HFT 48, Tentamen i högfrekvensteknik, kurskod EEM021 2012-12-21, em i ”V”-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	Vincent Desmaris, tel ankn. 1846
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!

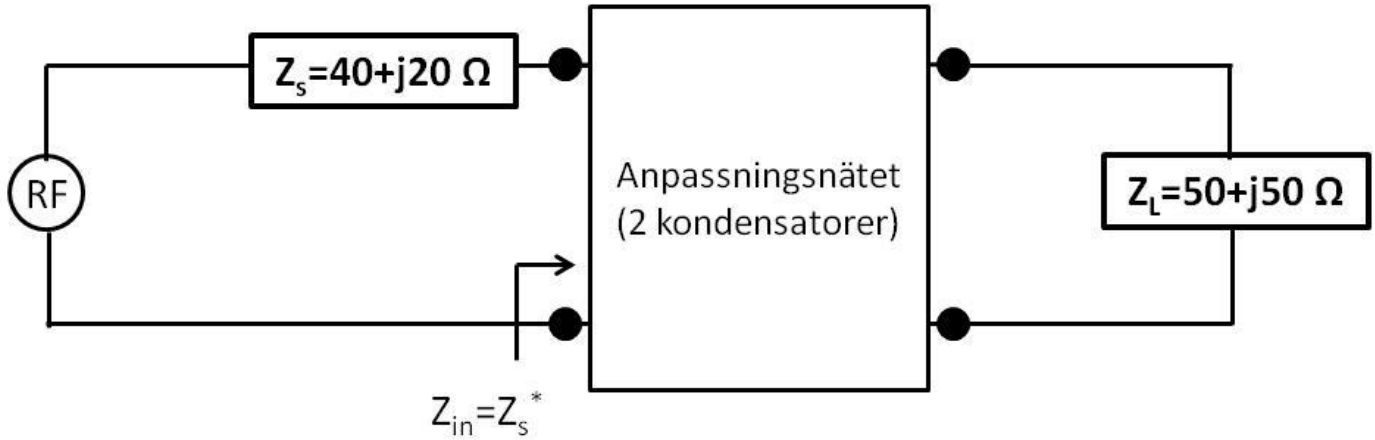
Duggadelen

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 500 MHz RF generator med impedans Z_s = 40+j20 Ω är ansluten till en last Z_L = 50+j50 Ω, med hjälp av en matchningsenhet som består av två kondensatorer.
För få bäst effektöverföring från generatorn, måste Zin, inimpedans vid ingången av matchningsnätet (dvs impedans sett ifrån utgången av generatorn), vara komplexkonjugat av generatorns impedans.



Räkna kapacitanserna av kondensatorerna, samt deras arrangemang.

Problem 2. 6p.

Vid 1 GHz, har en distorsionsfri transmissionsledning följande egenskaper:

- karakteristisk impedans Z_0=50 Ω
- dämpkonstanten α = 0.02 dB/m
- faskonstanten β = 1 rad/m

Räkna alla 4 ledningsparametrar (R, L,G och C)

<u>Vågledare:</u>

Problem 3. 10p. (D)

En luftfylld rektangulär vågledare har inre mått a=8 cm och b=6 cm.

a) ***Vilka moder kan utbreda sig vid 5 GHz?***
b) ***Om vågledaren termineras med en ideell metallvägg, hur långt ifrån väggen får man högsta elektriska fält, om signalen propageras vid 5 GHz, enligt moden som har näst lägst brytfrekvens?***
c) ***Vad är signalens (informations) hastigheten om signalen utbreder sig vid 5 GHz enligt TE_{20} moden?***
d) ***Vilka värden måste b ha, om man vill behålla a = 8cm och få endast TE_{10} att utbreda sig i vågledaren för frekvenser under 3 GHz ?***

Problem 4. 7p.

En cylindrisk resonator fylld med luft har en radie a=2.5 cm. Två konsekutiva TE_{01n} moder resonerar vid 10 GHz och 12,576 GHz.

Beräkna längden L för kaviteten samt vilka moder de ovanstående resonansfrekvenserna relateras till.

<u>Antenner</u>

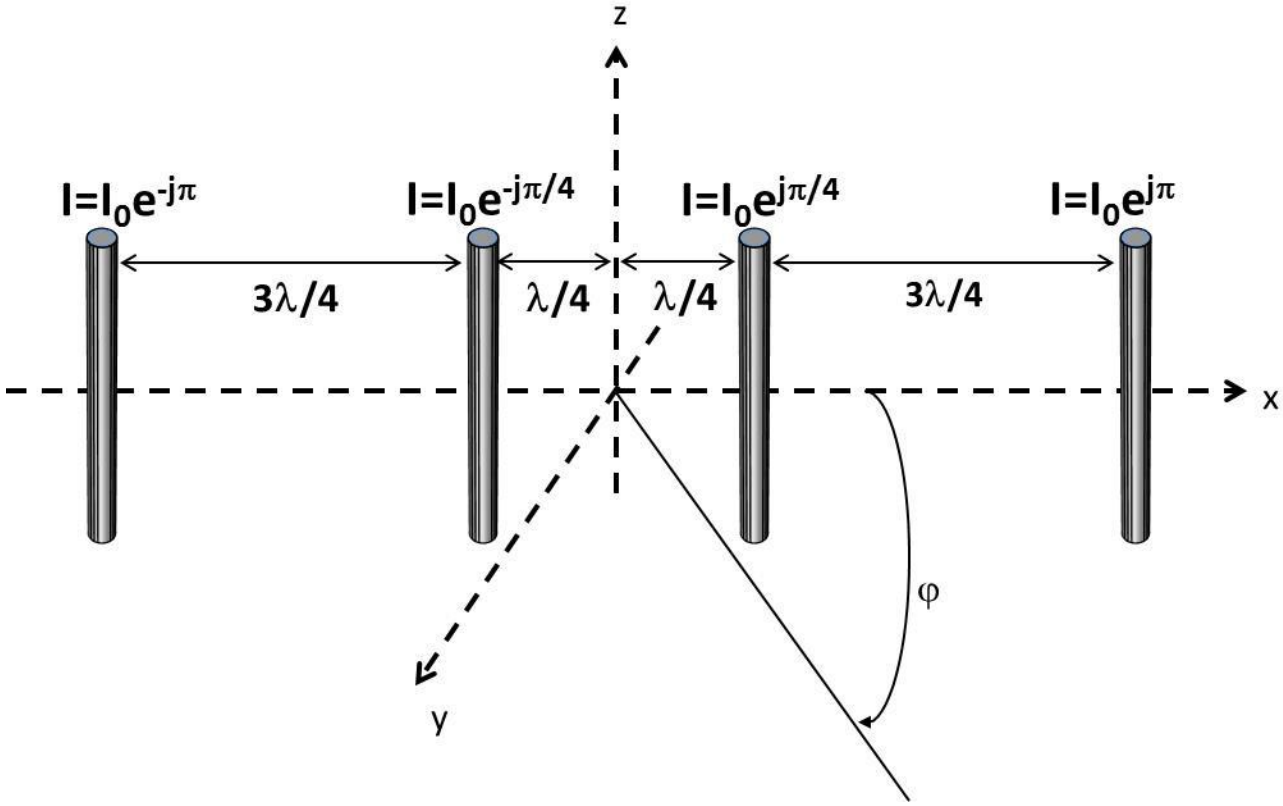
Problem 5. 7p.

Under kursens gång har vi sett ett radarsystem som opererar vid 2,4 GHz, består av en 40 kW sändare och en mottagare som fungerar med in-signaler på 100 nW. Det påstås att radarn kan detektera ett F16-stridsplan, med radartvärsnitt $1m^2$ på 400 km avstånd.

a) ***Vilken riktningsförstärkning måste antennen ha?***
b) ***Vilka fördelar har en bistatisk radar (separata antenner för mottagare och sändare) över en radar där mottagaren och sändaren delar antenn?***

Problem 6. 10p.

En gruppantenn består av 4 halvvågsdipoler, linjerade längst x-riktningen, som matas med signaler av samma amplitud med olika faser, enligt figuren nedan:



I vilka riktningar (φ) skickar gruppantennen ingen signal?

<u>Mikrovåg</u>

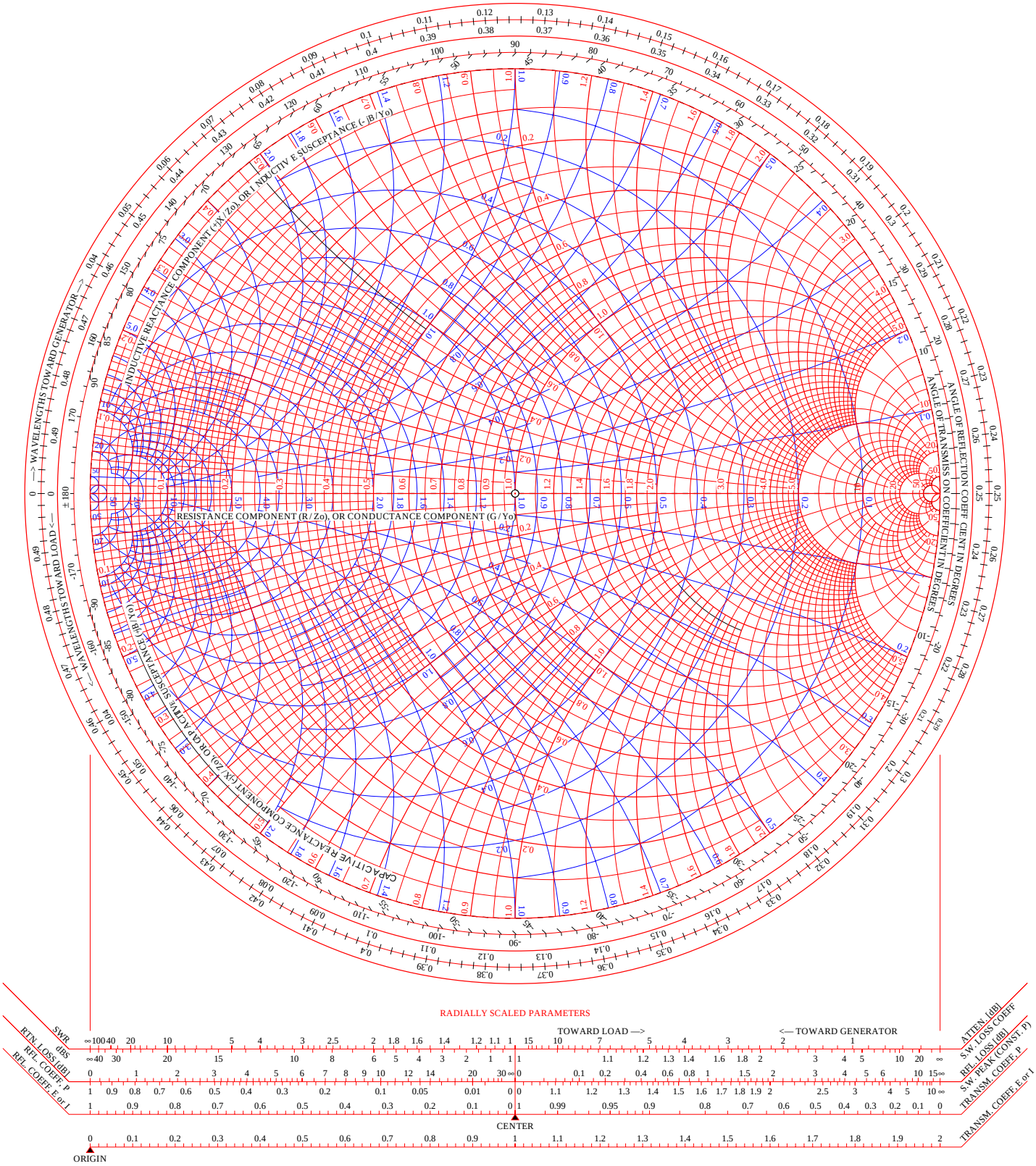
Problem 7. 10p.

Figuren nedan visar en last och en förlustfri tvåport bestående av ett s.k. L-nät (två diskreta passiva komponenter). Systemimpedansen Z_0=50 Ω.

a) ***(8p) Använd det bifogade Z/Y Smithdiagrammet för att konstruera ett förlustfritt anpassningsnät (L-nät) för frekvensen f=2.4 GHz och lasten Z_L=25+j50 Ω. Markera tydligt i Smithdiagrammet, riv ur det och bifoga det till din lösning.***
b) ***(2p) Bestäm även reflektionskoefficienterna mot last (Γ_L) och tvåportens ingång (Γ_{in}), genom att läsa av dem i Smithdiagrammet. Visa tydligt hur du har läst av dem.***

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

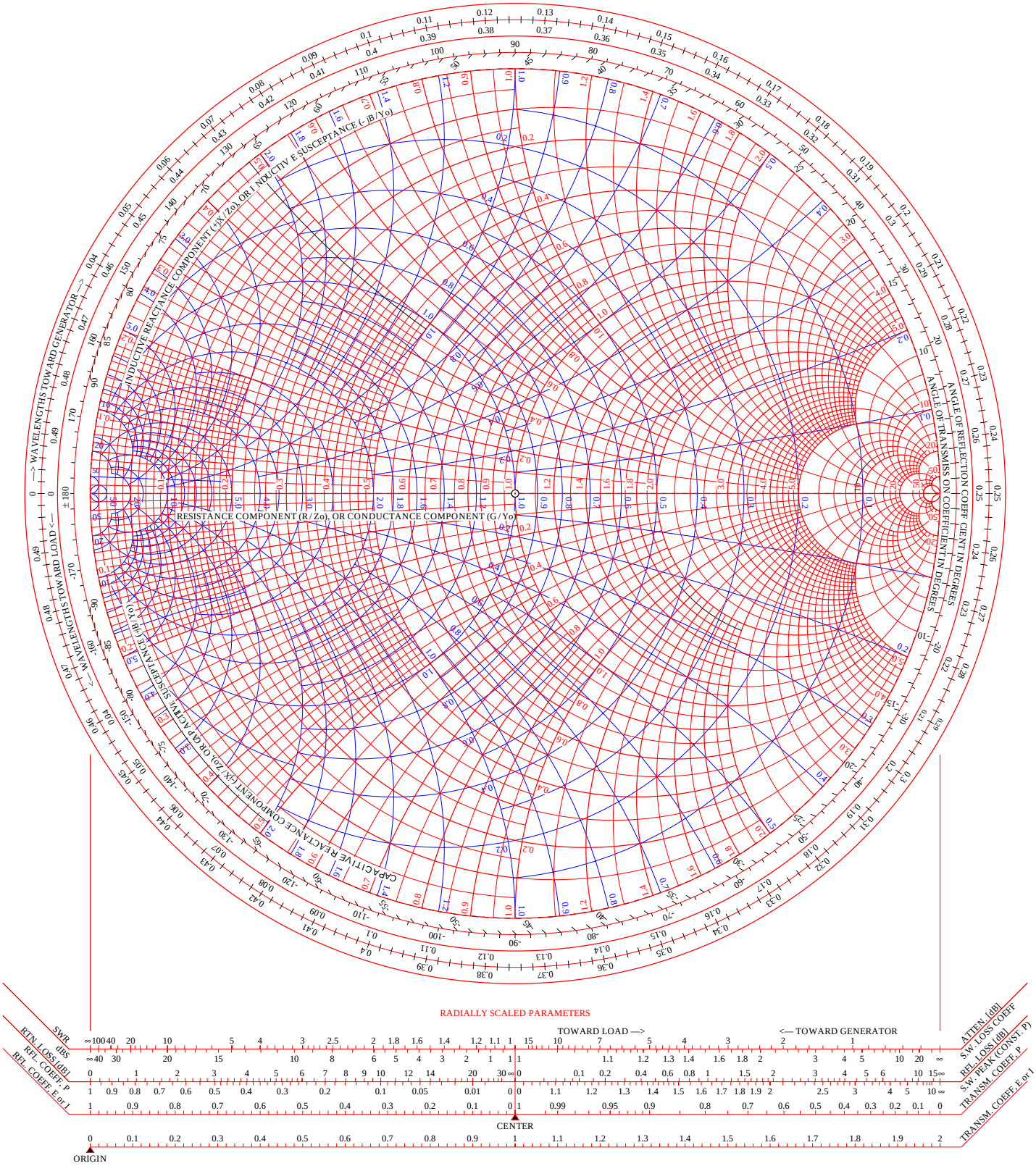
NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



RADIALLY SCALED PARAMETERS

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



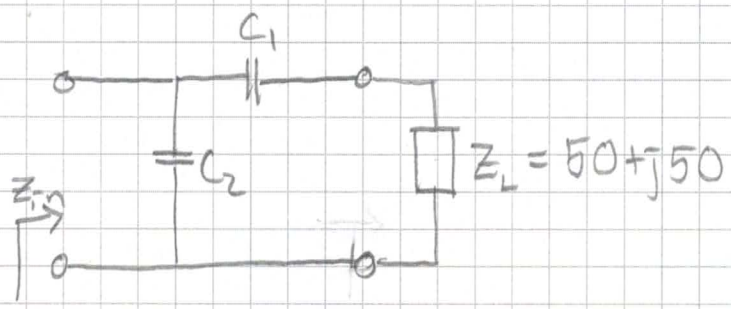
RADIALLY SCALED PARAMETERS

1)

Vi vill att $Z_{in} = Z_s^* = 40 - j20$.
För att åstakomma det kopplar vi in två passiva komponenter mellan lasten och generator. För att hitta komponentvärden kan vi använda Smithdiagrammet. Jag antar $Z_0 = 50\Omega$ (jag kan välja vad jag vill, komponentvärden blir samma ändå. I slutändan)

$$\Rightarrow \bar{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} = 1 + j \quad , \bar{Z}_s = \frac{Z_s}{Z_0} = 0{,}8 + j\,0{,}4$$

Jag prickar in dessa i Smithdiagrammet sedan prickar jag in $\bar{Z}_s^* = 0{,}8 - j0{,}4$
Vidare vet jag att en seriekomponent inte påverkar resistansen, och att en parallellkomponent inte ändrar admittansen. Jag väljer att förflytta mig från $\bar{Z}_L$ via $\bar{Z}' = 1 + j0$ till $\bar{Z}_s^*$, som visat i smithdiagrammet.
Min matchningsenhet ser då ut:



Answer only one question on this page. Do not write on the back of this paper
Behandla endast en uppgift på detta blad. Skriv ej på baksidan

1) C_1 innebär en konstant resistans men förändring av reaktansen enligt

$$\frac{1}{j\omega C_1} = -jxZ_0$$, där x nu är skillnaden mellan $\bar{z}_L$ & $\bar{z}'$, nämligen 1,0

$$\Rightarrow C_1 = \frac{1}{\omega x Z_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 0{,}5 \cdot 10^9 \cdot 1{,}0 \cdot 50} = 6{,}37\,pF$$

C_2 innebär konstant konduktans men förändring av susceptans enligt

$$j\omega C_2 = jbY_0, \quad Y_0 = \frac{1}{Z_0}$$

eg. y' & y'' b är skillnaden i susceptans mellan $\bar{z}'$ & $\bar{z}''_s$, nämligen 0,5 som uttäses på blåa linjer i Smithdiagrammet.

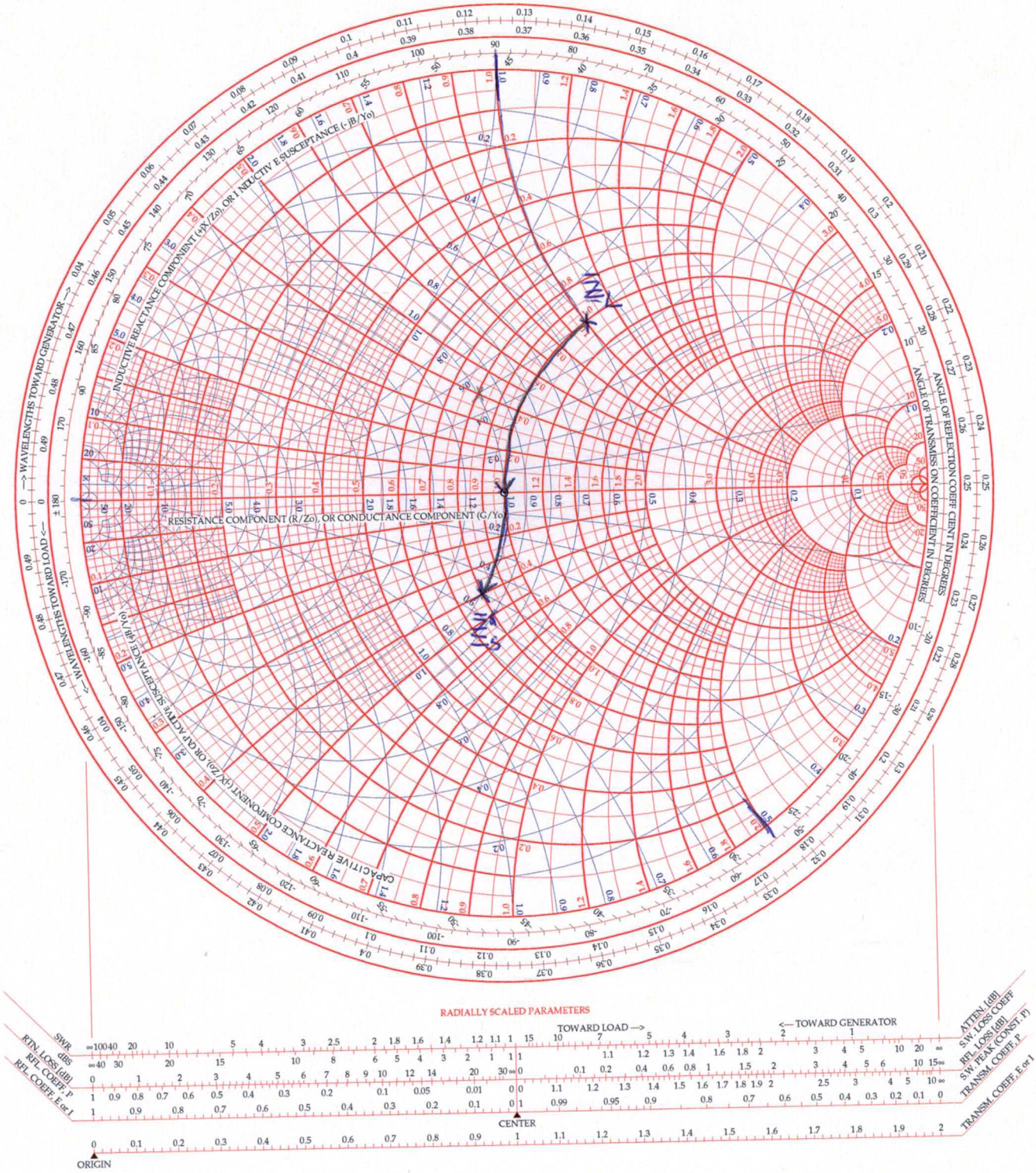
$$\Rightarrow C_2 = \frac{bY_0}{\omega} = \frac{0{,}5}{2\pi \cdot 0{,}5 \cdot 10^9 \cdot 50} = 3{,}183\,pF$$

$\Rightarrow$ $C_1 = 6{,}37\,pF$ $C_2 = 3{,}183\,pF$ arrangemang enligt figur på förra sidan.

Answer only one question on this page. Do not write on the back of this paper
Behandla endast en uppgift på detta blad. Skriv ej på baksidan

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



Problem 2

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad \text{(distortionsfri)}$$

$$\alpha = \sqrt{RG}$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}$$

- $Z_0 = 50\,\Omega \rightarrow \sqrt{R} = 50\sqrt{G}$

  $\sqrt{L} = 50\sqrt{C}$

- $\alpha = \sqrt{RG} = 50 \cdot G \Rightarrow G = \frac{\alpha}{50}$

- $\beta = \omega\sqrt{LC} = \omega \cdot 50 \cdot C \Rightarrow C = \frac{\beta}{50\omega}$

$\alpha = 0.02$ dB/m $= 0.0023$ Np/m

$\beta = 1$ rad/m

$f = 1$ GHz

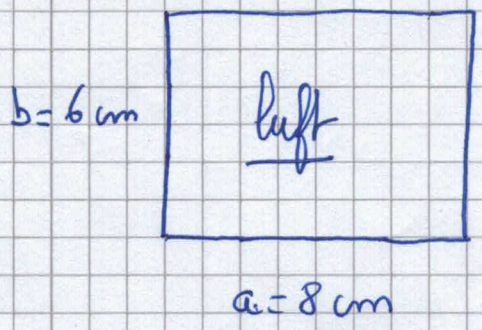
$\Rightarrow$ $G = 0{,}000046$ S/m

$R = 0{,}115$ Ω/m

$L = 7{,}96$ nH/m

$C = 3{,}18$ pF/m.

Problem 3



$f = 5$ GHz

Vilka moder utbreder sig? ($f_c < f$)

brytfrekvens: $(f_c)_{nm} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\varepsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$

TE_{10}: $f_c = 1.875$ GHz

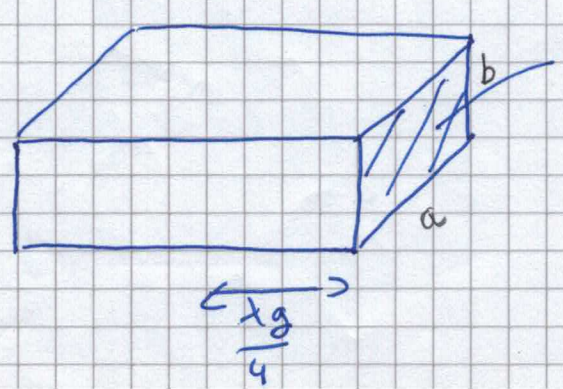
TE_{01}: $f_c = 2.5$ GHz

TE_{11}, TM_{11}: $f_c = 3.125$ GHz

TE_{20}: $f_c = 3.75$ GHz

TE_{21}, TM_{21}: $f_c = 4.507$ GHz

. Vi får ett fält maximum i mitten av vågledaren ($\frac{b}{2}$) och en avstand $\frac{\lambda_g}{4}$ från vågledarens terminering (kortslutning) eftersom andra moden av TE_{01}:



kortslutning.

$$\frac{\lambda_{g_{TE_{01}}}}{4} = \frac{\pi}{2\sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{b}\right)^2}} = \underline{1.73 \text{ cm}}$$

Signalens hastighet för TE_{20}?

Signalens hastighet = V_g (gupphastighet)

$$V_g = \frac{d\omega}{d\beta} = \frac{c^2}{V_{fas}} = \frac{c^2}{\frac{\omega}{\beta}} = \frac{c^2}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - \left(\frac{2\pi}{b}\right)^2} = 1.98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Endast TE_{10} vid 3 GHz?

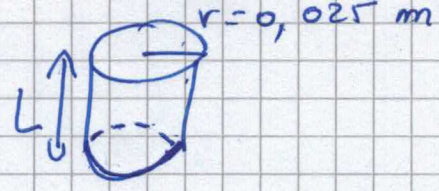
Om vi vill ha endast den dominanta moden som kan utbredda sig måste $f_{c_{TE_{01}}} > 3$ GHz.

dvs. $\frac{c}{2b} > 3$ GHz

$$b < 5 \text{ cm}$$

Problem 5

TE_{01l} mod.



$$k^2 = k_c^2 + \left(\frac{l\pi}{L}\right)^2 \qquad k_c = \frac{3.832}{0{,}025}$$

TE_{01n} vid 10,00 GHz (A)

$TE_{01(n+1)}$ vid 12,576 GHz (B)

A: $$k_n^2 - k_c^2 = \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2$$

B: $$k_{n+1}^2 - k_c^2 = \left(\frac{(n+1)\pi}{L}\right)^2$$

$$\sqrt{\frac{B}{A}} = \frac{n+1}{n} \rightarrow n = \frac{1}{\sqrt{\frac{B}{A}} - 1} \rightarrow \underline{n = 2}$$

$$L = \frac{n\pi}{\sqrt{k_n^2 - k_c^2}} \approx \underline{0{,}044 \text{ m}}$$

5a) $f = 2{,}4\ \text{GHz} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2{,}4 \cdot 10^9} = 0{,}125\ \text{m}$

$P_{ut} = 40\ \text{kW}, \quad P_L = 100\ \text{nW}$

$\sigma_{radar} = 1\ \text{m}^2, \quad R = 400\ \text{km} = 400 \cdot 10^3\ \text{m}$

Radarekvationen:

$$\frac{P_L}{P_{ut}} = \frac{\sigma_{radar} \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \cdot G_D^2, \quad G_D = \text{riktningsförstärkning}$$

$$\Rightarrow G_D^2 = \frac{P_L (4\pi)^3 R^4}{P_{ut}\, \sigma_{radar}\, \lambda^2} = \frac{100 \cdot 10^{-9} (4\pi)^3 (400 \cdot 10^3)^4}{40 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot (0{,}125)^2} =$$

$$= 8{,}13 \cdot 10^{15}$$

$$\Rightarrow G_D = 0{,}901 \cdot 10^8 \text{ ggr} = \underline{79{,}55\ \text{dB}}$$

b) Man kan skicka och ta emot information samtidigt. Sändarantenn kan optimeras för sändning och mottagare för mottagning. Om antennerna är placerade på olika platser kan radartvärsnittet ändras på målet. Det är nog antagligen marginellt eftersom det handlar om stora sträckor. Det öppnar också upp för andra applikationer, så som att mottagaren kan lyssna efter annan radarspaning medans sändaren skickar ut en störsignal, till exempel.

Answer only one question on this page. Do not write on the back of this paper
Behandla endast en uppgift på detta blad. Skriv ej på baksidan

Problem 6

I Fjärrfältet, E fältet kan ses som summan av bidragen från varje antenn:

$$E = E_0 \sum_{i=1}^{4} \frac{e^{-j(\beta r_i + \theta_i)}}{r_i}$$

i fjärrfältet: $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_0$ när det gäller Amplituden

$r = r_0 - \beta d_i \cos\varphi$ när det gäller fasen

$\theta_1 =$ fas av in-matade strömmen

då får vi

$$E = E_0 \frac{e^{-j\beta r_0}}{r_0} \left[e^{j(\beta d_1 \cos\varphi - \theta_1)} + e^{j(\beta d_2 \cos\varphi - \theta_2)} + e^{j(\beta d_3 \cos\varphi - \theta_3)} + e^{j(\beta d_4 \cos\varphi - \theta_4)} \right]$$

för den givna antenngruppen: $d_1 = -d_4$ $d_2 = -d_3$ $\theta_1 = -\theta_4$ $\theta_3 = -\theta_2$

då: $E = E_0 \cdot \frac{e^{-j\beta r_0}}{r_0} \cdot 2 \left[\cos(\beta d_3 \cos\varphi - \theta_3) + \cos(\beta d_4 \cos\varphi - \theta_4) \right]$

$\beta d_3 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$ $\qquad$ $\beta d_4 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \lambda = 2\pi$

$$E = 2E_0 \frac{e^{-j\beta r_0}}{r_0} \cdot \left[\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\varphi - \frac{\pi}{4}\right) + \cos(2\pi\cos\varphi - \pi) \right]$$

$\cos(a - \pi) = -\cos a$

$$\Rightarrow \boxed{E = 2E_0 \frac{e^{-j\beta r_0}}{r_0} \left[\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\varphi - \frac{\pi}{4}\right) - \cos(2\pi\cos\varphi) \right]}$$

för att inte få någon strålning i φ riktning måste:

$$\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\varphi - \frac{\pi}{4}\right) = \cos\left(2\pi\cos\varphi\right)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{\pi}{2}\cos\varphi - \frac{\pi}{4} = 2\pi\cos\varphi \\ \underline{\text{eller}} \\ \frac{\pi}{2}\cos\varphi - \frac{\pi}{4} = -2\pi\cos\varphi \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \cos\varphi = \frac{-1}{6} \\ \underline{\text{eller}} \\ \cos\varphi = \frac{1}{10} \end{cases}$$

alltså strålar gruppantennen ingen signal i följande riktningar:

$$\varphi_0 = \arccos\left(-\frac{1}{6}\right) \approx 99{,}59^\circ$$

$$\varphi_1 = -\arccos\left(\frac{1}{6}\right) \approx -99{,}59^\circ$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{1}{10}\right) \approx 84{,}26^\circ$$

$$\varphi_3 = -\arccos\left(\frac{1}{10}\right) \approx -84{,}26^\circ$$

Lösning uppgift 7. 1 C)

a) Starta i den normerade lastimpedansen:

$$z_L = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{25+j50}{50} = 0.5 + j\cdot 1$$

Först förflyttar vi oss utmed konstanta konduktanscirkeln $g = 0{,}4$ till resistanscirkeln $r = 1$ genom att lägga till en kondensator parallellt. Därefter förflyttar vi oss utmed cirkeln $r = 1$ till punkten $z = 1$ (anpassning) genom att lägga till en kondensator i serie.

1 Parallellkondensator

$$-j0{,}8 + jb = -j0{,}49$$

$$b = 0{,}31$$

$$jb = \frac{j\omega C_P}{Y_0}$$

$$\Rightarrow C_P = \frac{b\cdot Y_0}{2\pi f} = \frac{0{,}31\cdot\frac{1}{50}}{2\pi\cdot 2{,}4\cdot 10^9} = \underline{\underline{0{,}41\,pF}}$$

2 Serie kondensator

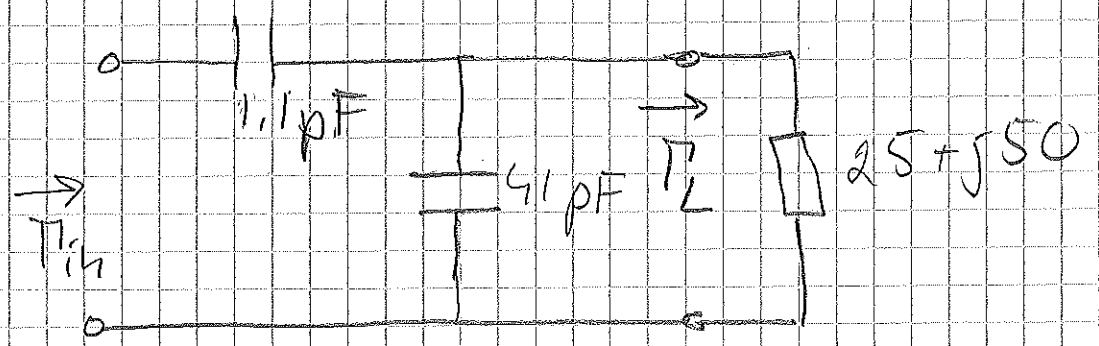
$$j1.21 + jX = 0$$

$$X = -1.21$$

$$jX = \frac{1}{j\omega C_s \cdot Z_0}$$

$$\Rightarrow C_s = \frac{-1}{2\pi \cdot 2.4 \cdot 10^9 \cdot (-1.21) \cdot 50} = \underline{\underline{1.10\ pF}}$$

Anpassningsnätet ser alltså ut enligt nedan



b) Γ_L läser vi av i Smith diagrammet

$\underline{\underline{\Gamma_L = 0.62 \angle 183^\circ}}$

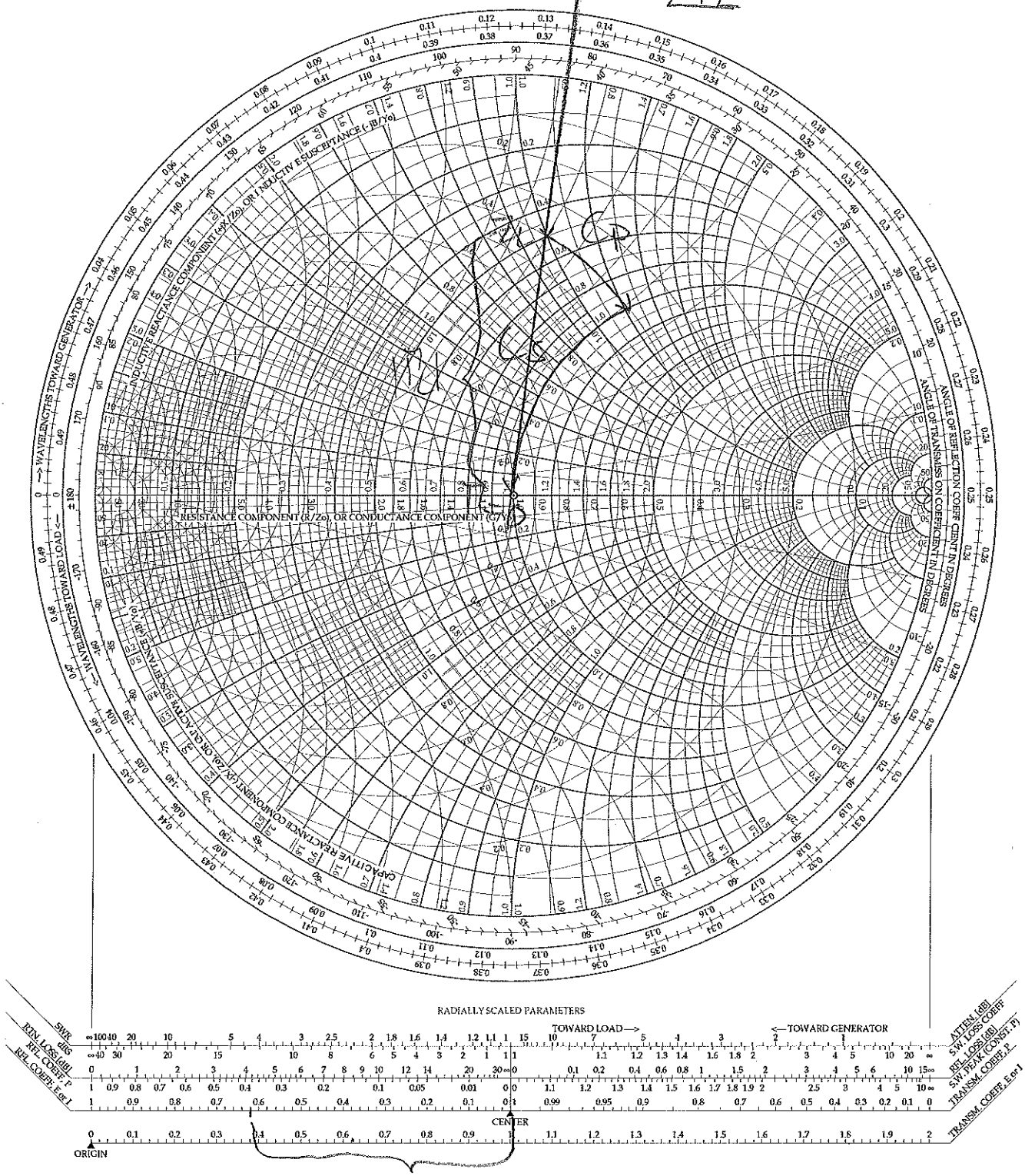
Reflektions faktorn $\underline{\underline{\Gamma_{in} = 0}}$ vid anpassning

3 C)

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

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES

LTL



LTL