

# HFT 44, Tentamen i högfrekvensteknik, kurskod EEM021 2012-08-30, fm i "M"-salar. Längd: 4 timmar.

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Tillåtna hjälpmedel:</b> | 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) |
| <b>Frågor uppg 1-6</b>      | Vincent Desmaris, tel ankn. 1846  |
| <b>Frågor uppg 7</b>        | Hans Hjelmgren, tel 070-520 13 46   |
| <b>Resultatet</b>           | Anslås på kursens hemsida   |
| <b>Granskning</b>           | Sker på tid och plats som anges på kurshemsida  |
| <b>Betygsgränser</b>        | 24p för betyg 3, 36p för betyg 4 och 48p för betyg 5  |
| <b>Kom ihåg</b>             | <b>Lösningen på uppgift 7 lämnas i separat omslag</b>   |
| <b>Observera</b>            | Omotiverade lösningar kan ge poängavdrag!   |

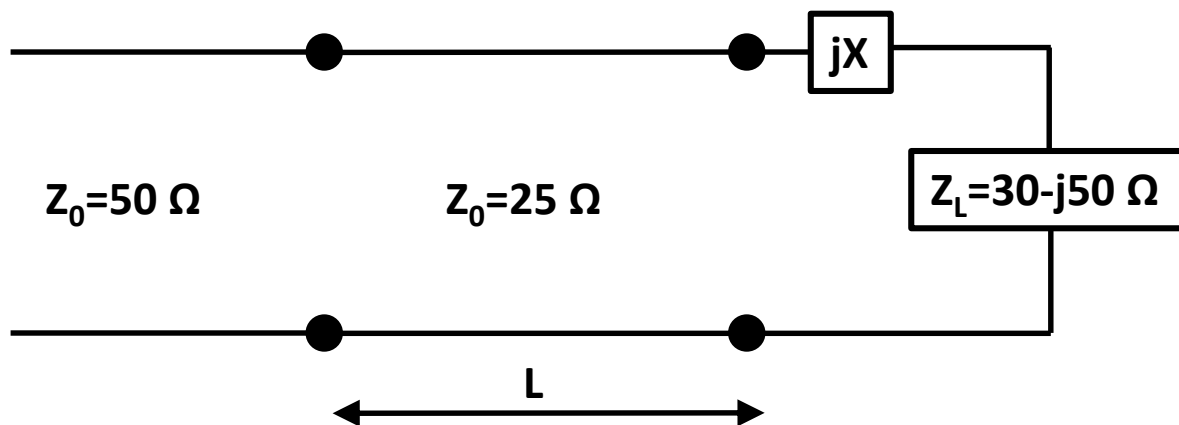
## Duggadelen

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.

### Transmissionsledningar:

#### Problem 1. 10p. (D)

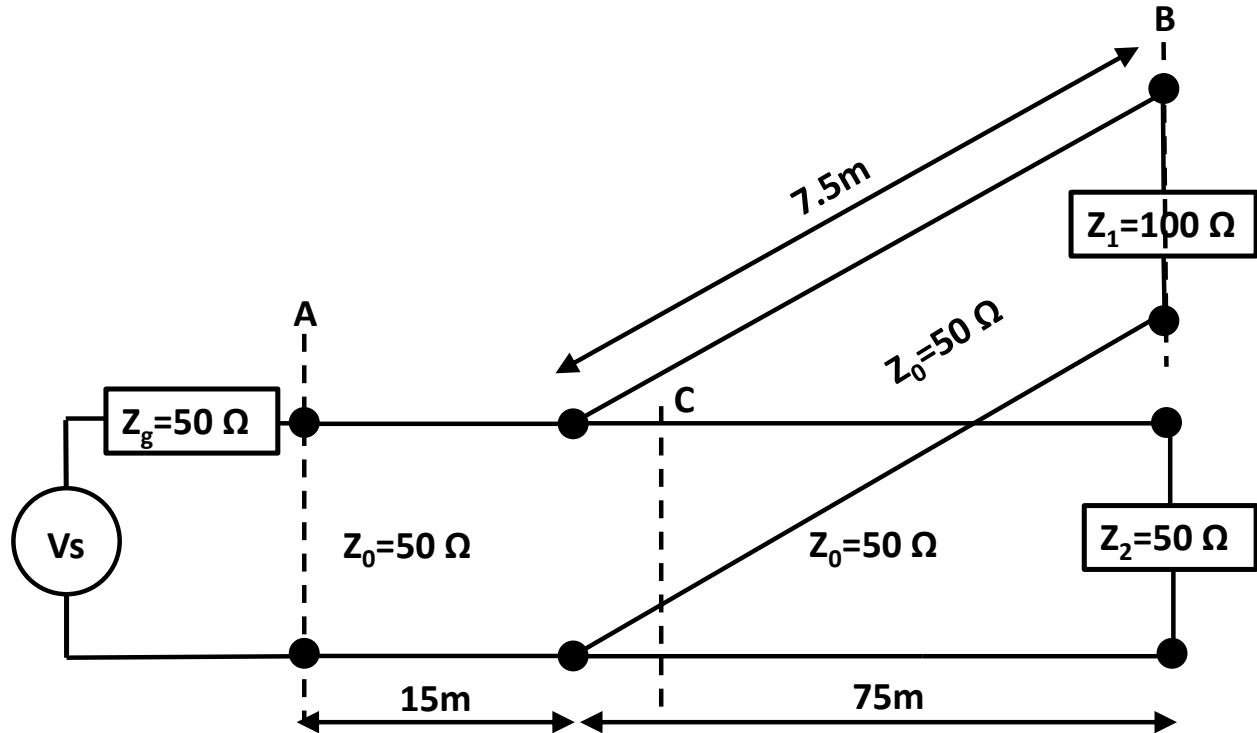
En last med impedansen  $30-j50\Omega$  är seriekopplade med en reaktans  $X$  och ansluten till en förlustfri transmissionsledning med karakteristisk impedans  $25\Omega$  och längd  $L$ . Transmissionsledningen är själv ansluten till en  $50\Omega$  signallinje.



*Bestäm längden  $L$  av transmissionsledningen och reaktansen  $X$  för att få  $VSWR=1$  i signallinjen.*

### Problem 2. 7p.

Kretsen i nedanstående figur matas av en pulsfunktionsgenerator med intern impedans av  $50 \Omega$  som slås på vid  $t=0$  och levererar en enda puls  $V_s=2V$  på  $3ns$ . Alla transmissionsledningar är förlustfria och har karakteristisk impedans  $Z_0=50 \Omega$ . Anta att utbredningshastigheten är lika med ljushastigheten.



- Rita spänningen vid ingången av första transmissionsledningen (A) för  $0 < t < 130 ns$ .
- Rita spänningen vid lasten  $Z_1$  (B) för  $0 < t < 130 ns$ .
- Rita spänningen vid C för  $0 < t < 130 ns$ .

### Våglödare:

#### Problem 3. 10p. (D)

En rektangulär våglödare är fylld med ett förlustfritt dielektriskt material med  $\epsilon_r = 9$ . Våglödarens inre mått är  $a=1 cm$  och  $b=0.7 cm$

*Vilka moder kan utbreda sig vid 21 GHz.?*

#### Problem 4. 6p.

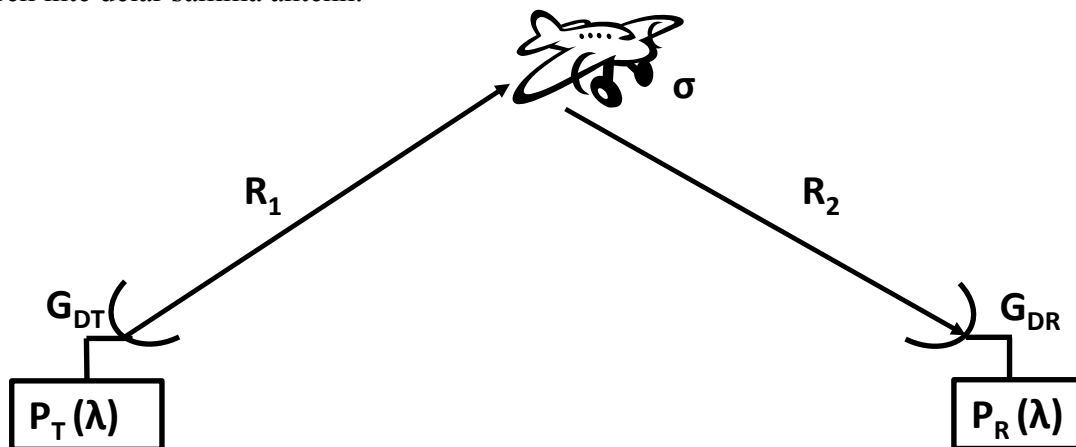
En våg utbreder sig vid 14GHz i en cylindrisk våglödare ifyll med teflon ( $\epsilon_r = 2.08$ ) och har en radie på 0.5 cm.

**Över vilket avstånd ändrar sig fasen med 90 grader?**

## Antenner

### Problem 5. 8p.

För att öka radartvårsnittet av ett objekt kan man använda en bistatisk radar, där mottagaren och sändaren inte delar samma antenn.



Härled uttrycken för kvoten mellan den sända effekten ( $P_T$ ) och den mottagna effekten ( $P_R$ ) i mottagaren som funktion av antennernas egenskaper samt  $R_1$  och  $R_2$ .

### Problem 6. 9p.

Antag att strömfördelningen i en centermatad kort spötantenn med längden  $2h$  ( $h \ll \lambda$ ) är

triangulär  $I(z) = I_0 \left( 1 - \frac{|z|}{h} \right)$ .

Beräkna de elektriska och magnetiska fälten i fjärrzonen.

## Mikrovåg

### Problem 7. 10p.

Figuren nedan visar en last och en förlustfri tvåport bestående av ett s.k. L-nät (två diskreta passiva komponenter). Systemimpedansen  $Z_0 = 100 \Omega$ .

a. (8p) Använd det bifogade Z/Y Smithdiagrammet för att konstruera ett L-nät som transformerar lasten  $Z_L = 25 + j50 \Omega$  till  $Z_{in} = 60 + j180 \Omega$  för frekvensen 3 GHz. Markera tydligt i Smithdiagrammet, riv ur det och bifoga det till din lösning.

b. (2p) Bestäm även reflektionskoefficienterna mot last och ingång,  $\Gamma_L$  och  $\Gamma_{in}$ , genom att läsa av dem i Smithdiagrammet. Visa tydligt hur du har läst av dem.

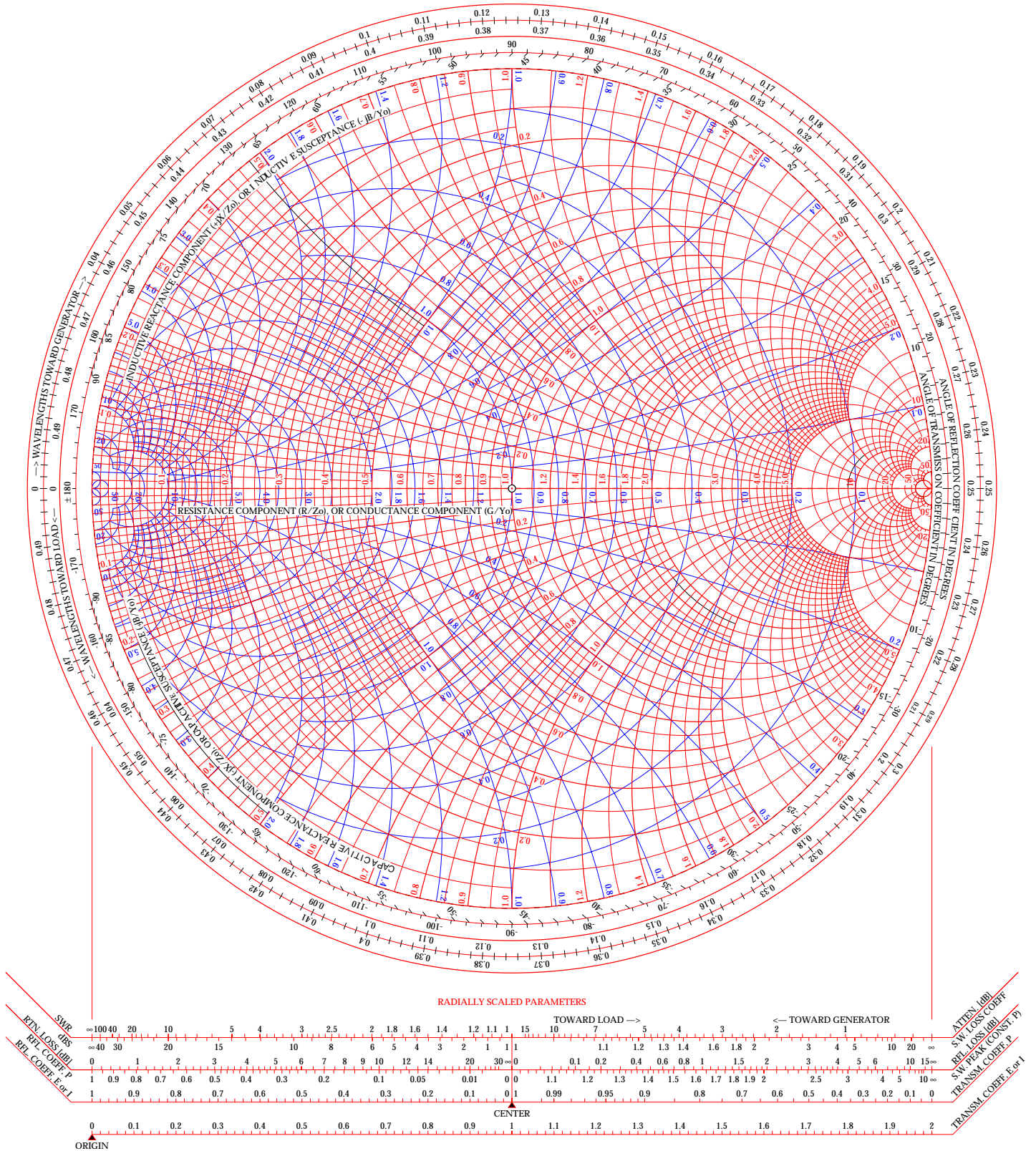






|                          |   |          |
|--------------------------|---|----------|
| NAME                     | TITLE   | DWG. NO. |
| SMITH CHART FORM ZY-01-N | COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997 | DATE     |

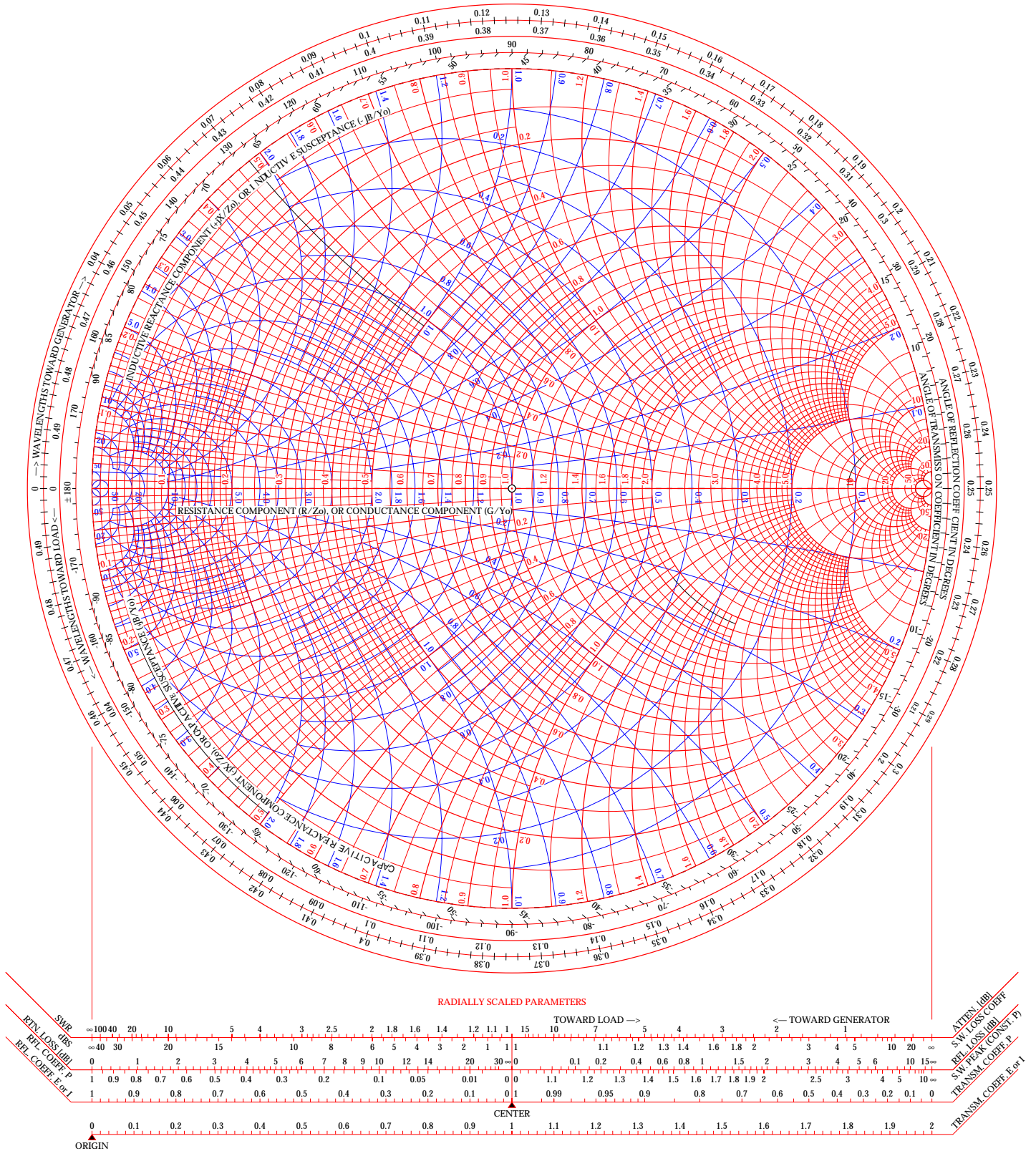
### NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES





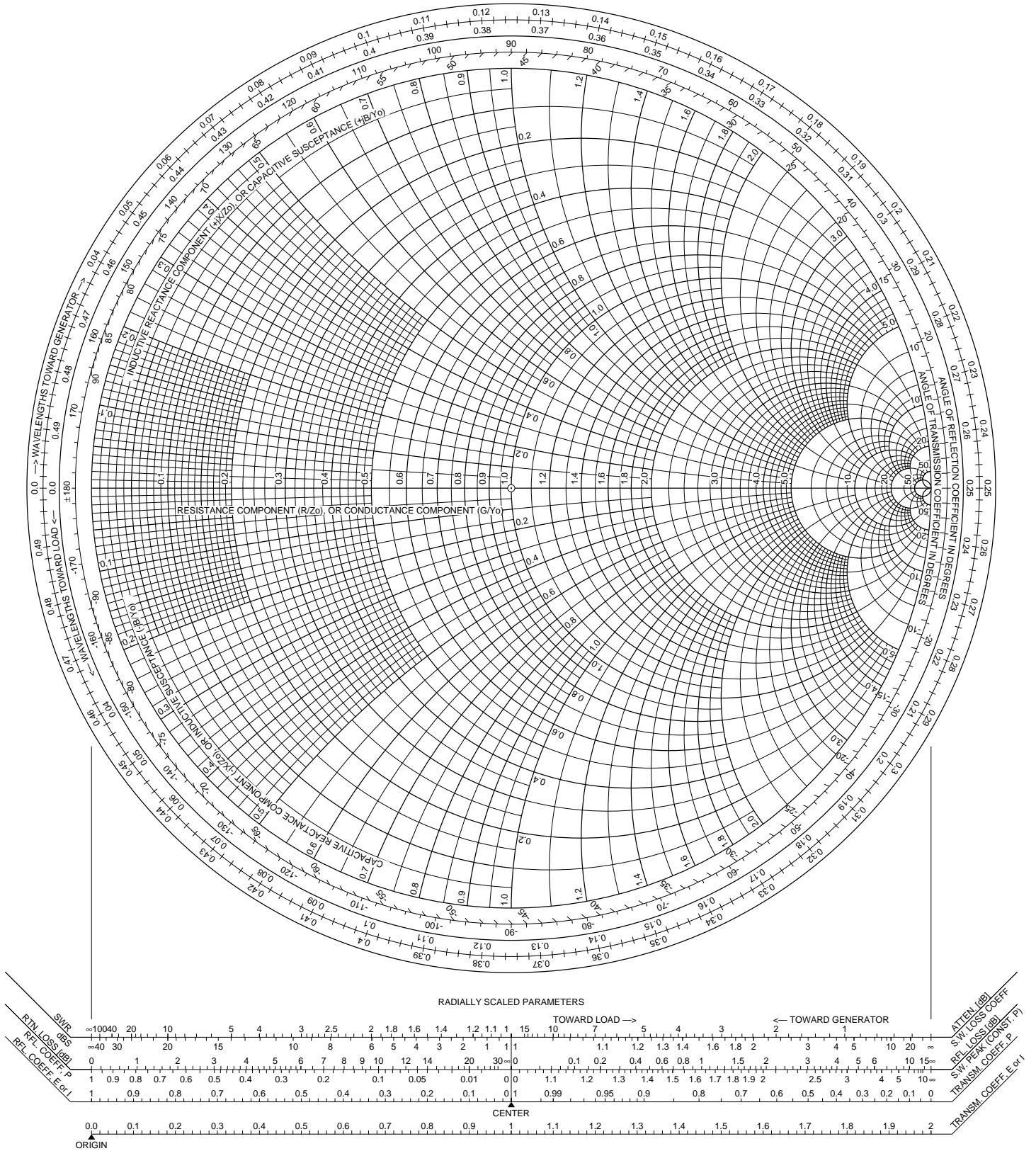
|                          |   |          |
|--------------------------|---|----------|
| NAME                     | TITLE   | DWG. NO. |
| SMITH CHART FORM ZY-01-N | COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997 | DATE     |

## NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES





# smithdiagram





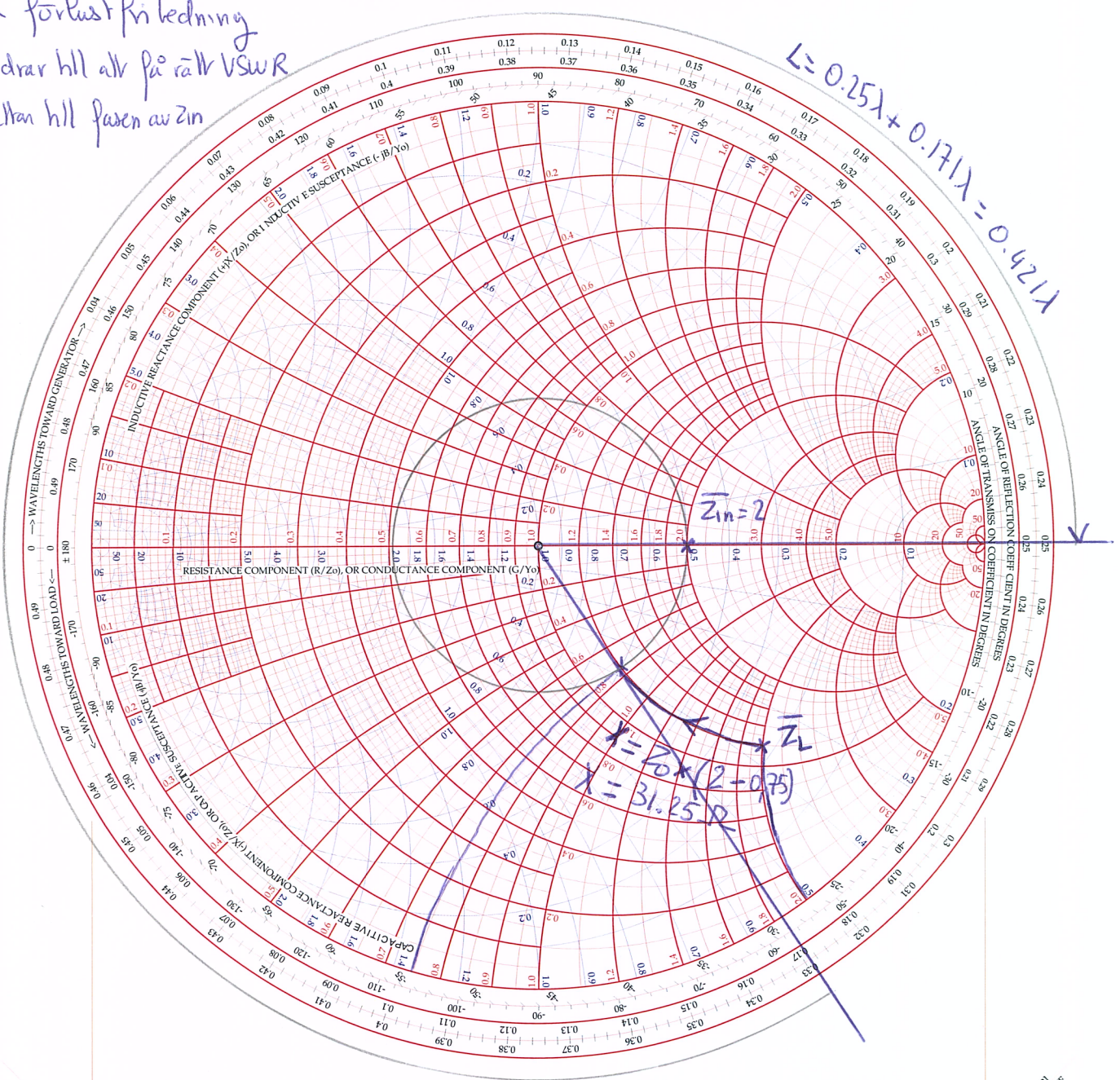
$$Z_L = 30 - j50 \rightarrow \bar{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0(=25\Omega)} = 1.2 - j2j$$

$$Z_{in} = 50\Omega \rightarrow \bar{Z}_{in} = \frac{Z_{in}}{Z_0(=25\Omega)} = 2$$

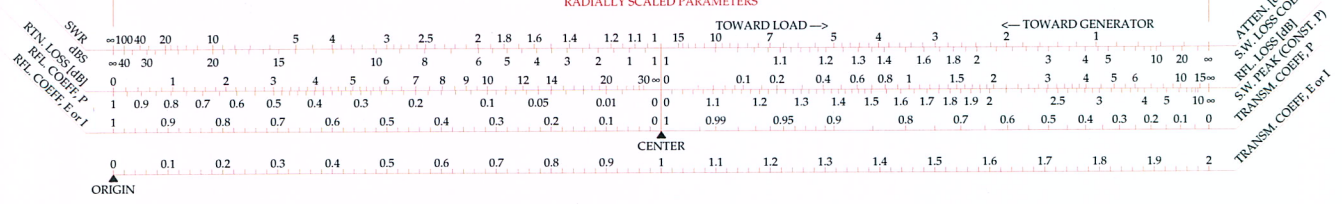
|                          |   |          |
|--------------------------|---|----------|
| NAME                     | TITLE   | DWG. NO. |
| SMITH CHART FORM ZY-01-N | COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997 | DATE     |

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES

Antra förlustfri ledning  
 X bidrar till att på räkta VSWR  
 L räkna till fasen av Z<sub>in</sub>



RADIALLY SCALED PARAMETERS



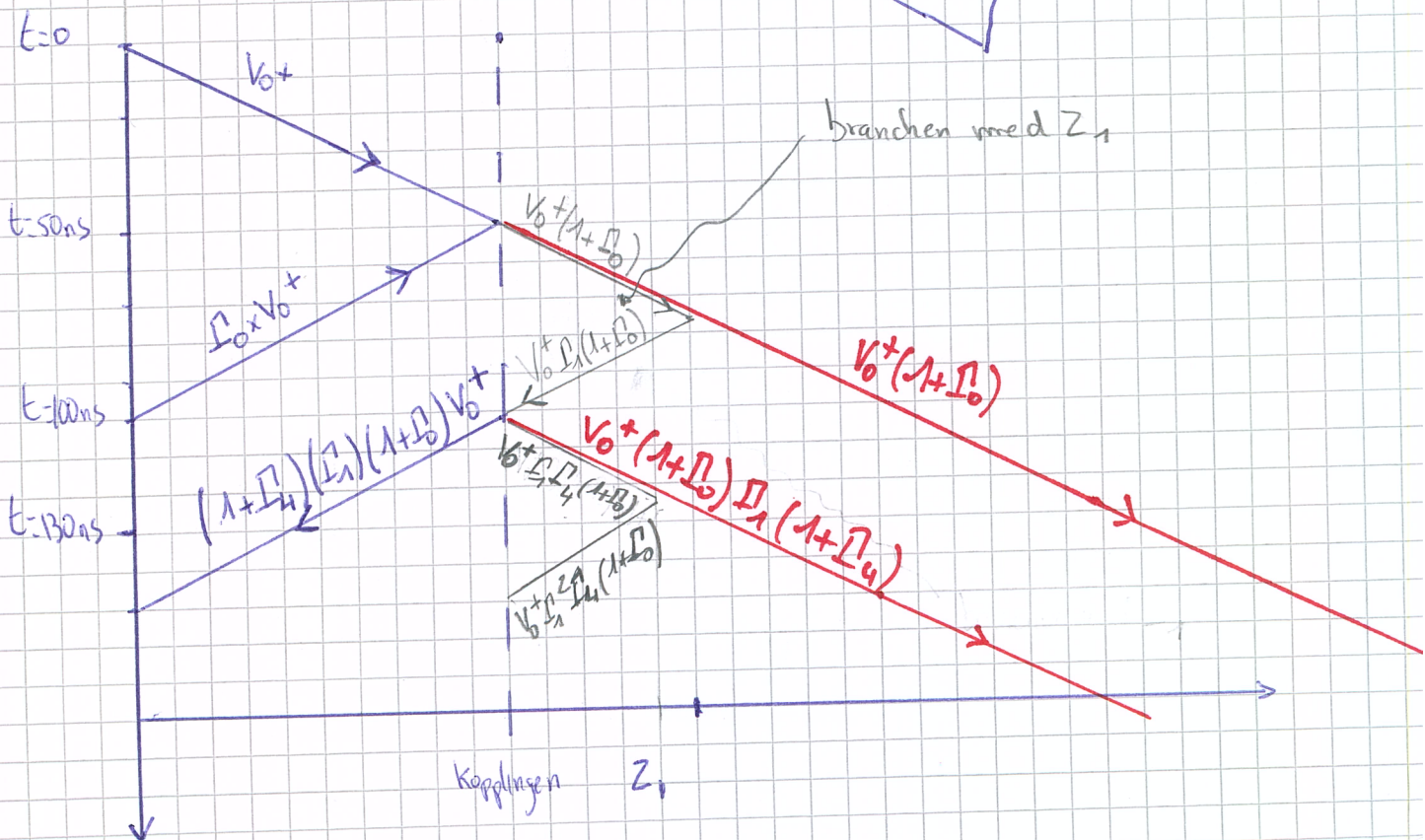
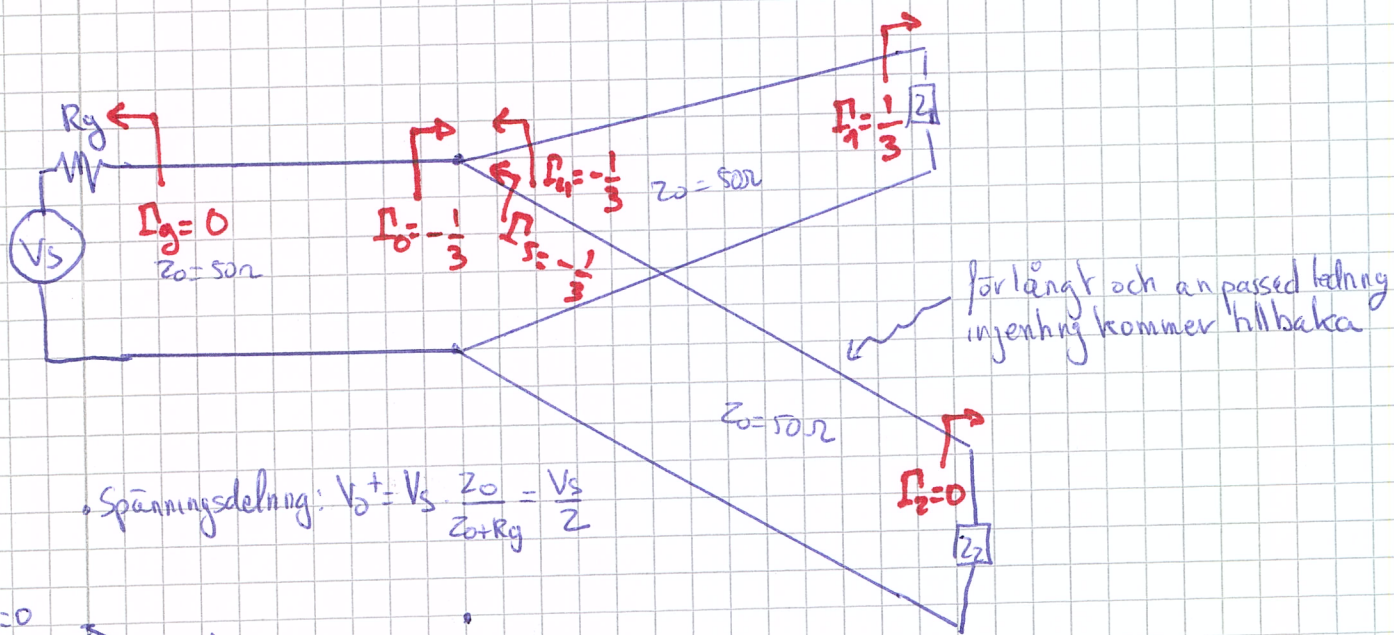


# Problem 2;

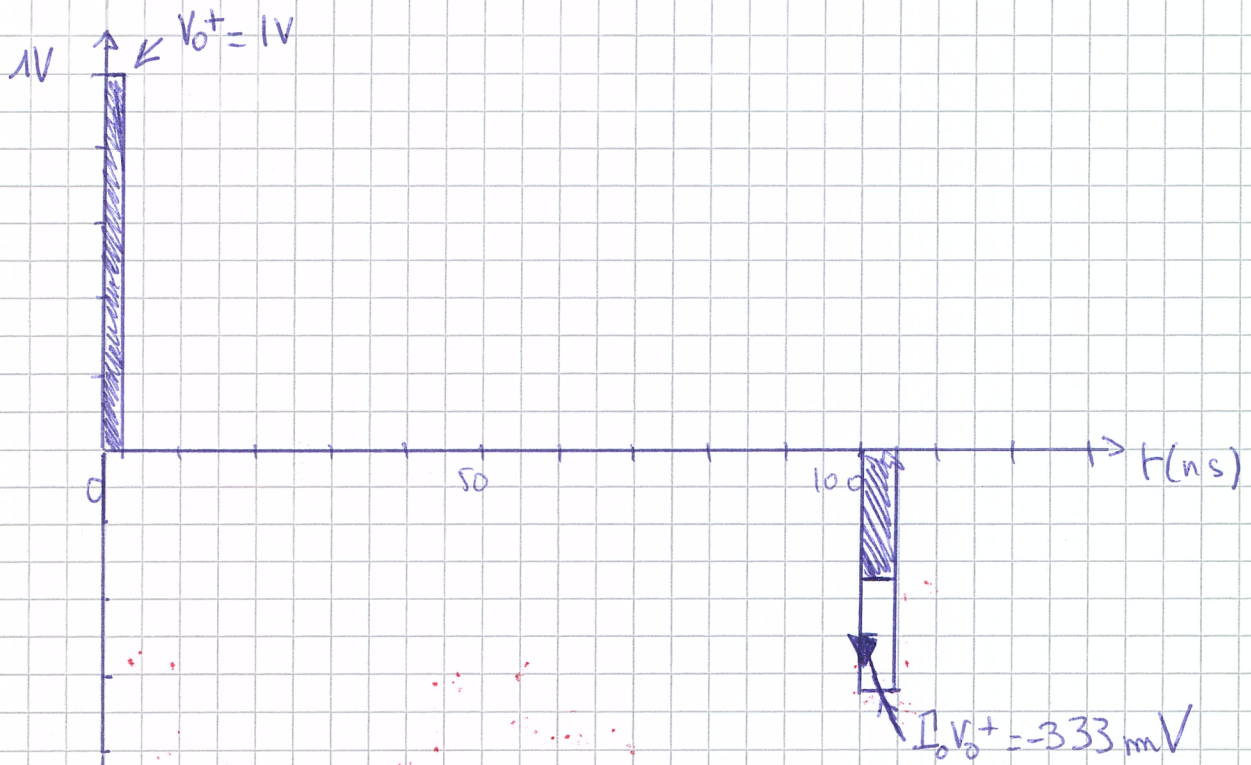
- pulsens löpheder : Generator till parallelkopplingen;  $t = \frac{1.5 \cdot 10}{3 \cdot 10^8} = 50 \text{ ns}$

• från parallelkopplingen till  $Z_1$ ;  $t = \frac{7.5}{3 \cdot 10^8} = 25 \text{ ns}$

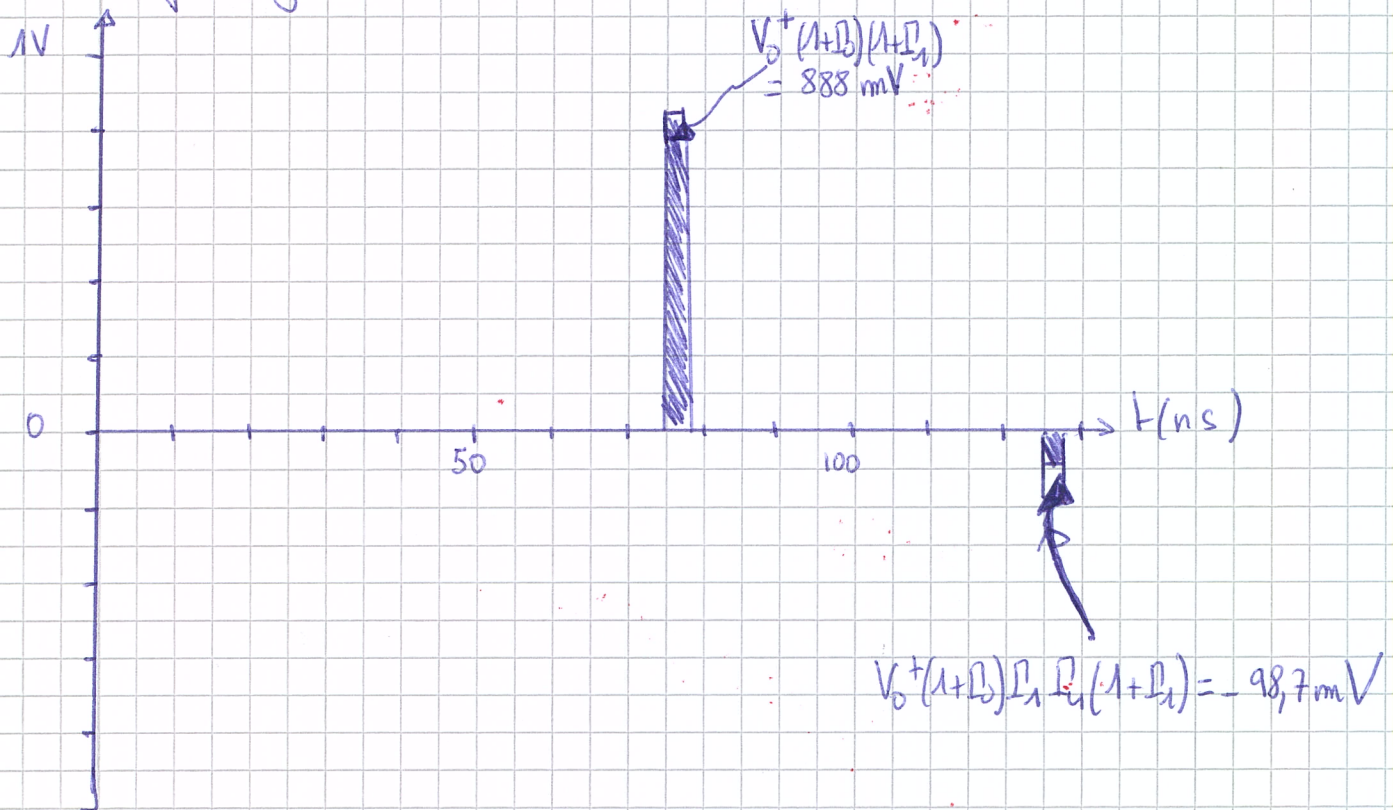
• från parallelkopplingsark till  $Z_2$ ;  $t = \frac{75 \cdot 10}{3 \cdot 10^8} = 250 \text{ ns}$



därför får man följande spänningar i A:

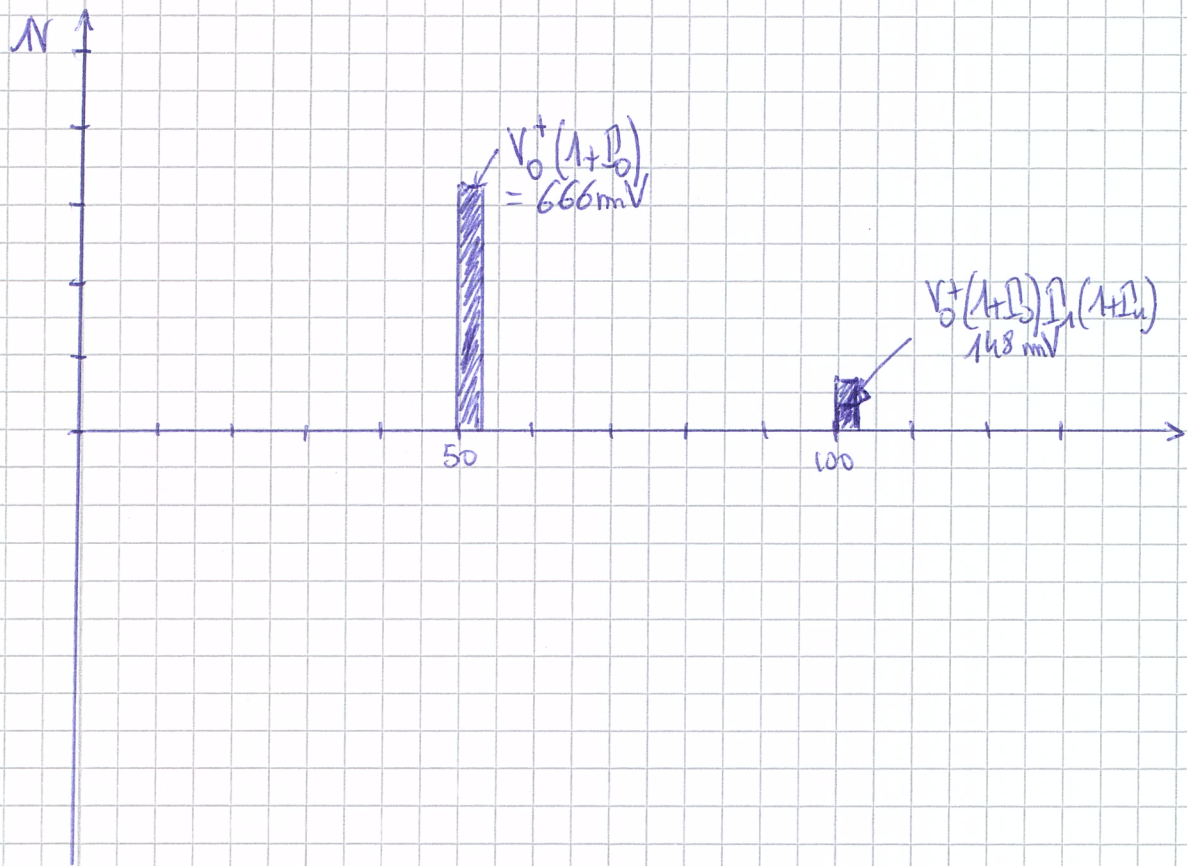


Spänningen i B:

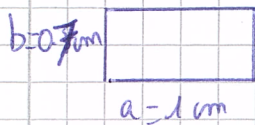




Spänningen i C: i branchen med  $Z_0$ , Shax efter kopplingen



### Problem 3:



En mod kan finnas vid  $f = 21 \text{ GHz}$  bara om  
 $f > f_c$  (brytfrekvens)

Rektangulär vägledare, därför TE och TM moders har samma  $f_c$

$$f_c = \frac{c_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

$$f_c(\text{TE}_{10}) = 5 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{01}) = 7,146 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{20}, \text{TM}_{20}) = 14,28 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{20}, \text{TM}_{20}) = 10 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{11}, \text{TM}_{11}) = 8,71 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{12}, \text{TM}_{12}) = 15,13 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{21}, \text{TM}_{21}) = 12,28 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{22}, \text{TM}_{22}) = 17,43 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{30}, \text{TM}_{30}) = 15 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{31}, \text{TM}_{31}) = 16,61 \text{ GHz}$$

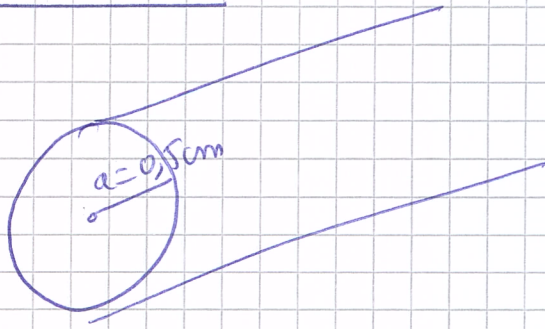
$$f_c(\text{TE}_{32}, \text{TM}_{32}) = 20,71 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TE}_{40}, \text{TM}_{40}) = 20 \text{ GHz}$$

alla moders kan  
utbreda sig vid 21 GHz



## Problem 4:



$f = 14 \text{ GHz}$ : vilken mod kan det vara?

$$f_c(\text{TE}_{11}) = \frac{P_{11} c_0}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} = 12,19 \text{ GHz}$$

$$f_c(\text{TM}_{01}) = \frac{P_{01} c_0}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} = 15,92 \text{ GHz}$$

vågen utbreder sig enligt  $\text{TE}_{11}$  moden.

vilken är den "guidade våglängden"?

$$\beta = \sqrt{k^2 - \left(\frac{P_{11}}{a}\right)^2} = \sqrt{(422,9)^2 - \left(\frac{1,841}{0,005}\right)^2} = 208 \text{ mm}^{-1}$$

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta} = 30 \text{ mm}$$

avståndet som krävs för att faset ska ändras med  $90^\circ$

$$\bar{a} = \frac{\lambda_g}{4} = 7,5 \text{ mm}$$

## Problem 5:

Ra den tvärsnitt:

$$\sigma \cdot S_{in} = 4\pi R_2^2 S_R$$

$$S_{in} = \frac{P_T}{4\pi R_1^2} G_{DT} \quad : \text{ in-effektflödet vid objektet som skickas från sändaren}$$

$$S_R = \frac{P_L}{A_{eR}} = \frac{P_L}{\frac{\lambda^2}{4\pi} G_{DR}} \quad : \text{ in-effektflödet vid mottagaren.}$$

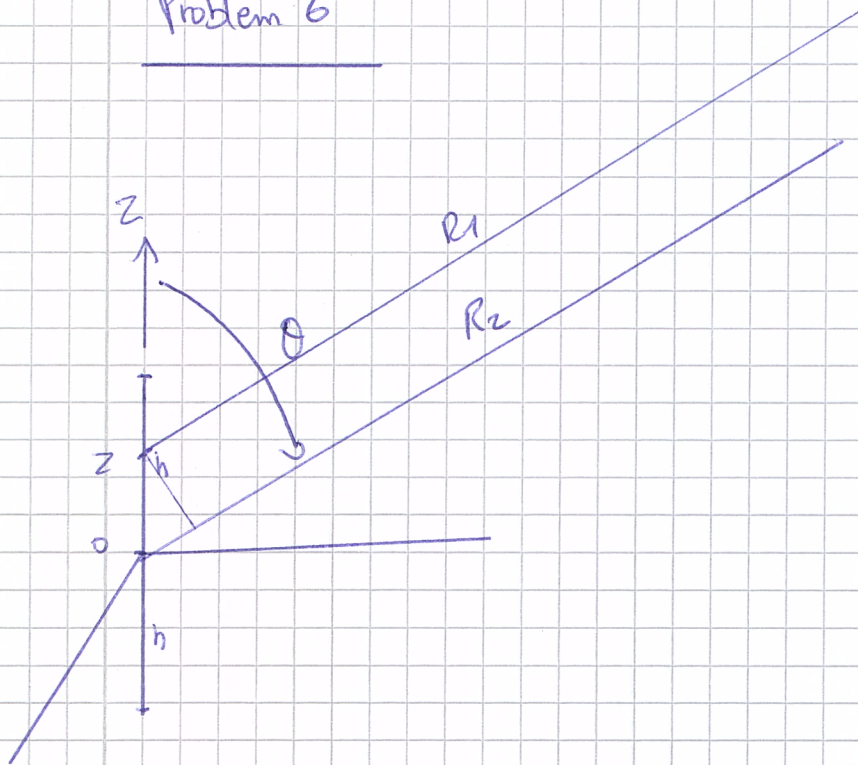
$$\Rightarrow \sigma \cdot \frac{P_T}{4\pi R_1^2} G_{DT} = 4\pi R_2^2 \cdot \frac{P_L}{\frac{\lambda^2}{4\pi} G_{DR}}$$

$$\frac{P_L}{P_T} = \frac{\sigma \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3} G_{DT} \cdot G_{DR} \cdot \frac{1}{R_1^2 \times R_2^2}$$

---



## Problem 6



- Spröllantennen kan ses som massa herkdipoler vid varandra.
- För avståndskillnaderna till observationen:  $R_1 = R_2$  för Amplitud.
- För att räkna på fas skillnaderna:  $R_1 = R_2 - z \cos \theta$

För en Hertz dipol

i fjärfältet:  $E_{\theta} = \mu_0 H_{\phi}$

$$= j \frac{I_0 dl}{4\pi R} \left( \frac{e^{-j\beta R}}{R} \right) \beta \sin \theta \mu_0$$

→ integration för hela antennen:

$$\begin{aligned} E_{\theta} &= j \frac{I_0 \mu_0 \beta \sin \theta}{4\pi R} e^{-j\beta R} \int_{-h}^h \left(1 - \frac{|z|}{h}\right) e^{j\beta z \cos \theta} dz \\ &= j \frac{I_0 \mu_0 \beta \sin \theta}{2\pi R} e^{-j\beta R} \int_0^h \left(1 - \frac{z}{h}\right) \cos(\beta z \cos \theta) dz \\ &= \frac{j60}{\beta h} \frac{I_0}{R} e^{-j\beta R} \times \frac{\sin \theta (1 - \cos(\beta h \cos \theta))}{\cos^2 \theta} \end{aligned}$$

$$H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{n}$$

7a)

Normera last- och inimpedans

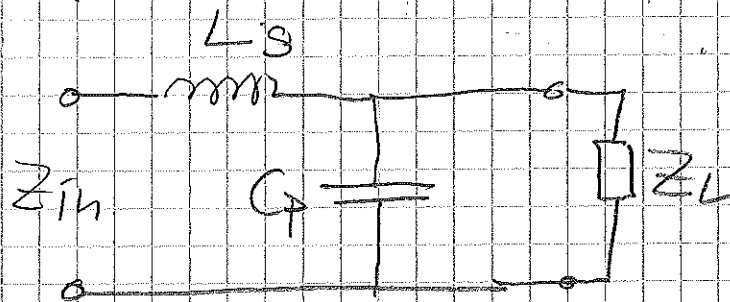
$$z_L = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{25 + j50}{100} = 0.25 + j0.5$$

$$z_{in} = \frac{Z_{in}}{Z_0} = \frac{60 + j180}{100} = 0.6 + j1.8$$

Markera  $z_L$  &  $z_{in}$  i Smith diagrammet

Vi ska nu förflytta oss från  $z_L$  till  $z_{in}$  genom att lägga till en förlustfri komponent i serie (= förflyttning längs konstant resistanscirkel) och en förlustfri komponent parallellt (= förflyttning längs konstant konduktanscirkel).

Vi kan börja med att lägga till en kondensator parallellt, följt av en spole i serie.



Parallellkondensatorns normerade susceptans  $b_p$  ska ta oss från  $y_L$  till  $y_1$  längs den konstanta konduktans-cirkeln  $g = 0,8$ . 2 (4)

$$y_L + j b_p = y_1$$

$$(0,8 - j1,6) + j b_p = 0,8 - j0,83$$

$$\Rightarrow b_p = 0,77$$

$$\text{Bestäm } C_p = b_p Y_0 = \omega C_p$$

$$\Rightarrow C_p = \frac{b_p}{Z_0 2\pi f} = \frac{0,77}{100 \cdot 2\pi \cdot 3 \cdot 10^9} = \underline{\underline{0,41 \text{ pF}}}$$

Seriespolens normerade reaktans  $x_s$  ska ta oss från  $z_1$  till  $z_{in}$  längs  $r = 0,6$ .

$$z_1 + j x_s = z_{in}$$

$$(0,6 + j0,625) + j x_s = 0,6 + j1,8$$

$$\Rightarrow x_s = 1,8 - 0,625 = 1,175$$

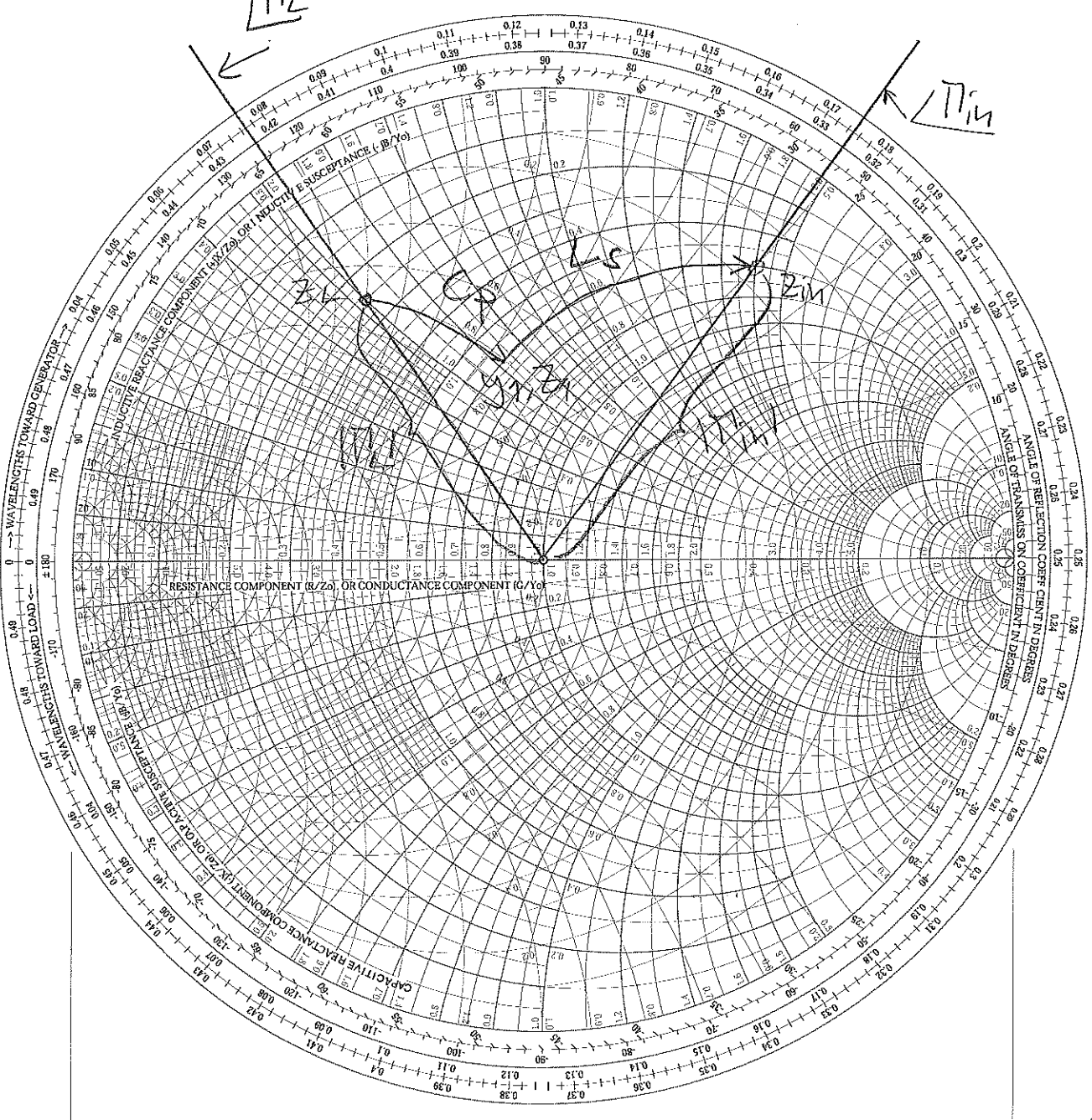
$$\text{Bestäm } L_s = x_s \cdot Z_0 = \omega \cdot L_s$$

$$\Rightarrow L_s = \frac{x_s \cdot Z_0}{2\pi f} = \frac{1,175 \cdot 100}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^9} = \underline{\underline{6,2 \text{ nH}}}$$

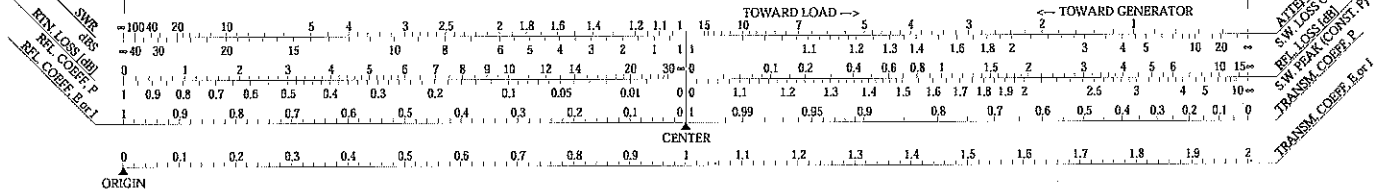
(Det går även att börja med en spole i serie följt av en parallellkondensator.)

|                          |   |          |
|--------------------------|---|----------|
| 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



RETURN LOSS (dB)  
 SWR LOSS COEFF  
 SWR LOSS COEFF  
 TRANSM. COEFF. P  
 TRANSM. COEFF. P



7b) Ur Smithdiagrammet avläser vi belopp och fas för  $\Gamma_L$  och  $\Gamma_{in}$ .

$$\Gamma_L = \frac{49.5}{74} \angle 125^\circ = \underline{\underline{0.67 \angle 125^\circ}}$$

$$\Gamma_{in} = \frac{57}{74} \angle 54^\circ = \underline{\underline{0.77 \angle 54^\circ}}$$