HFT 75, Tentamen i högfrekvensteknik, EEM021
2023-04-05, kl.8.30-12.30, SBMultisal, SB3, Längd: 4 timmar.

Tillåtna hjälpmedel:	Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, formelsamling i Elektromagnetisk fältteori av Eva Palmberg, egna anteckningar i formelsamlingen (s.21) och på ett ensidigt A4 blad, dock inte skriva lösningar till gamla tentamensproblem eller till andra övningsexempel.
Frågor	Denis Meledin, tel. ankn. 1842
Resultatet	Anslås på omtenta's hemsida.
Granskning	Sker på tid och plats som anges på kurshemsida.
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 året duggan.
Poängen på uppgift 2 kan ersättas med resultatet på andra uppgiften på året duggan.
Poängen på uppgift 3 kan ersättas med resultatet på tredje uppgiften på året duggan.

Transmissionsledning

Uppgift 1 (10p):

a) En förlustfri transmissionsledning har karakteristisk impedans Z_0=50 Ohm och är avslutad med lasten Z_{L1}. Ett spänningsmaximum av 4V är mät precis vid lasten position. Första spänningsminimum är 7.5 cm bort från lasten och är 2V.

Beräkna impedansen Z_{L1}.

b) Sedan blir lasten Z_{L1} kopplad i serie till en ren imaginär impedans Z_{L2} med reaktansen (imaginära delen av impedansen) som är varieras inom området $0 \leq x \leq +\infty$. På avståndet 4.5cm från lasten är den normerade impedansen $x_{in}=r_{in}+jx_{in}$ enligt figuren 1 nedan.

Endast med hjälp av Smithdiagrammet, bestäm.

a) vilken är det maximala värde för r_{in} man kan få?

b) vilken är det minimala VSWR?

c) inom vilket området kan x_{in} vara?

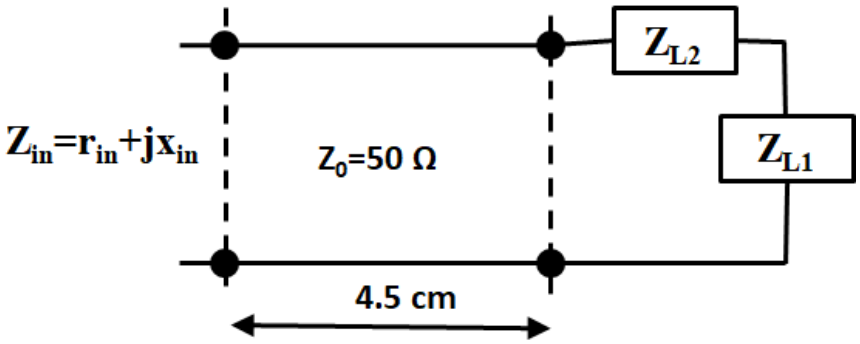


Fig.1 Kretsen

Uppgift 2 (7p)

En effektdelare designas av **distorsionsfria** transmissionsledningar samt tre resistanser enligt följande schema. Transmissionsledningarna har karakteristisk impedans på 75 Ohm, dämpningskonstant $\alpha = 40\ mNp/m$, fashastighet, $\upsilon_p = 0.6c_0$, där c är ljusets hastighet i vakuum.

Hitta:
a) För vilken av värde R, blir det ingen reflektion för inkommande signalen vid A?
b) Beräkna ledningsparametrarna för transmissionsledningarna vid 1GHz.

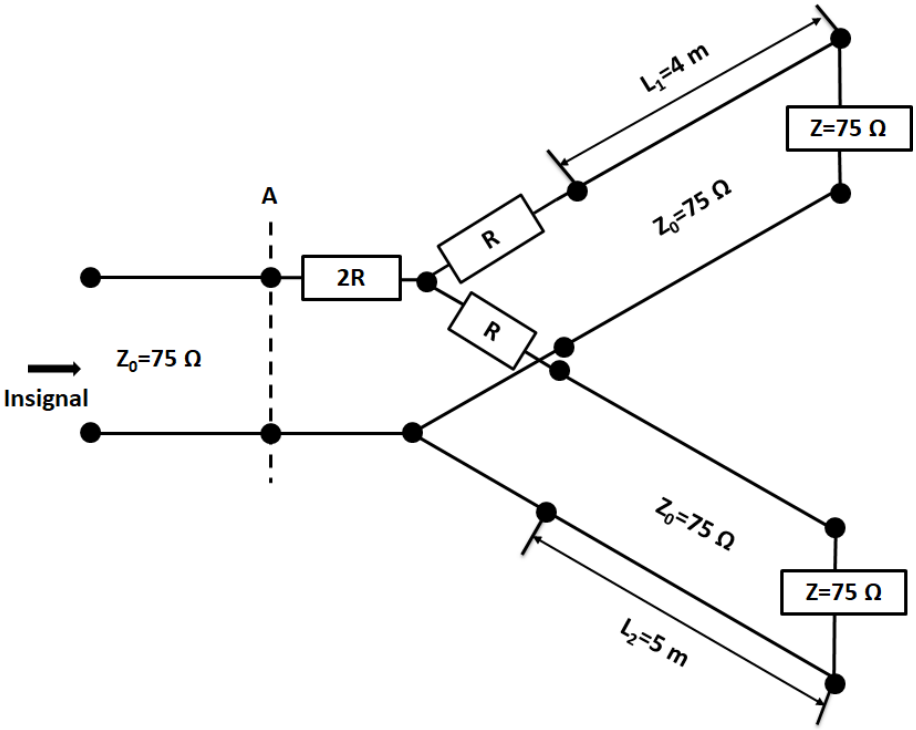


Fig.2. Effektdelare

Vågledare:

Uppgift 3 (10p):

En 8 GHz signal utbreder sig med grupphastighet $v_g=0.5c_0$ (c=ljushastighet i vakuum) i en rektangulär vågledare (4b=a), som är fylld med material med dielektriska konstanten $\varepsilon_r=3.24$. Signalen utbreder sig enligt en av de två moder som har lägsta gemensamma brytfrekvens. Signalen består av ett elektriskt fält i en enda riktning: y-riktningen. D.v.s riktningen som är vinkelrätt mot signalens utbredningsriktning samt vinkelrätt mot den ”breda” sidan av vågledaren (d.v.s. ”a”).

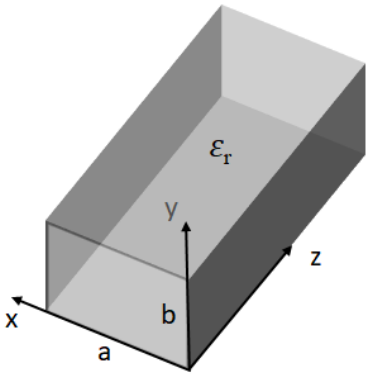


Fig.3. Vågledaree

Hitta.

a) Bestäm längden av den breda sidan ”a” av vågledaren.
b) Bestäm avståndet mellan två konsekutiva (på varandra följande) maxima för E-fältet om man kortsluter endast en ända av vågledaren på z-axeln samt i xy-planet.
c) Vad skulle utbredningskonstanten vara om man ändra signalensfrekvens till 1 GHz?

Uppgift 4 (7p)

Den lägsta resonansfrekvensen för en cylindrisk hålrumsresonator (av radie ***a*=2.4cm** och höjd ***d***) är 4 GHz när den är fylld med luft. Man fyller sedan hålrumsresonatorn med ett okänt dielektriskt material och konstaterar att den fortfarande resonerar vid 4 GHz, enligt moden som har följande magnetiska fält i z-riktningen:

$$H_z = H_0 J_2\left(\frac{3.054r}{a}\right)\sin\left(\frac{\pi z}{d}\right)\cos(2\varphi)$$

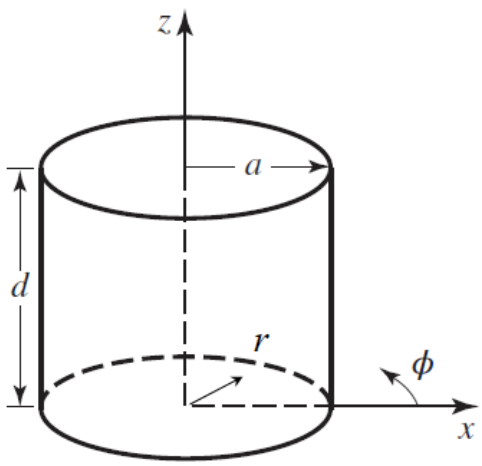


Fig.4. Resonatorn

Hitta:

a) Vilken mod används för att utföra den mätningen av dielektricitets konstanten av materialet som fyller kaviteten?
b) Bestäm höjden på kaviteten samt relativa permittiviteten av det okända dielektriska materialet.

Antenner:

Uppgift 5 (6p):

En radar som fungerar vid **8 GHz** har en **2 kW** sändare och en mottagare som kräver minst **0.7 pW** som in-effekt. Sändaren och mottagaren delar på samma antenn. Antennen är i disk form (med diameter ***d***) och en verkningsgrad av **80%**.

Hitta:
Beräkna måtten (d.v.s. riktiga storleken) för antennen, för att systemet skall kunna detektera en liten segelbåt med vid 15 km avstånd.

Uppgift 6 (10p):

Fem (5) likafördelade halvvågsdipoler riktade i z-riktning är placerade längst y-axeln enligt figur 6. Alla dipoler matas i fas och med olika ström styrkor enligt figur, samt $\theta=\pi/2$ ***och*** $d=3\lambda/4$.

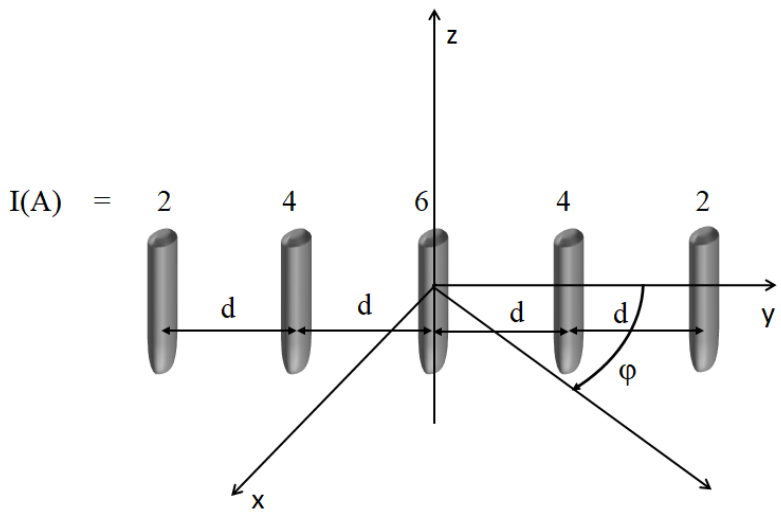


Fig.6. Antenngruppen

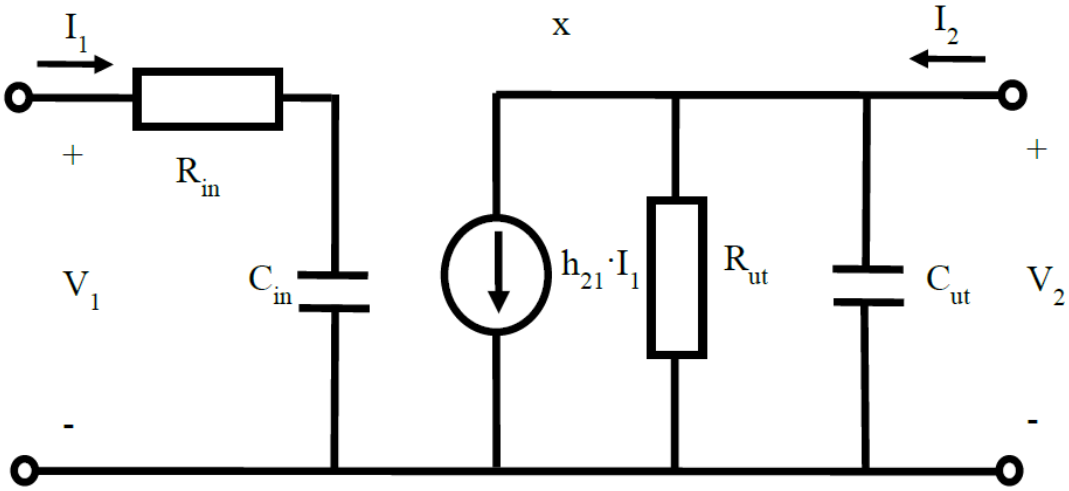
Hitta:
a) Huvudlobbens riktning i φ-planet.
b) Vinkeln mellan första nollställena.

Hint: Antennen kan ses som ett antal överlappade gruppantenner

Mikrovågelektronik:

<u>Uppgift 7 (10p):</u>

Ett ekvivalent småsignal-schema för en GaAs transistor visas nedan, tillsammans med uppmätta S-parametrar S_{11} och S_{22} för frekvensintervallet **200 MHz – 15 GHz** och Z_0**=60 Ω**.



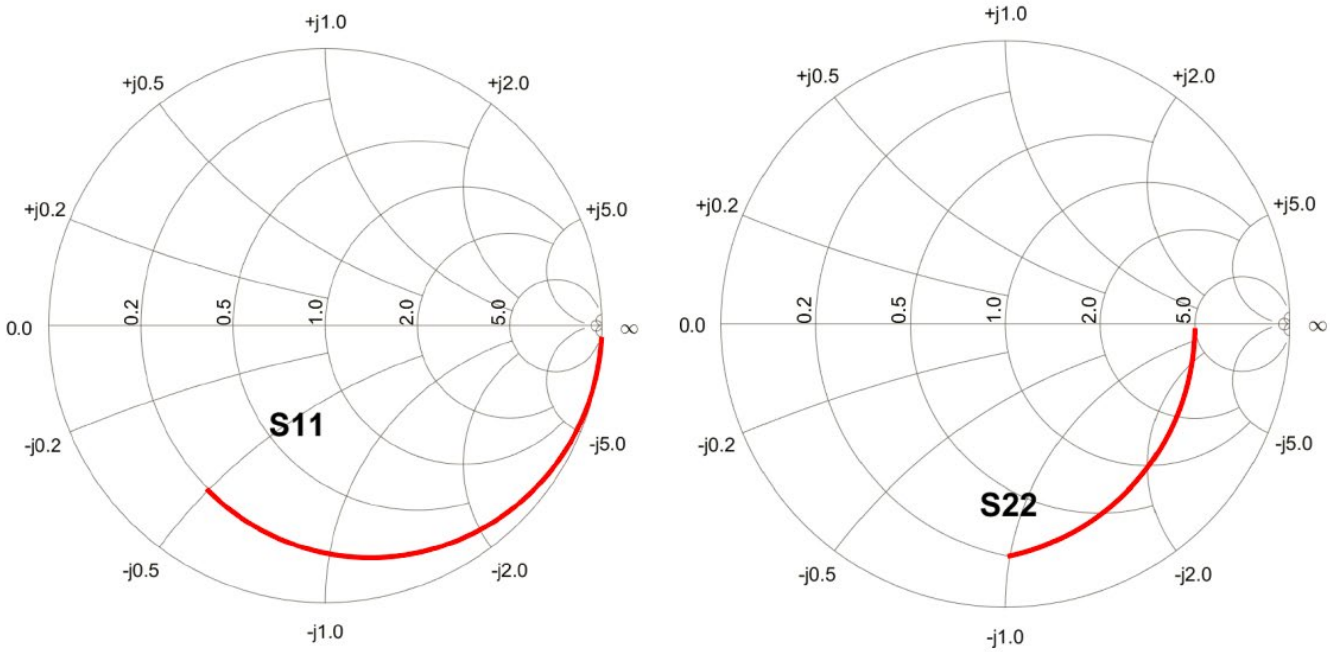


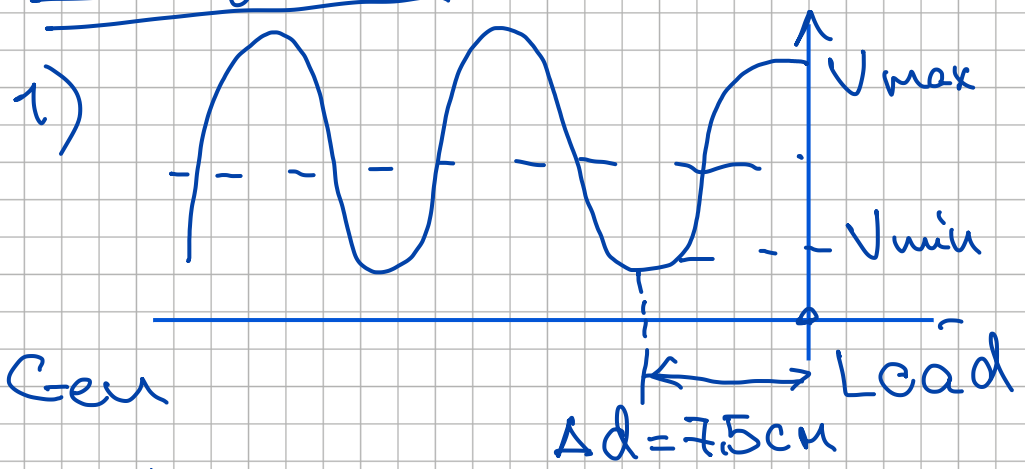
Fig.7. a.) Schema för GaAs transistor b.) uppmätta S11, S22 parametrar

Hitta:

a) Bestäm resistansen R_{in} och kapacitansen C_{in} på ingången.
b) Bestäm även resistansen R_{ut} och kapacitansen C_{ut} på utgången.
c) Varför kalibrerar man innan man påbörjar en ny mätning med nätverksanalysatorn?

Uppgift 1

1)



$S = \frac{V_{max}}{V_{min}} = 2$ $\quad \Delta d = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda = 30(cm)$

$\bar{Z}_{L1} = r_{L1} = 2$ (all is normalize to $Z_0 = 50\Omega$)

2) $\bar{Z}_L = \bar{Z}_{L1} + \bar{Z}_{L2}$

$\bar{Z}_L = 2 + jX_L \quad (0 < X_L < +\infty)$

inductive load

3) TRL $l = 4.5cm = 0.15\lambda$ (Z_L)

<u>each point</u> of <u>green curve</u> should be <u>rotated</u> around the origin by 0.15λ following corresponding Γ-circles

As a result: <u>purple 1/2 circle</u> corresponded to $\bar{Z}_{in} = r_{in} + jX_{in}$

4). Then we analyze $\bar{Z}_{in}$

a) $r_{in\,max} = 0.75 = 37.5(\Omega)$ largest r-circle

@ larger value w-const circle

b). $S_{min} = 2$ (@ the smallest radii Γ-circle)

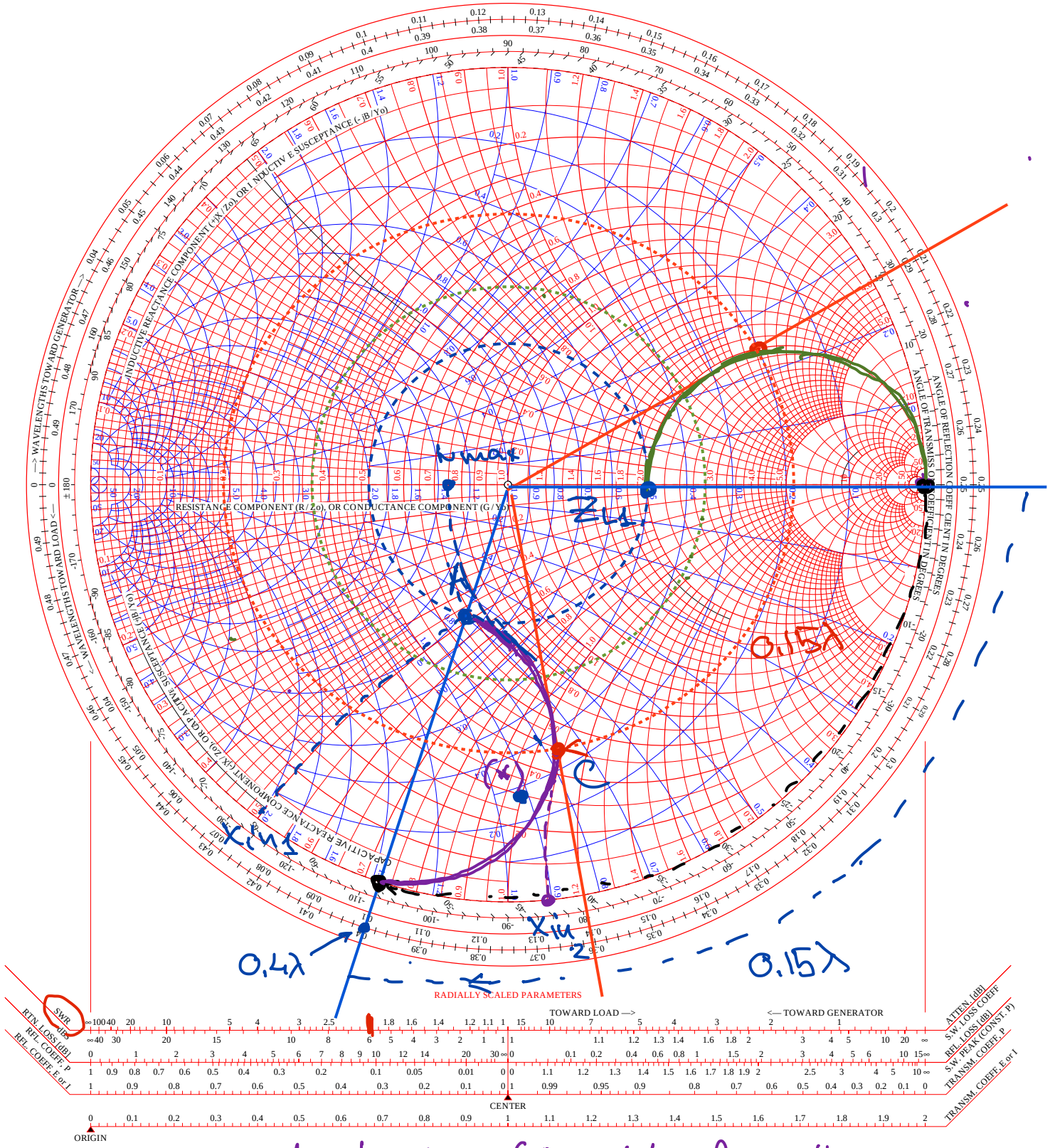
c) $x_{in_1}(@p.A) = 0.5$

$x_{in_2}(@pC) = 1.1$

$X_{in} \in [-25\Omega; -55\Omega)$

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



(*) Point for task #7 (Z→Y, for ll connection Rut and Cut)

Uppgift 2

a)

No reflection will occure at loads on both pathes ($Z = Z_0$)

Z_{in}(@ split point) $= Z_{branch}/2 =$

$= (R + Z_0)/2$ (the branches are in ||)

$Z_{in}(@A) = 2R + \frac{R + Z_0}{2}$

No reflection at the input $\equiv$ $\underline{\underline{Z_{in}@A = Z_0}}$

$2R + \frac{R + Z_0}{2} = Z_0$

$5R + Z_0 = 2Z_0 \qquad R = \frac{Z_0}{5} = 15(\Omega)$ ☒

b). Ledningsparametrarna:

L, C, G, R_L

distortion free $\rightarrow \frac{R_L}{L} = \frac{G}{C}$

$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad \alpha = \sqrt{R_L G} \qquad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{R_L}{G}}$

$\alpha = G\sqrt{\frac{R_L}{G}} = G Z_0 \Rightarrow G = \frac{\alpha}{Z_0} = 533\left(\frac{\mu S m}{m}\right)$ ☒

$\alpha = R_L\sqrt{\frac{G}{R_L}} = \frac{R_L}{Z_0} \Rightarrow R_L = \alpha \cdot Z_0 = 3\,\Omega/m$ ☒

$$v_{ph} = \frac{1}{L}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{Z_0}{L} \Rightarrow L = \frac{Z_0}{v_{ph}} = 0.416 \left(\frac{\mu H}{m}\right)$$

$$v_{ph} = \frac{1}{C}\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{C Z_0} \Rightarrow C = \frac{1}{v_{ph} \cdot Z_0}$$

$$C = 74 \ (pF/m)$$

Uppgift 3

$\vec{E} \perp \hat{z}$, $E \perp x$! $\rightarrow$ only TE modes

TE_{40} and TE_{01} modes have

the same fcutoff

But for TE_{01}, $\vec{E} \perp y$

for TE_{40}, $\vec{E} \perp x$

So, TE_{40} <u>only propagate</u>

a). $v_g \cdot v_{ph} = \frac{c_0^2}{\varepsilon_r}$ $\quad v_{ph} = \frac{\omega}{\beta} =$

$$\beta = k\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

$$f_c = \frac{c_0}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}} h_{TE_{4,0}} = \frac{c_0}{2\cancel{\pi}\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \frac{\cancel{\pi} \cdot 4}{a} = \frac{2c_0}{a\sqrt{\varepsilon_r}}$$

$$v_g = \frac{c_0^2}{\varepsilon_r} \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_r}}{c_0}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

$$\frac{v_g^2 \varepsilon_r}{c_0^2} = 1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 \Rightarrow f_c^2 = f \cdot \left(1-\left(\frac{v_g}{c_0}\right)^2 \varepsilon_r\right)$$

$$\frac{4c_0^2}{a^2\varepsilon_r} = f \cdot \left(1-\left(\frac{v_g}{c_0}\right)^2 \varepsilon_r\right).$$

$$\boxed{a = \frac{2c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}\, f} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v_g}{c_0}\right)^2 \cdot \varepsilon_r}}}$$

$\varepsilon_r = 3.24$

$v_g = 0.5c_0$

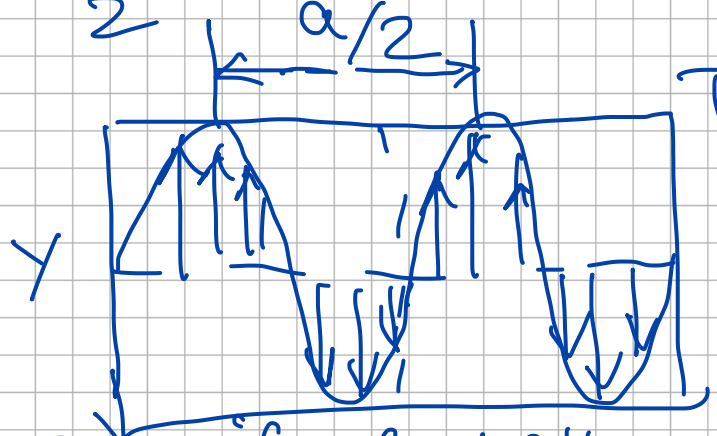
$a = 18\,(cm) \quad b = 4.5\,(cm)$

b), distance between max $= \underline{\underline{\lambda_g/2}}$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_c}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}\, f} \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

a) $f = 8\,GHz$ $TE_{4,0}$

$$\frac{\lambda_g}{2} = 2.14/2 = 1.07\,(cm)$$



$TE_{4,0} \rightarrow$

$\Delta d_{max} = a/2$

c), if $f = 1\,GHz$ $f < f_{c\,TE_{4,0}}$

$$\gamma = \alpha = \sqrt{h^2 - k^2} = \sqrt{\left(\frac{4\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{2\pi f}{c_0}\sqrt{\varepsilon_r}\right)^2}$$

$\gamma = \alpha = 58\ NP/m$

Uppgift 4

The lowest mode can be TE_{111} or TM_{010} depending on a/d

if $d > 2a \rightarrow$ the lowest mode is TE_{111}

Assume, that $d > 2a$

$$f_{0_{TE_{1,1,1}}} = \frac{c_0}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{x'_{11}}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{d}\right)^2} = 4\,GHz$$

$x_{11} = 1{,}841$

$$\left(\frac{\pi}{d}\right)^2 = \left(\frac{2\pi f_0}{c_0}\right)^2 - \left(\frac{x_{11}}{a}\right)^2$$

$$d = \frac{\pi}{\sqrt{\left(\frac{2\pi f_0}{c_0}\right)^2 - \left(\frac{x_{11}^2}{a}\right)^2}} = 9{,}33\,(cm)$$

$d > 2a$ — OK $\rightarrow TE_{111}$ — the lowest mode

b). for case with dielectric

Mode is TE_{211}! (Hz)

$$X'_{2,1} = 3.054$$

$$f_{0_{TE_{2,1,1}}} = \frac{c_0}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}}\sqrt{\left(\frac{X'_{21}}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{d}\right)^2} = 4\,(GHz)$$

$$\varepsilon_r = \frac{c_0^2}{\left(2\pi f_{c_{TE_{2,1,1}}}\right)^2}\left[\left(\frac{X'_{21}}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{d}\right)^2\right]$$

$$\varepsilon_r = 2.47$$

Uppgift 5

$$\frac{P_L}{P_{ut}} = \frac{G \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \cdot G^2$$

$$G_D \text{ (=gain)} = \sqrt{\frac{P_M}{P_T} \cdot \frac{\pi^3 R^4}{G \lambda^2} \cdot 64}$$

$$= \sqrt{\frac{P_M}{P_T}} \cdot \frac{\sqrt{\pi^3}}{\sqrt{G}} \cdot \frac{8R^2}{\lambda} = \sqrt{\frac{P_M}{P_T}} \frac{8\sqrt{\pi^3} R^2 f}{c_0 \sqrt{G}}$$

small boat $\rightarrow G \approx 8\,m^2$ (1770)

$P_T = 2 \cdot 10^3\,W$ – sändare

$P_M = 7 \cdot 10^{-13}\,W$ – mottagare

$R = 15 \cdot 10^3\,M$

$\eta = 0.8$

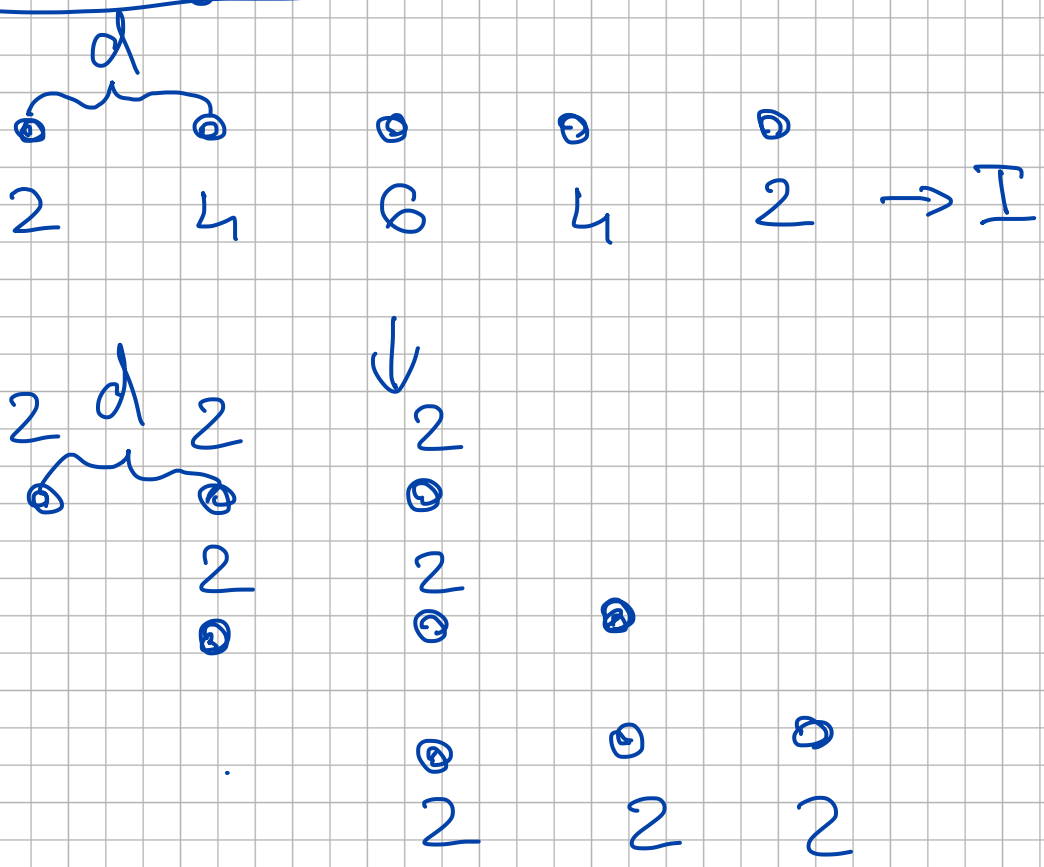
$$A_{eff} = G_D \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \qquad A_{geomet} = \frac{A_{eff}}{\eta} = \frac{G_D \cdot \lambda^2}{4\pi\eta}$$

$$A_{geom} = \frac{\pi d^2}{\cancel{4}} = \frac{G_D \lambda^2}{\cancel{4}\pi\eta} =$$

$$d^2 = \frac{G_D \lambda^2}{\pi\eta} \qquad \boxed{d = \frac{c_0}{f}\sqrt{\frac{G_D}{\pi\eta}}}$$

$d = 0.56\,(M)$

Uppgift 6



The antenna group can be presented as 3 groups with 3 antennas in each group

$N_1 = N_2 = 3$

$$A(\psi_1, \psi_2) = \frac{1}{N_1} \cdot \frac{1}{N_2} \left| \frac{\sin(N_1 \psi_1/2)}{\sin(\psi_1/2)} \right| \cdot \left| \frac{\sin(N_2 \psi_2/2)}{\sin(\psi_2/2)} \right| =$$

$N_1 = N_2 = 3$

$\psi_1 = \psi_2 = \beta d \cos\varphi \qquad (\delta = 0\,!)$

$(\theta = \pi/2)$

$$A = \frac{1}{9}\left[\frac{\sin(3\psi/2)}{\sin(\psi_1/2}\right]^2$$

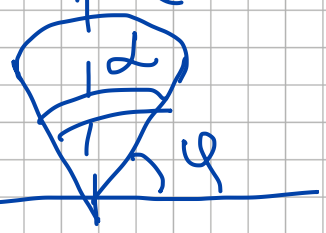
$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot d\cos\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{3\lambda}{4}\cos\varphi =$$

$$= \frac{3\pi}{2}\cos\varphi \quad (\text{max @ } \psi = 0 \equiv \underline{\underline{\varphi = \pm\pi/2}})$$

Find φ @ $A(\psi, \psi_2) = 0$

$$\sin\left(\frac{3\psi}{2}\right) = 0 \qquad \frac{3\psi}{2} = \pm\pi m \quad (m = 0, 1, 2)$$

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{3\pi}{2}\cos\varphi = \pm\pi m \quad (m = 0, 1, 2, \ldots$$



$m \neq 0\,!$

$$\frac{9\pi}{4}\cos\varphi = \pm\pi \Rightarrow \cos\varphi = \pm\frac{4}{9}m$$

should be the closest to $\pi/2$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{4}{9}\right) = 63^\circ$$

$$\frac{\alpha}{2} = 90 - 63^\circ = 27^\circ \rightarrow \alpha = 54^\circ$$

7) At low f → open G port 1 (a)

We move along r-const circle ↻

$r_1 = 0.2 \rightarrow R_{in} = 12(\Omega)$

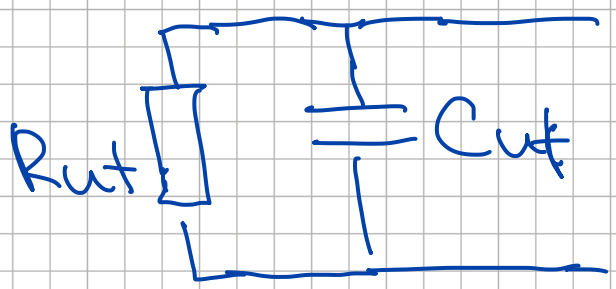
$x_1 = -0.5$

$$jx_1 \cdot Z_0 = \frac{-1}{j2\pi f \cdot C_{in}} \Rightarrow C_{in} = \frac{1}{2\pi f \cdot x_1 \cdot Z_0}$$

$C_{in} = 0.35\,pF$

(b) Port 1 should be matched and $I_1 = 0$, that means

When we measure S_{22}



at low frequency we approach to only real Rut → $r_2 = 5$ →

$R_{ut} = 300\,\Omega$

Then we ↗f moving along g-const circle (|| connection)

$g_2 = 0.2 \quad x_2 = -1j$

$$g_2 + jb_2 = \frac{1}{r_2 + jx_2} =$$

$$= \frac{r_2 - jx_2}{r_2^2 + x_2^2} = \frac{r_2}{r_2^2 + x_2^2} - j\frac{x_2}{r_2^2 + x_2^2}$$

$x_2 = -1.0 \quad @\ 15\ GHz$

$r_2 = 0.2$

$b_2 = 0.96 \quad C_{ut} = \frac{b_2}{Z_0 \cdot 2\pi f} = 0.17\,pF$

also b_2 can be read as read as blue number in applied SD)

c) to kompensate for the cables and other imperfection so only DUT should be measured