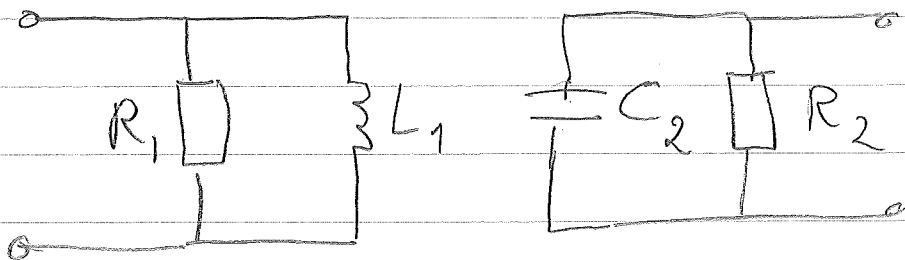
a) Ur S. D.  $f = 3,55 \text{ MHz}$

$$S_{11} = \underline{\underline{0,30 \angle 107^\circ}}$$

$$S_{22} = \underline{\underline{0,71 \angle -86^\circ}}$$

- b) konduktansen varierar inte, och det finns ingen koppling mellan ingång och utgång ( $S_{12} = S_{21} = 0$ ). Ingång & utgång kan alltså beskrivas med en konduktans parallellt med en reaktiv komponent.

I övre halvplanet är susceptansen  $< 0 =$  induktiv, och i undre halvplanet är den  $> 0$ .



2c)

UR S.D.,  $Z_0 = 50 \Omega$ 

$$R_1 = Z_0 \cdot r_1 = \frac{Z_0}{g_1} = \frac{50}{1} = \underline{\underline{50 \Omega}}$$

$$R_2 = Z_0 \cdot r_2 = \frac{Z_0}{g_2} = \frac{50}{0,3} = \underline{\underline{167 \Omega}}$$

$$f = 3,5 \text{ GHz}$$

$$b_1 = -0,6, \quad b_2 = +0,9$$

$$j b_1 \cdot Y_0 = \frac{1}{j \omega L_1}$$

$$\Rightarrow L_1 = \frac{-Z_0}{2\pi \cdot f \cdot b_1} = \frac{-50}{2\pi \cdot 3,5 \cdot 10^9 \cdot (-0,6)} =$$

$$= \underline{\underline{3,8 \text{ nH}}}$$

$$j b_2 \cdot Y_0 = j \omega C_2$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{b_2}{Z_0 \cdot 2\pi \cdot f} = \frac{0,9}{50 \cdot 2\pi \cdot 3,5 \cdot 10^9} = \underline{\underline{0,82 \text{ pF}}}$$

3C)

c) I start punkten

$$b_1 = -2.0$$

$$b_2 = 0.27$$

$$f_1 = \frac{-Z_0}{2\pi \cdot L_1 \cdot b_1} = \frac{50}{2\pi \cdot 3.8 \cdot 10^{-9} \cdot 2.0} = \underline{\underline{1.05 \cdot 10^9}}$$

kontrollera mot  $b_2$ 

$$f_1 = \frac{0.27}{50 \cdot 2\pi \cdot 0.82 \cdot 10^{-12}} = \underline{\underline{1.05 \cdot 10^9 \text{ Hz}}}$$