HFT 43, Tentamen i högfrekvensteknik, kurskod EEM021 2012-04-13, 08:30 i ”M”-salar. Längd: 4 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
Frågor uppg 7	Hans Hjelmgren, tel 070-520 13 46
Resultatet	Anslås på kursens hemsida
Granskning	Sker på tid och plats som anges på kurshemsida
Betygsgränser	24p för betyg 3, 36p för betyg 4 och 48p för betyg 5
Kom ihåg	**Lösningen på uppgift 7 lämnas i separat omslag**
Observera	Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!

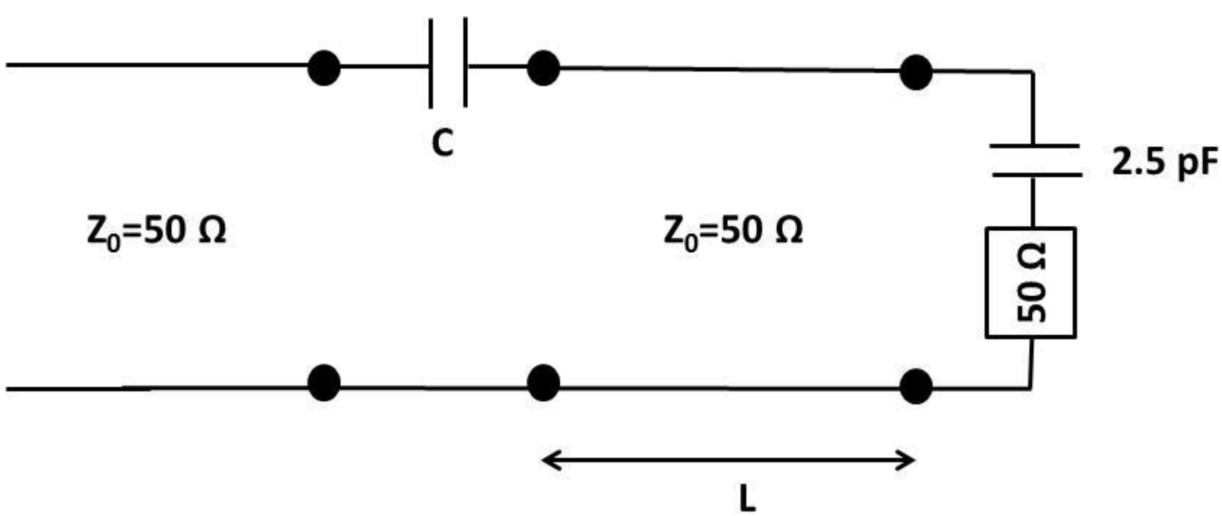
Duggadelen

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

<u>Transmissionsledningar:</u>

Problem 1. 10p. (D)

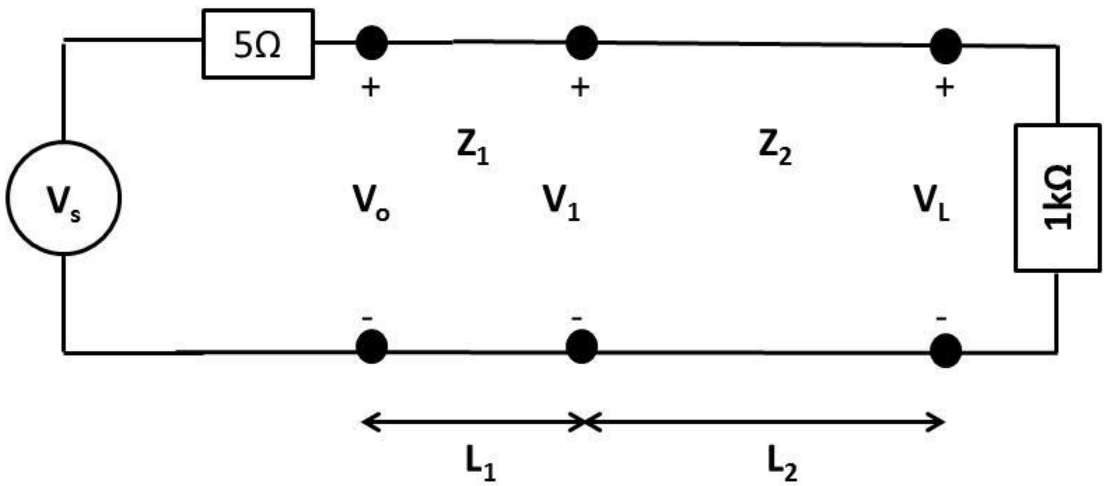
En 50 Ω resistans och en 2.5 pF kondensator är seriekopplade och anslutna till en förlustfri transmissionsledning med karakteristisk impedans 50 Ω och längd L.Transmissionsledningen är själv ansluten till en 50 Ω signallinje genom en kondensator.



Bestäm längden L av transmissionsledningen och kondensatorn kapacitans C för få VSWR=1 i signallinjen vid 2 GHz .

Problem 2. 7p.

Kretsen i den nedanföljande figuren mattas av en stegfunktionsgenerator med intern impedans av 5 Ω som slås på vid t=0 och leverera en puls V_s=10V. Bägge transmissionsledningar är förlustfria och har karateristiska impedans Z_1=200 Ω, respektive Z_2=400 Ω. Utbredningshastigheten i bägge transmissionsledningar är 20 cm/ns. Den första transmissionsledningen är L_1=1 cm och den andra är L_2=4c m. Kretssen termineras med en 1 kΩ resistans.



a. ***Vad är spänningen Vo, vid ingången av första transimissionsledningen vid t=0.05 ns.***
b. ***Vad är spänningen V_1, vid övergången mellan transmissionledningarna vid t=0.1ns.***
c. ***Vad är spänningen Vo, vid ingången av första transimissionsledningen vid t=0.12 ns.***
d. ***Vad är spänningen V_1, vid övergången mellan transmissionledningarna vid t=0.27 ns.***
e. ***Vad är spänningen V_L, vid lasten när t=0.27 ns.***

Vågledare:

Problem 3. 10p. (D)

En rektangulär vågledare är fylld med ett förlustfri dielektrisk material med $\varepsilon_r = 9$. Vågledarens inre mått är a=1 cm och b=0.7 cm

Över vilka frekvenser kan bara TE_{10}-moden utbreda sig?

Problem 4. 6p.

Designa en cylindrisk resonator som skall resonera så bra som möjligt i TE_{111}-moden vid 6 GHz.
Resonatorn ska vara fyllda med ett förlustfritt dielektrisk material med $\varepsilon_r = 1.5$.
Motivera valet av material för kavitetens väggar.

Antenner

Problem 5. 8p.

Pioneer 10 skickas ut i Rymden 1972 för att utforska planeter längst bort i solsystemet. När den tappade kontakt med jorden (2003) var avståndet mellan Jorden och Pioneer 10 ungefär 12,3 x 10^9 km. För att kommunicera med jorden använde Pioneer en frekvens på 2192 MHz med hjälp av en antenn med diameter 274 cm. På jorden togs signalen emot med hjälp av en 70 m diameter antenn. Både antenner har en effektiv erea på 70%.

Sändaren på Pioneer 10 kunde generera 8W. Vilken effekt hade den sista mottagna signal från Pioneer 10?

Problem 6. 9p.

a. ***Härled ett uttryck för gruppfaktorn för en linjär binomial array med N element.***

Antag att elementen är placerade längs z-axeln och orienterad parallellt med x-axeln och avståndet, d, samt fasförskjutning α mellan två konsekutiva element .

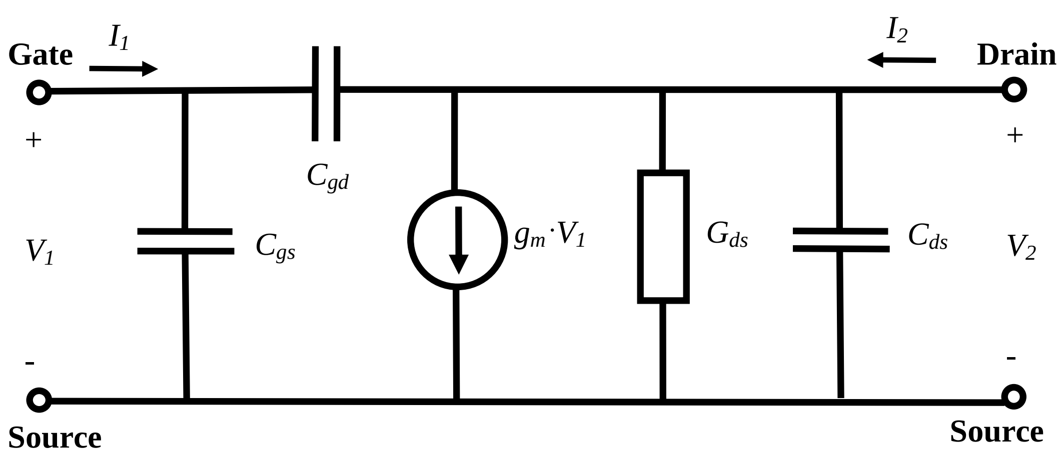
b. ***Rita den normaliserade gruppfaktorn för en fyra elementuppsättning (1:3:3:1).***

Mikrovåg

Problem 7. 10p.

En småsignalmodell för en RF-MOSFET med common-source visas nedan, tillsammans med definitionen av admittans-parametrar för en tvåport.

a) ***(6p) Bestäm uttrycken för admittansparametrarna (y_{11}, y_{12}, y_{21} och y_{22}).***
b) ***(2p) Bestäm ett uttryck för strömförstärkningen h_{21} (I_2/I_1 med kortsluten utgång). En omvandlingstabell för tvåportar bifogas tentan.***
c) ***(2p) Bestäm ett uttryck för gränsfrekvensen f_T, definierad som den frekvens för vilken strömförstärkningen $|h_{21}|$=1. Antag att C_{gd} är liten.***



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

Omvandlingstabell för de vanligaste tvåportarna [G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers: analysis and design*, Prentice Hall, 1997.]

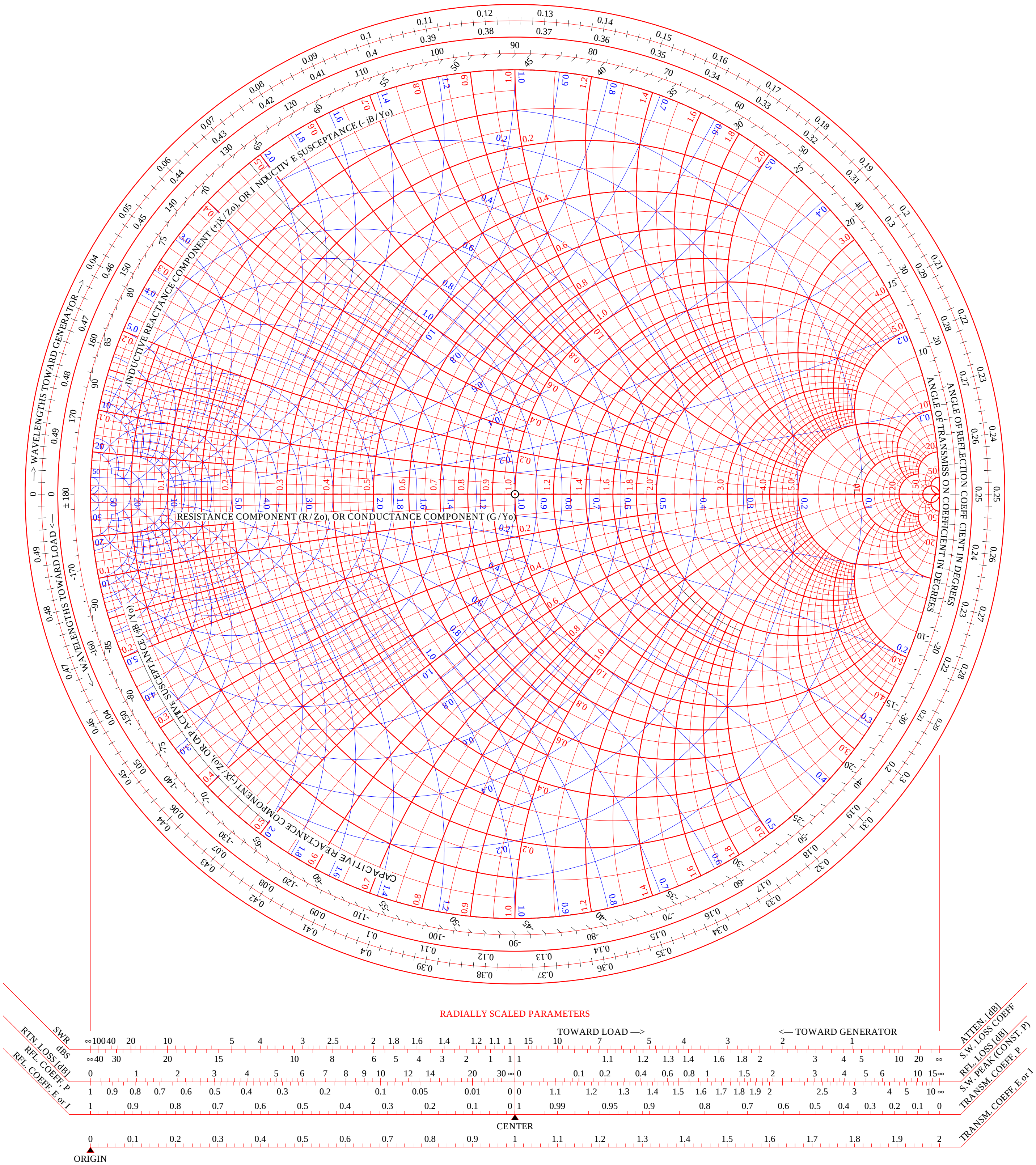
	S	z	y	h	$ABCD$
S	$\begin{matrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{matrix}$	$S_{11} = \frac{(z'_{11}-1)(z'_{22}+1) - z'_{12}z'_{21}}{\Delta_1}$ $S_{12} = \frac{2z'_{12}}{\Delta_1}$ $S_{21} = \frac{2z'_{21}}{\Delta_1}$ $S_{22} = \frac{(z'_{11}+1)(z'_{22}-1) - z'_{12}z'_{21}}{\Delta_1}$	$S_{11} = \frac{(1-y'_{11})(1+y'_{22}) + y'_{12}y'_{21}}{\Delta_2}$ $S_{12} = \frac{-2y'_{12}}{\Delta_2}$ $S_{21} = \frac{-2y'_{21}}{\Delta_2}$ $S_{22} = \frac{(1+y'_{11})(1-y'_{22}) + y'_{12}y'_{21}}{\Delta_2}$	$S_{11} = \frac{(h'_{11}-1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}}{\Delta_3}$ $S_{12} = \frac{2h'_{12}}{\Delta_3}$ $S_{21} = \frac{-2h'_{21}}{\Delta_3}$ $S_{22} = \frac{(1+h'_{11})(1-h'_{22}) + h'_{12}h'_{21}}{\Delta_3}$	$\begin{matrix} \frac{A'+B'-C'-D'}{\Delta_4} & \frac{2(A'D'-B'C')}{\Delta_4} \\ \frac{2}{\Delta_4} & \frac{-A'+B'-C'+D'}{\Delta_4} \end{matrix}$
z	$z'_{11} = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22}) + S_{12}S_{21}}{\Delta_5}$ $z'_{12} = \frac{2S_{12}}{\Delta_5}$ $z'_{21} = \frac{2S_{21}}{\Delta_5}$ $z'_{22} = \frac{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}}{\Delta_5}$	$\begin{matrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{y_{22}}{\lvert y\rvert} & \frac{-y_{12}}{\lvert y\rvert} \\ \frac{-y_{21}}{\lvert y\rvert} & \frac{y_{11}}{\lvert y\rvert} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{\lvert h\rvert}{h_{22}} & \frac{h_{12}}{h_{22}} \\ \frac{-h_{21}}{h_{22}} & \frac{1}{h_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{A}{C} & \frac{\Delta_8}{C} \\ \frac{1}{C} & \frac{D}{C} \end{matrix}$
y	$y'_{11} = \frac{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}}{\Delta_6}$ $y'_{12} = \frac{-2S_{12}}{\Delta_6}$ $y'_{21} = \frac{-2S_{21}}{\Delta_6}$ $y'_{22} = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22}) + S_{12}S_{21}}{\Delta_6}$	$\begin{matrix} \frac{z_{22}}{\lvert z\rvert} & \frac{-z_{12}}{\lvert z\rvert} \\ \frac{-z_{21}}{\lvert z\rvert} & \frac{z_{11}}{\lvert z\rvert} \end{matrix}$	$\begin{matrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{h_{11}} & \frac{-h_{12}}{h_{11}} \\ \frac{h_{21}}{h_{11}} & \frac{\lvert h\rvert}{h_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{D}{B} & \frac{-\Delta_8}{B} \\ \frac{-1}{B} & \frac{A}{B} \end{matrix}$
h	$h'_{11} = \frac{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12}S_{21}}{\Delta_7}$ $h'_{12} = \frac{2S_{12}}{\Delta_7}$ $h'_{21} = \frac{-2S_{21}}{\Delta_7}$ $h'_{22} = \frac{(1-S_{11})(1-S_{22}) - S_{12}S_{21}}{\Delta_7}$	$\begin{matrix} \frac{\lvert z\rvert}{z_{22}} & \frac{z_{12}}{z_{22}} \\ \frac{-z_{21}}{z_{22}} & \frac{1}{z_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{y_{11}} & \frac{-y_{12}}{y_{11}} \\ \frac{y_{21}}{y_{11}} & \frac{\lvert y\rvert}{y_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{B}{D} & \frac{-\Delta_8}{D} \\ \frac{-1}{D} & \frac{C}{D} \end{matrix}$
$ABCD$	$A' = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$ $B' = \frac{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$ $C' = \frac{(1-S_{11})(1-S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$ $D' = \frac{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\begin{matrix} \frac{z_{11}}{z_{21}} & \frac{\lvert z\rvert}{z_{21}} \\ \frac{1}{z_{21}} & \frac{z_{22}}{z_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{-y_{22}}{y_{21}} & \frac{-1}{y_{21}} \\ \frac{-\lvert y\rvert}{y_{21}} & \frac{-y_{11}}{y_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{-\lvert h\rvert}{h_{21}} & \frac{-h_{11}}{h_{21}} \\ \frac{-h_{22}}{h_{21}} & \frac{-1}{h_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} A & B \\ C & D \end{matrix}$

$\Delta_1 = (z'_{11}+1)(z'_{22}+1) - z'_{12}z'_{21}$
$\Delta_2 = (1+y'_{11})(1+y'_{22}) - y'_{12}y'_{21}$
$\Delta_3 = (h'_{11}+1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}$
$\Delta_4 = A' + B' + C' + D'$
$\Delta_5 = (1-S_{11})(1-S_{22}) - S_{12}S_{21}$
$\Delta_6 = (1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12}S_{21}$
$\Delta_7 = (1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}$
$\Delta_8 = AD - BC$

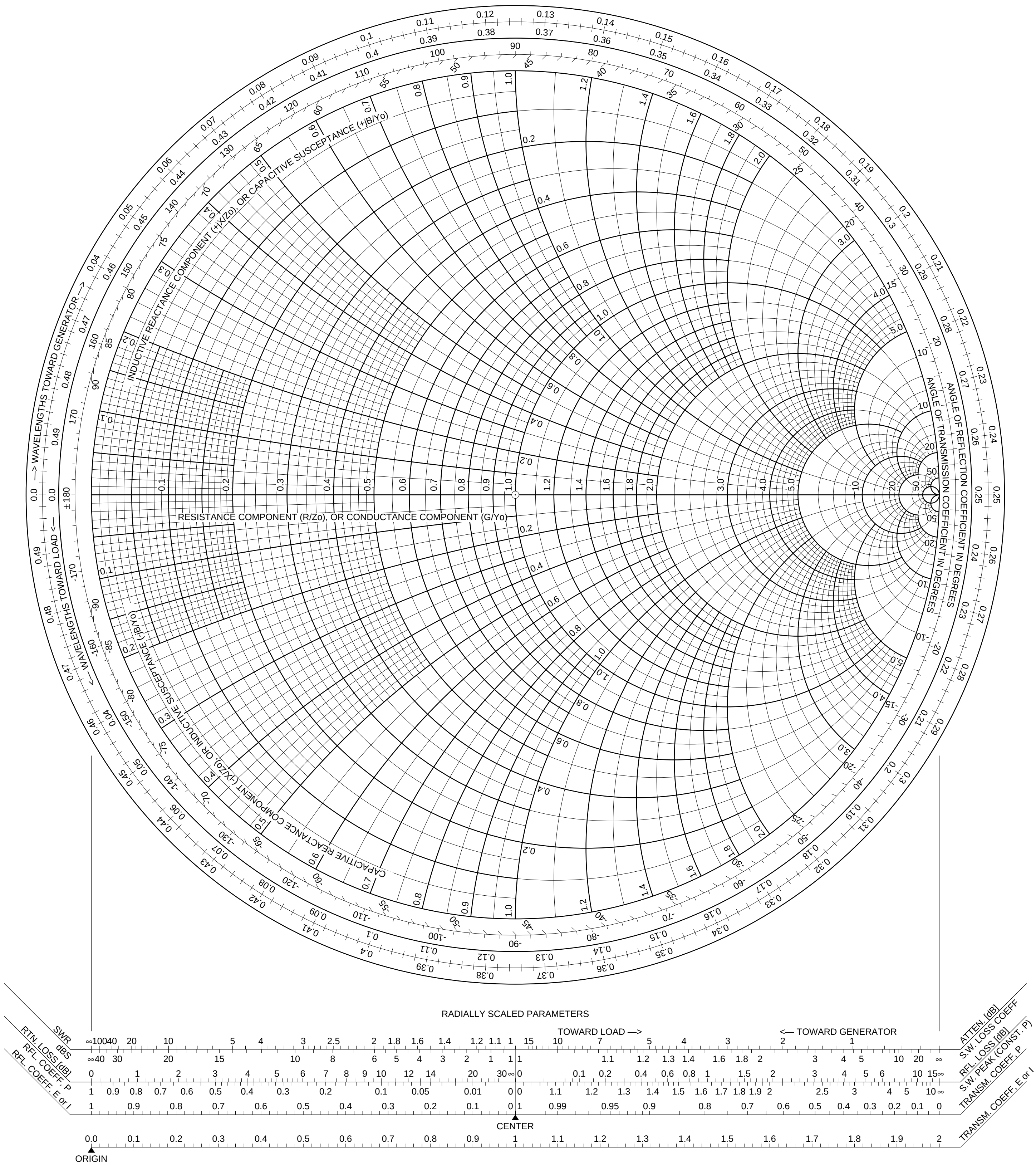
$z'_{11} = z_{11}/Z_o,\ z'_{12} = z_{12}/Z_o,\ z'_{21} = z_{21}/Z_o,\ z'_{22} = z_{22}/Z_o$
$y'_{11} = y_{11}Z_o,\ y'_{12} = y_{12}Z_o,\ y'_{21} = y_{21}Z_o,\ y'_{22} = y_{22}Z_o$
$h'_{11} = h_{11}/Z_o,\ h'_{12} = h_{12},\ h'_{21} = h_{21},\ h'_{22} = h_{22}Z_o$
$A' = A,\ B' = B/Z_o,\ C' = CZ_o,\ D' = D$
$\lvert z\rvert = z_{11}z_{22} - z_{12}z_{21}$
$\lvert y\rvert = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21}$
$\lvert h\rvert = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



smithdiagram



· Starta med $Z_L = \frac{\ldots j\omega \ldots}{Z_0} = 1-0.64j$

· Efter transmissionsledningen måste den transformerade impedans vara positiv för att nästa kondensatorn bidrag endast med negativ reaktans.

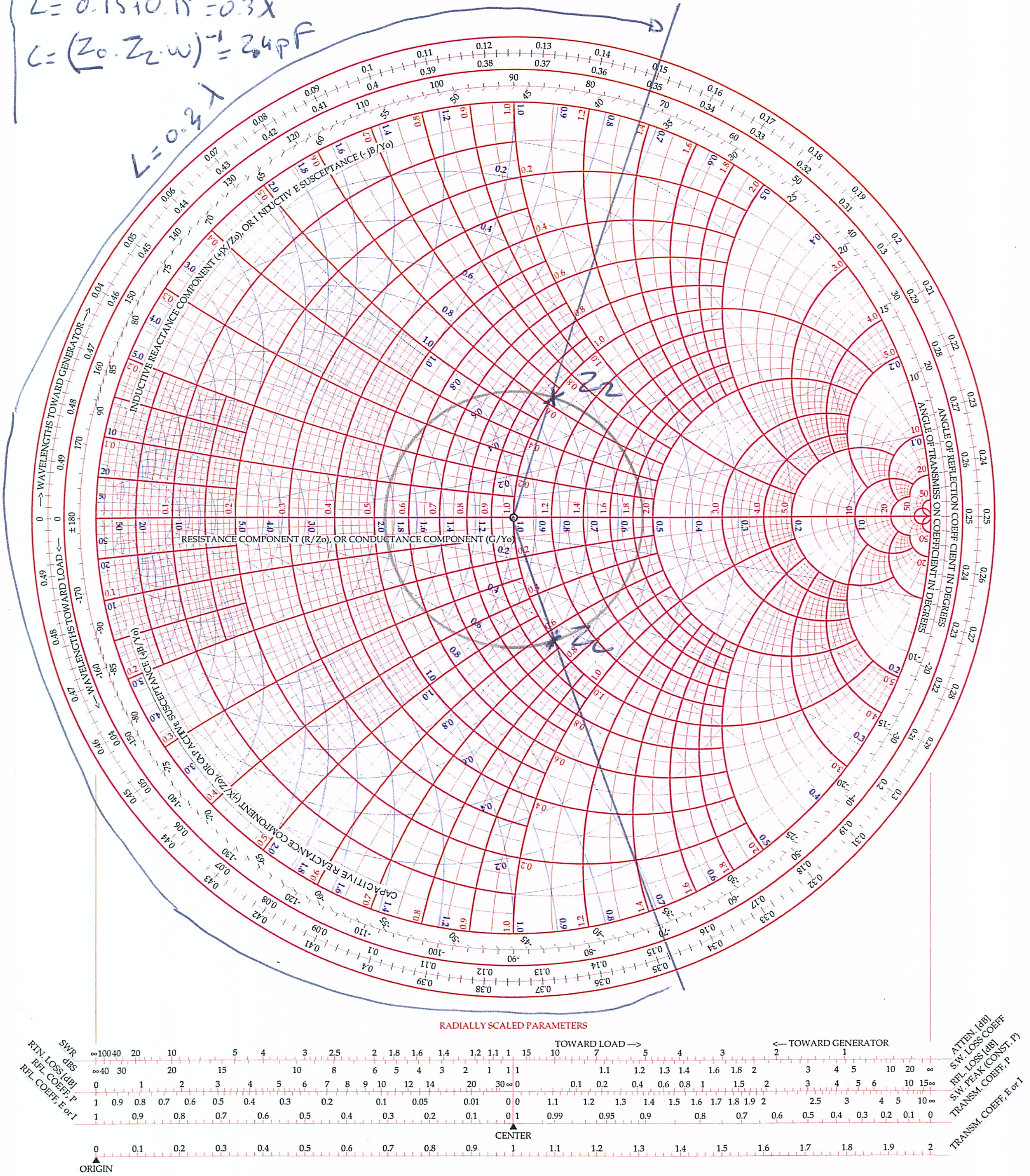
NAME	TITLE	DWG. NO.
		DATE
SMITH CHART FORM ZY-01-N	COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997	

$\rightarrow$ $L = 0.15 + 0.15 = 0.3\lambda$

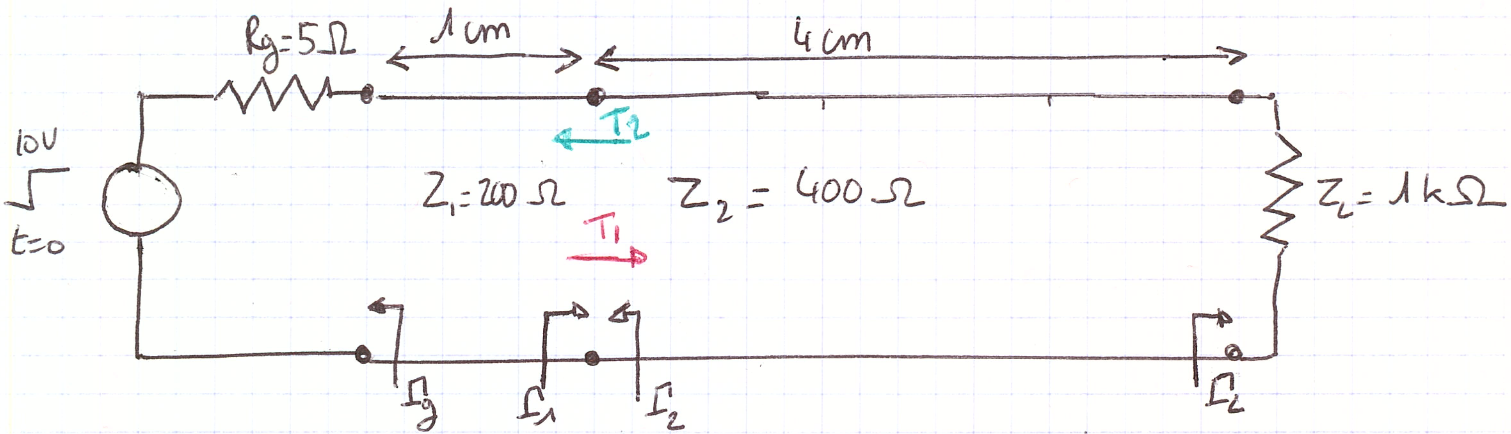
$C = (Z_0 \cdot Z_2 \cdot \omega)^{-1} = 2{,}4\,\text{pF}$

$L = 0.3\lambda$

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



PROBLEM 2



$u = 20\ cm/ns$ $\quad T_1 = 0.05\ ns \quad T_2 = \frac{4}{20} = 0.2\ ns$

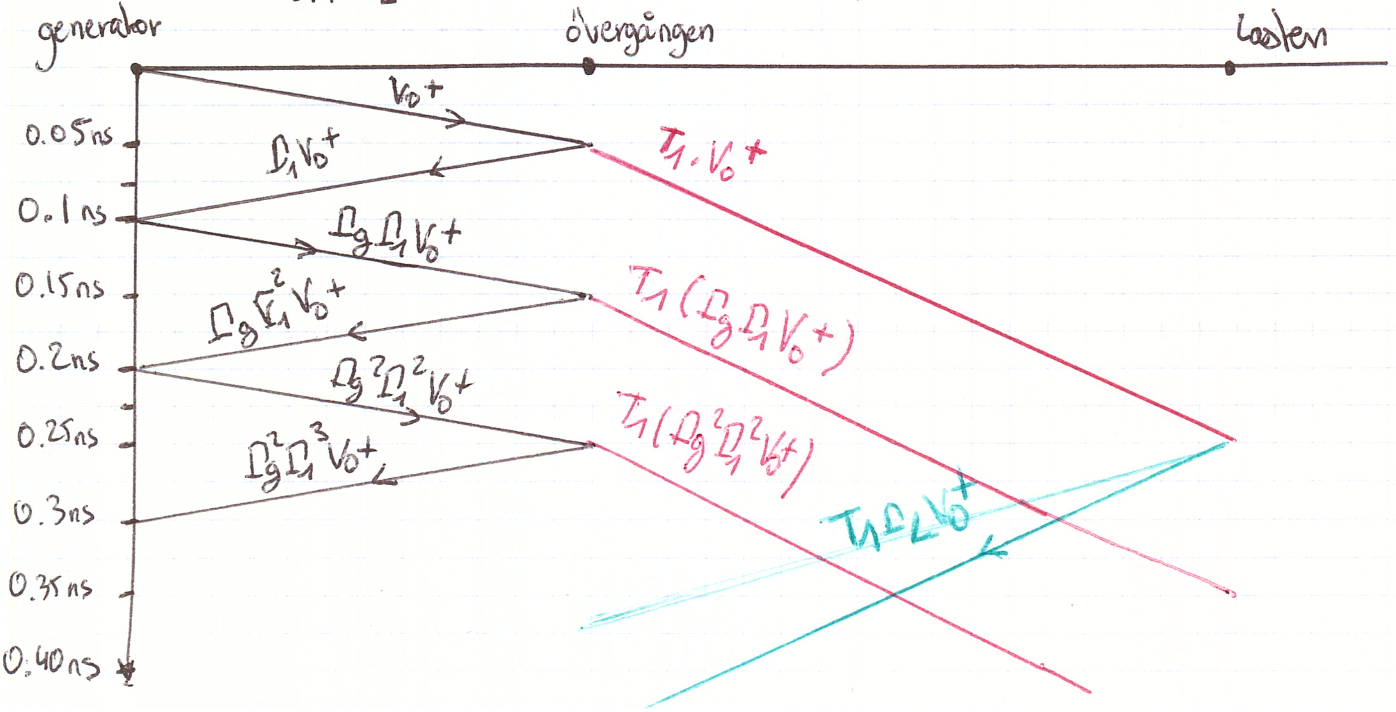
Spänningsdelning: $V_0^+ = \frac{V_s \cdot Z_1}{Z_1 + R_g} = 9{,}756\ V$

$$\Gamma_g = \frac{R_g - Z_1}{R_g + Z_1} = \frac{5 - 200}{5 + 200} = -0.9512$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_2}{Z_L + Z_2} = \frac{1000 - 400}{1000 + 400} = 0.4286$$

$$\Gamma_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{1}{3} \qquad T_1 = 1 + \Gamma_1 = \frac{4}{3}$$

$$\Gamma_2 = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = -\frac{1}{3} \qquad T_2 = \frac{2}{3}$$



a) $V_0 @ t = 0.05ns \quad = \quad V_0^+ = 9{,}756\ V$

b) $V @ t = 0.1ns \quad = \quad T_1 \cdot V_0^+ = 13\ V$

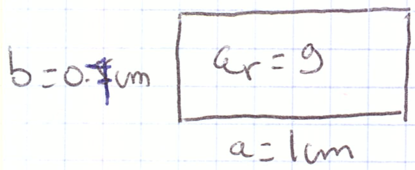
c) $V_0 @ t = 0.12ns \quad = \quad V_0^+ + \Gamma_1 V_0^+ + \Gamma_1 \Gamma_g V_0^+ = 9{,}751 + 3{,}252 + (-3{,}093)$

$= 9{,}914 V$

d) $V @ t = 0.27ns \quad = \quad T_1 V_0^+ + T_1 \Gamma_g \Gamma_1 V_0^+ + T_1 \Gamma_g^2 \Gamma_1^2 V_0^+ = 13 - 4.128 + 1.306 = 10.18 V$

c) $V_L @ t = 0.27ns \quad = \quad T_1 V_0^+ + \Gamma_L T_1 V_0^+ = 13 + 5.57 = 18{,}57 V.$

Problem 3:



. brytfrekvens för TE_{10}: $k = \frac{\pi}{a} \Rightarrow \sqrt{\varepsilon_r}\frac{\omega}{c} = \frac{\pi}{a}$

$f_{c10} = 5$ GHz.

TE_{10} är den dominanta moden.

Nästa mod: TE_{20}? TE_{01}? TE_{11}?

För de övriga moden brytfrekvenserna fås av:

$$\varepsilon_r\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

För TE_{01}: $F_{c01} = 7,14$ GHz

TE_{11} $F_{c11} = 11.18$ GHz

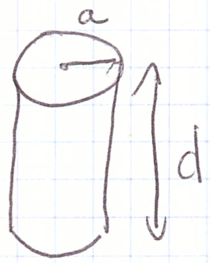
TE_{12} $F_{c11} = 20.62$ GHz

TE_{20} $F_{c20} = 10$ GHz

Vågledaren tillåter bara TE_{10} mellan 5 GHz och 7,14 GHz!

Problem 4:

$a = \cancel{0.20}\ 2.107\ cm$



TE_{111} resonans ske vid:

$$\varepsilon_r\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 = \left(\frac{p'_{11}}{a}\right)^2 + \left(\frac{1\times\pi}{d}\right)^2$$

$$\varepsilon_r\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - \left(\frac{p'_{11}}{a}\right)^2 = \left(\frac{\pi}{d}\right)^2$$

$$d = \frac{\pi}{\sqrt{\varepsilon_r\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - \left(\frac{p'_{11}}{a}\right)^2}} = 2.479\, cm$$

bästa möjliga resonans fås för: - förlustfria dielektrisk
- förlustfria väggar.

då få man anhgen ha superledande väggar eller den baste ledande metal för att minimera förlusterna: (Ag).

Problem 5

$F = 2192$ MHz
$R = 12{,}3 \; 10^9$ km

Friis transmission equation: $P_r = P_T \cdot G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2$

$G_{R,T} = $ effektiv area x area x $\frac{4\pi}{\lambda^2}$

$G_T = 2769$

$G_R = 1807309$

$\rightarrow P_R = 3.14 \; 10^{-20}$ W $= -165$ dBm.

$$(AF)_n = \frac{1}{\Sigma}\left|1 + Ne^{i\varphi} + \frac{N(N-1)}{2!}e^{i2\varphi} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!}e^{i3\varphi} + \ldots . + e^{i(N-1)\varphi}\right|$$

Där $\Sigma \quad = 1 + N + \frac{N-1}{2!} + \frac{N(N-1)(N-2)}{3!} + \cdots = (1+1)^{N-1} = 2^{N-1}$

$$(AF)_n = \frac{1}{2^{N-1}}\left|1 + e^{i\varphi}\right|^{N-1} = \frac{1}{2^{N-1}}\left|e^{i\varphi/2}\right|\left|e^{-i\varphi/2} + e^{i\varphi/2}\right|^{N-1} = \frac{1}{2^{N-1}}\left|2\cos(\frac{\varphi}{2})\right|^{N-1}$$

Slutligen

$$(AF)_n = \left|\cos(\frac{\varphi}{2})\right|^{N-1}$$

"Alternativ" lösning, eftersom AF=$1 + e^{i\varphi}$ är redan känt från formelsamling

Då ett par ger AF=$1 + e^{i\varphi}$ ger dubbelt så många par AF=$(1 + e^{i\varphi})(1 + e^{i\varphi})$ osv

Dvs

AF=$(1 + e^{i\varphi})^{N-1}$, multiplisera och dividera med $e^{-i\varphi/2}$

AF=$e^{i\varphi}(e^{-i\varphi/2} + e^{i\varphi/2})^{N-1} \Rightarrow AF = \left|2\cos(\frac{\varphi}{2})\right|^{N-1} = 2^{N-1}\left|\cos(\frac{\varphi}{2})\right|^{N-1}$

Därefter normaliserar man med 2^{N-1}.

b)

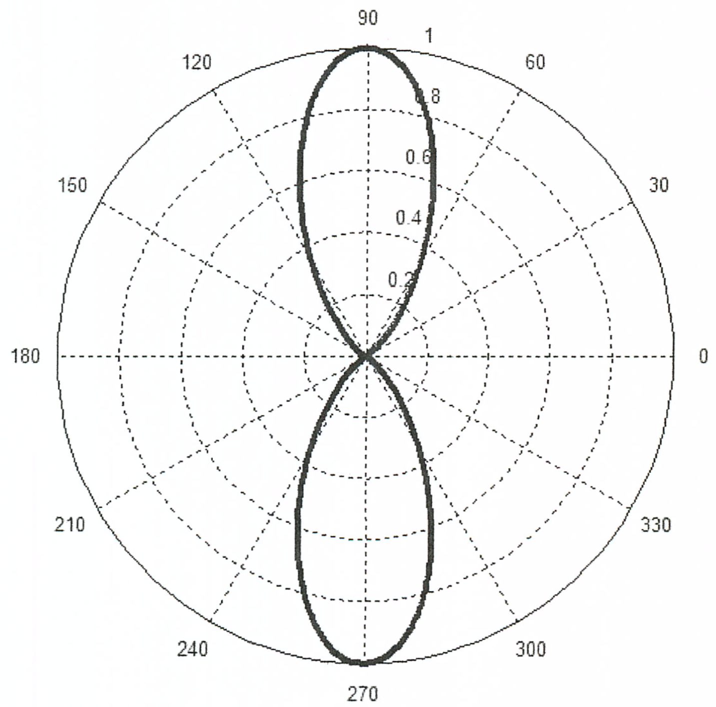
$(AF)_n = \left|\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right|^{N-1}$, N=4 ger

$(AF)_n = \left|\cos(\frac{\varphi}{2})\right|^3$, där $\varphi = \beta d\cos\theta + \alpha$, men $\alpha = 0, d = \frac{\lambda}{2}$ och $\beta = \frac{\lambda}{2}$

Detta ger: $\pi\cos\theta$

$(AF)_n = |\cos(\pi\cos\theta)|^3$

Figuren ska se ut som en 8

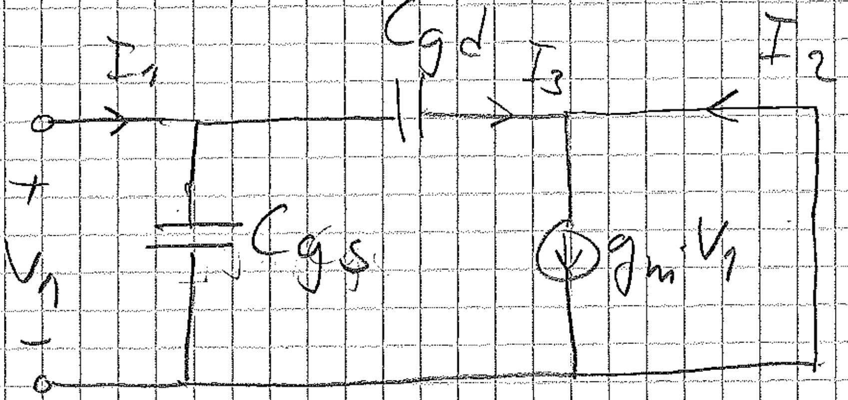


Högfrekvens teknik, Uppgift 7, 2012-05-13

$$y_{11} = \frac{I_1}{V_1}\bigg|_{V_2=0} \qquad y_{12} = \frac{I_1}{V_2}\bigg|_{V_1=0}$$

$$y_{21} = \frac{I_2}{V_1}\bigg|_{V_2=0} \qquad y_{22} = \frac{I_2}{V_2}\bigg|_{V_1=0}$$

$\underline{V_2 = 0}$



$$\begin{cases} I_3 = g_m \cdot V_1 - I_2 \\ V_1 = (I_1 - I_3)\,\dfrac{1}{j\omega C_{gs}} \\ V_1 = I_3 \cdot \dfrac{1}{j\omega C_{gd}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 = (I_1 - g_m \cdot V_1 + I_2)\,\dfrac{1}{j\omega C_{gs}} \\ V_1 = (g_m \cdot V_1 - I_2) \cdot \dfrac{1}{j\omega C_{gd}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1(j\omega C_{gs} + g_m) = I_1 + I_2 \\ V_1(j\omega C_{gd} - g_m) = -I_2 \end{cases}$$

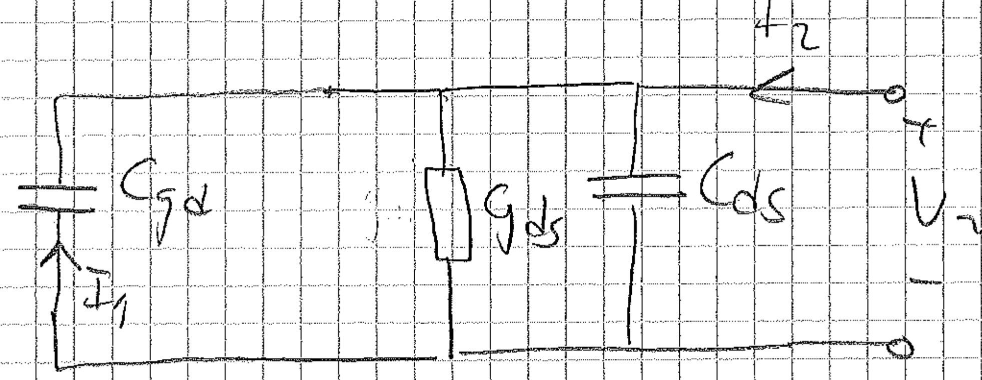
$$\underline{\underline{y_{21}}} = \frac{I_2}{V_1} = \underline{\underline{g_m - j\omega C_{gd}}}$$

$$V_1(j\omega C_{gs} + \cancel{g_m}) = I_1 + V_1(\cancel{g_m} - j\omega C_{gd})$$

$$V_1\, j\omega\,(C_{gs} + C_{gd}) = I_1$$

$$\underline{\underline{y_{11}}} = \frac{I_1}{V_1} = \underline{\underline{j\omega(C_{gs} + C_{gd})}}$$

$\underline{\underline{V_1 = 0}}$



$$\begin{cases} V_2(j\omega C_{ds} + G_{ds}) = I_1 + I_2 \\ V_2 = -I_1 \cdot \dfrac{1}{j\omega C_{gd}} \end{cases}$$

$$\underline{\underline{y_{12}}} = \frac{I_1}{V_2} = \underline{\underline{-j\omega C_{gd}}}$$

$$V_2(j\omega C_{ds} + G_{ds}) = -j\omega C_{gd} V_2 + I_2$$

$$V_2(j\omega C_{ds} + G_{ds} + j\omega C_{gd}) = I_2$$

$$\underline{\underline{y_{22}}} = \frac{I_2}{V_2} = \underline{\underline{G_{ds} + j\omega(C_{ds} + C_{gd})}}$$

3(C)

b)

$$\underline{\underline{h_{21}}} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_2/V_1}{I_1/V_1} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = \underline{\underline{\frac{g_m - j\omega C_{gd}}{j\omega(C_{gs} + C_{gd})}}}$$

c) C_{gd} liten $\Rightarrow h_{21} = \dfrac{g_m}{j\omega C_{gs}}$

$$\Rightarrow |h_{21}| = \frac{g_m}{2\pi \cdot f \cdot C_{gs}}$$

för $f = f_T$ är $|h_{21}| = 1$

$$\Rightarrow \frac{g_m}{2\pi \cdot f_T \cdot C_{gs}} = 1$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{f_T = \frac{g_m}{2\pi C_{gs}}}}$$