HFTD2021, dugga i högfrekvensteknik, EEM021 - 2021-11-29 fm .8:30-11:30.

Tillåtna hjälpmedel:	Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, formelsamling i Elektromagnetisk fältteori av Eva Palmgren, egna anteckningar i formelsamlingen och på ett ensidigt A4 blad (dock inte lösningar till uppgifter).
Frågor	Denis Meledin, 1842
Resultatet	Varje uppgift på duggan har en motsvarande uppgift på tentan Jan.10. För var och en av dessa uppgifter gäller det bästa av resultaten från duggan och tentan. Om man är nöjd med resultatet från duggan på en eller flera viss uppgifter kan man därför välja att hoppa över den/de motsvarande tentauppgifterna och således spara tid till övriga uppgifter.
Granskning	Sker på tid och plats som anges på kurshemsidan
Observera	**Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!**

Transmissionsledning

<u>Uppgift 1 (10p):</u>

a.) En förlustfri transmissionsledning har den karakteristiska impedansen Z_0=100 Ohm och ståendevåg förhållandet är s=2.4 då ledningen är avslutad med lasten Z_L. Distansen från lasten till första spänningsminimum är d_1. Om vi kortsluter ledningen istället för lasten flyttar det här spänningsminimumet 0.174λ bort från lasten.

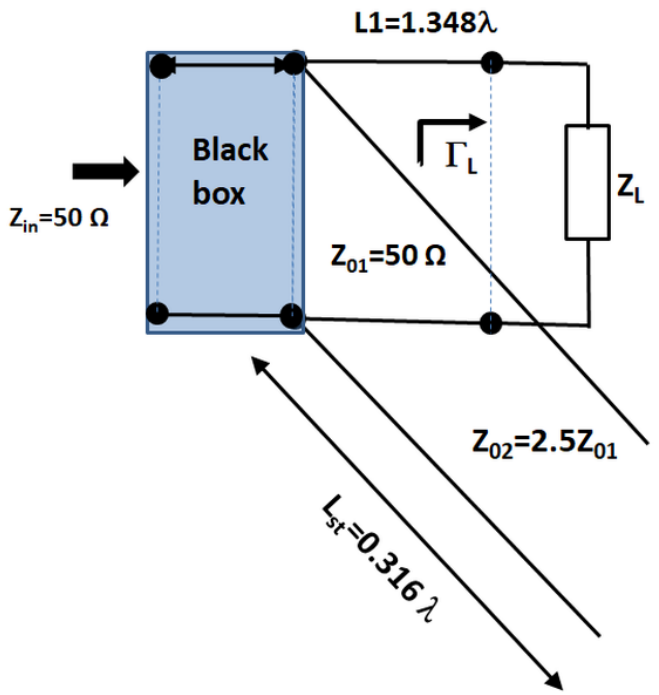
Beräkna lastensimpedans Z_L och reflektionsfaktorn Γ vid lasten.

b.) Sedan blir lasten kopplad till den andra förlustfri transmissionsledningen med karakteristiska impedansen Z_{01}=50 Ohm, enligt figuren nedan. Tyvärr, blev öppen stubben med karakteristiska impedansen av Z_{02}= 2.5Z_{01} Ohm beräknad på fel sätt och anpassning misslyckades.

Anpassa ingångsimpedans på kretsen till Z_{in}=50 Ohm med hjälp av kvartvågstransformator. Signal frekvensen är 1 GHz

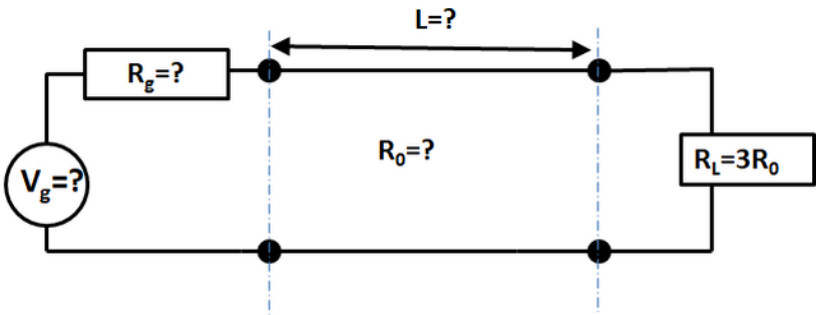
Hint: Ni kan använda reaktiva komponenter (kondensator, C eller spole, L) **och/eller** förlustfri transmissionsledning med som helst karakteristiska impedansen.

<u>Lös endast med Smithdiagrammet</u>



Uppgift 2 (7p):

En likspänningskälla med Vg och reel inre impedans Rg inkopplas vid t=0 till en förlustfri koaxkabel med längd L och i bortre änden kopplad till lasten $R_L=3R_0$. Karakteristiska impedansen av kabeln är R_0. Kabeln är byggd av isolationsmaterial med dielektrisk konstant $\varepsilon_r=4$. Strömmen vid ingången av kabeln **i(0,t)** registreras och visad i figuren nedan. Spänningen vid linjens ingång efter 100 timmar är 1.8V.

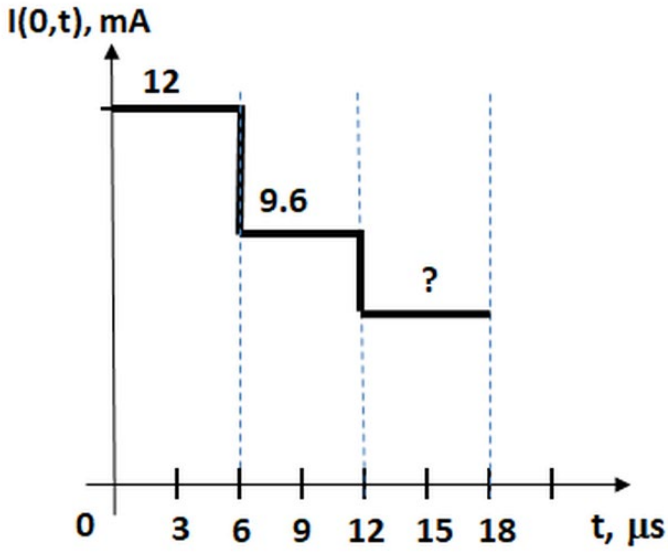


Hitta:

a.) Rg, R_0, Vg, L

b.) Strömmen vid ingången mellan 12 och 18 μs

c.) **Spännings längs linjen υ(z, τ) vid τ=11μs**



Vågledare

<u>Uppgift 3 (10p):</u>

En signal utbreder sig i en rektangulär vågledare är fylld med dielektriskmaterial med εr=2.4. Longitudinal komponenten av ett fält (E eller H) är skrivit i form:

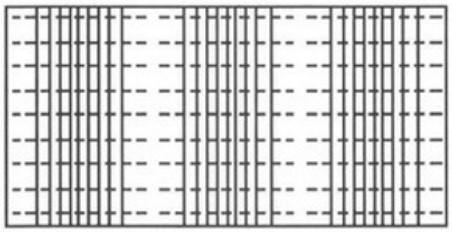
$$A_z\ (x, y, z, t) = A_0 \cos\left(\frac{\pi}{1.033 \cdot 10^{-3}} x\right) e^{-\gamma z + j(7.54 \cdot 10^{11})t}$$

E och H fältbilder visas in figuren nedan:

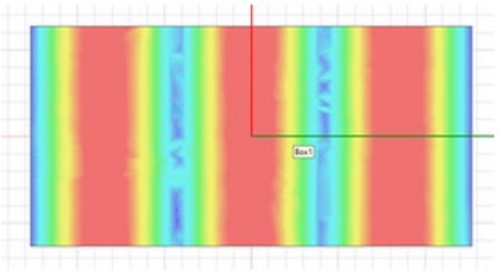
Hitta:

a. **Enligt vilken typ och mod signalen breder sig i vågledaren.**
b. **Vågledarens dimensioner om b=0.6a.**
c. **Grupphästigheten och vågimpedansen för signalen.**
d. **Brytfrekvensen för vågledarens näst dominanta moden**
e. **Avståndet mellan två maxima för E-fält, om signalen utbreder sig enligt den dominanta moden**

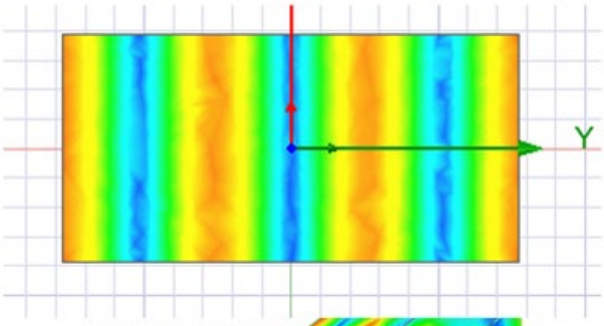
E-solid lines, H- dot lines

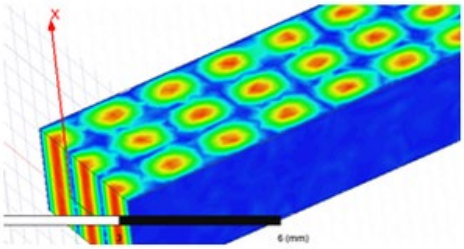


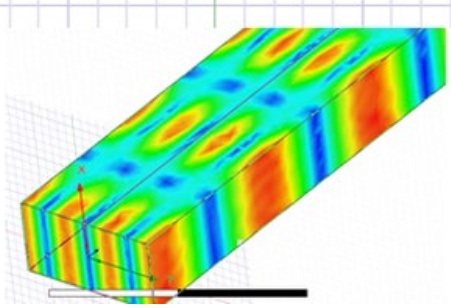
E-fält



H-fält

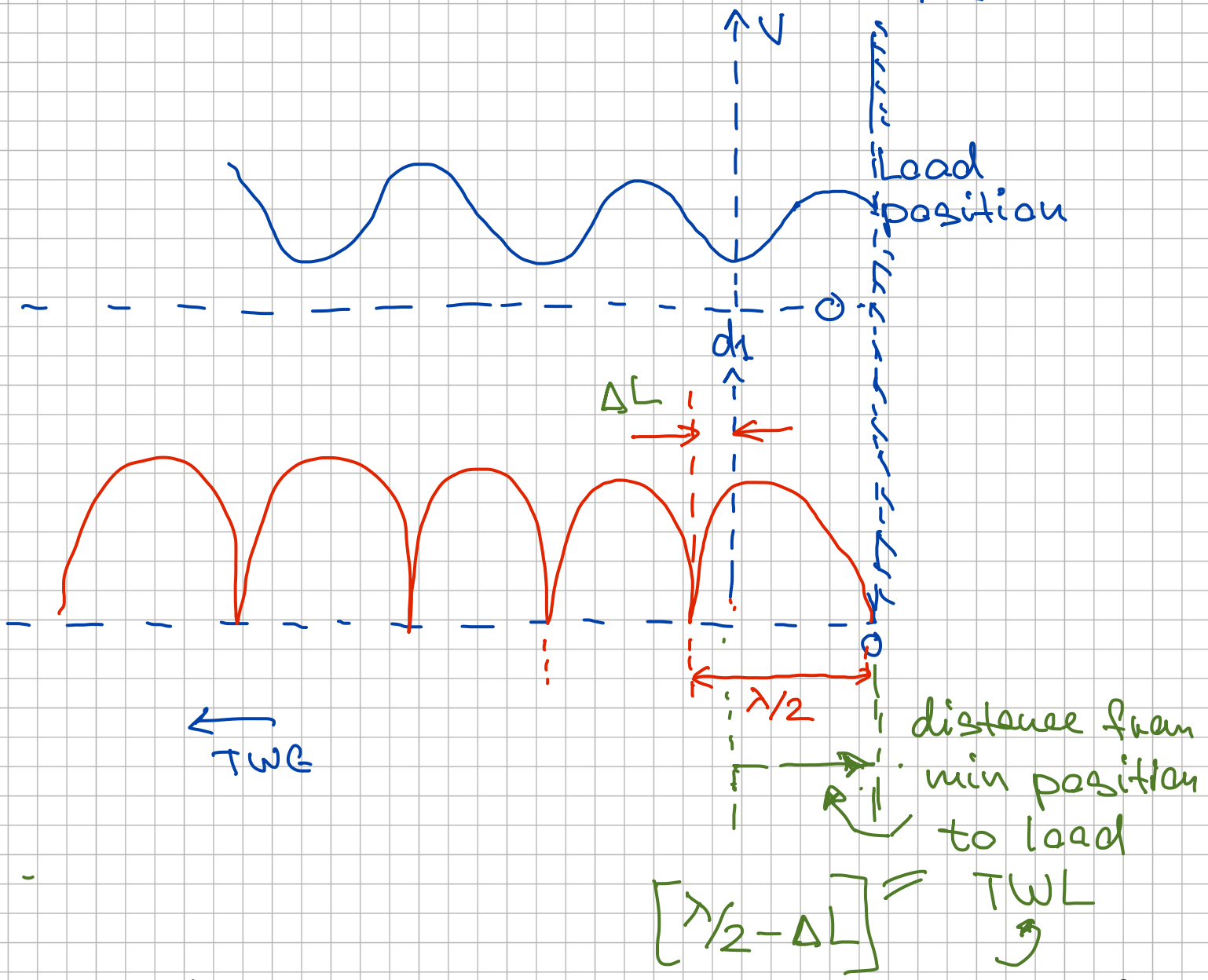






Uppgift 1

a) with short at load position $V_L = 0$, distance between these zeros is $\lambda/2$



That also means that ΔL is distance from the min position to the load position but towards GENERATOR

As you know from Lab 1 minimum positions with short connected instead of the load can be also counted as positions of the load

- Plot $S = 2.4$ const $|S|$ circle
- Find U_{min}
- Moving along $|\Gamma|$-circle 0.174λ TWG
- $\bar{Z}_L = 1.2 + j1$ (red numbers)

@ $Z_0 = 100\,\Omega$.

$\underline{\underline{Z_L = 120 + j100\ (\Omega)}}$

$\Gamma = |\Gamma_L| e^{j\varphi_L}$ $\boxed{\begin{array}{l} |\Gamma_L| = 0.411 \\ \varphi_L = 54^\circ \end{array}}$

b). $50\,\Omega$ - Z_{0s}

$Z_L' = 2.4 + 2\,\Omega$

New point Z_L'

New $|\Gamma|$-const circle via Z_L' (0.215λ)

$L_1 = 1.348\lambda \Rightarrow \Delta L1 = L_1 - \lambda = 0.348\lambda$

moving TWG along $|\Gamma|$-circle

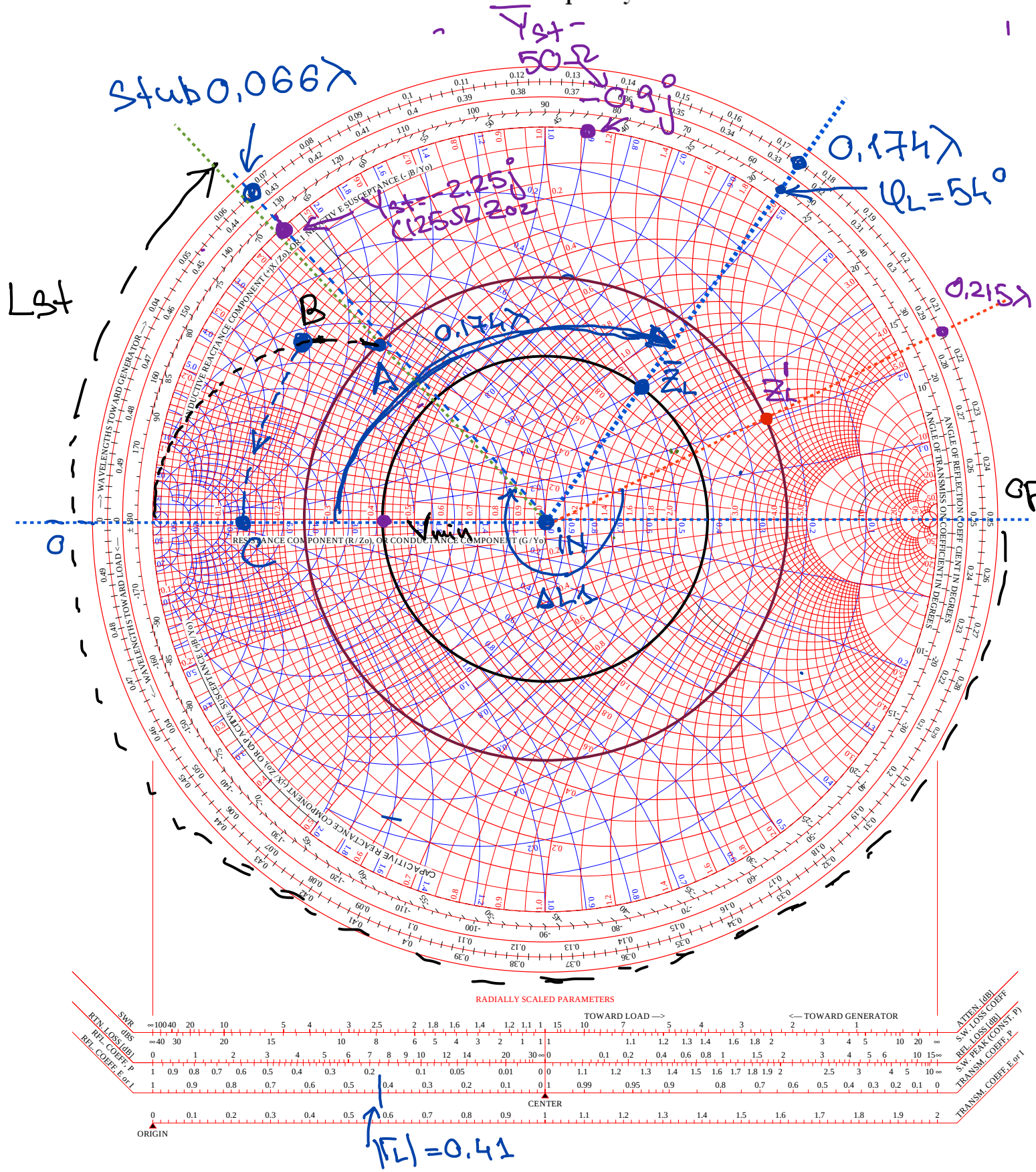
$0.215\lambda + 0.348\lambda = 0.563\lambda$

$0.563\lambda - 0.5 = 0.063\lambda$

$Z_L' \to Z_A$ $\boxed{L' \to A}$

Problem 7.

Design a quarter-wave transformer to impedance match of purely resistive load with ZL=40 Ohm to a TRL with Z0=160 Ohm at frequency of 1 GHz.



p.A - before stubben

stub is $\parallel \Rightarrow \overline{Z}_A \to \overline{Y}_A$ ($Z_{01} = 50\,\Omega$)

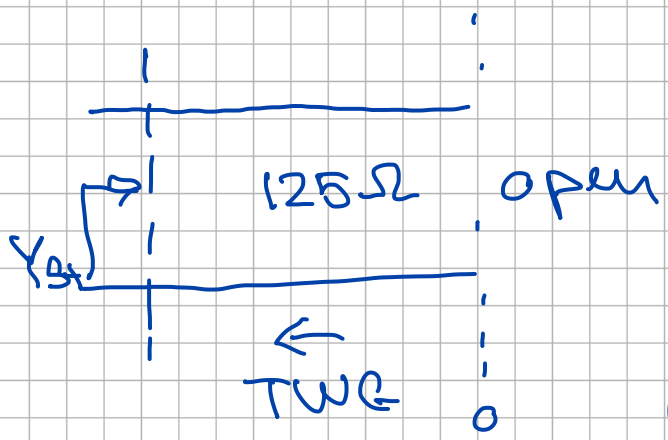
$\overline{Y}_A = 1.2 - 1.7j$ (read blue numbers)

p.B - after stubben

$\overline{Y}_B = \overline{Y}_{st} + \overline{Y}_A$ ($50\,\Omega$ Z_{01})

Now we have to find $\overline{Y}_{st}$

$Z_{02} = 125\,\Omega$ for stubben!



$L_{st} = 0.316\lambda$

from open TWG

$\Delta L_{st} = 0.316\lambda$

$(0.25\lambda + 0.066\lambda)$

$\overline{Y}_{st_{Z_{02}}} = -2.25j$ @ $125\,\Omega$ Z_{02}!

$Y_{st} = -\dfrac{2.25j}{125\,\Omega} = -0.018j\,(S_m)$

Renormalise to $50\,\Omega$!

$\overline{Y}_{st_{Z_{01}}} = -0.018j \cdot 50 = \underline{\underline{-0.9j}}$

$\overline{Y}_B = \overline{Y}_{st_{Z_{01}}} + \overline{Y}_A$

stubben only add reactive part of Y!

moving among g=const circle!

$\overline{Y}_B = -0.9j + 1.2 - 1.7j = \underline{\underline{1.2 - 2.6j}}$

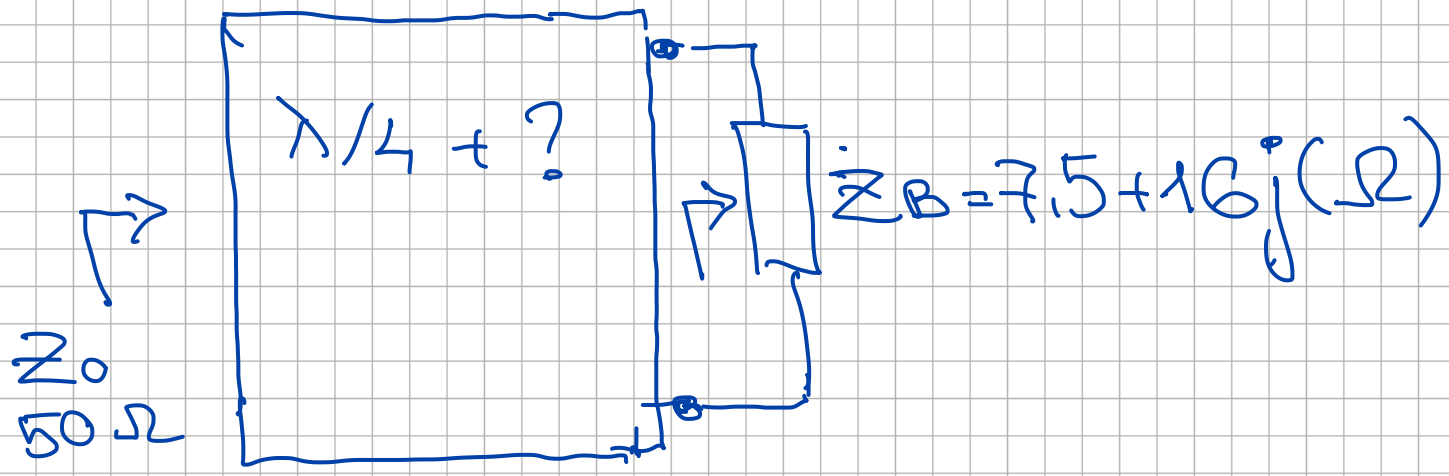
Mark on SC → p. B

We will need Z_B (read red num)

$\overline{Y}_B \rightarrow \overline{Z}_B = \underline{\underline{0.15 + 0.32j}}$ | $\underline{Z_B = 7.5 + 16j\,(\Omega)}$

$(Z_{01} = 50\,\Omega)$

Now we have to match it to $50\,\Omega$ of Z_{in} with $\lambda/4$ transformer



We have to remove $-35j\,(\Omega)$ to be able to use $\lambda/4$ transformer!

I chose to move B to C wit help of C_1 - capacitor in <u>series</u>!

We keep use of $Z_{01} = 50\,\Omega$!

$\overline{Z}_C = \overline{Z}_{C1} + \overline{Z}_B \qquad \overline{Z}_{C1} = -\dfrac{j}{2\pi f C_1 Z_{01}} = X_{C1}$

Re: $r_C = \overset{=0}{r_{C1}} + r_B$ (moving along r_B const)

Im: $\underset{0}{X_C} = X_{C1} + X_B$ $\quad X_{C1} = -X_B = -0{,}32j$

$$C_1 = \frac{1}{Z_{0,} \cdot 2\pi \cdot 10^{+9} \cdot 0{,}32}$$

$R_{in} = 50\,\Omega \qquad R_C = R_B = 7{,}5\,\Omega$

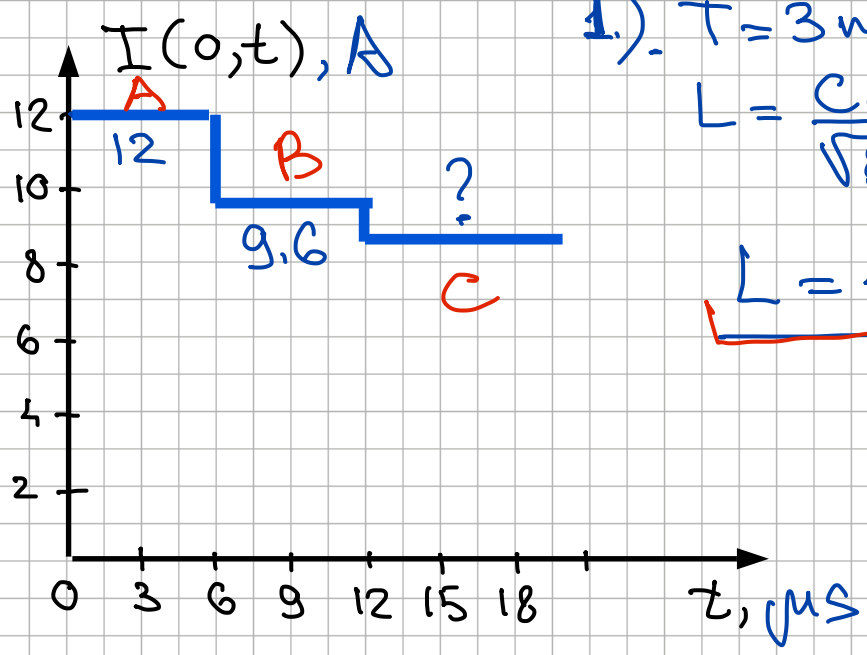
$$R_{in} = \frac{1}{R_C} \cdot Z_x^2 \Rightarrow Z_x = \sqrt{R_C \cdot R_{in}} = \underline{19{,}3\,(\Omega)}$$

<u>P.S.</u> Shortcut to find C_1:
we see $16j\,(\Omega)$ we have to compensate with a capacitor

$$X_C = -16j = -\frac{1}{2\pi f C_1} \Rightarrow \frac{1}{16 \cdot 2\pi f} = C_1$$

$= 10\,pF$

Uppgift 2



1). $T = 3\,ms$

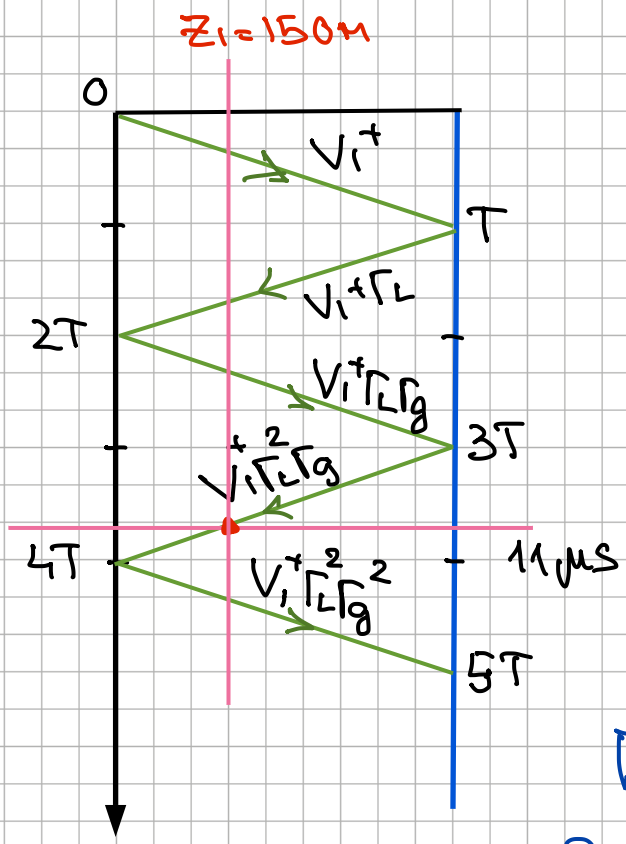
$$L = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot T = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{2}$$

$$\underline{L = 450\,(m)}$$

$A = 12\,mA$

$B = 9.6\,mA$

$C = ?$



$$V_1 = A = \frac{V_g}{R_g + R_0} \longrightarrow @\, t = 0$$

$$B = I_1^+ (1 + \Gamma_L + \Gamma_L \Gamma_g) \quad @\, t = 2T$$

$$C = I_1^+ (1 + \Gamma_L + \Gamma_L \Gamma_g + \Gamma_L^2 \Gamma_g + \Gamma_L^2 \Gamma_g^2)$$

$@\, t = 4T$

$$\Gamma_L = \frac{R_L - R_0}{R_L + R_0} = \frac{2R_0}{4R_0} = 0{,}5$$

$\Gamma_V = -\Gamma_I$, therefore

$$B = A(1 - \Gamma_L + \Gamma_L \Gamma_g)$$

$$B = A(0{,}5 + 0{,}5 \cdot \Gamma_g) \Rightarrow \Gamma_g = 0{,}6$$

$$R_g = R_0 \frac{1 + \Gamma_g}{1 - \Gamma_g} = \frac{1 + 0{,}6}{1 - 0{,}6} \cdot R_0 = 4 R_0$$

$$A = \frac{V_g}{4R_0 + R_0} = \frac{V_g}{5R_0} \Rightarrow V_g = 60 R_0 \; [mV]$$

$$V_1^+ \; t \to \infty = \frac{V_g}{R_g + R_L} \cdot R_L = \frac{V_g \cdot 3R_0}{7R_0} = \frac{V_g \cdot 3}{7} = 1.8\,V$$

$$V_g = \frac{7 \cdot 1800}{3} = 4.2\,(V)$$

$$R_0 = \frac{V_g}{60} = 70\,(\Omega)$$

$$R_L = 3R_0 = 210\,\Omega \qquad R_g = 4R_0 = 280\,\Omega$$

II). $C = B - A \cdot (\Gamma_L^2 \Gamma_g + \Gamma_L^2 \Gamma_g^2) = B - A \cdot \Gamma_L^2 \Gamma_g (1 - \Gamma_g)$

$$C\,(@\ 12 - 18\,\mu s) = 9.6 - 12 \cdot 0.25 \cdot 0.6\,(1 - 0.6)$$

$$I\,(t @ 12 - 18\,\mu s) = 8.88\,(mA)$$

III) $11\,\mu s \Rightarrow 4T - 1\,\mu s$

$$z_1(11\,\mu s) = 1\,\mu s \cdot \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5 \cdot 10^{8} = 150\,(m)$$

$\underline{z < z_1}$

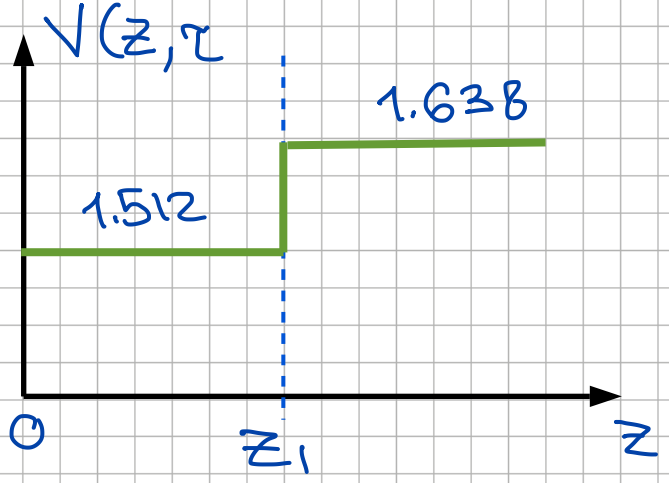
$$V = V_1^+ (1 + \Gamma_L + \Gamma_L \Gamma_g) = A \cdot R_0 (1 + \Gamma_L + \Gamma_L \Gamma_g)$$

$$V\,(z < z_1) = 12 \cdot 70\,(1 + 0.5 + 0.5 \cdot 0.6) = 1.512\,(V)$$

$\underline{z > z_1}$

$$V\,(z > z_1) = V_1^+ (1 + \Gamma_L + \Gamma_L \Gamma_g + \Gamma_L^2 \Gamma_g) =$$

$$= 12 \cdot 70 \cdot (1 + 0.5 + 0.5 \cdot 0.6 + 0.25 \cdot 0.6) = 1.638\,(V)$$



Uppgift 3

(a) TE_{30}

can be found from the picture and a $A_z(x,y,z,t)$ form

$A_z = H_z$

(b) $m=3 \quad n=0$

$a = 3 \cdot 1{,}033 \cdot 10^{-3} = 3{,}1\,(mm)$

$b = 1{,}856\,(mm)$

(c) $\omega = 7{,}54 \cdot 10^{11}\ \frac{rad}{s}$

$f = \frac{\omega}{2\pi} = 120\,(GHz)$ - signal frequency

$$f_{c_{TE_{30}}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}\,2\pi} \cdot h = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{2{,}4} \cdot 2\pi} \cdot \frac{\pi \cdot 3}{3{,}1} = 93{,}7\,(GHz)$$

$$v_{ph_{TE_{30}}} = \frac{\omega}{\beta_{TE_{30}}} = \frac{\omega}{k\sqrt{1-(f_c/f)^2}} = \frac{\omega \cdot c_0}{\omega\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

$$= \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{2{,}4}\sqrt{1-\left(\frac{93{,}7}{120}\right)^2}} = \frac{c_0}{0{,}605}$$

$v_{ph} = 5 \cdot 10^8\,(m/s)$

$$v_{g_{TE_{30}}} = \frac{c_0^2}{\varepsilon_r} \cdot \frac{1}{v_{ph}} = \frac{c_0^{\cancel{2}}}{\varepsilon_r} \cdot \frac{0{,}605}{\cancel{c_0}} = 0{,}252\,c_0$$

(d) TE_{01} - näst dominanta moden $(b > 0{,}5a)$

$$h = \sqrt{\left(\frac{\pi n^2}{b}\right) + 0} = \frac{\pi}{b}$$

$$f_{c_{TE0,1}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{b} = \frac{c_0}{2\sqrt{\varepsilon_r}\, b} = \frac{3 \cdot 10^8}{2\sqrt{2.4} \cdot 1.856 \cdot 10^{-3}}$$

$$f_{c_{TE0,1}} = 52 \, (GHz)$$

(e) $TE_{1,0}$ – dominanta moden

$$m = 1, \; n = 0, \; h = \frac{\pi}{a}$$

$$f_{c_{TE1,0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{3.1 \cdot 10^{-3}} = 31{,}23 \, (GHz)$$

$$\lambda_{g_{TE01}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \frac{1}{f} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{TE1,0}}}{f}\right)^2}}$$

$$= \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{2.4} \cdot 120 \cdot 10^9} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{31.23}{120}\right)^2}} = \frac{1.61 \, (mm)}{0{,}489} = 3{,}287 \, (mm)$$

$$\eta_{TE3,0} = \frac{\eta_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{TE3,0}}}{f}\right)^2}} =$$

$$= \frac{\eta_0}{\sqrt{2.4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{93.7}{120}\right)^2}} = 1{,}033 \eta_0 = 389 \, \Omega$$