HFT 73, Tentamen i högfrekvensteknik, EEM021
2022-08-16, kl.14^{00}-18^{00}, Multisalen, Längd: 4 timmar.

Tillåtna hjälpmedel:	Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, formelsamling i Elektromagnetisk fältteori av Eva Palmgren, 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 hemsida.
Granskning	Sker på tid och plats som anges på omtentahemsida.
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):

Kretsen som visas i figuren 1 nedan har två kortslutna parallellkopplade stubbar, kopplade genom en transmissionsledning med en karakteristisk impedans Z_0=50 Ω och längd L_1 mellan sig. Första stubben har en karakteristisk impedans Z_{st1}=100 Ω och längd L_{st1}=0.382λ och är inkopplad vid lasten Z_L=30+j40 Ω. Andra stubben har en karakteristisk impedans Z_{st2}=25 Ω och längd L_{st2}. Alla transmissionsledningar är förlustfria. Signalfrekvensen är 2 GHz.

a). Välj L_1 och L_{st2} för att nå anpassning vid kretsens ingång.

b). Med vilken/vilka diskret/diskreta komponenter kan man ersätta andra stubben?

***Lös med hjälp av Smithdiagrammet*. Glöm inte att bifoga det!**

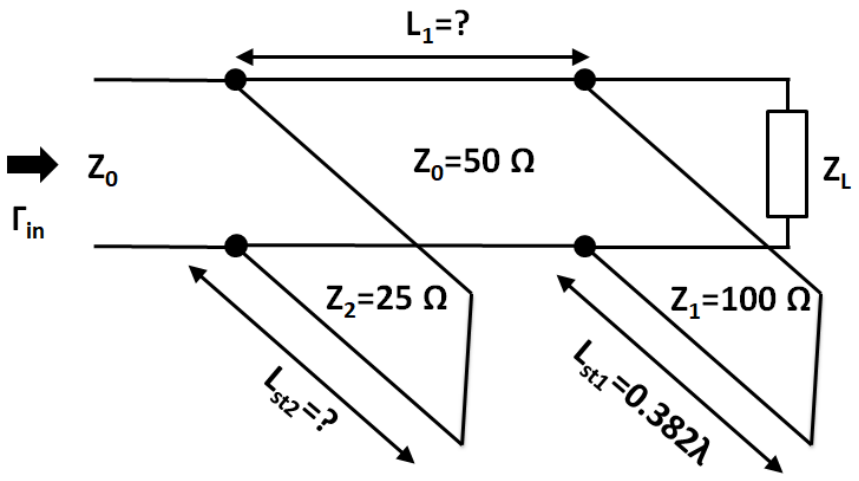


Fig.1. Kretsen från uppgift 1

<u>Uppgift 2 (7p):</u>

Generatorn i nedanstående krets avger ett spänningssteg Vg = 100 V vid tidpunkten t = 0. Den förlustfria transmissionsledningen har karakteristiska impedansen Z_0, en induktans per längdenhet 500 nH/m, längd L_1=30m och dielektrisk konstant ε_r=4. Ledningen är avslutad med en last R_L = 100Ω. Generatorns inre impedans är Rg = 25 Ω. Se figuren 2a.

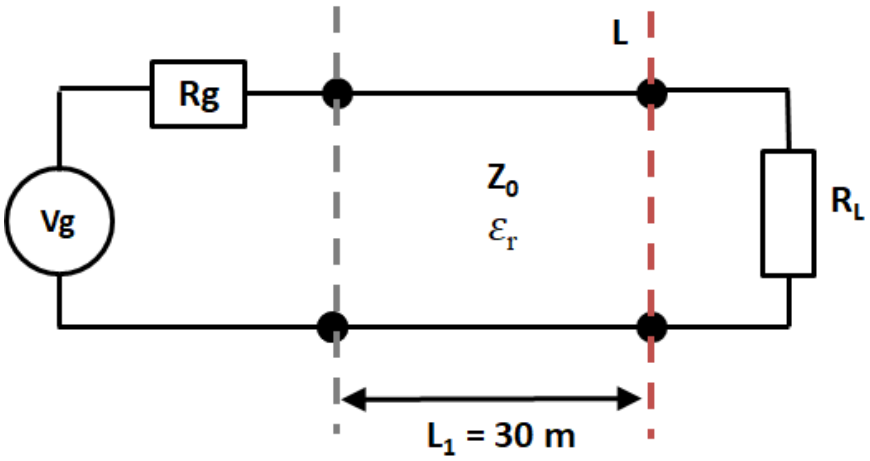


Fig.2a Kretsen från uppgift 2 a,b

a). Hitta Z_0.

b). Beräkna och skissa strömmen genom lasten för 0 < t < 650 ns.

Ytterligare ett motstånd i form av en enkel krets kopplas bakom lasten (bort från generatorn). Kretsen består av en luftfylld transmissionsledning med samma karakteristiska impedans Z_0, längd L_k = 45 m, och termineras med en R_k=50 Ω resistor. Se figur 2b.

c). Rita spänningen över R_L efter denna ändring. för 0 < t < 550 ns.

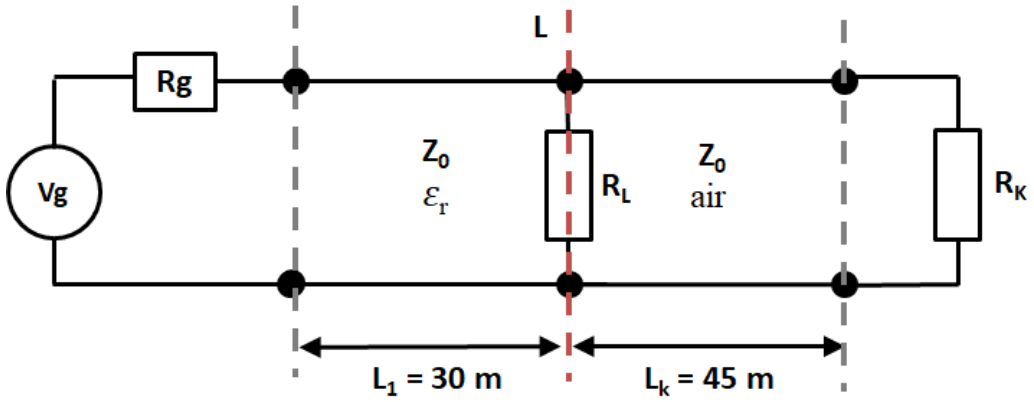


Fig.2b Kretsen från uppgift 2c

Vågledare:

Uppgift 3 (10p):

Johan experimenterar med olika vågledare. Han använder en luftfylld rektangulär vågledare med dimension b<a/2 och försöker bygga en fasvridare men misslyckade för att han inte tänkte på anpassningen mellan två vågledare. Han kopplade en luftfylld vågledare med en annan vågledare med samma mått men fylld med ett dielektriskt material med ε_r=6.25. Se figur 3 nedan. Vågledarna har väggar gjorda av **perfekt elektrisk ledare**. Signalen utbreder sig vid $\boldsymbol{f = fc}$ **x 4** där ***fc*** är brytfrekvensen för **dominanta** moden i **luftfyllda** vågledaren. Relativa permeabiliteten är 1.

a). Om den "guidade" våglängden λg för signalen är 5.7735 cm för näst dominanta moden i den luftfyllda vågledaren, beräkna signal frekvensen *f* .

b). Beräkna vågledarens dimensioner (a och b).

c) Beräkna effekten som kommer ut från den dielektriskfyllda vågledaren, jämfört med inkommande signalen vid den luftfyllda vågledaren för två valfria moder?

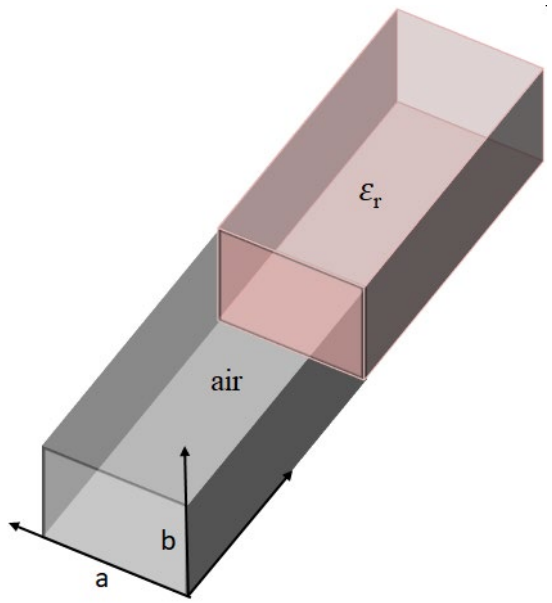


Fig.3 Kretsen från uppgift 3

Uppgift 4 (7p):

En luftfylld cirkulär hålrumsresonator har en radie på 2.4 cm och är 5 cm hög.

a). Vilken är den dominanta resonansmoden?

b). Vad är resonansfrekvensen för moden i uppgift a)?

c). Vad är resonansfrekvensen om kaviteten är fylld med ett dielektriskt material med dielektrisk konstant $\varepsilon_r = 2.25$?

Antenner:

Uppgift 5 (6p):

En mikrovågsantenn med direktiviteten 20 matas från en mikrovågsgenerator vid frekvens 5 GHz. Anpassning råder mellan antennen och generatorn. På 10 meters avstånd från sändarantennen är en mottagarantenn placerad. Denna är anpassad och ansluten till en effektmätare. Mottagarantennen riktas så att effektmätaren gör så stort utslag som möjligt. Detta utslag noteras. Därefter borttas båda antennerna och generatorn ansluts via en varierbar dämpare till effektmätaren. Anpassning råder mellan generatorn och dämparen samt mellan dämparen och effektmätaren. När dämparen är inställd på 23 dB gjorde effektmätaren samma utslag som det ovan noterade. Generatorsinställningen var under hela försöket oförändrad.

Beräkna mottagarantennens effektivyta.

Uppgift 6 (10p):

Tre korta sprötantenner ($l < \lambda/10$) riktade längs z-axeln ligger med sina mittpunkter i (0, 0, d) - ***punkt 1***; (0, 0, 0) – ***punkt 2*** och (0, 0,−d) – ***punkt 3***. De matas respektive med strömmarna $\mathbf{I_1} = I_0 \cos(\omega t + 2\pi/3)$, $\mathbf{I_2} = I_0 \cos \omega t$ och $\mathbf{I_3} = I_0 \cos(\omega t - 2\pi/3)$.

a) Beräkna allmänna uttrycket (d.v.s en funktion beroende på θ) för E-fält intensiteten ifall $d = \lambda/3$.

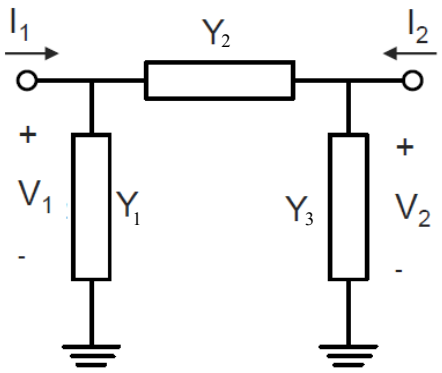
b). Hitta vinklarna θ samt φ där gruppantennen inte strålar något fält.

c). Hur många lobbar finns i stråldiagrammet i θ-led?

d). Hur skiljer sig resultaten i b) om antennerna byts mot halvvågsdipoler?

Mikrovågsteknik

Uppgift 7 (10p):



En elektrisk krets konfigurerar som ett PI-nät har mätts upp vid 4 GHz. Varje admittans (Y_1, Y_2, och Y_3) består av en eller två komponenter (R, L, eller C). Y-parametrarna för Pi-nätet är uppmätta till:

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & -j0.1 \\ -j0.1 & 0.05 + j0.15 \end{bmatrix}$$

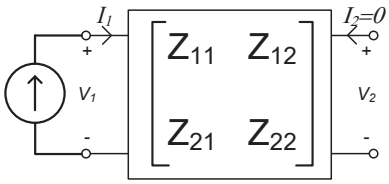
a) **Bestäm komponenterna (antal och typ) för respektive admittans (Y_1, Y_2, och Y_3) (4p)**
b) **Bestäm komponentvärdena (3p)**
c) **Bestäm ifall kretsen är reciprok, symmetrisk, samt förlustfri. Motivera. (3p)**

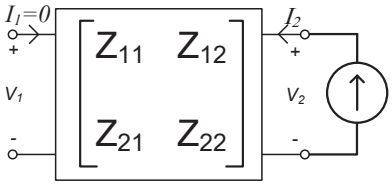
Hint: Använd Formelsamling Mikrovågselektronik bifogat

Impedansparametrar (Z)

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

- Stimulus: Ström **I** = [I_1, I_2]
- Respons: Spänning **V** = [V_1, V_2]
- Z_{11} och Z_{22} är in- och utimpedans när motsatt port är öppen
- Z_{12} och Z_{21} är transimpedanser



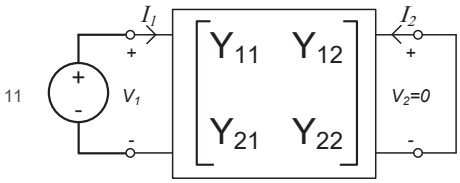


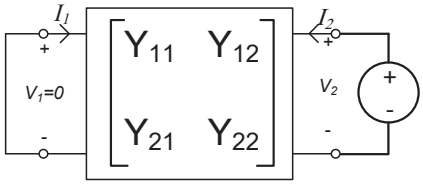
$$Z_{11} = \left.\frac{V_1}{I_1}\right|_{I_2=0} \quad Z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0} \qquad Z_{22} = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_1=0} \quad Z_{12} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1=0}$$

Admittansparametrar (Y)

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

- Stimulus: Spänning **V** = [V_1, V_2]
- Respons: Ström **I** = [I_1, I_2]
- Y_{11} och Y_{22} är in- och utadmittans när motsatt port är kortsluten
- Y_{12} och Y_{21} är transadmittanser



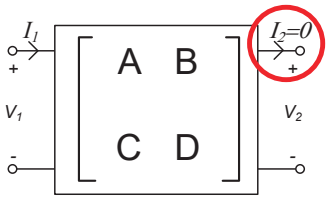


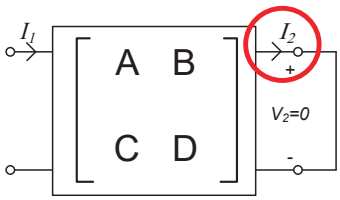
$$Y_{11} = \left.\frac{I_1}{V_1}\right|_{V_2=0} \quad Y_{21} = \left.\frac{I_2}{V_1}\right|_{V_2=0} \qquad Y_{22} = \left.\frac{I_2}{V_2}\right|_{V_1=0} \quad Y_{12} = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{V_1=0}$$

Kaskadparametrar (ABCD)

- Stimulus: Tillstånd på utgången [V_2, I_2]
- Respons: Tillstånd på ingången [V_1, I_1]
- A och D motsvarar förstärkning
- B och C har dimensionerna impedans respektive admittans

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



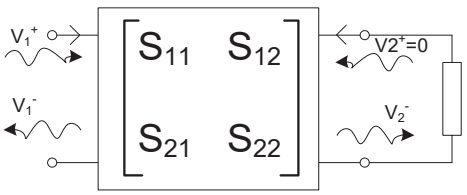


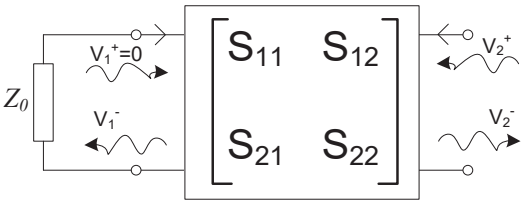
$$A = \left.\frac{V_1}{V_2}\right|_{I_2=0} \quad C = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{I_2=0} \quad B = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{V_2=0} \quad D = \left.\frac{I_1}{I_2}\right|_{V_2=0}$$

Spridningsparametrar (S)

- Stimulus: Inkommande vågor [V_1^+, V_2^+]
- Respons: Utgående vågor [V_1^-, V_2^-]
- S_{11} och S_{22} är in- och utgångsreflektionsfaktor
- S_{12} och S_{21} är transmission
- För en reciprok två-port så gäller $S_{12}=S_{21}$

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix}$$

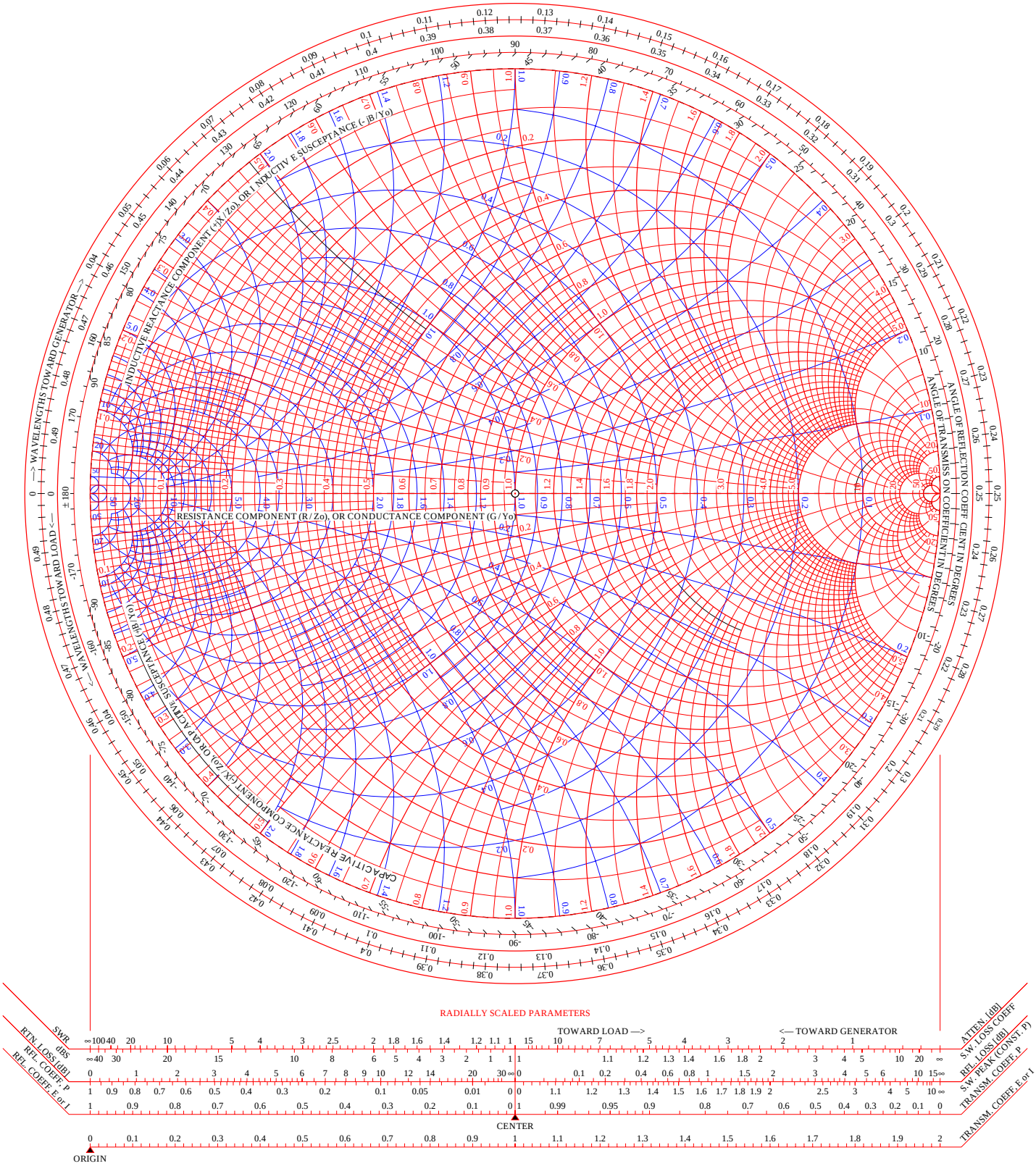




$$S_{11} = \left.\frac{V_1^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+=0} \quad S_{21} = \left.\frac{V_2^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+=0} \quad S_{12} = \left.\frac{V_1^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+=0} \quad S_{22} = \left.\frac{V_2^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+=0}$$

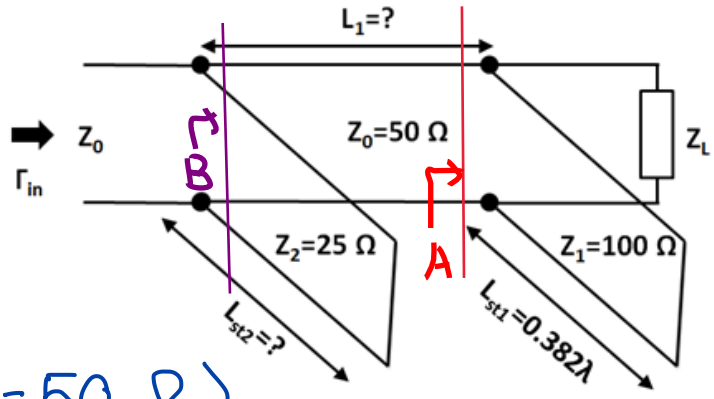
NAME	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM ZY-01-N	COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997	DATE

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



RADIALLY SCALED PARAMETERS

uppgift 1



A

① $Z_0 = 50\,\Omega$

$Z_L = 30 + j40\,(\Omega)$

$\bar{Z}_L = 0.6 + j0.8$ (to $Z_0 = 50\,\Omega$)

mark it on SC

② $\bar{Z}_L \to \bar{Y}_L$ (blue numbers)

$\bar{Y}_L = 0.6 - j0.8$

$L_{st1} = 0.382\lambda$ ($Z_2 = 100\,\Omega$) $\to$ TWG 0.382λ

from short circuit point

$\bar{Y}_{st2} = j1.1$ ($Z_1 = 100\,\Omega$) $\to \bar{Y}'_{st2}$ ($Z_0 = 50\,\Omega$)

$$Y_{st2} = \frac{\bar{Y}_{st2}}{Z_1} = \frac{\bar{Y}'_{st2}}{Z_0} \Rightarrow \bar{Y}'_{st2} = \bar{Y}_{st2} \cdot \frac{Z_0}{Z_1} = \frac{\bar{Y}_{st2}}{2} = j0.55$$

p.A — after stub 2

$\bar{Y}_A = \bar{Y}_L + \bar{Y}'_{st2} = 0.6 - j0.8 + j0.55 = 0.6 - j0.25$

③. $L_1 = ?$ $L_{st1} = ?$ we stay with $Z_0 = 50\,\Omega$

p.A $\to$ p.B (adding TRL)

move along $|\Gamma|$-const $\to$ TWG 2

$\bar{Y}_{in} = \bar{Y}_B + \bar{Y}_{st2}$

$\bar{Y}_{in} = 1 + j0$ (matching point) $Z_0 = 50\,\Omega$

$\bar{Y}_{st1} = 0 + jb_{st2}$ (only reactive)

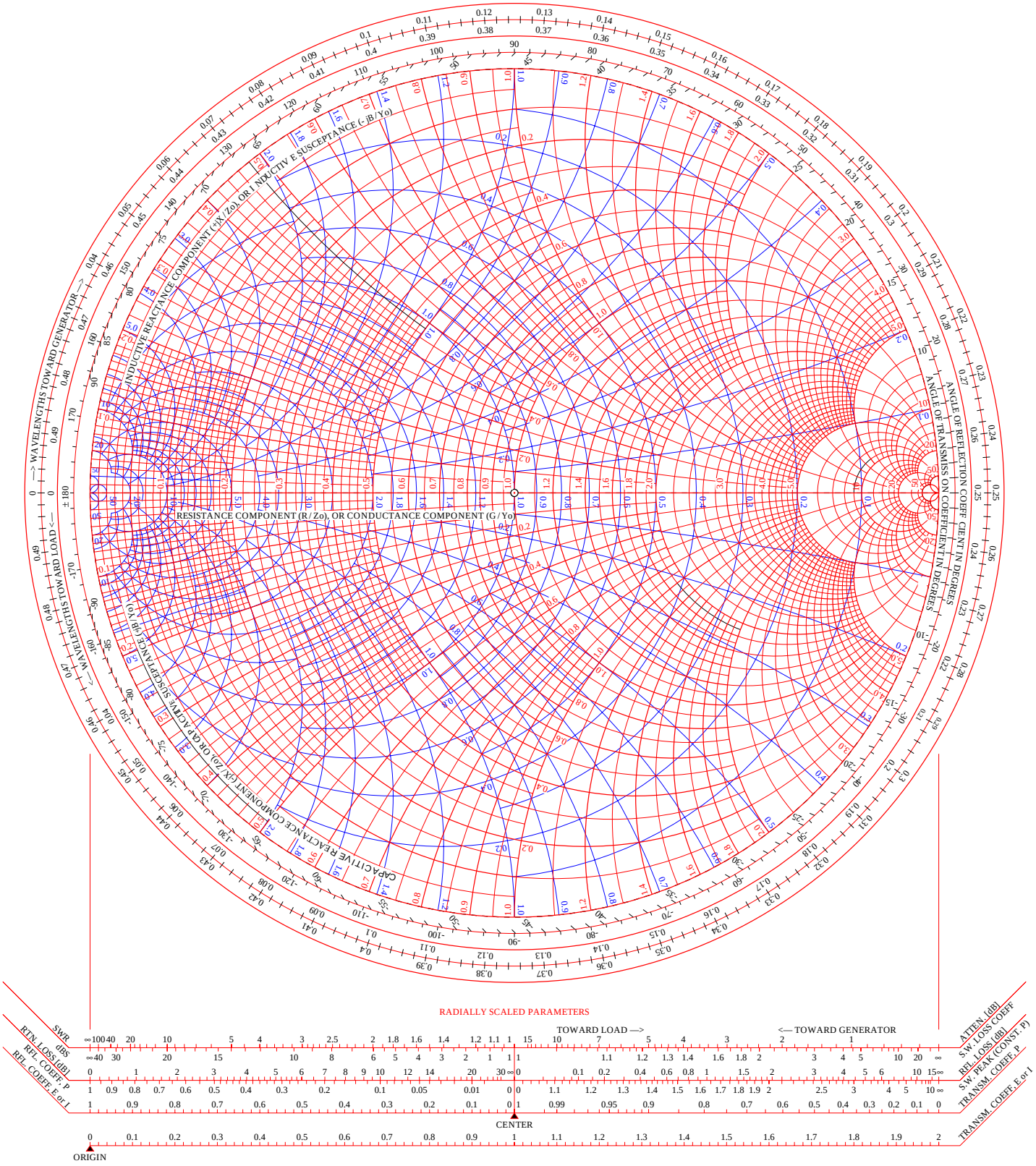
$\bar{Y}_B = g_B + jb_B$

Re: $1 = g_B + 0 \to g_B = 1 \equiv g = 1$ const g circle!

Im: $0 = b_B + b_{st} \to$ $b_{st2} = -b_B$

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

Lösningsförslag Uppgift 7

a) Admittanserna (Y_1, Y_2, och Y_3) ges direkt av Y-parametrarna enligt följande:

Y_1 består av en spole (L1)
Y_2 består av en kondensator (C2)
Y_3 består av resistans (R3) parallellt med en kondensator (C3)

4p

b) Komponentvärdena ges av:

3p

c) Kretsen är reciprok då $Y_{12} = Y_{21}$
Kretsen är inte symmetrisk då Y_{11} $_{22}$
Kretsen är inte förlustfri då **[Y]** ej rent imaginär

3p