HFT 65, Tentamen i högfrekvensteknik, EEM021
2020-01-13 fm i J-salar. Längd: 4 timmar.

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	Vincent Desmaris. 1846 or Omid habibpour 5117
Resultatet	Anslås på kursens hemsida
Granskning	Sker på tid och plats som anges på kurshemsidan
Betygsgränser	Med minst 30% av poängen för de 4 olika delarna, samt 24p för betyg 3, 36p för betyg 4 och 48p för betyg 5.
Observera	Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!

Duggadelen

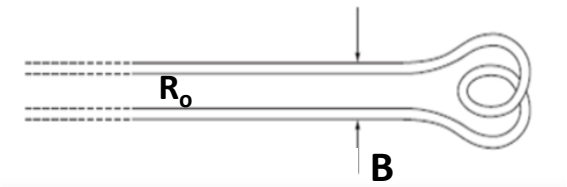
Poängen på uppgift 1 kan ersättas med resultatet på första uppgiften på duggan.
Poängen på uppgift 2 kan ersättas med resultatet på andra uppgiften på duggan.
Poängen på uppgift 3 kan ersättas med resultatet på tredje uppgiften på duggan.

Transmissionsledning

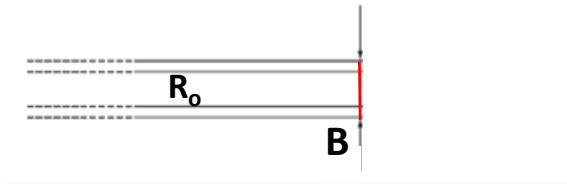
<u>Uppgift 1 (10p):</u>

En RF kopplingsspole är gjord genom att snurra änden av en förlustfri transmissionsledning av karakteristisk impedans $R_0 = 50\ \Omega$, enligt figuren nedan.

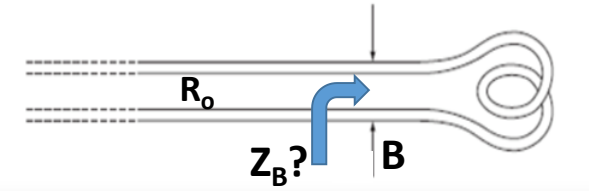
1. I punkt B introduceras en kortslutning. Med hjälp av en mätprob, hittas det första spänningsminimumet 16 cm till vänster om kortslutningen.



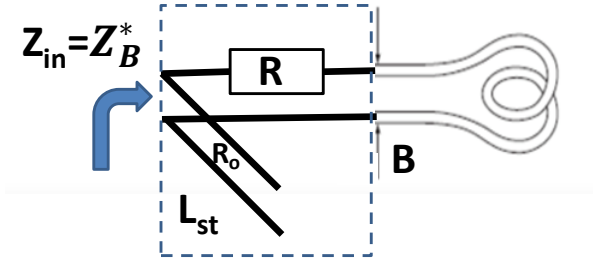
2. Därefter tas kortslutningen bort och spänningsminimumet hittas 4 cm till vänster om B. Dessutom är spänningsmaximumet på linjen 3 gånger större än spänningsminimumet.



a) Beräkna kopplingsspolens impedans.

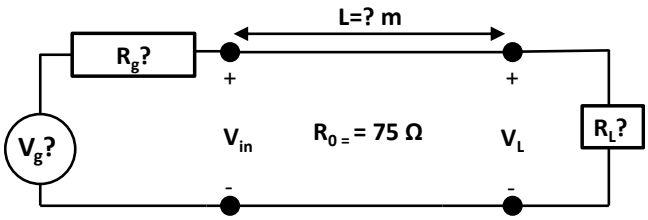


b) Beräkna resistansen och stubbens längd, som krävs för att transformera kopplingsspolens impedans till dess konjugat.

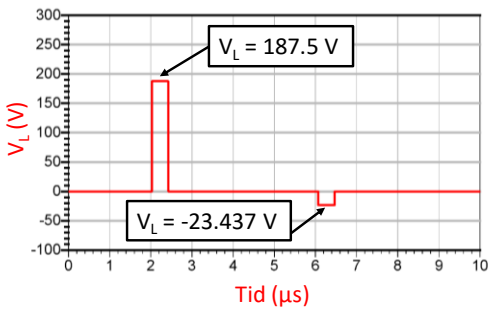


Uppgift 2 (7p):

En förlustfri transmissionsledning med karakteristisk impedans R_0 = 75 Ω kopplar ihop en **pulsgenerator** (pulslängd 400 ns) med inre resistans R_g och en resistiv last $R_L \neq Ro$, enligt figuren nedan. Signalens hastighet på ledningen är $0{,}66c_0$
Vid t=0, slås steggeneratorn på och skickar en enda puls. Denis mäter en spänning på ingången av linjen (V_{in}) på 150 V under den första nanosekunden. Dessutom mäter han spänningen vid lasten (V_L) under de 10 första mikrosekunderna (se figuren nedan).



kopplingsschema



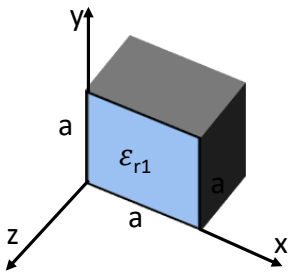
Spänningen vid lasten

- ***a) Beräkna ledningens längd (l), lastens resistans (R_L), generatorns inre resistans (R_g) samt generatorns spänning (V_g).***
- ***b) Rita strömmen i mitten på ledningen för 0<t< 10 µs?***

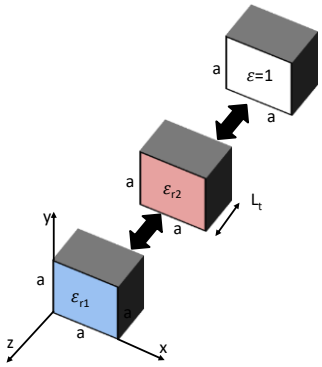
Vågledare:

Uppgift 3 (10p):

En vågledare fylld med ett dielektriskt material (ε_{r1}=3.7) har ett kvadratiskt tvärsnitt (a=b). En signal utbreder sig vid 6 GHz med grupphastighet $1.5 \cdot 10^8$ m/s enligt den dominanta moden.



Vågledaren fylld med dielektriskt material



Anpassning med transformatorn

- ***a) Beräkna vågledarens storlek, a.***
- ***b) Man vill nå anpassning till en luftfylld vågledare med samma tvärsnitt när signalen vid samma frekvens utbreder sig enligt det lägsta TM mod, med hjälp av kvartvågstransformator gjort av en vågledare fylld med ett annat dielektriskt material*** (ε_{r2})***. Beräkna transformatorns längd l_t samt*** ε_{r2}***.***

Uppgift 4 (7p):

En cylindrisk luftfylld hålrumskavitet (med radie a=2 cm och höjd d>2a) har sin lägsta resonansfrekvens vid 5,52 GHz.

- ***a) Beräkna kavitetens höjd, d.***
- ***b) Vad blir den lägsta resonansfrekvensen om man fyller kaviteten med SiO_2 (ε_r=4) och minskar höjden med 1 cm?***

Antenner:

Uppgift 5 (6p):

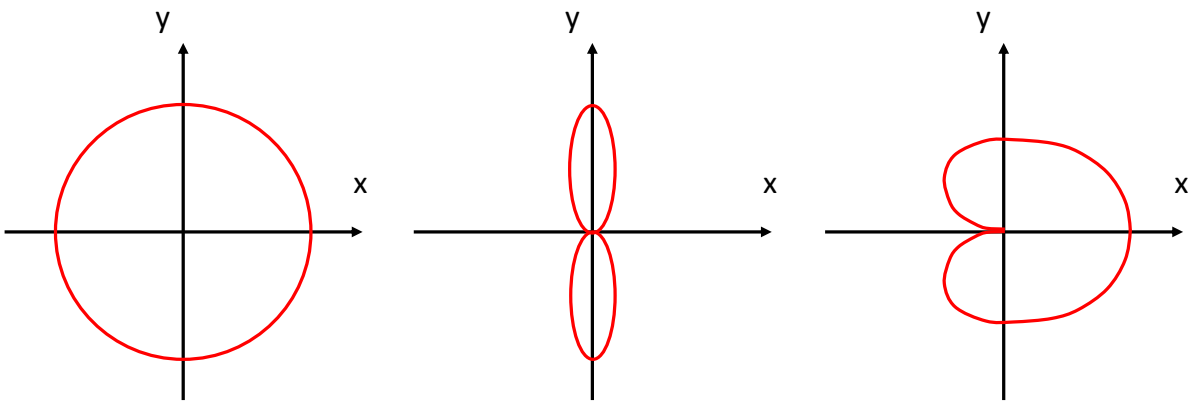
Vincent vill störa grannens wifi-styrda utebelysning för att kunna få lugnt och ro på nätterna. Grannens hus befinner sig 50 m från Vincents hus. Vincent bygger därför en kraftfull sändare med 10W uteffekt vid 2.4 GHz. För att fungera normalt, måste en wifi-enhet ha ett signal-till-brus förhållande på 25 dB. Typiskt brusgolv på wifi-enheter är -60 dBm. Vincent vill att hans störande signal skall vara 10 dB större än wifi signalen vid mottagaren på grannens utebelysning.

Vad är det minsta direktivitetet, som Vincent kan tillåta på antennen som han skall ansluta sin sändare till?

Uppgift 6 (10p):

En gruppantenn består av två halvvågsdipoler som matas med strömmarna 1 A och $I_o e^{j\xi}$ A. De resulterande strålningsdiagrammen är plottade i x-y planen nedan.

För varje diagram nedan, föreslå en möjlig orientering av de två dipolerna, avståndet mellan dem samt värden på I_o och ξ.

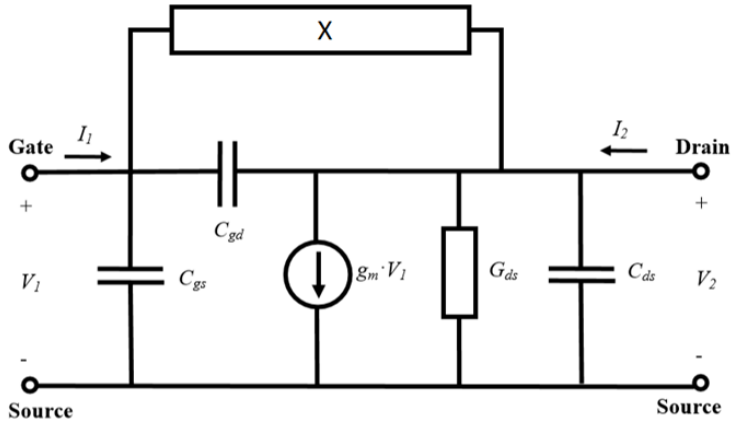


Mikrovågsteknik

Uppgift 7 (10p):

A small-signal model for a common-source RF MOSFET is shown below, together with the definition of admittance parameters for a two-port.

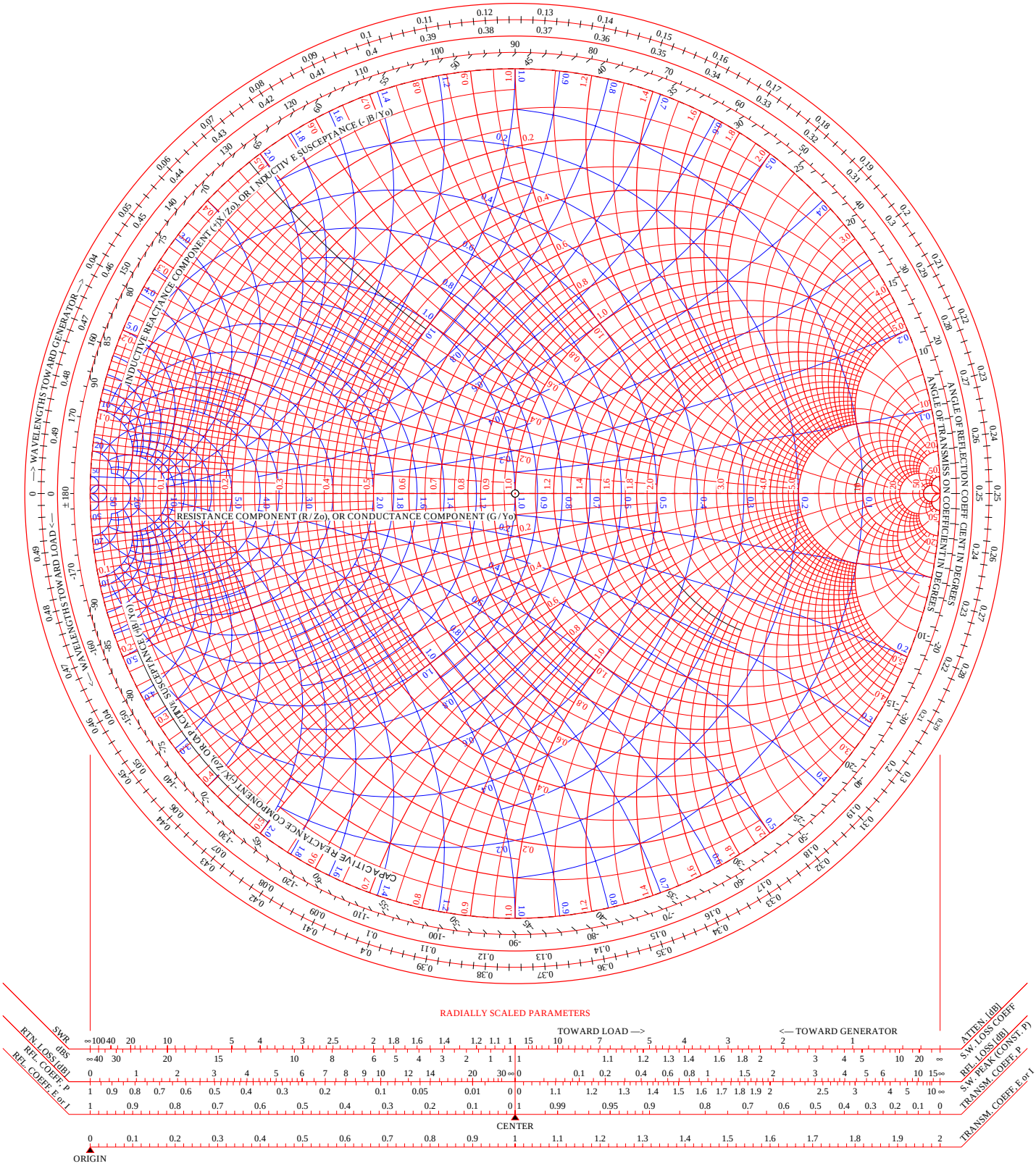
a) (5p) Determine impedance X in order to have a unilateral network ($y_{12} = 0$).
b) (2.5p) Find open circuit ($I_2 = 0$) voltage gain of the network.
c) (2.5p) Find short circuit ($V_2 = 0$) current gain of the network



$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

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

1) Short circuit at point B corresponds to point 1 on the Smith Chart (SD)
To find the first minimum we move TWG along $r=0$ circle ~~to~~ by 360° (full turn)
$\equiv \lambda/2 \Rightarrow \lambda = 16\,cm \times 2 = 32\,cm$

2). When short circuit is removed:

$\frac{V_{max}}{V_{min}} = 3 \Rightarrow VSWR = 3 \quad (s=3)$

Draw $s=3$ circle on SD (it is $|\Gamma|$-const circle also)
At the $s=$const circle $R_{min} \equiv V_{min}$, $R_{max} \equiv V_{max}$
$V_{min} \rightarrow$ p.B (moving along $|\Gamma|$-const TWG) ↺
$\Delta l = 4\,cm = \lambda/8 = 0.125\lambda$
Then $\underline{\bar{Z}_B = 0.6 - j0.8}$ $\quad \bar{Z}_{in} = \bar{Z}_B^* = 0.6 + j0.8$

3). R is in series with $\bar{Z}_B$ ($X_B =$ const)
pB → p.D $\quad \bar{Z}_D = \bar{Z}_B + \bar{R} = (r_B + r) + jX_B$
$\bar{Z}_D = (r_B + r) - j0.8$ (move along $X=$const towards open circuit)
how much?
$\underline{r_d = r_B + r}$

4). Stub is in $\parallel \Rightarrow Z \rightarrow Y$
$\bar{Y}_{in} = \bar{Y}_D + \bar{Y}_{st} \quad (Y_{in} = 0.6 - j0.8)$ - read ~~black~~ blue num)
Re: $g_{in} = g_D + g_{st}$
$g_{st} = 0$ (open) $\Rightarrow g_D = g_{in} = 0.6$
p.D → intersection of $g = 0.6$ and $X = -0.8$
$r_d \approx 1.09$ (read red num) $\Rightarrow r = 1.09 - 0.6 = 0.49$
$\underline{R = Z_0 r = 24.5\,\Omega}$ $\quad 24.5\,\Omega$

$\bar{Y}_D = 0.6 + j0.44$ (read blue num)

uppgift 1

In: $b_{in} = b_D + b_{st}$

$b_{st} = b_{in} - b_D = -0.8 - 0.44 = -1.24$

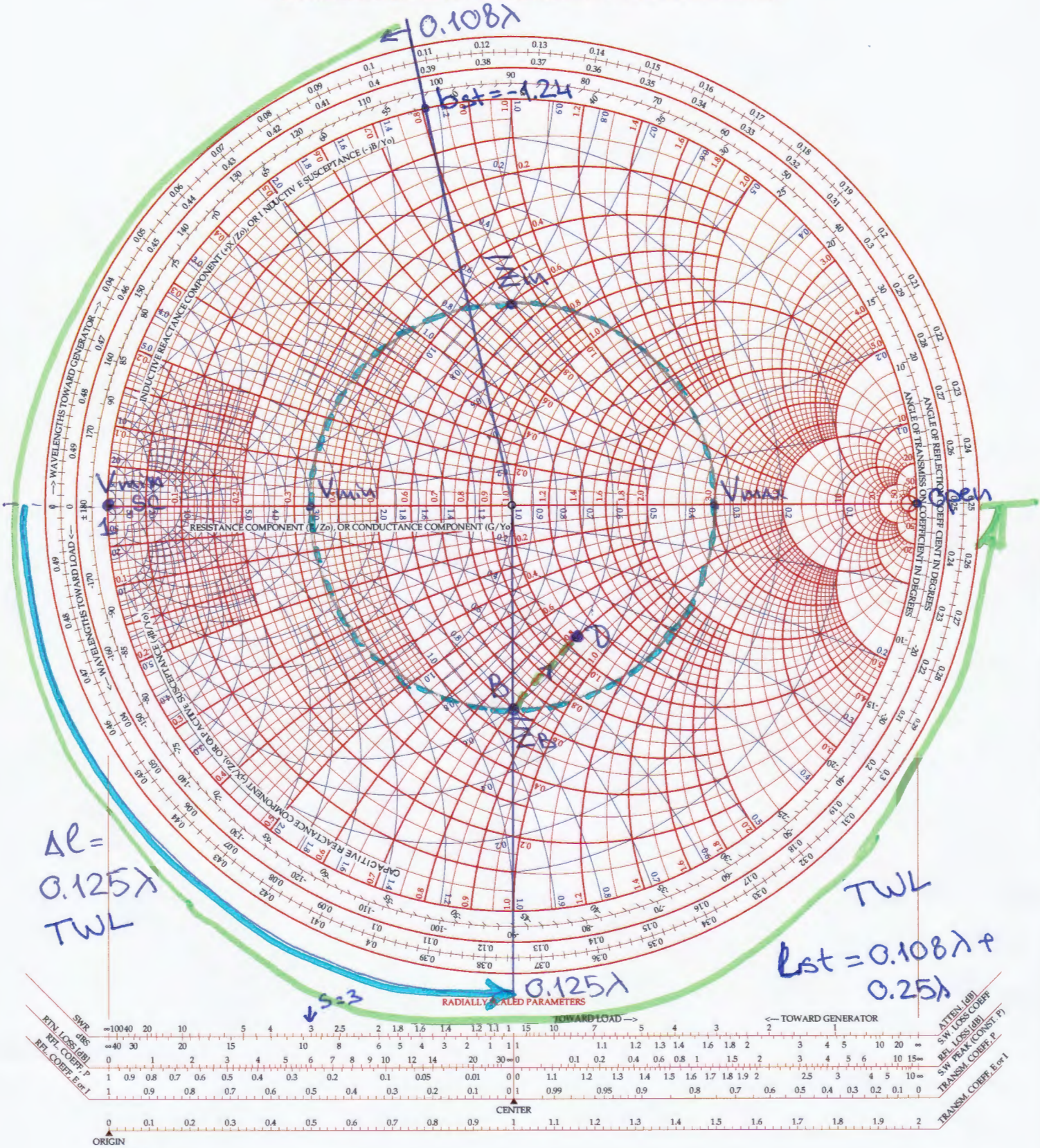
Mark b_{st} on SD

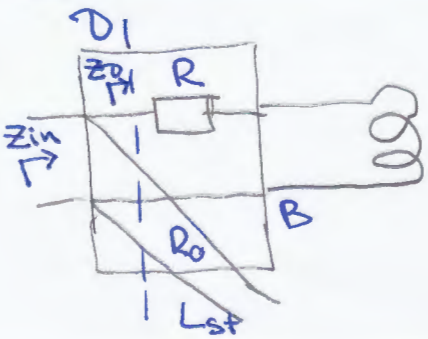
$\bar{Y}_{st} = -j\,1.24$

$L_{st} = 0.108\lambda + 0.25\lambda = 0.358\lambda = 11.456\,(cm)$

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES

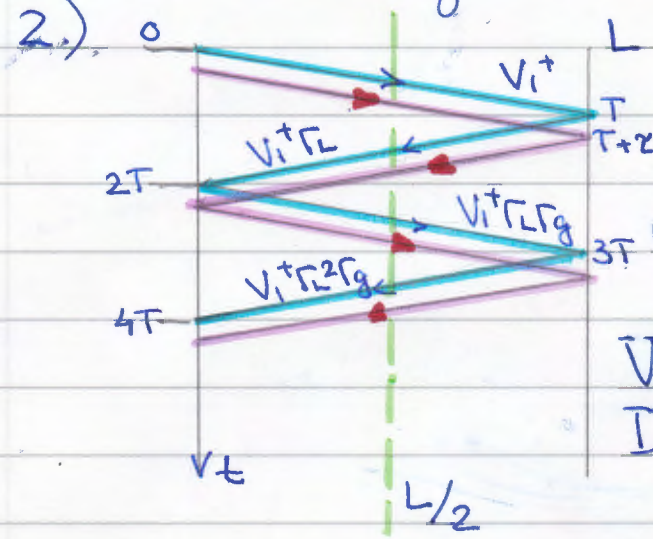




Uppgift 2

1) All R are real + $\alpha = 0$ → can use reflection diagram

2.)

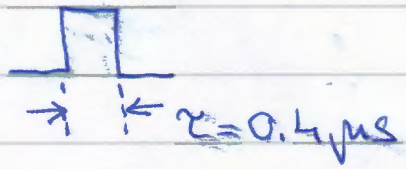


$L = v \cdot t_1 = \frac{2}{3} c_0 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 400\,(m)$

(t_1 – time to 1st puls)

$V = V_1^+ \; (@t=0) = 150V$

$I = I_1^+ \; (@t=0) = V_1^+ / R_0$



$V_{L1} = 187.5\,(V)$

$V_{L1} = (1+\Gamma_L) V_1^+ \Rightarrow \Gamma_L = 0.25$

$\Gamma_L = \frac{R_L - R_0}{R_L + R_0} \rightarrow R_L = R_0 \frac{1+\Gamma_L}{1-\Gamma_L} = \underline{125\,(\Omega)}$

$V_{L2} = -23.437\,(V)$

$V_{L2} = V_1^+ \Gamma_L \Gamma_g + V_1^+ \Gamma_L^2 \Gamma_g = V_1^+ \Gamma_L \Gamma_g (1+\Gamma_L)$

$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{1}{\Gamma_L \Gamma_g} \Rightarrow \Gamma_g = \frac{V_{L2}}{V_{L1}\Gamma_L} = \frac{4 V_{L2}}{V_{L1}} = -0.5$

$\Gamma_g = \frac{R_g - R_0}{R_g + R_0} \Rightarrow R_g = R_0 \frac{1+\Gamma_g}{1-\Gamma_g} = \underline{25\,(\Omega)}$

3) $V_1^+ = \frac{V_g}{R_0 + R_g} R_0 \Rightarrow V_g = \frac{V_1^+ (R_0 + R_g)}{R_0} = \underline{200\,(V)}$

4) $I_1^+ = \frac{V_1^+}{R_0} = 2\,(A)$

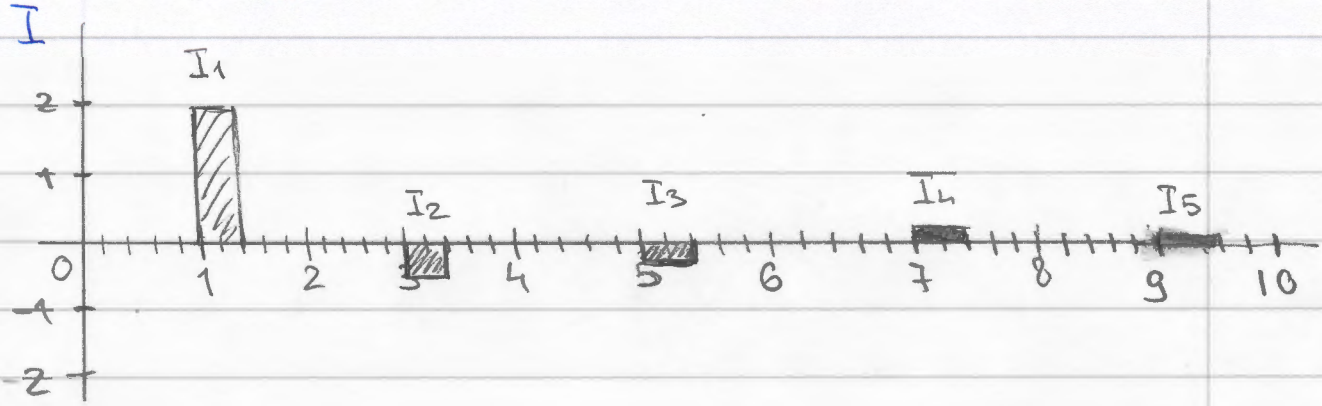
uppgift 2

$\Gamma_V = -\Gamma_I \quad (\Gamma_L = 0.25)(\Gamma_g = -0.5)$

$t(L/2) = T/2 = 1(\mu s) \qquad \tau = 0.4\,\mu s$

a) $I_1 = \frac{V_1^+}{R_0} = I_1^+ \qquad t_1 = T/2 =$

b) $I_2 = -\frac{V_1^+}{R_0} \cdot \Gamma_L = -I_1^+ \Gamma_L = -0.5(A) \quad t_2 = \frac{3T}{2} = 3\,\mu s$



c) $I_3 = \frac{V_1^+}{R_0}(-\Gamma_L)(-\Gamma_g) = I_1^+ \Gamma_L \Gamma_g = -0.25(A) \quad t_3 = 5\mu s\ (5/2T)$

d) $I_4 = \frac{V_1^+}{R_0}(-\Gamma_L)^2(-\Gamma_g) = -I_1^+ \Gamma_L^2 \Gamma_g = 0.0625(A)$

$t_4 = 7/2T = 7(\mu s)$

e) $I_5 = \frac{V_1^+}{R_0}(-\Gamma_L)^2(-\Gamma_g)^2 = I_1^+ \Gamma_L^2 \Gamma_g^2 = 0.03125(A)$

$t_5 = 9/2T = 9(\mu s)$

Uppgift 3

1). Dominant mode is $TE_{1,0}$ $(m=1, n=0)$

$$v_{gr} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_{r1}}}\sqrt{1-\frac{f_{cTE_{1,0}}^2}{f^2}}$$

$$f_{cTE_{1,0}} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{r1}}}h_{TE_{1,0}} \quad h_{TE_{1,0}} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2+0} = \frac{\pi}{a}$$

$$f_{cTE_{1,0}} = \frac{c}{2a\sqrt{\varepsilon_{r1}}}$$

$$v_{gr}^2 = \frac{c^2}{\varepsilon_{r1}}\left(1-\frac{f_{cTE_{1,0}}^2}{f^2}\right) = \frac{c^2}{\varepsilon_{r1}}\left(1-\frac{c^2}{4a^2\varepsilon_{r1}f^2}\right)$$

$$a = \sqrt{\frac{c^2}{4\varepsilon_{r1}f^2\left(1-\frac{v_{gr}^2\varepsilon_{r1}}{c^2}\right)}} \qquad \boxed{a = 4{,}75\ (cm)}$$

$c = 3\cdot10^8\ m/s$; $\varepsilon_{r1} = 3.7$; $f = 6\cdot10^9\ Hz$, $v_{gr} = 1{,}5\cdot10^8\ m/s$

2) The lowest TM mode is $TM_{1,1}$ $(m=n=1)$

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

a) air $(\varepsilon_r = 1)$ – media 1

$$f_{c1} = \frac{hc}{2\pi} = \frac{c}{2\pi}\cdot\frac{\pi}{a}\sqrt{2} = \frac{c}{\sqrt{2}a} = \cancel{251.7\Omega}\ 4.47\ GHz$$

$$Z_1 = \eta\sqrt{1-\left(\frac{f_{c1}}{f}\right)^2} = (\eta = 120\pi) = 251.7\Omega$$

b) ε_{r1} – media 2

$$f_{c2} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{r1}}}h = \frac{c}{\sqrt{2}a\sqrt{\varepsilon_{r1}}} = 2.32\ GHz$$

$$Z_2 = \eta\sqrt{1-\left(\frac{f_{c2}}{f}\right)^2} = 180.7\Omega$$

3). $\lambda/4$ transformer between media 1 and 2

$$Z_3 = \sqrt{Z_1 Z_2} = 213.3\ \Omega$$

$$Z_3 = \frac{\eta}{\sqrt{\varepsilon_{r2}}}\sqrt{1-\left(\frac{f_{c3}}{f}\right)^2} \qquad f_{c3} = \frac{c}{\sqrt{2}a\sqrt{\varepsilon_{r2}}} = 2.88\ \text{GHz}$$

$$Z_3^2 = \frac{\eta^2}{\varepsilon_{r2}}\left(1-\frac{c^2}{2a^2\varepsilon_{r2}f^2}\right)$$

$$\frac{\varepsilon_{r2}Z_3^2}{\eta^2} = 1-\frac{c^2}{2a^2\varepsilon_{r2}f^2} \quad \Big|\cdot\varepsilon_{r2}$$

$$\varepsilon_{r2}^2\underbrace{\left(\frac{Z_3^2}{\eta^2}\right)}_{=A} - \varepsilon_{r2} + \underbrace{\frac{c^2}{2a^2f^2}}_{=C} = 0$$

$$A\varepsilon_{r2}^2 - \varepsilon_{r2} + C = 0$$

$\boxed{\varepsilon_{r2} = 2.4}$ (the other root is not physical) (0.72)

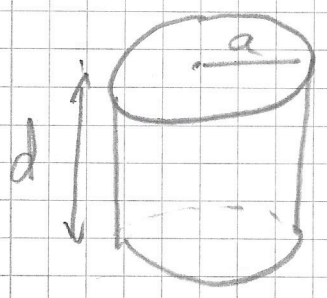
4). $l_T = \lambda_g/4$ ($TM_{1,1}$)

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{f_{c3}}{f}\right)^2}} = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_{r2}}\sqrt{1-\left(\frac{f_{c3}}{f}\right)^2}} = 3.77\ (\text{cm})$$

$\boxed{l_T = 0.92\ (\text{cm})}$

0.92 (cm)

Uppgift 4



a). luftfylld kavitet resonans frekvens ges av:

$$f_{nmp} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}}\sqrt{\left(\frac{x_{np}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{d}\right)^2}$$

assume $5{,}52\ \text{GHz} = f_{TE_{111}}$

$\Rightarrow$ $d = 4{,}5$ cm $\qquad 2a < d$

$f_{TM_{010}}$ för $a = 2$ cm och $d = 4{,}5$ cm $\Rightarrow$ $5{,}74$ GHz

alltså $d = 4{,}5$ cm är lösningen

b) $d = 3{,}5$

$\varepsilon_r = 4$

$\Rightarrow$ $f_{TE_{111}} = 3{,}07$ GHz

$f_{TM_{010}} = 2{,}87$ GHz

alltså i detta fall är lägsta resonans för kavitet: 2,87 GHz.

Problem 5

. brusgolvet är -60 dBm, dvs signalen (den vanliga) har -35 dBm för styrka vanligtvis. Därför måste signalen som vincent skickar vara -25 dBm vid grannens mottagare

alltså: $P_{UT} = 10\ W$

$$P_r = 10^{\left(-\frac{25}{10}\right)} = 3{,}16 \cdot 10^{-3}\ mW = 3{,}16\ \mu W$$

$$f = 2{,}4\ GHz \Rightarrow \lambda = 0{,}125\ m$$

$$R = 50\ m$$

Grannens mottagare måste kunna ta signal från alla håll d.v.s. $G_R = 1$

Friis ekvation: $G_T = \frac{P_r}{P_{UT}} \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}\right)^2$

$$\Rightarrow G_T = 8 \quad \text{dvs} \quad 6{,}3\ dBi$$

detta är det minsta värde eftersom ingen förlust medräknades.

Problem 6:

a) dipoler ska vara i fas och på samma plats

* riktning: $\hat{z}$
* $\xi = 0$
* A kan vara vad som helst.
* $d = 0$ för att få antennerna i fas.

b) · Igen sidlobb → binomial antenn

* riktning: $\hat{z}$, symmetriskt kring y axeln.
* $A = 1$
* $d < \frac{\lambda}{2}$ (igen sidlobb)
* $\xi = 0$

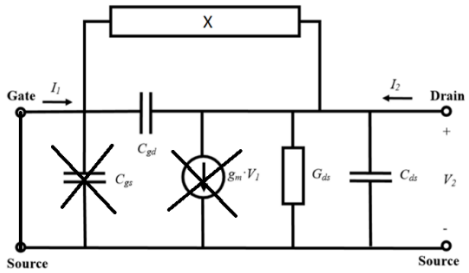
c) * endfire antenn med huvudlobb för $x = 0$ → linjär antenn

* riktning: $\hat{z}$, symmetrisk kring y axeln.
* $A = 1$
* $\begin{cases} d = \frac{\lambda}{4} \\ \xi = -\frac{\pi}{2} \end{cases}$

Solution:

(a) $Y_{12} = I_1/V_2$ When $V_1 = 0$

When $V_1 = 0$, there will be zero current in Cgs and current source (g_mV_1)

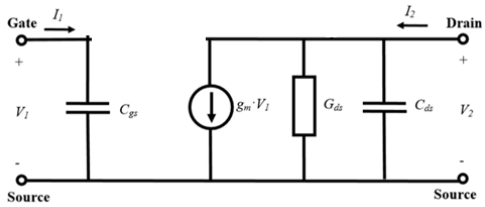


KCL: I_1 is comprising current going throw Cgd and X

$I_1 = - V_2 (1/X + j\omega C_{gd}) \rightarrow Y_{12} = I_1/V_2 = - (1/X+ j\omega C_{gd})$

$Y_{12} = 0 \rightarrow X = -1/(j\omega C_{gd}) = j/(\omega C_{gd}) = j\omega/(\omega^2 C_{gd}) = j\,\omega L \rightarrow$ X is an inductor with $L = 1/(\omega^2 C_{gd})$

(b) By choosing $X = j\,\omega L$ we have the following network

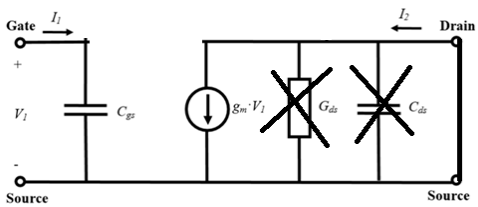


Open circuit $\rightarrow I_2 = 0$

KCL at port 2 $\quad g_mV_1 + j\omega C_{ds} V_2 + G_{ds} V_2 = 0$

$$A_v = V_2/V_1 = -g_m /(j\omega C_{ds} + G_{ds})$$

(C) Short circuit results in zero current in C_{ds} and G_{ds}



$I_2 = g_mV_1$, $I_1 = j\omega C_{gs} V_1$

$A_I = I_2/I_1 = g_m/(j\omega C_{gs})$