

HFTD, Duggan i högfrekvensteknik, kurskod EEM021

2018-12-03, 08:30-11:30 i "SB Multisal". Längd: 3 timmar.

Tillåtna hjälpmmedel: Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, utskrift av formelsamling i elfält med anteckningar dock utan lösning till uppgifter.

Frågor Vincent Desmaris, tel ankn. 1846

Resultatet Anslås på kursens hemsida

Granskning Sker på tid och plats som anges på kurshemsida

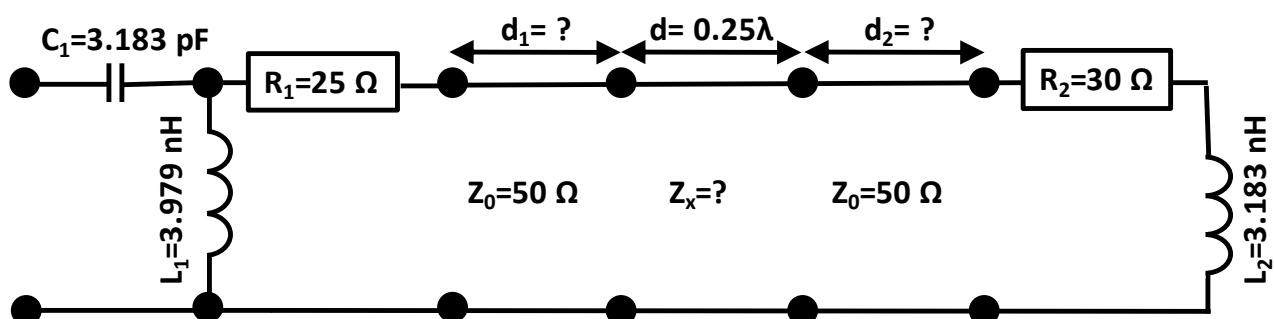
Observera Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!

Transmissionsledningar 1 (10 p):

Sascha har två elektriska komponenter:

1. en last, som består av en 30Ω resistor seriekopplade med en $3,183\text{ nH}$ spole.
2. en T-kopplad nätverk gjort av en spole, en kondensator och ett motstånd.

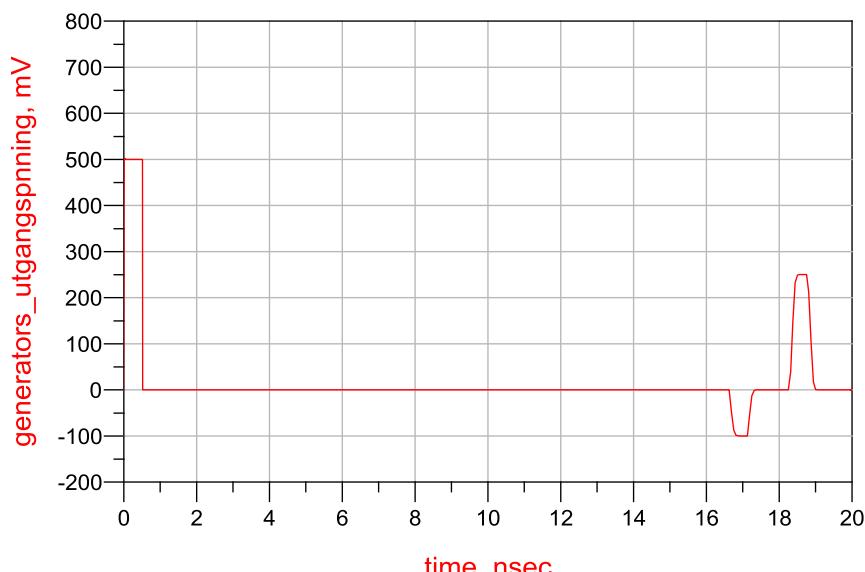
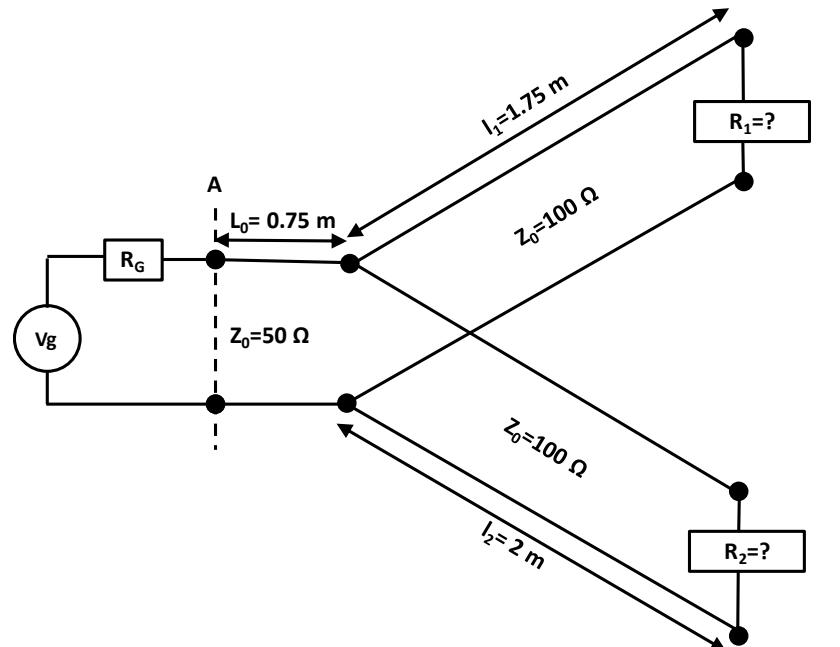
Sascha vill koppla enligt figuren nedan, med tre olika förlustfria transmissionsledningar, två med varierbara längder och en med reglerbar karakteristisk impedans.



Beräkna d_1 , d_2 och Z_x för att kretsen skall vissa en inimpedans på 50 Ohm vid 2 GHz .

Transmissionsledningar 2 (7 p):

Sachas kompis har anslutit två elektriska apparater hemma enligt figuren nedan. Sascha ansluter en pulsgenerator (pulslängd 0,5ns, amplitud 1V, period 1s, $R_g=50 \Omega$) till ingången av kretsen och mäter följande spänning vid utgången av generatorn (dvs vid A på figuren nedan).



- a) Beräkna R_1 , R_2 , de reella impedanserna av de två elektriska apparaterna
- b) Fungerar bägge apparaterna som de ska?

Hint: anta förlustfria linjer och samma faskonstant i alla ledningar

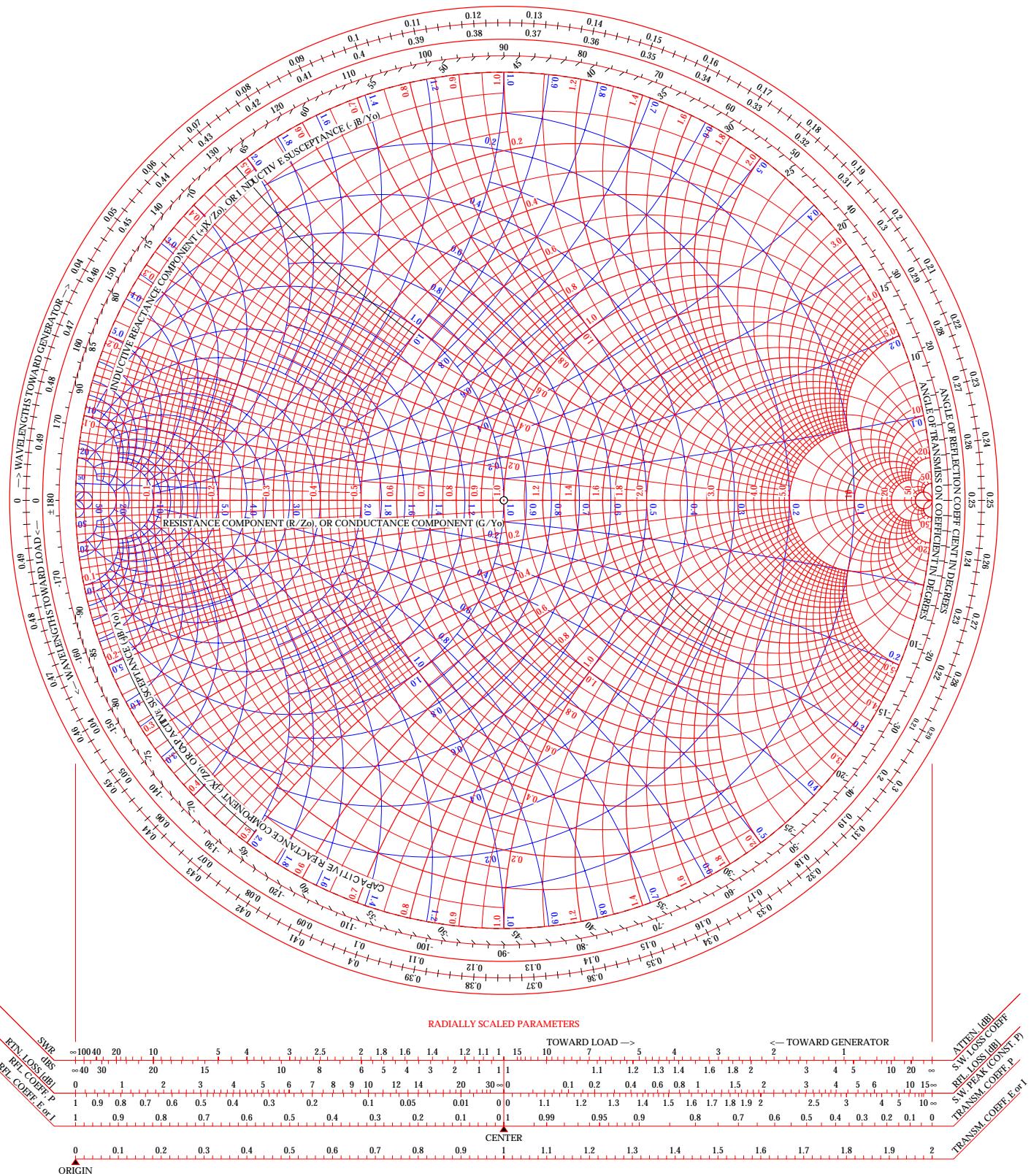
Vågledare (10 p):

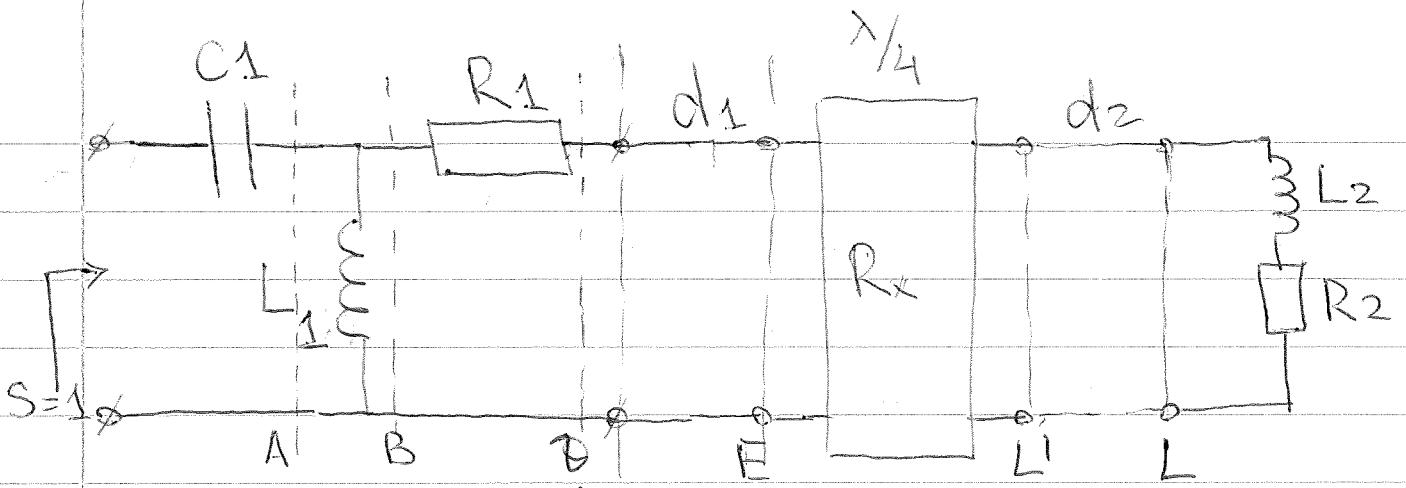
Vågimpedansen för en signal som utbreder sig enligt den dominanta moden i en rektangulär vågledare vid 15 GHz är 480Ω .

- a) Bestäm längden av den största sidan "a" av vågledarens tvärsnitt.
- b) Bestäm avståndet mellan två konsekutiva maxima för E-fältet om man fyller vågledaren med en perfekt dielektrisk material med relativ primitivitet $\epsilon_r=2.5$.
- c) Bestäm energi hastigheten för signalen

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES





$$f = 2 \text{ GHz}$$

$$C_1 = 3.183 \text{ pF}$$

$$L_1 = 3.979 \text{ nH}$$

$$R_1 = 25 \Omega$$

$$R_2 = 30 \Omega$$

$$L_2 = 3.183 \text{ nH}$$

$$d_1 = ?$$

$$d_2 = ?$$

$$R_x = ?$$

One of
possible solution

① $S=1 \Rightarrow \Gamma=0$ - match

② Compensate C_1 (moving along $z=1$ upwards)

$$0 \rightarrow A$$

$$Z_{C1} = j\omega C_1 = -\frac{1}{2\pi f C_1} j = -25j \text{ [Ohm]}$$

$$\bar{Z}_{C1} = -0.5j \quad X_{C1} = 0.5$$

$$X_0 - X_{C1} = X_A$$

$$0 - (-0.5) = 0.5 = X_A \quad \bar{Z}_A = 1 + j0.5$$

③ L_1 - in parallel to $A \bar{Z}_A \Rightarrow$

$$\bar{Z}_A \rightarrow Y_A$$

$$Y_A = 0.8 - 0.4j \text{ (red blue numbers)}$$

Compensate L_1 (moving along $g_A = \text{downward}$)

$$g_A = 0.8 \quad b_A = -0.4$$

$$\bar{Z}_{L1} = j\omega L_1 = j2\pi f L_1 = j50 \Omega$$

$$\bar{Z}_{L1} = j1 \quad Y_{L1} = -j1 \quad b_{L1} = -1$$

$$A \rightarrow B$$

$$b_B = b_A - b_{L1} = -0.4 - (-1) = 0.6$$

$$Y_B = 0.8 + 0.6j$$

④ R₁ in series ($\gamma \rightarrow z$)

$$\underline{Z_B} = 0.8 - j0.6 \quad (\text{read in real numbers})$$

Compensate to R₁ (removing)

B → D (moving along $X_B = 0.6$ (const) downweards)

$$\underline{Z_{R1}} = 0.5 - 2 + 0j \quad Z_{R1} = 0.5$$

$$Z_0 = Z_B - Z_{R1} = 0.8 - 0.5 = 0.3$$

$$\underline{Z_0} = 0.3 - 0.6j$$

⑤ adding d₁

Via D → |Γ| - const circle → move along |Γ| = const
TWL

D → E - solution 1

$$d_1 = 0.41\lambda - 0.25 = 0.16\lambda - d_{11}$$

$$\underline{Z_E} = 5 \quad \underline{R_E} = \underline{Z_E} = 5$$

D → F - solution 2

$$d_1 = 0.16\lambda + 0.25\lambda = 0.41\lambda - d_{12}$$

$$\underline{Z_F} = 0.22 \quad Z_F = 0.22$$

⑥ Load R₂ + L₂

$$R_2 - Z_2 = 0.6$$

$$Z_{L2} = j\omega L_2 = j2\pi f L_2 = j40 \quad X_{L2} = 0.8$$

$$\underline{Z_L} = 0.6 + j0.8$$

adding d₂

Via L → |Γ| - const circle → move along |Γ| - const

TWG

L → L' (2 solution)

$$d_2 = 0.376\lambda - 0.25\lambda = 0.126\lambda - d_{21}$$

$$\underline{Z_{L'}} = 2.9 \quad Z_{L'} = 2.9$$

solution 2

$$d_2 = 0.126\lambda + 0.25\lambda = 0.376\lambda - d_{22}$$
$$\underline{Z_{LII}} = 0.34 \quad \underline{\underline{Z_{LII}}} = 0.34$$

⑦ Calculate R_x $\underline{R_x} = \sqrt{R_A}$

solution 1:

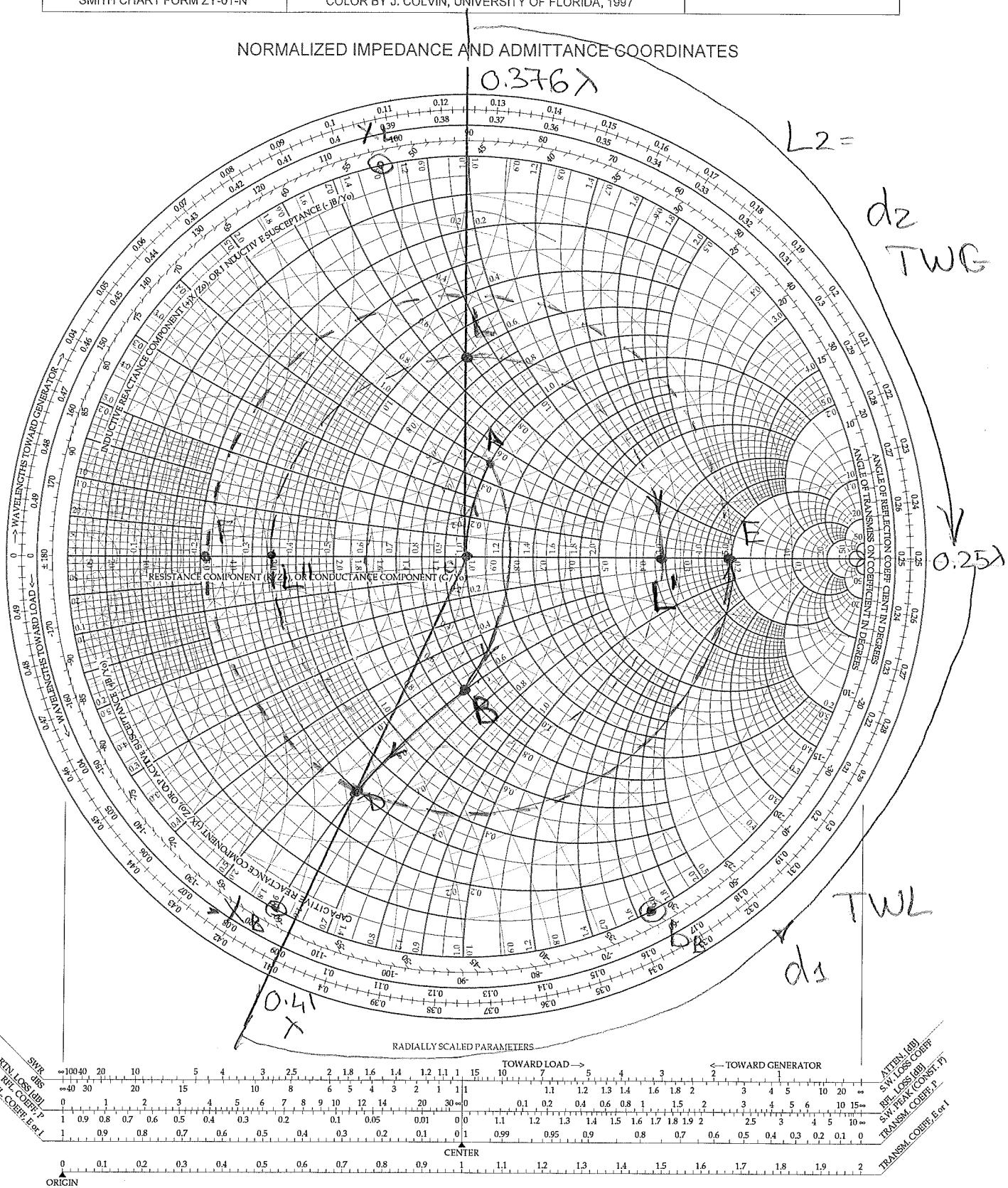
$$R_{x1} = Z_0 \sqrt{Z_E \cdot Z_L} = 50 \sqrt{5 \cdot 2.9} = 190.4 (\Omega)$$

$$R_{x2} = Z_0 \sqrt{Z_F \cdot Z_L} = 50 \sqrt{0.22 \cdot 2.9} = 40 (\Omega)$$

$$R_{x3} = Z_0 \sqrt{Z_E \cdot Z_{LII}} = 50 \sqrt{5 \cdot 0.34} = 65.2 (\Omega)$$

$$R_{x4} = Z_0 \sqrt{Z_F \cdot Z_{LII}} = 50 \sqrt{0.22 \cdot 0.34} = 13.67 (\Omega)$$

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



Uppgift 1:

Efter spänningssättningen vid ingången av den första linjen kommer pulsen att utvredas sig mot avgrenningen.

Amplituden av pulsen är då: $\frac{V_g \cdot Z_0}{Z_0 + Z_1} = \frac{1}{2} V$

- Vid avgrenningen ser den inkommande pulsen $2 \times 100 \Omega$ i parallell, alltså blir det ingen reflektion och pulsen delas i 2. Amplituden blir då $\frac{1}{2} \times (1 + 1) / 2 = \frac{1}{2} V$

- båda pulser utvredas sig mot deras respektive last där de eventuellt upplever en reflektion: R_{r1} eller R_{r2} .

Amplituden på de reflekterade pulserna är $\frac{1}{2} R_{r1}$ eller $\frac{1}{2} R_{r2}$

- de reflekterade pulser utvredas sig tillbaka mot avgrenningen där de ser 100Ω i parallell med 50Ω . detta är inte lika med linjens karakteristiska impedans. alltså kommer en del av pulsen att reflekteras och den andra att utvredas sig mot generator och den andra lasten.

Amplituden på pulsen som kommer att utvredas sig mot generator är alltså: $V_r = (1 + \frac{33,33 - 100}{33,33 + 100}) \cdot \frac{1}{2} R_{r1} = 0,25 R_{r1}$

$$V_{r2} = (1 + \frac{33,33 - 100}{33,33 + 100}) \cdot \frac{1}{2} R_{r2} = 0,25 R_{r2}$$

- När pulserna når generator sker ingen reflektion ty $R_g = 0$

- Visar att avståndet mellan avgrenningen och R_1 är kortare än avståndet mellan avgrenningen och R_2 . alltså den första reflekterade pulsen som når generator har reflekterats mot R_1

Från grafen får vi:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ER} = -100 \text{ mV} \\ V_{ER} = 250 \text{ mV} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \frac{-0.1}{0.25} = -0.4 \end{array} \right.$$

$$f_2 = \frac{+0.25}{0.25} = 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \frac{R_1 - 100}{R_1 + 100} \rightarrow R_1 = 100 \cdot \frac{1 + f_1}{1 - f_1} = 42,85 \Omega \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_2 = \frac{R_2 - 100}{R_2 + 100} \rightarrow R_2 = \infty \text{ : } \underline{\text{öppnings!}} \end{array} \right.$$

Vägledare:

a) $Z_{TE} = \frac{k\eta}{\beta} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \frac{f_c^2}{c^2}}}$

TE_{10} mode har longtfrekvens: $f_c = \frac{c_0}{2a}$

$$\Rightarrow 1 - \left(\frac{f_c}{c}\right)^2 = \left(\frac{\eta}{Z_{TE}}\right)^2$$

$$f_c = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\eta}{Z_{TE}}\right)^2} = 3.284 \text{ GHz}$$

$$\Rightarrow a = \frac{c_0}{2 \cdot f_c} = 1,6156 \text{ cm}$$

b) Om man fyller vägledaren med en dielektrisk material kommer longtfrekvensen av vägledaren att ändra:

$$f_c' = \frac{c}{2 \cdot a} = \frac{c_0}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\epsilon_r}} = 5.872 \text{ GHz}$$

avståndet mellan två maxima i vägleden ges av den "guidade" väglängden $\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta}$

$$\beta = \sqrt{k^2 - h^2} \Rightarrow \beta = \sqrt{\left(\frac{2\pi \cdot f \cdot \sqrt{\epsilon_r}}{c}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} = 457 \text{ rad/m}$$

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta} = 1.37 \text{ cm}$$

c) signalen har endast en frekvenskomponent
alltså energihastigheten är grupp hastigheten.

$$\text{fasterhetslängden } v_{fas} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\beta} = 2,06 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{grupp hastigheten: } v_g = \frac{c^2}{v_{fas}} = \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{\epsilon_r} \frac{1}{v_{fas}} = 1,74 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$