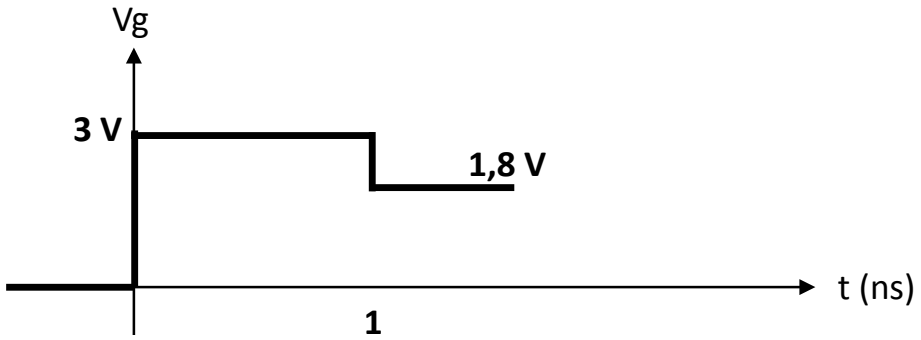
HFT 54-Del1, Tentamen i högfrekvensteknik, EEM021
2016-11-25, em i HA1. Längd: 3 timmar.

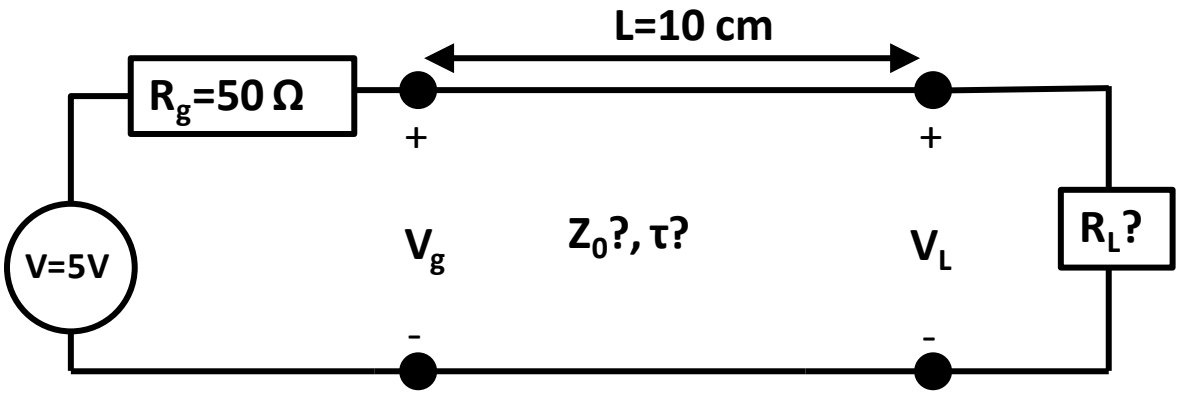
Tillåtna hjälpmedel:	Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, formelsamling i Elektromagnetisk fältteori av Eva Palmgren, egna anteckningar i formelsamlingen och på en A4 blad (dock inte lösningar till uppgifter)
Frågor uppg 1-6	Vincent Desmaris, tel ankn. 1846 Hawal Rashid, tel ankn 1850
Resultatet	Anslås på kursens hemsida
Granskning	Sker på tid och plats som anges på kurshemsida
Betygsgränser	Med minst 30% av poäng för transmissionsledningar och vågledare uppgifter
Observera	Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!

<u>Transmissionsledningar:</u>

Problem 1. 8p.

En 10 cm förlustfri transmissionsledning med karakteristiska impedans Z_0 ansluter en generator (V=5V, Rg=50 Ω) till last Z_L.Vid t=0, slåss generatorn på och genererar spänningen V= 5V. Under de två första 1,5 ns, mäter man följande spänning vid ingången av linjen.

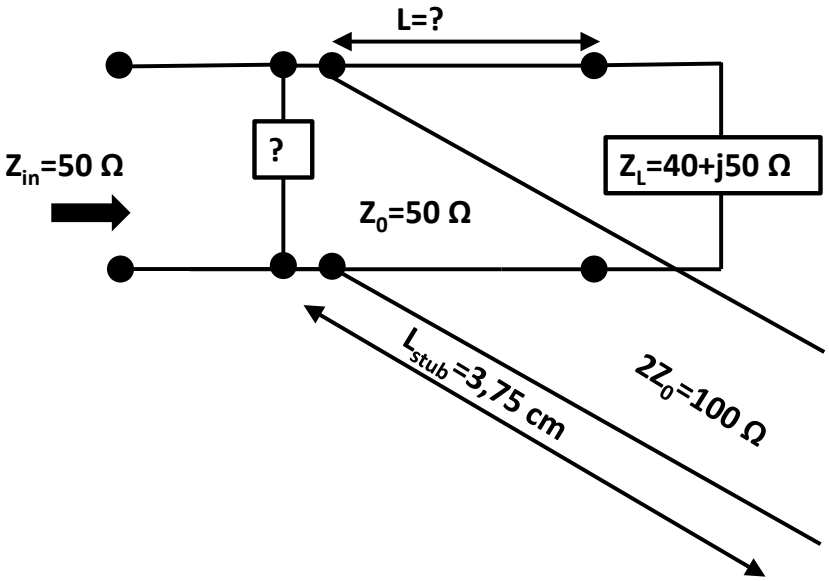




a) Beräkna Z_0, och R_L samt löptiden τ och ledningsparametrarna för linjen (L och C).
b) Skissa vid lasten för 2ns ≥ t ≥ 0s

Problem 2. 10p. (D)

Ingenjören Sascha försökte anpassa lasten Z_L= 40 + j50 Ω vid 1GHz med hjälp av en förlustfri transmissionsledning av karakteristisk impedans Z_0= 50 Ω och en enkel öppenstubb av karakteristik impedans $2Z_0$. Tyvärr är stubben inte reglerbar och har en bestämt längd (3,75 cm).



Vilken reaktiv komponent måste Sascha lägga i parallell med stubben för att nå anpassning, samt vilken längd (L) på transmissionsledningen krävs?

<u>Vågledare:</u>

Problem 3. 10p. (D)

En luftfylld rektangulär vågledare med dimensionerna axb (6 mm x 3 mm) är tillverkad av materialet Niobium. Ledningsförmågan för niobium vid rumstemperatur är $\sigma \cong 6.58 \cdot 10^6$ s/m. Niobium är supraledande (för enkelhetsskull ansätter $\sigma = \infty$) upp till den kritiska temperaturen Tc ≈9 K.

Givet att

$$E_z = 5 \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{3\pi y}{b}\right) \cos(10^{12} t - \beta z) \ V/m$$

a) ***Bestäm brytfrekvensen för moden.***
b) ***Bestäm den transmitterade medel effekten vid rumstemperatur***
c) ***Bestäm effektförlusten i vågledaren om dämpkonstanten är 3 dB/m vid rumstemperatur.***
d) ***Hur stor är dämpkonstanten samt effektförlusten när vågledaren är nedkyld till 2 K.***

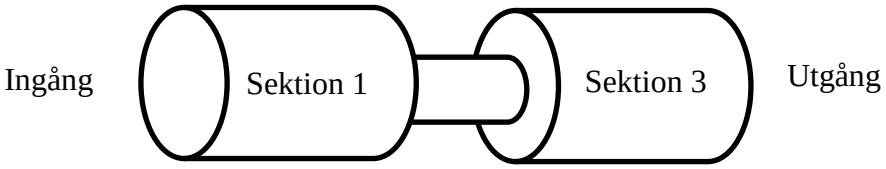
Problem 4. 6p.

En våg i TE_11 moden med frekvensen 4.6 GHz utbreder sig i en luftfylld cirkulär vågledare (se figur), gjort med perfekta metalliska väggar ($\sigma = \infty$). Den cirkulära vågledaren är uppdelad i tre sektioner. Första sektion och sista av vågledaren har radien R_1 = 2 cm.

a) ***Vilka moder vid 4.6 GHz kan propagera i mittsektion 2. Radien på mittsektionen sektionen är 50 % mindre än de övriga.***
b) ***Beräkna brytfrekvensen för den dominanta moden i sektion 1 och 2. Radien på mittsektionen sektionen är 50 % mindre än de övriga.***

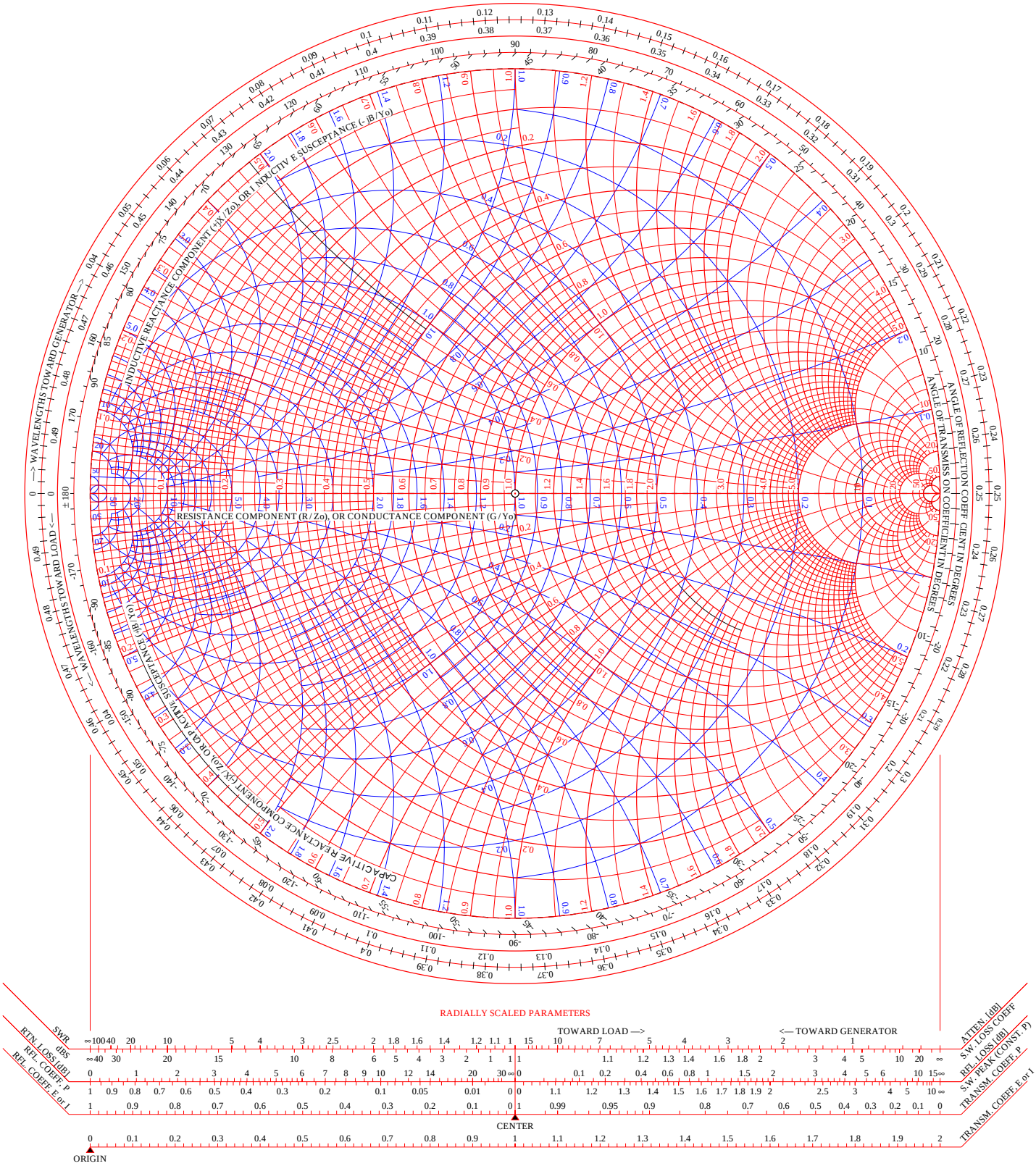
c) ***Ingenjören Sascha mäter effekten vid utgången och inser att signalen är för stark för hans aktiva krets och skulle vilja dämpa signalen med 10 dB.***

Av praktiska skäl kan inte längden på mittsektion överskrida 4 cm, bestäm radien och längden på mittsektion så att signalen vid utgångsvågledaren (sektion 3) är dämpad med 10 dB. Längden på mittsektion kan inte överskriv



NAME	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM ZY-01-N	COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997	DATE

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



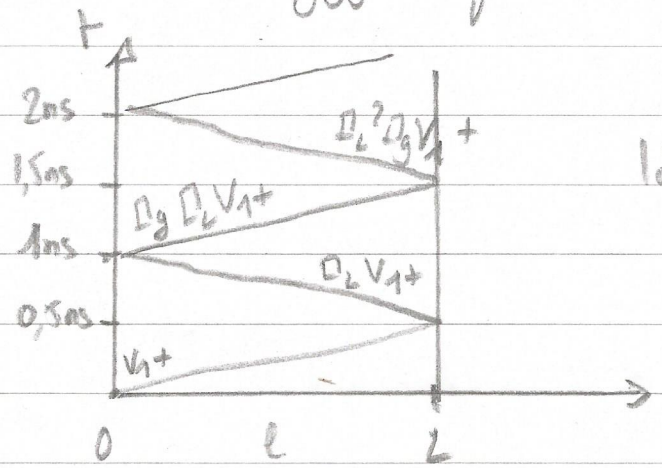
RADIALLY SCALED PARAMETERS

Uppgift 1:

- Vid $t = 0$: får vi spänningsdelning vid ingången av linjen.

  alltså $V_g(0) = \frac{V \cdot Z_0}{R_g + Z_0} \rightarrow \underline{Z_0 = 75\,\Omega}$

- om man bygger reflektionsdiagram:



löptiden $= \underline{0{,}5\,ns = \tau}$

alltså efter 1ns vid ingången av linjen har vi

(1) $V_g(1ns) = V_1^+ + \Gamma_L V_1^+ + \Gamma_L \Gamma_g V_1^+$

$V_1^+ = V_g(0) = \frac{V \cdot Z_0}{R_g + Z_0} = 3V$

$\Gamma_g = \frac{R_g - Z_0}{R_g + Z_0} = \frac{50-75}{50+75} = -\frac{1}{5}$

(1) $\rightarrow$ $1.8 = 3\left(1 + \Gamma_L + \Gamma_L\left(-\frac{1}{5}\right)\right)$

$0.6 = 1 + \frac{4}{5}\Gamma_L$

$-0.4 = \frac{4}{5}\Gamma_L$

$\underline{\Gamma_L} = -\frac{1}{2} \rightarrow \underline{R_L} = Z_0 \frac{\Gamma + 1}{\Gamma - 1} = \frac{Z_0}{3} = \underline{25\,\Omega}$

vi har en förlustfri ledning: $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = 75\,\Omega$

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{l}{\tau} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$Z_0 \cdot v_p = \frac{1}{C} \rightarrow C = \frac{1}{Z_0 \cdot v_p} = 66 \text{ pF/m}$$

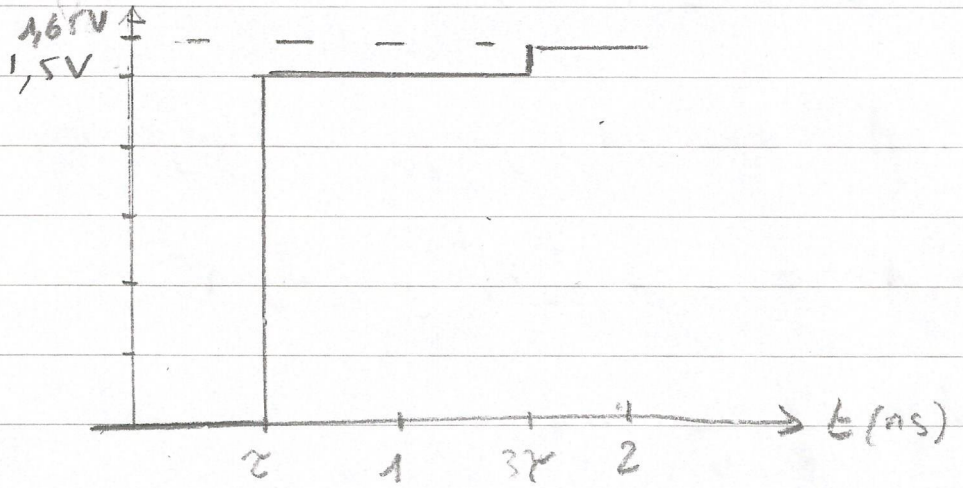
$$\frac{Z_0}{v_p} = L \rightarrow L = 375 \text{ nH/m}$$

vid lasten har vi

$V_L = 0 \qquad 0 \leq t < \tau$

$V_L = V_1^+ + \Gamma_L V_1^+ = \frac{1}{2} \cdot V_1^+ = 1{,}5\text{V} \qquad \tau \leq t < 3\tau$

$V_L = V_1^+ + \Gamma_L V_1^+ + \Gamma_g \Gamma_L V_1^+ + \Gamma_L^2 \Gamma_g V_1^+ = 1{,}65\text{V} \quad 3\tau \leq t \leq 5\tau$



Problem 2:

$Z_L = 40 + j50 \qquad \bar{Z}_L = 0.8 + j1 \quad (\text{då } Z_0 = 50\Omega)$

eftersom stubben och den okända reaktiv komponent endast bidrar med en ren susceptans måste man flytta från Z_L längs en "konstant Γ" cirkel (förlustfri transmissions ledning) till enhetscirkeln för admittanser

$\rightarrow \quad l_1 = (0.417 - 0.148)\lambda = 0,269\,\lambda \rightarrow \bar{Y}_1 = 1 + j1.1$

$\rightarrow \quad l_2 = (0.582 - 0.148)\lambda = 0.434\,\lambda \rightarrow \bar{Y}_2 = 1 - j1.1$

dvs $\quad Y_1 = 0.02 + j0.022\ \Omega$

$Y_2 = 0.02 - j0.022\ \Omega$

- Stubben av längden $l = \frac{\lambda}{8}$ har normaliserade admittansen $\bar{Y}_{STUB} = j$,

  dvs $Y_{STUB} = j \cdot \frac{1}{20} = 0,01j$

Stubben och den reaktiva komponent är parallel kopplade alltså för att nå anpassning måste vi ha:

$$\begin{cases} \mathrm{Im}(Y_1) + Y_{STUB} + Y_{k_1} = 0 \\ \text{eller} \\ \mathrm{Im}(Y_2) + Y_{STUB} + Y_{k_2} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Y_{k_1} = -j0.032 \\ Y_{k_2} = j0.012 \end{cases}$$

- k_2: vi måste lägga en kondensator i parellel med STUBBEN: $C\omega = 0.012$

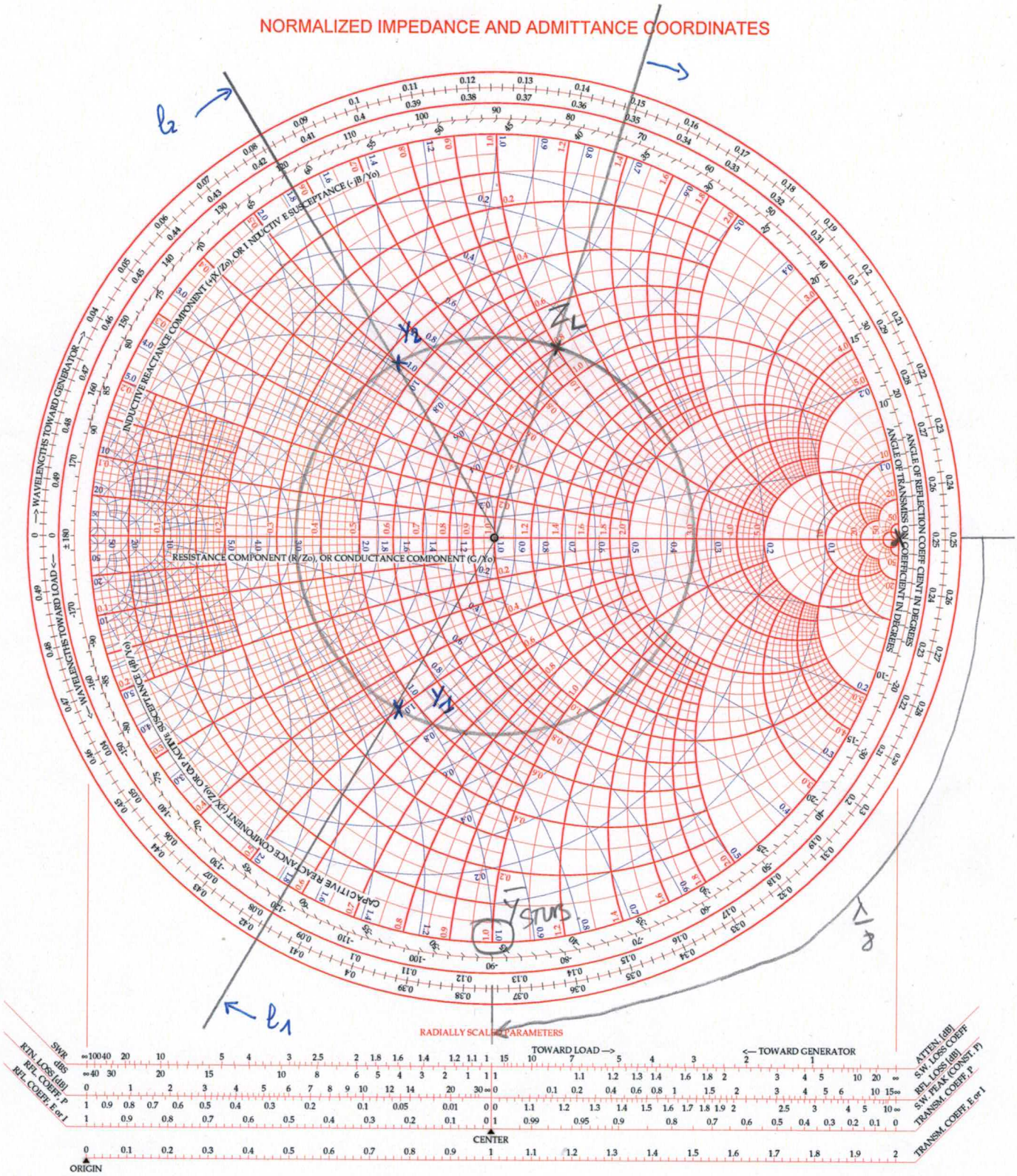
  $\Rightarrow C = 1,91\ pF$

- k_1: vi måste lägga en spole i parellel med stubben: $\frac{1}{L\omega} = 0.032$

  $\Rightarrow L = 4,97\ nH$

NAME	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM ZY-01-N	COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997	DATE

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



Problem 3.

En luftfylld rektangulär vågledare med dimensionerna axb (6 mm x 3 mm) är tillverkad av materialet Niobium. Ledningsförmågan för niobium vid rumstemperatur är $\sigma \cong 6.58 \cdot 10^6$ s/m. Niobium är supraledande (för enkelhetsskull ansätter $\sigma = \infty$) upp till den kritiska temperaturen Tc ≈9 K.

Givet att

$$E_z = 5 \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{3\pi y}{b}\right) \cos(10^{12} t - \beta z) \ V/m$$

a) Bestäm brytfrekvensen för moden.
b) Bestäm den transmitterade medel effekten vid rumstemperatur.
c) Bestäm effektförlusten i vågledaren om dämpkonstanten är 3 dB/m vid rumstemperatur.
d) Hur stor är dämpkonstanten samt effektförlusten när vågledaren är nedkyld till 2 K.

Svar:

a)

Från det givna E-fältet ser vi att det är en TM mod eftersom Ez=0 för TE mod.

Det specifika moden fås från argumentet av uttrycket, $sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) sin\left(\frac{3\pi y}{b}\right)$
dvs m=2 och n=3. Således, TM_{23}

brytfrekvensen ges av
$f_c = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$ *=158.11 GHz*

B)

Den transmitterade medeleffekten fås genom integration av Poynting vektorn

$P_{23} = \frac{1}{2} Re\left\{ \int E \times H^* \cdot \hat{z} dxdy \right\}$ *(1)*

E och H fälten fås från rotation av det givna fältet.

Hz=0 för TM mod.

$$H_x = \frac{j\omega\varepsilon}{k_c^2}\frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{j15\pi}{b}\frac{\omega\varepsilon}{k_c^2} \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{3\pi y}{b}\right) \cos(10^{12} t - \beta z)$$

$$H_y = \frac{j\omega\varepsilon}{k_c^2}\frac{\partial E_z}{\partial x} = \frac{j10\pi}{a}\frac{\omega\varepsilon}{k_c^2} \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{3\pi y}{b}\right) \cos(10^{12} t - \beta z)$$

$$E_x = -\frac{j\beta}{k_c^2}\frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{j10\pi}{a}\frac{\beta}{k_c^2} \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{3\pi y}{b}\right) \cos(10^{12} t - \beta z)$$

$$E_y = -\frac{j\beta}{k_c^2}\frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{j15\pi}{b}\frac{\beta}{k_c^2}\sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right)\cos\left(\frac{3\pi y}{b}\right)\cos(10^{12}t - \beta z) \qquad (2)$$

$$E \times H^* = \left(-E_z H_y^*\right)\hat{x} + \left(E_z H_x^*\right)\hat{y} + \left(E_x H_y^* - E_y H_x^*\right)\hat{z} \qquad (3)$$

Ekvation (3) i (1) ger

$$P_{23} = \frac{1}{2}Re\left\{\int_0^a\int_0^b E_x H_y^*\,dxdy - \int_0^a\int_0^b E_y H_x^*\,dxdy\right\}$$
$$= \frac{1}{2}Re\left\{\frac{\omega\varepsilon\beta}{k_c^4}\left(\frac{10\pi}{a}\right)^2\cdot\frac{ab}{4}\right\} + \frac{1}{2}Re\left\{\frac{\omega\varepsilon\beta}{k_c^4}\left(\frac{10\pi}{a}\right)^2\cdot\frac{ab}{4}\right\}$$
$$= \frac{\omega\varepsilon\beta}{4k_c^4}\frac{100\pi^2 b}{a} \qquad (4)$$

c)

$$\alpha = \frac{P_{loss}}{2P_{23}} \Rightarrow P_{loss} = 2P_{23}\alpha \qquad (5)$$
$$\alpha = \frac{3}{8.868} = 0.338$$
$$P_{loss} = \frac{6}{8.868}\cdot\frac{\omega\varepsilon\beta}{4k_c^4}\frac{100\pi^2 b}{a}$$

d) Vid 2 K har vi enligt problemtexten att den elektriska ledningsförmågan är oändlig. Detta betyder att det elektriska penetreringsdjupet (skin depth) är 0 och därmed dämpkonstanten 0. Med dämpkonstanten noll inser vi att effektförlusten också är 0 (se ekvation 5).

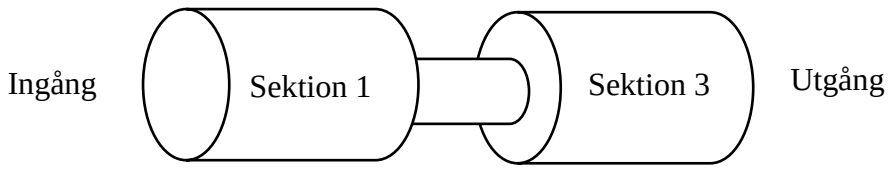
Problem 4. 6p.

En våg i TE_{11} moden med frekvensen 4.6 GHz utbreder sig i en lufyfylld cirkulär vågledar (se figur) med oändlig elektrisk ledningsförmåga ($\sigma = \infty$). Den cirkulära vågledaren är uppdelad i tre sektioner. Första sektion och sista av vågledaren har radien R_1 = 2 cm.

a) ***Vilka moder vid 4.6 GHz kan propagera i mittsektion 2. Radien på mittsektionen sektionen är 50 % mindre än de övriga.***
b) ***Beräkna brytfrekvensen för den dominanta moden i sektion 1 och 2. Radien på mittsektionen sektionen är 50 % mindre än de övriga.***

c) ***Ingenjören Sascha mäter effekten vid utgången och inser att signalen är för stark för hans aktiva krets och skulle vilja dämpa signalen med 10 dB.***

Av praktiska skäl kan inte längden på mittsektion överskrida 4 cm, bestäm radien och längden på mittsektion så att signalen vid utgångsvågledaren (sektion 3) är dämpad med 10 dB. Längden på mittsektion kan inte överskriv



Svar:

a) Inga.
b) För TE_{11} moden: $f_c = \frac{1.841 c_0}{2\pi a}$

Sektion 1 och 3: a=2 cm, fc=4.395 GHz
Sektion 2: a=1 cm. fc=8,79 GHz

Vi kan se att **E** och **H** ***fälten är multiplicerad med*** $\exp(-j\beta z)$
Om utbredningsfrekvensen, $f < f_c$ ***så har vi att*** $\beta \in \mathbb{C}$
För den dominanta moden i cirkulärvågledare: $\beta = \sqrt{\left(\frac{2\pi f}{c_0}\right)^2 - \left(\frac{1.841}{a}\right)^2}$ (6)

Så när $\left(\frac{1.841}{a}\right) > \left(\frac{2\pi f}{c_0}\right)$, ***så har vi att*** $\exp(-j\beta z)$ ***blir*** $\exp(-\alpha z)$

I princip räcker det att endast använda exponentiella delen av E och H fältet för att beräkna radien så att en specifik dämpning ska uppnås.

Vi erinrar oss att dämpkonstanten har enheten Np/m så vi behöver göra om detta till dB. Radien fås nu mha. (6)

$$\frac{\boldsymbol{\alpha}}{\mathbf{8.868}} \cdot \boldsymbol{L_2} = \sqrt{\left(\frac{2\pi f}{c_0}\right)^2 - \left(\frac{1.841}{a}\right)^2}$$

$$a = \frac{1.841}{\left|\sqrt{\left(\frac{2\pi f}{c_0}\right)^2 - \left(\frac{10L_2}{8.868}\right)^2}\right|}$$