HFT 58, Tentamen i högfrekvensteknik, EEM021
Längd: 4 timme.

Tillåtna hjälpmedel:	Beta, Physics Handbook, valfri kalkylator, formelsamling i Elektromagnetisk fältteori av Eva Palmgren, egna anteckningar i formelsamlingen och på ett ensidigt A4 blad (dock inte lösningar till uppgifter)
Frågor uppg 1-6	Sascha Krause, tel ankn. 1851
Frågor uppg 7	Hand Hjelmgren, tel ankn. 0705201346
Resultatet	Anslås på kursens 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!

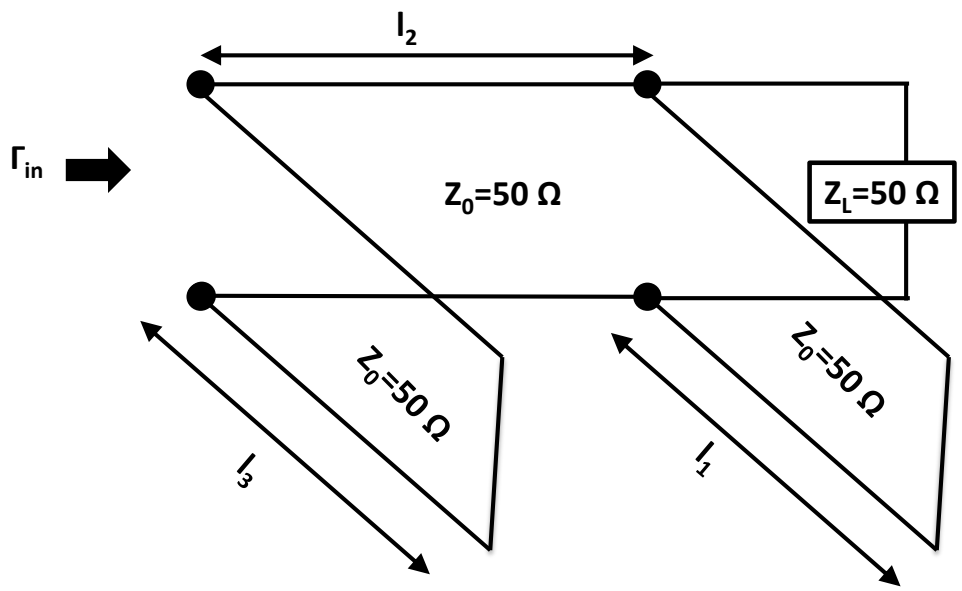
Duggadelen

Poängen på uppgift 1 kan ersättas med resultatet på första uppgiften på duggan.
Poängen på uppgift 2 kan ersättas med resultatet på andra uppgiften på duggan.
Poängen på uppgift 7 kan ersättas med resultatet på tredje uppgiften på duggan.

Transmissionsledning

<u>Uppgift 1 (10p):</u>

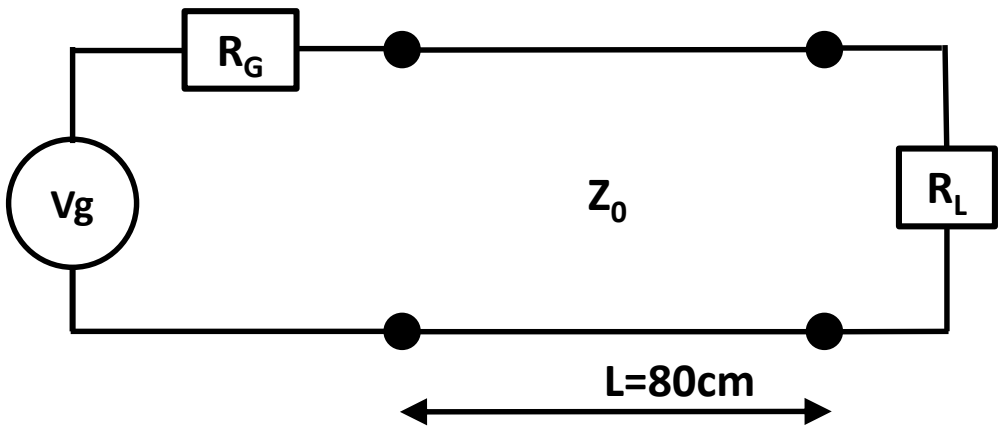
In-impedansen för nedanstående krets motsvarar en reflektionsfaktor (Γ_{in}) på $0.48e^{j72°}$.



Beräkna, endast med hjälp av Smithdiagrammet, längderna på transmissionsledningen samt de två kortslutna stubbarna.

Uppgift 2 (7p):

En 80 centimeter förlustfri transmissionsledning med karakteristisk impedans Z_0=50Ω med våghastighet 20 cm/ns ansluter en last (R_L= 25 Ω) till en 1ns-pulsgenerator med intern resistans R_G=100 Ω. Generatorn slås på vid t=0 och genererar en spänning med amplitud 9V.



a) Rita spänningen på linjen för t = 8.5 ns

b) Rita strömmen på linjen för t=10,5 ns.

Vågledare:

Uppgift 3 (7p):

En luftfylld rektangulär vågledare med tvärsnitt a=2.86cm x b=1.016cm ska anslutas till en cirkulär vågledare med radien r . Brytfrekvensen för dominanta moden i cirkulära vågledaren är 1.2 gånger större än brytfrekvensen för rektangulära vågledaren.

a) Beräkna radien för den cirkulära vågledaren.
b) ***För vilket frekvensområde kommer en signal att överföras från en vågledare till den andra och endast använda de dominanta moderna.***

Uppgift 4 (10p):

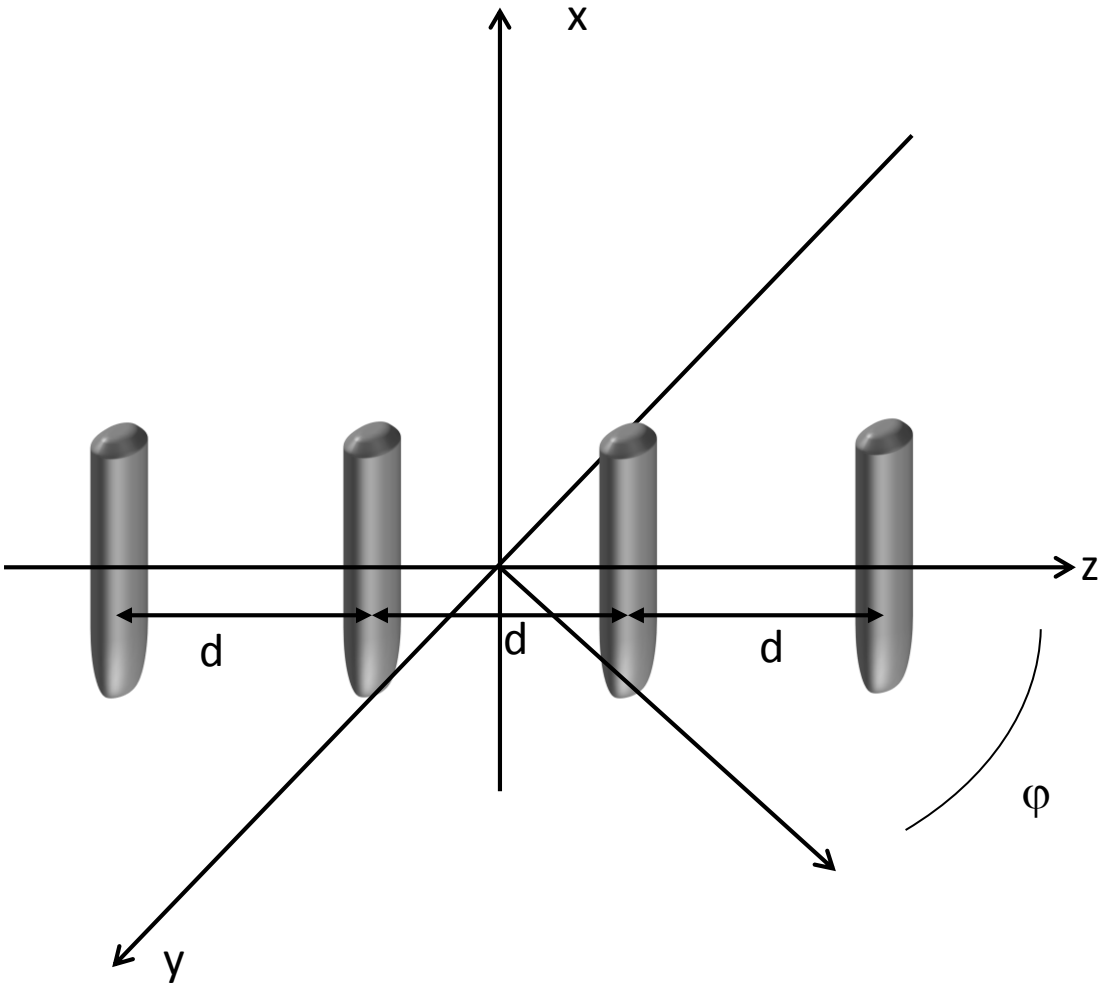
En luftfylld rektangulär vågledare med tvärsnitt 5 cm x 2 cm bär en signal vid 4 GHz enligt TE_{10} moden.

a) Beräkna grupphastigheten för signalen
b) Beräkna den "guidade" våglängden.
c) Beräkna dämpningskonstanten (α) för en signal som har frekvensen 0,95*brytfrekvensen (motivera era antagande).

Antenner:

<u>Uppgift 5 (10p):</u>

En linjär gruppantenn består av 4 halvdipol antenner, linjerad längs z-axeln enligt figuren nedan. Avståndet mellan antennerna är d=λ/2.



a) Beräkna faskillnaden mellan två konsekutiva antenner för att gruppantennen skall vara en broadside gruppantenn?

b) I vilken riktning strålar gruppantennen ingen signal?

<u>Uppgift 6 (6p):</u>

Sascha är trött på bilar som kör för fort framför hans hus. Han vill skriva en app till sin smartphone, som omvandlar den till en fartkamera som tar kort på bilarna som kör fört fort; dvs snabbare än 70 km/timme. Han letar efter specifikationer för sin telefon och ser att den använder sig av 4G-teknik (2,6 GHz) och kan stråla ca 0,5 W och har ett brusgolv på ungefär 1μW.
För att vara säker på att mätningarna är noggranna, vill Sascha ha minst 10 dB signal-till-brus förhållande för sin mätning.

Saschas smartphone behöver 1 sekund för att fokusera på objekt i rörelse och ta kort. Ska han investera tid i att skriva sin app? (motivera era svar).

mikrovågsteknik:

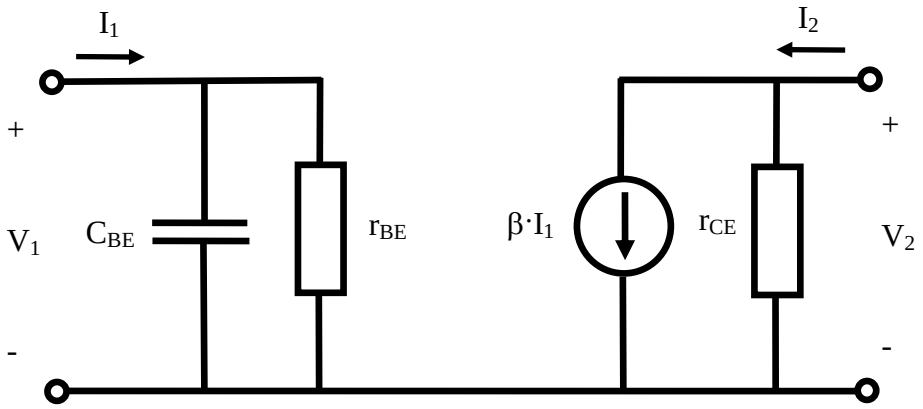
Uppgift 7 (10p):

Ett ekvivalent småsignal-schema för en bipolär transistor, tillsammans med definitionen för hybrid-parametrar, visas nedan. I arbetspunkten V_{CE}=2 V och I_C=5 mA mätte man nedanstående *h*-parametrar för 4 GHz.

a) (8p) Bestäm strömförstärkningen β och de interna resistanserna r_{BE} och r_{CE}.

b) (2p) Är transistorn unilateral? Motivera.

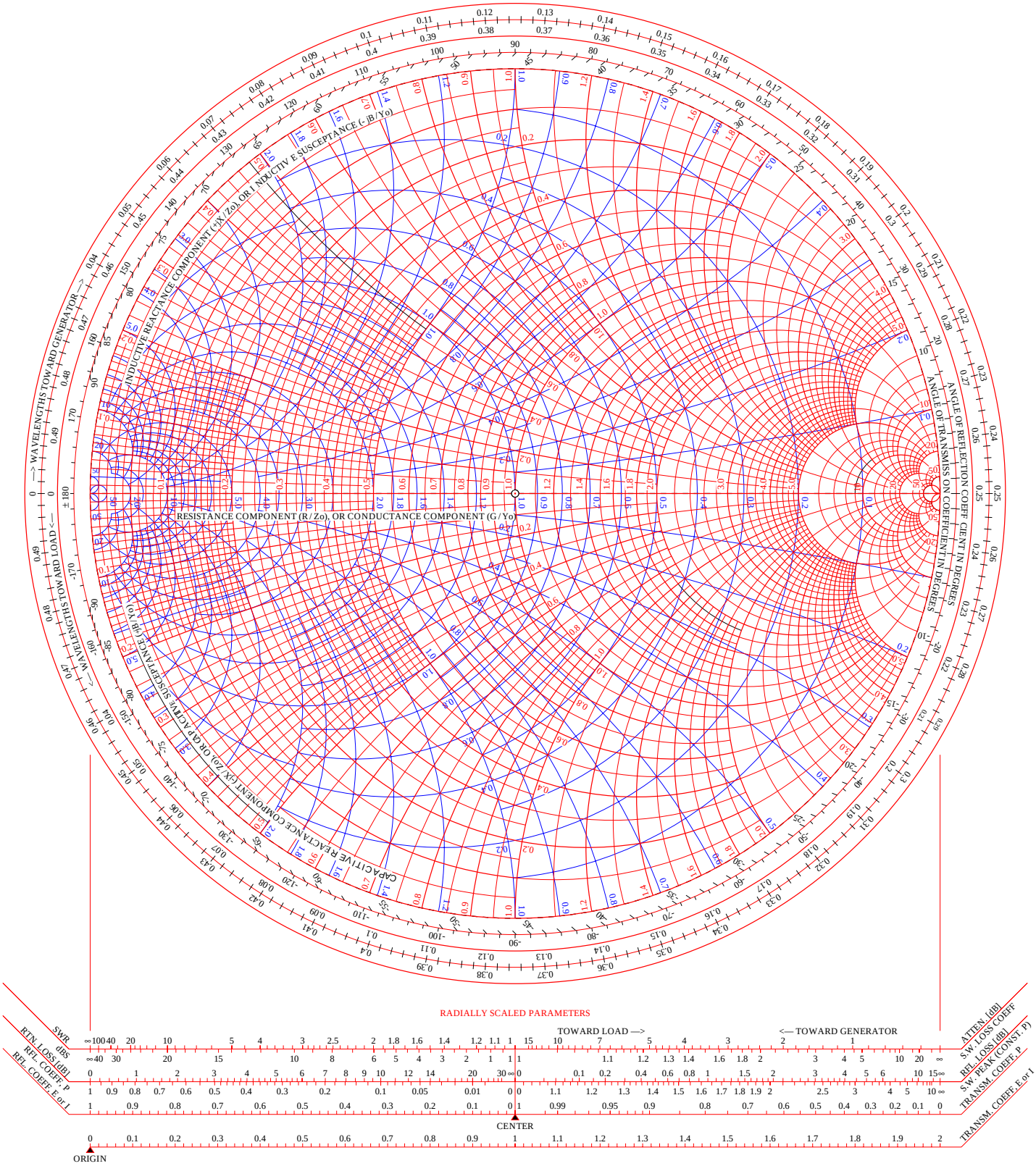
f (GHz)	h_{11} (Ω)	h_{12}	h_{21}	h_{22} (S)
4,0	16,0-j8,0	<0,0001	12,0	0,0020



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

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:

Stubbarna lägger till endast en reaktiv bidrag till admittanserna (parallel koppling)

1. picka z_L : punkt A.

2. konstatera att efter stubben (B) är man på en konstant-konduktans-cirkel

3. picka i Γ_{in}

4. konstatera att efter stubben (C) måste man vara på den konstant-konduktans cirkel som passerar på Γ_{in}

5. för att gå från B till C rör man sig längst en konstant Γ cirkel.

det finns oändligt många kombinationer för l_3, l_2, l_1 som fungerar.

- välj B var som helst på den gröna cirkel
  t.ex: $\bar{Y}_B = 1 - 2j \rightarrow l_1 = 0{,}074\lambda$

- rörelse från B till C mot generatorn:

$$l_2 = 0{,}094\lambda - 0{,}062\lambda = 0{,}032\lambda$$

$$\bar{Y}_C = 0.5 - 1{,}3j$$

alltså stubben av längd L_3 ska bidra med

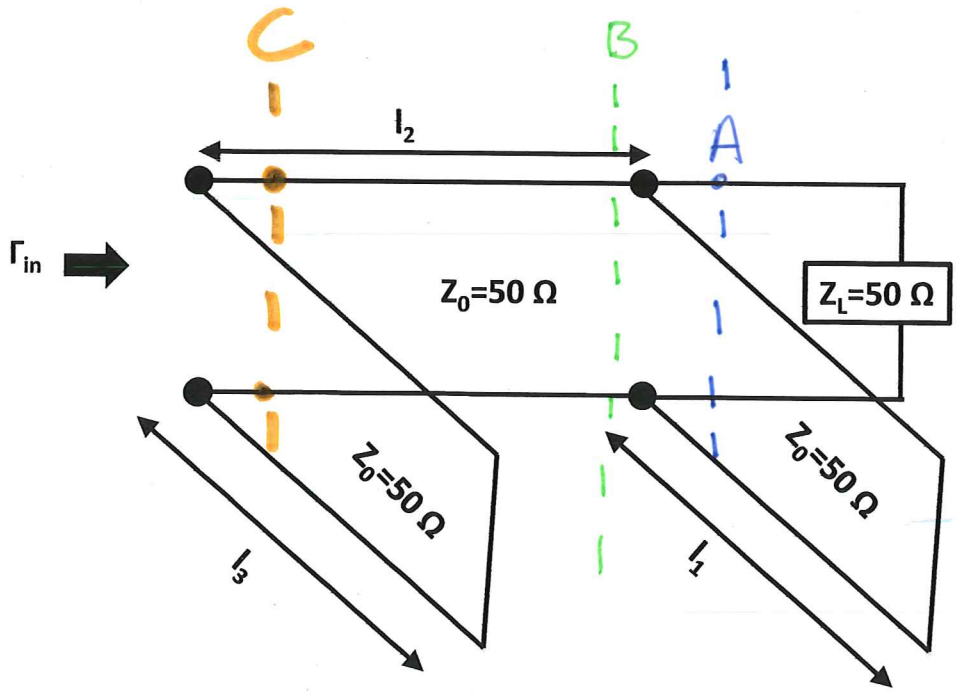
$$\bar{Y}_{in} = \bar{Y}_{STUB} + \bar{Y}_c$$

$$\bar{Y}_{STUB} = \bar{Y}_{in} - \bar{Y}_c$$

$$\bar{Y}_{STUB} \approx -j0.6 - (-1.3j)$$

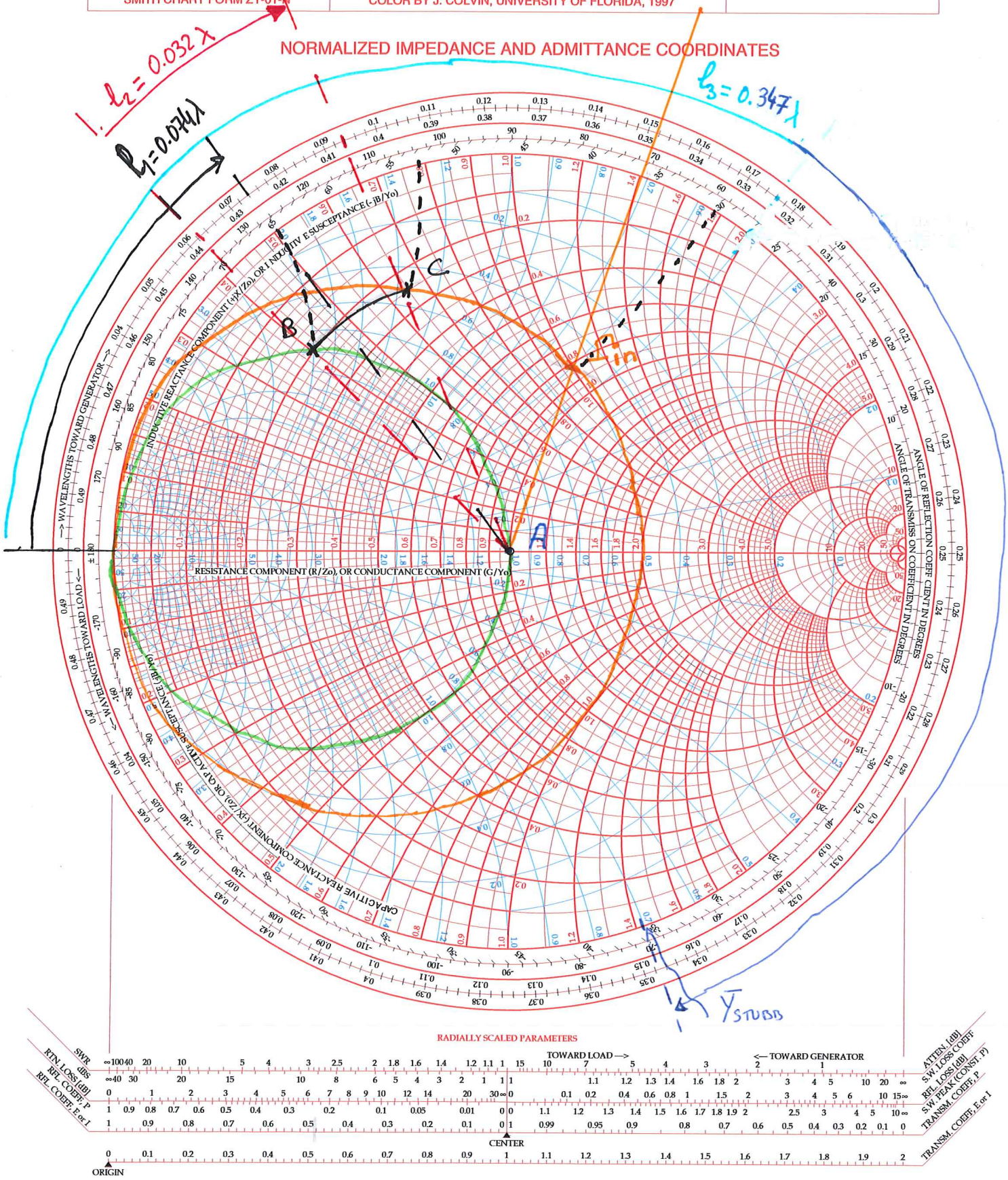
$$\bar{Y}_{STUB} = +0.7j$$

$$L_D \quad L_3 = 0,347\lambda$$



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

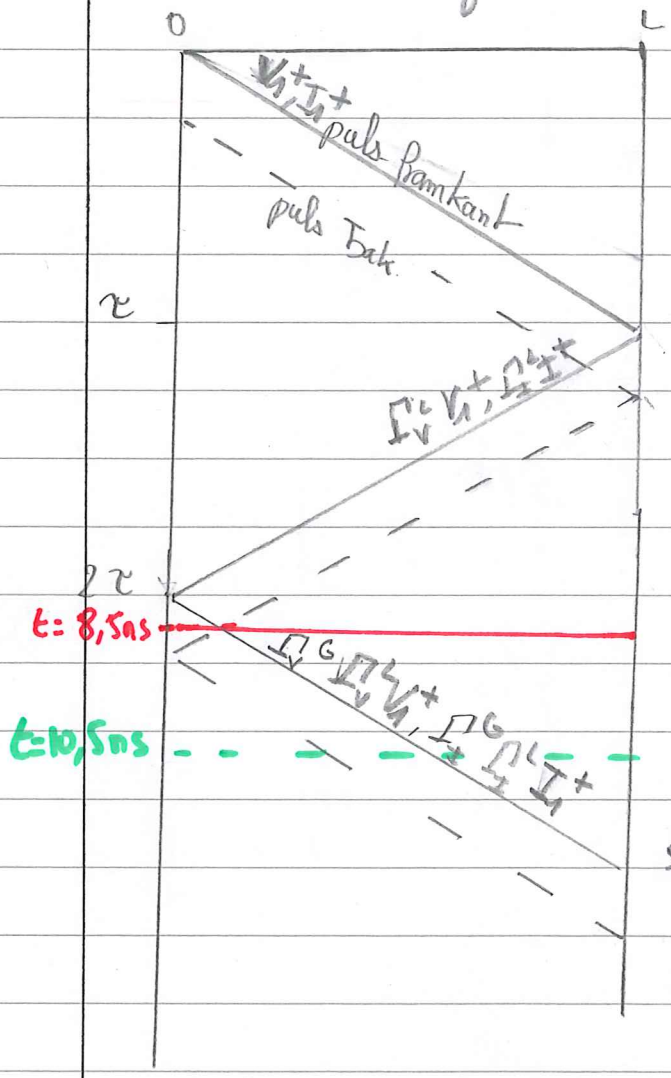
Uppgift 2:

$u = 20$ cm/ns → löptiden $\tau = 4$ ns

puslängd: 1 ns

Förlustfria ledningar + reella laster

↳ reflektionsdiagram.



för spänningar:

$$\Gamma_V^L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{25-50}{25+50} = -\frac{1}{3}$$

$$\Gamma_V^G = \frac{Z_G - Z_0}{Z_G + Z_0} = \frac{100-50}{100+50} = \frac{1}{3}$$

för strömmar:

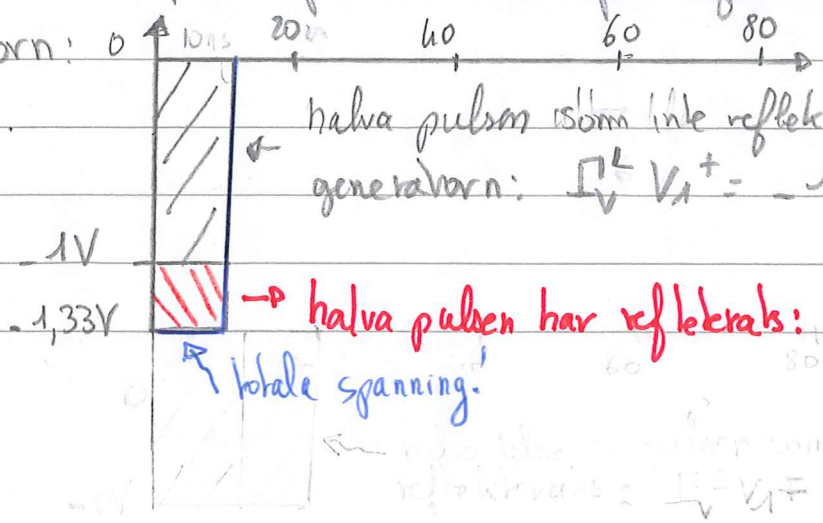
$$\Gamma_I^L = -\Gamma_V^L = \frac{1}{3}$$

$$\Gamma_I^G = -\Gamma_V^G = -\frac{1}{3}$$

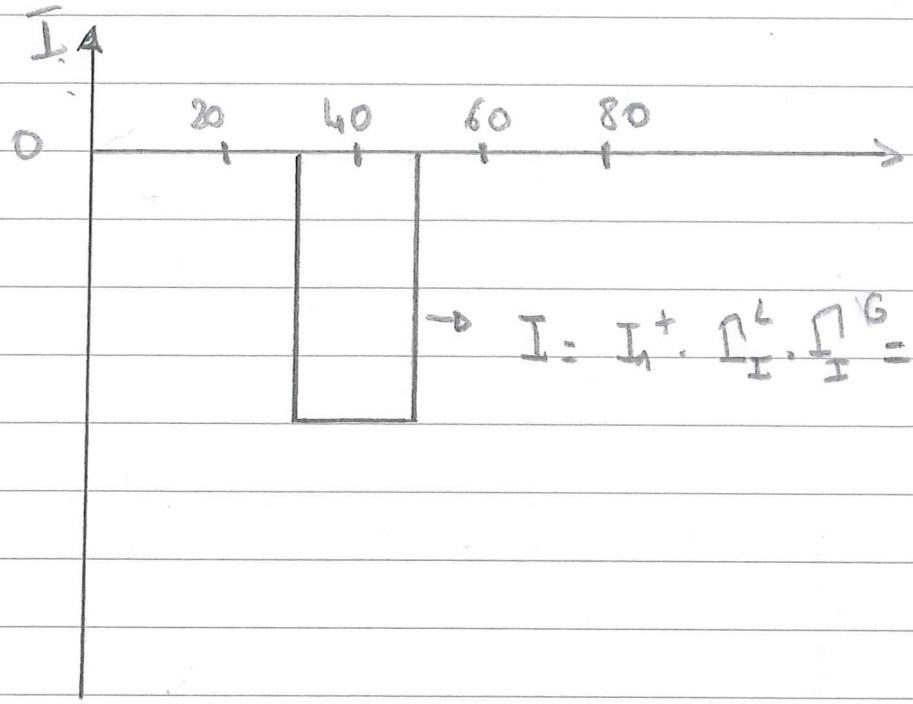
spänningsdelning vid ingången av linjen:

$$V_1^+ = \frac{V_0 \cdot Z_0}{Z_G + Z_0} = 3V \quad I_1^+ = \frac{V_0}{Z_G + Z_0} = 60mA$$

Vid t = 8,5 ns: halva pulsen håller på reflekteras vid generatorn:



vid $t = 10{,}5\,ns$, mitten av pulsen har nått halva avståndet mellan generator och last:



$\rightarrow I = I_1^+ \cdot \Gamma_I^L \cdot \Gamma_I^G = -6{,}6\,mA$

Uppgift 3.

- För en luftfyllda vågledare $a > b$ är brytfrekvens för TE_{10} moden (den dominanta):

$$F_{c_{TE_{10}}} = \frac{c}{2a} = 5,24 \text{ GHz}$$

$a > 2 \times b$ alltså är nästa mod TE_{20} i vågledaren:

$$F_{c_{TE_{20}}} = \frac{c}{a} = 10,48 \text{ GHz}$$

- För den cirkulära vågledaren den dominanta moden är TE_{11} och brytfrekvensen är

$$F_{c_{TE_{11}}} = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{x'_{11}}{r}$$

$$F_{c_{TE_{11}}} = 1.2 \times F_{c_{TE_{10}}} \Rightarrow \frac{1,2 \cdot \cancel{c}}{\cancel{2} \cdot a} = \frac{\cancel{c}\, x'_{11}}{\cancel{2} \cdot \pi\, r}$$

$$\Rightarrow r = \frac{x'_{11} \cdot a}{1,2\pi} = 1.4 \text{ cm}$$

För cirkulära vågledaren, nästa mod är TM_{01} med brytfrekvens: $F_{c_{TM_{01}}} = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{x_{01}}{r} = 8,2 \text{ GHz}$

- alltså mellan 6,29 GHz och 8,2 GHz kommer signalen att utbredda sig enligt de dominanta moder.

Uppgift 4

a) Gränsfrekvens för TE_{10} moden för vågledaren är:

$$F_{c_{TE_{10}}} = \frac{c}{2a} = 3 \text{ GHz}$$

Signalen utbredder sig vid 4 GHz alltså:

$$\beta = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2\cdot\pi\cdot f}{c}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} = 55 \text{ rad/m}$$

$$v_g = \frac{c^2}{v_f} = \frac{c^2\cdot\beta}{\omega} = c^2\cdot\sqrt{\frac{1}{c^2} - \left(\frac{\pi}{a\cdot 2\cdot\pi\cdot f}\right)^2}$$

$$v_g = 2\cdot 10^8 \text{ m/s}$$

b) $\lambda_g = \frac{2\cdot\pi}{\beta} = 11{,}34 \text{ cm}.$

c) antar: - vågar gjorda av perfekta ledare
- luft är en perfekt dielektrikum.

För $f < f_c$ har vi $\alpha = -j\beta$

$$\alpha = -j\sqrt{\frac{(2\cdot\pi\cdot 0{,}95\cdot f_c)^2}{c^2} - \frac{(2\cdot\pi\cdot f_c)^2}{c^2}}$$

$$\alpha = -j\,\frac{2\pi\cdot f_c}{c}\sqrt{0{,}95^2 - 1} = 19{,}6 \text{ Np/m}$$

Uppgift 5

linjär antenn alltså gruppfaktorn: $|A| = \frac{1}{4} \left| \frac{\sin\left(\frac{4\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right|$

$\psi = \xi + \beta d . \underbrace{\sin\theta}_{=1 \text{ i x-z planen}} . \cos\varphi$

fasskillnad mellan strömmarna i antennen.

$\psi = \xi + \frac{2\pi}{\lambda} . \frac{\lambda}{2} . \cos\varphi = \xi + \pi \cos\varphi$

broadside antenn: max strålning i y-riktningen. dvs för $\varphi = \frac{\pi}{2}$. då är $\psi = \xi$

Gruppfaktorn A är maximal för $\psi = 0$ alltså för att få en broadside gruppantenn måste alla individuella antenner mata i fas.

Vi får ingen strålning riktningar där $|A'|$ blir 0. dvs $\sin 2\psi = 0$ samt $\sin\frac{\psi}{2} \neq 0$

$\sin 2\psi = 0 \iff \psi = 0 + k\frac{\pi}{2} \quad k \in \mathbb{Z}$

$\iff \pi . \cos\varphi = k\frac{\pi}{2} \quad k \in \mathbb{Z}$

$\iff \cos\varphi = k . \frac{1}{2} \quad k \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$

k	$\cos\varphi$	φ	ψ	$\sin 2\psi$	$\sin\frac{\psi}{2}$	$\lvert A\rvert$	stability
-2	-1	π	$-\pi$	0	1	0	✓
-1	$-\frac{1}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{\pi}{2}$	0	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	0	✓
-1	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{\pi}{2}$	0	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	0	✓
0	0	$\frac{\pi}{2}$	0	0	0	$\neq 0$	
0	0	$-\frac{\pi}{2}$	0	0	0	$\neq 0$	
1	$\frac{1}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0	✓
1	$\frac{1}{2}$	$-\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0	✓
2	1	0	π	0	1	0	✓

Uppgift 6

använd radar ekvation och anta inga förlust

$P_{UT} = 0,5W$
$P_{IN} = 10 \times 10^{-6} = 10^{-5} W$ (10dB SNR)
$\lambda = \frac{c}{f} = 0,115 m$

Riktförstärkning på en mobil: ~ 2
Radartvärsnitt av bilen: ungefär den fysiska storlek: $4m^2$

$$\Rightarrow R = \sqrt[4]{\frac{P_{UT}}{P_{IN}} \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3}}$$

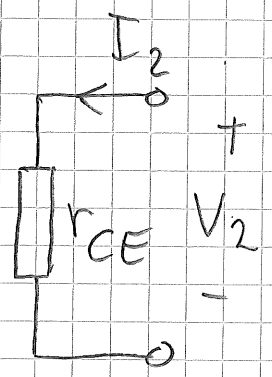
alltså måste bilen vara 3 m från telefonen för att Sascha ska kunna mäta dess hastighet.
vid 70 km/h kan det bilen 0,15 s för att passera telefonen och Sascha kommer inte att kunna ta bild på den fortkörande bilen.

a)

$$h_{11} = \frac{V_1}{I_1}\Big|_{V_2=0} \qquad h_{12} = \frac{V_1}{V_2}\Big|_{I_1=0}$$

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}\Big|_{V_2=0} \qquad h_{22} = \frac{I_2}{V_2}\Big|_{I_1=0}$$

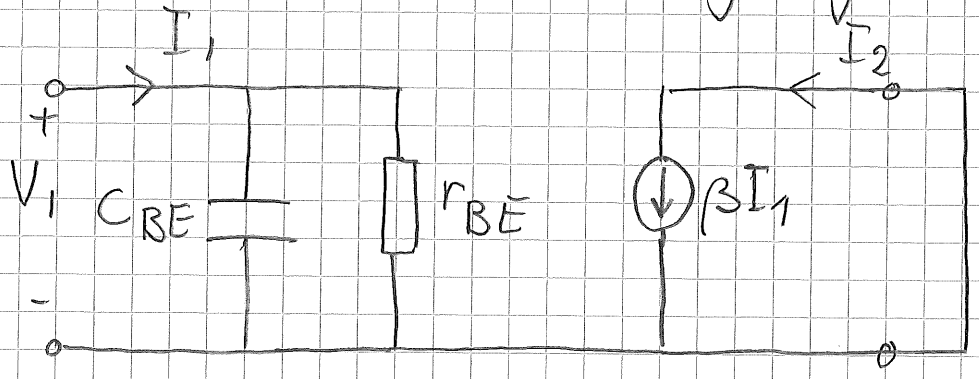
$\underline{I_1 = 0} \Rightarrow V_1 = 0 \Rightarrow h_{12} = 0$



$$h_{22} = \frac{I_2}{V_2} = \frac{1}{r_{CE}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{r_{CE}}} = \frac{1}{h_{22}} = \frac{1}{0{,}002} = \underline{\underline{500\ \Omega}}$$

$\underline{V_2 = 0}$: kortslut utgången



$I_2 = \beta I_1$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\beta}} = \frac{I_2}{I_1} = h_{21} = \underline{\underline{12,0}}$$

På ingången

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = h_{11} = 16 - j8$$

$$Y_{in} = \frac{1}{Z_{in}} = \frac{1}{16 - j8} = 0,05 + j0,025$$

$$= \frac{1}{r_{BE}} + j\omega C$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{r_{BE}}} = \frac{1}{0,05} = \underline{\underline{20\,\Omega}}$$

Det ingår inte i uppgiften, men vi kan också bestämma C ur ovan.

$$j\omega C = j0,025$$

$$C = \frac{0,025}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^9} = 1.0\,pF$$

b) Eftersom h_{12} är väldigt liten kan vi anta att transistorn är unilateral, vilket vi också har gjort i det ekvivalenta schemat.