

HFT 40, Tentamen i högfrekvensteknik, kurskod EEM021 2011-04-29, 08:30 i "M-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 uppg 1-6	Vincent Desmaris, tel 070-732 87 12
Frågor uppg 7	Hans Hjelmgren, tel 070-520 13 46
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

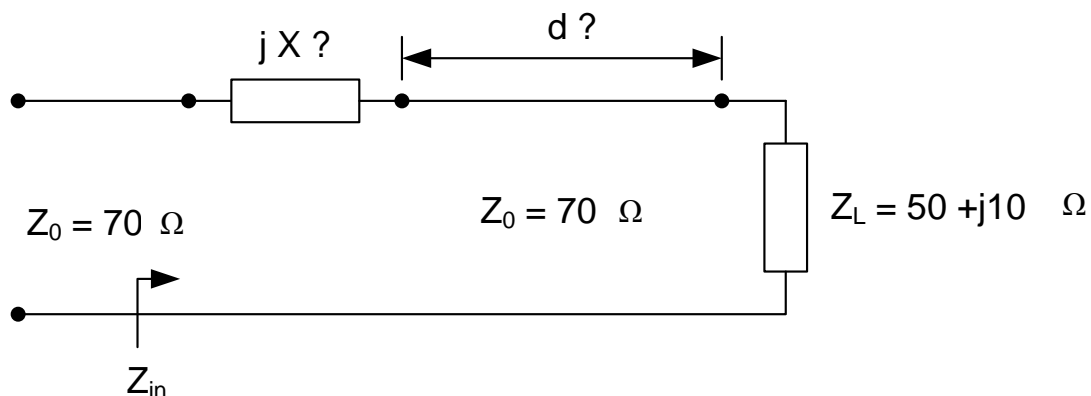
Poängen på uppgift 1 kan ersättas med resultatet på första uppgiften på duggan.
Poängen på uppgift 3 kan ersättas med resultatet på andra uppgiften på duggan.

Transmissionsledningar:

Problem 1. 10p. (D)

En transmissionsledning med karakteristisk impedans 70Ω , är terminerad med följande lastimpedans of $50 + j 10 \text{ Ohm}$.

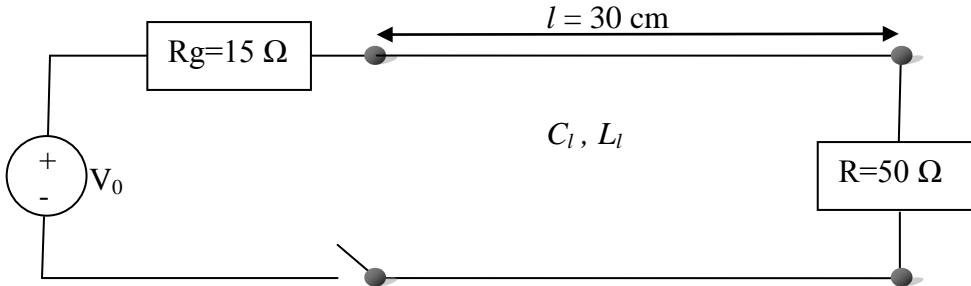
- **Beräkna vilka kombinationer av längder d av en extra transmissionsledning och reaktans X , som leder till en perfekt anpassning mellan transmissionsledningen och lasten (d.v.s. $Z_{in}=Z_0$).**



Problem 2. 6p.

Vid tiden $t = 0$ kopplas en likspänningskälla $V_0 = 3.6 \text{ V}$ via en resistans $R_g = 15 \text{ } \Omega$ och en förlustfri transmissionsledning till en resistans $R=50 \text{ } \Omega$. Transmissionsledningen har följande ledningsparametrar:

induktans per längdenhet $L_1 = 4.5 \text{ nH/cm}$, kapacitans per längdenhet $C_1 = 0.8 \text{ pF/cm}$, resistans per längdenhet $R_1 = 0 \text{ } \Omega$ och konduktans per längdenhet $G_1 = 0$. Transmissionsledningens längd är $l = 30 \text{ cm}$. Skissa spänningen över lasten för $0 < t < 10 \text{ ns}$ och ange dess värde i stationärtillstånd!

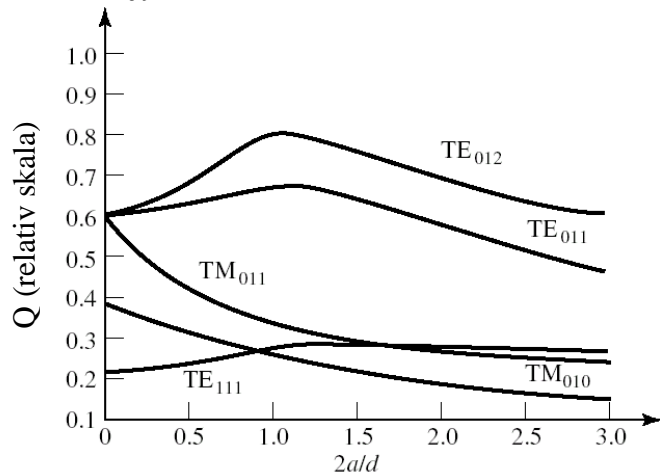
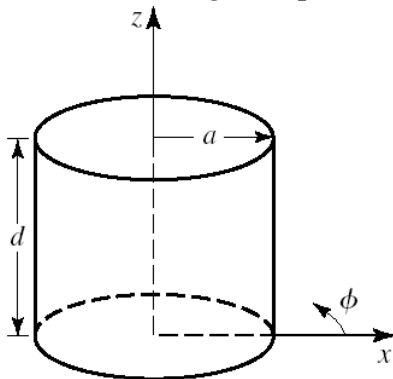


Våglödare:

Problem 3. 10p. (D)

En okänd material fyller en cylindrisk resonanskavitet, som har väggarna gjorda av koppar ($\sigma = 5.819 \text{E}+7 \text{ S/m}$). Kavitetens radius och längd är $a=2 \text{ cm}$ resp. $d=2a$. Det högsta kvalitetsfaktor som mätts är $Q=950$ för en resonans vid 6 GHz .

Beräkna de dielektriska egenskaper av materialet som fyller kaviteten.



Hint : Kvalitetsfaktorn för en kavitet fylld med en förlustfri dielektrisk material som resonerar enligt TE_{011} moden är:

$$Q = \frac{(ka)^3 \eta ad}{4(\rho_{01})^2 R_s} \left(\frac{1}{\frac{ad}{2} + \left(\frac{\beta a^2}{\rho_{01}}\right)^2} \right) \text{ där } R_s \text{ är ytresistansen av de metalliska väggar, } \eta \text{ är vågimpedansen}$$

och β är faskonstanten i z-riktigen

Problem 4. 7p.

Förlustkoefficienten per längdenhet för en luftfylld cirkulär vågledare som fungerar i TM_{11} moden kan uttryckas som:

$$\alpha_c = \frac{R_s}{aZ_0} \left(1 - \frac{p_{11}^2}{ak^2} \right)^{-1/2} \quad \text{där } R_s \text{ är ytresistansen av de metalliska väggar, } \eta \text{ är vågimpedansen och}$$

β är faskonstanten i z-riktigen, k_c är brytvågtalet för den TM moden.

a. Beräkna frekvensen f som en funktion av brytfrekvensen f_c för att erhålla lägsta möjliga dämpning/förlust för den TM_{11} moden i en cylindrisk vågledare (Ta hänsyn till endast metalliska förluster):

b. Är TM_{11} den dominanta TM moden i en sådan vågledare?

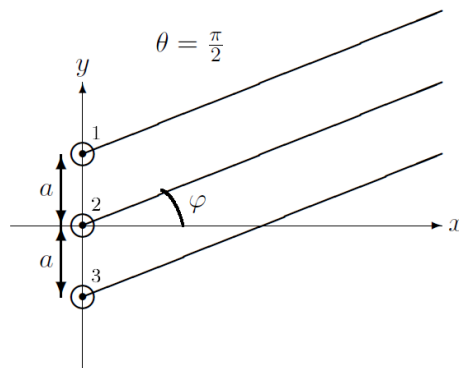
Antenner

Problem 5. 8p.

En radar som fungerar vid 12 GHz har en 1kW sändare och en mottagare som kräver minst 0.6 pW som in-effekt. Sändaren och mottagaren delar på samma antenn. Antennen är rektangulärt med höjden=0.2*bredden= och ej verkningsgrad av 70%.

Beräkna måtten för antennen, för att systemet skall kunna detektera en objekt med radartvårsnitt $8m^2$ vid 10 km avstånd.

Problem 6. 9p.



En gruppantenn strax utanför Murmansk sänder känslig information om Sveriges utrikespolitik till ryska militärbaser. Det är av högsta vikt att dessa sändningar inte snappas upp av svensk underättelsetjänst. Antennen är konfigurerad på följande vis: Tre \hat{z} -riktade, korta ($l \ll \lambda$) dipolantennor är placerade i punkterna $(0, a, 0)$, $(0, 0, 0)$ och $(0, -a, 0)$ längs y -axeln, där $a = \frac{\lambda}{2}$, och de individuella antennströmmarna ges av

$$\begin{cases} i_1(t) = I_0 \cos(\omega t - \xi) \\ i_2(t) = 2I_0 \cos(\omega t) \\ i_3(t) = I_0 \cos(\omega t + \xi) \end{cases}$$

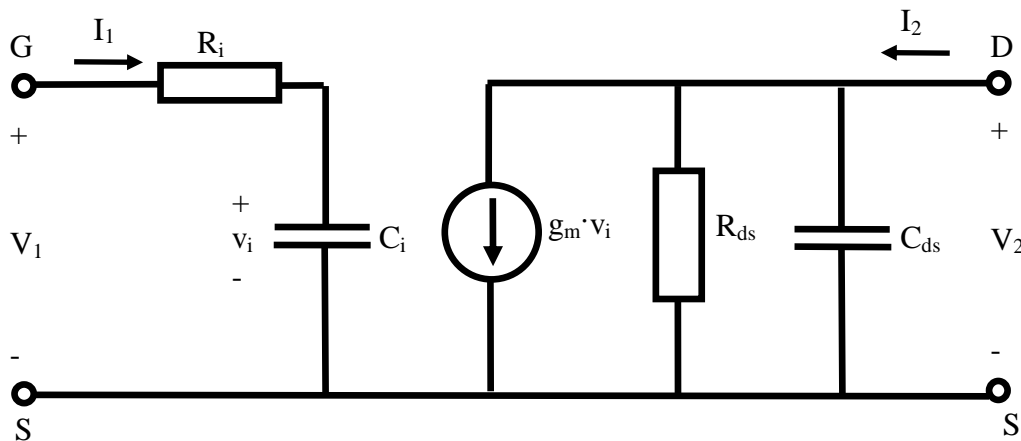
Designa antennen (välj fasskiftet ξ) så att minsta möjliga effekt propagerar till Stockholm (som ligger vid $\theta = \frac{5\pi}{4}$)! Motivera ditt val genom att plotta strålningsdiagrammet för detta ξ ! Eftersom antennerna är korta kan man anta att deras individuella EM-fält beskrivs väl av Hertzdipolformlerna med $l_e = \frac{l}{2}$.

Mikrovågselektronik

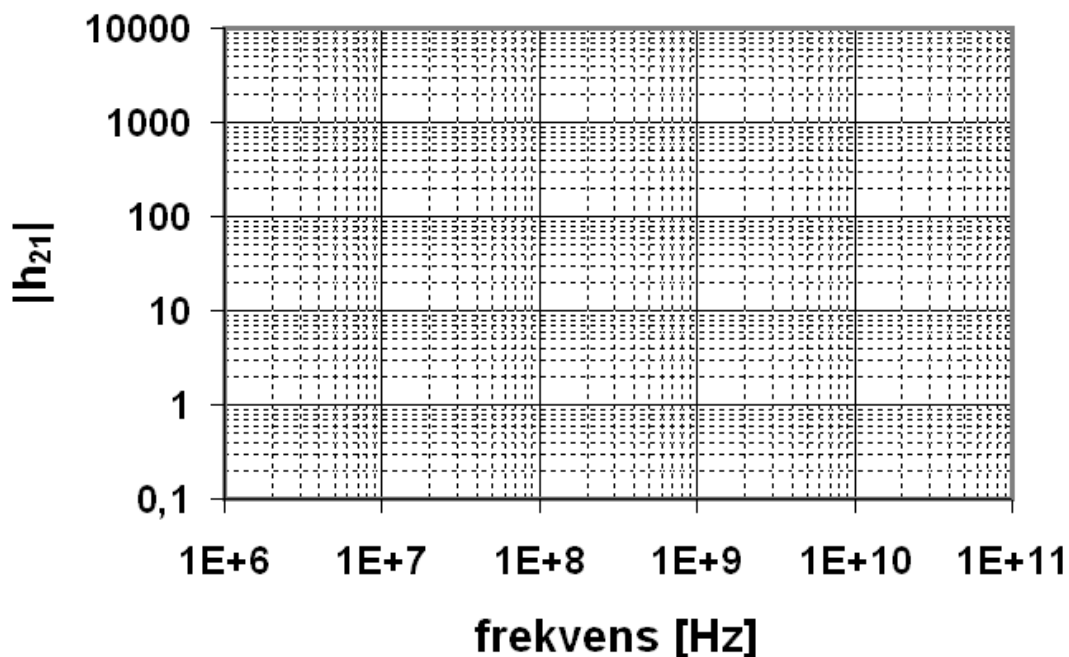
Problem 7. 10p.

En förenklad högfrequensmodell för en GaAs HEMT med common-source visas nedan, tillsammans med definitionen av hybrid-parametrar för en tvåport.

- (4p) Bestäm uttryck för hybridparametrarna (h_{11} , h_{12} , h_{21} och h_{22}). Är transistoren unilateral? Motivera.
- (4p) Plotta strömförstärkningen $|h_{21}|$ i nedanstående log-log diagram för $g_m=120 \text{ mS}$, $R_i=12.5 \Omega$, $C_i=3.2 \text{ pF}$, $R_{ds}=64 \Omega$ och $C_{ds}=0.6 \text{ pF}$. Bestäm gränshfrekvensen f_T (unity current gain). Bifoga diagrammet till din lösning.
- (2p) Varför använder man ofta GaAs- i stället för kisel-transistorer för mikrovågor?



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

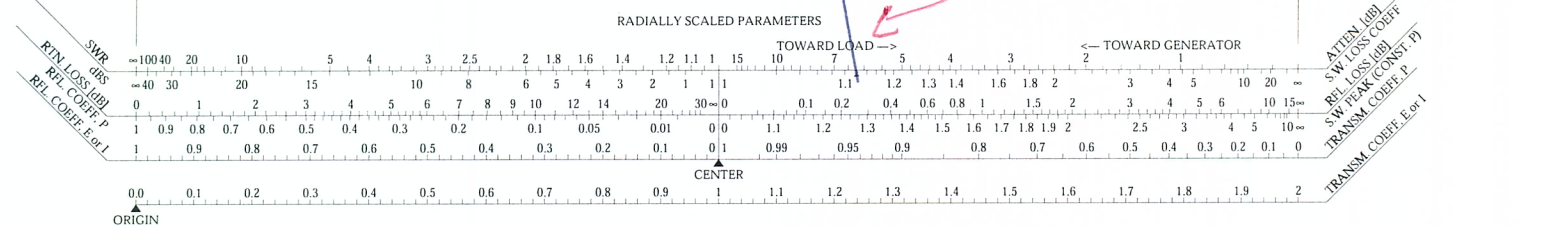
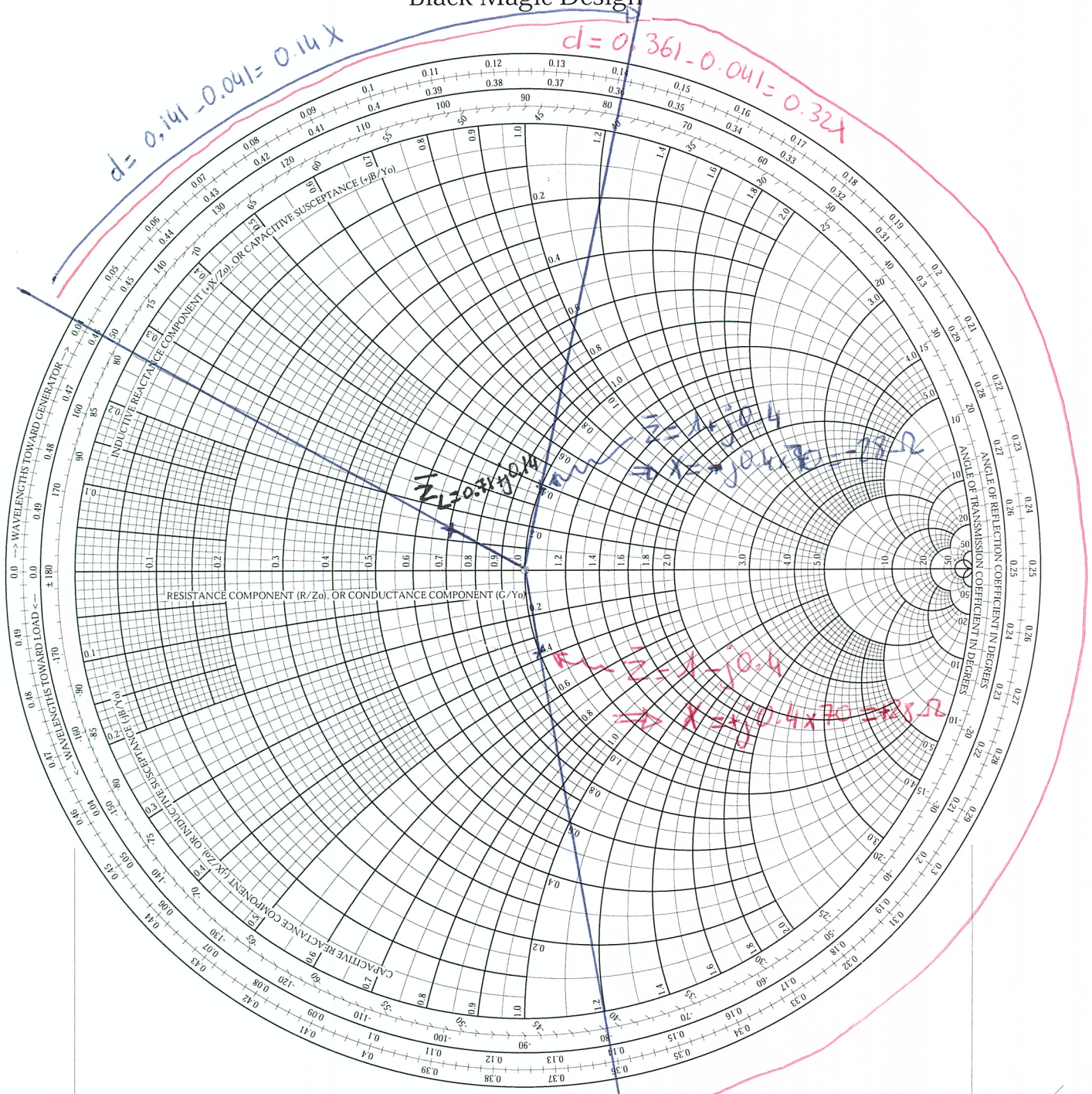


The Complete Smith Chart

Black Magic Design

$d = 0.141 - 0.041 = 0.10$

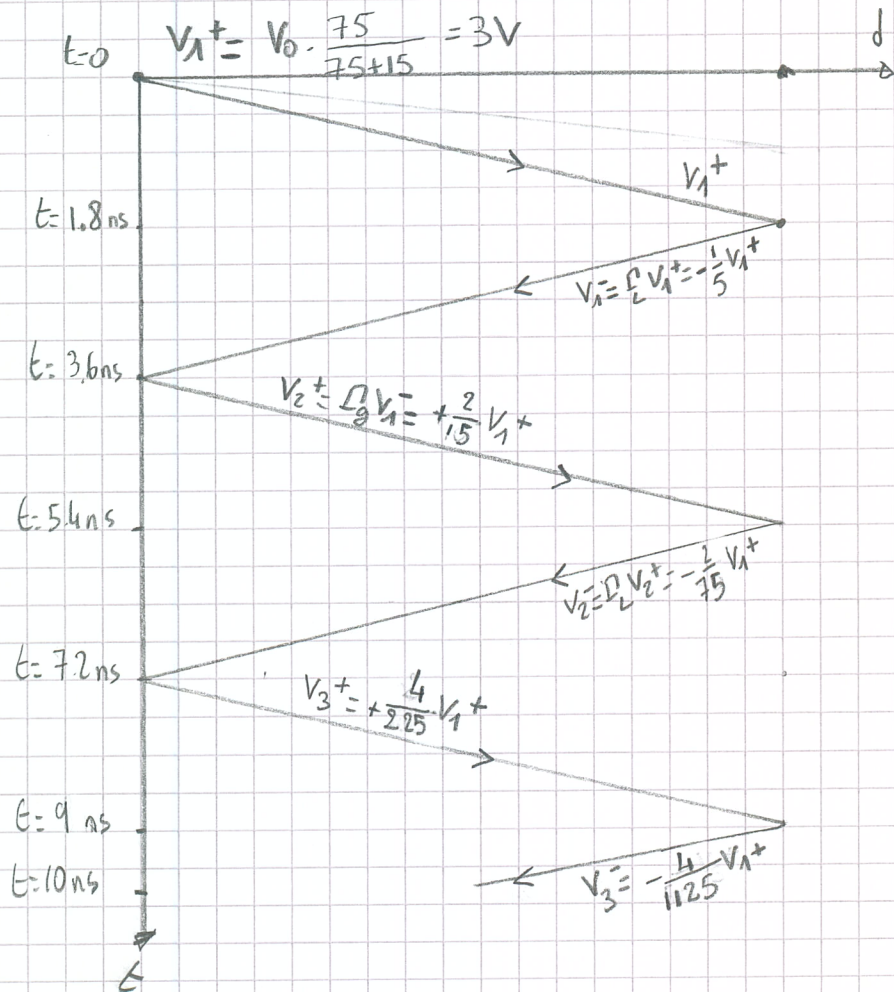
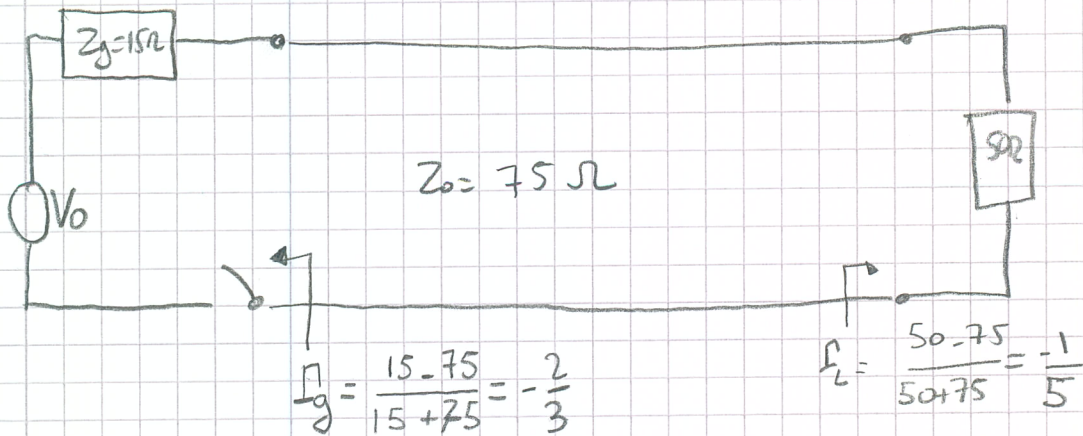
$d = 0.361 - 0.041 = 0.32$



SWR
RETURN LOSS (dB)
REFL. COEFF. (V)
REL. COEFF. For P

SWR
RETURN LOSS (dB)
REFL. COEFF. (V)
REL. COEFF. For P

TRANSM. COEFF. (V or I)



$$V_L \quad 0 \leq t < 1.8 \text{ ns} = 0 \text{ V}$$

$$: 1.8 \text{ ns} \leq t < 5.4 \text{ ns} = V_1^+ + V_1^- = \frac{4}{5} V_1^+ = 2,4 \text{ V}$$

$$: 5.4 \text{ ns} \leq t < 9 \text{ ns} = V_1^+ + V_1^- + V_2^+ + V_2^- = \frac{4}{5} V_1^+ + \frac{8}{75} V_1^+ = 2,72 \text{ V}$$

$$: 9 \text{ ns} \leq t < 10 \text{ ns} = V_1^+ + V_1^- + V_2^+ + V_2^- + V_3^+ + V_3^- = \frac{4}{5} V_1^+ + \frac{8}{75} V_1^+ + \frac{16}{1125} V_1^+ = 2,762 \text{ V}$$

Steady state = ingen impedans för ledningen = spänningsdelning: $V_{ss} = V_0 \cdot \frac{50}{50+15} = 2,769 \text{ V}$

③ $f_{\text{resonans}} = 6 \text{ GHz}$

$2a = d$
 $\max Q$ } från figuren får man att det handlar om TE_{012} moden

$$\epsilon = \epsilon' + j\epsilon'' = \epsilon_0 \epsilon_r' [1 + j \tan \delta]$$

$$\beta_{012}^2 = \frac{c^2}{(2\pi)^2 \cdot \epsilon_r'} \left[\left(\frac{p'_{01}}{a}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{d}\right)^2 \right]$$

$$\epsilon_r' = \frac{c^2}{\beta_{012}^2 (2\pi)^2 \cdot \epsilon_r'} \left[\left(\frac{p'_{01}}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 \right]$$

$$\epsilon_r' = \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{(6 \cdot 10^9)^2 \cdot 4\pi^2} \left[\left(\frac{3.832}{2 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{2 \cdot 10^{-2}}\right)^2 \right]$$

$$\epsilon_r' = 3,89$$

$\tan \delta$

$$k = \frac{2\pi \beta_{012} \sqrt{\epsilon_r'}}{c} = 247 \text{ m}^{-1}$$

$$a = 2 \cdot 10^{-2}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \epsilon_r'}} = 191 \Omega$$

$$\beta = \frac{2\pi}{d} = \frac{\pi}{a}$$

$$p'_{01} = 3.832$$

$$R_s = \sqrt{\frac{2\pi \beta_{012} \mu_0}{2\sigma}} = 0.02 \Omega$$

$$Q_c = \frac{(ka)^3 \eta a d}{4(p'_{01})^2 R_s} \left(\frac{1}{\frac{ad}{2} + \left(\frac{\beta a^2}{p'_{01}}\right)} \right)$$

$$Q_c = 23498$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_c} \Rightarrow \frac{1}{Q_0} = \frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_c}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{350} - \frac{1}{16382} = 0.001$$

$$(4) \\ a) \alpha_c = \frac{R_s}{aZ_0} \left(1 - \frac{k_c^2}{k^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$R_s \sim \sqrt{k}$$

$$\frac{d\alpha_c}{dk} = A \times \left(-\frac{1}{2\sqrt{k}} \right) \left(1 - \frac{k_c^2}{k^2} \right) + A\sqrt{k} \left(-\frac{1}{2} \left(1 - \frac{k_c^2}{k^2} \right)^{-\frac{3}{2}} \times (2k^{-3} \cdot k_c^2) \right)$$

$$\frac{d\alpha_c}{dk} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \frac{k_c^2}{k^2} \right) = \sqrt{k} \left(1 - \frac{k_c^2}{k^2} \right)^{-\frac{3}{2}} (2k^{-3} \cdot k_c^2)$$

$$1 = k \left(1 - \frac{k_c^2}{k^2} \right)^{-1} 2k^{-3} k_c^2$$

$$1 - \frac{k_c^2}{k^2} = \frac{2k_c^2}{k^2}$$

$$k^2 = 3k_c^2$$

$$k = \sqrt{3} k_c$$

$$f = \sqrt{3} f_c$$

b) TM_{11} är inte den dominanta TM moden i en cirkulär vägledare där är TM_{01} .

⑤

$$f = 12 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.025 \text{ m}$$

$$R = 10 \times 10^3 \text{ m}$$

$$P_T = 1 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\sigma = 8 \text{ m}^2$$

$$P_r = 0.6 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

$$G = \frac{8}{P_T \sigma} \pi (P_T P_r \sigma \pi)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{R^2}{\lambda}$$
$$= \frac{R^2}{\lambda} \cdot 8 \sqrt{\pi^3} \cdot \sqrt{\frac{P_r}{P_T}}$$

$$G = 1.543 \times 10^3$$

$$A = G \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0.077 \text{ m}^2$$

$$A_p = \frac{A}{\eta} = 0.11 \text{ m}^2$$

$$0.2a \times a = 0.11 \text{ m}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{0.11}{0.2}} = 0.74 \text{ m}$$

Group 7

A radar operating at 12GHz has 1kW transmitter. Calculate the desired dimensions of the antenna that can be used for detection of object with radar cross section of 8m^2 at distance of 10km. The same antenna is used for the receiver. The desired minimum power level at the receiver input is 0.6pW . Assume rectangular aperture with proportion $\text{high}=0.2 \cdot \text{width}$ and efficiency $\eta=0.7$.

SOLUTION

$$f := 12 \cdot 10^9 \quad c := 3 \cdot 10^8 \quad \lambda := \frac{c}{f} \quad \lambda = 0.025 \text{ m} \quad R := 10 \cdot 10^3 \text{ m} \quad P_t := 1 \cdot 10^3$$

$$P_r := \frac{G_t \cdot G_r \cdot P_t \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot R^4} = \frac{G^2 \cdot P_t \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot R^4} \quad \sigma := 8 \text{ m}^2 \quad \eta := 0.7 \quad P_r := 0.6 \cdot 10^{-12}$$

$$G := \frac{8}{(P_t \cdot \sigma)} \cdot \pi \cdot (P_t \cdot \sigma \cdot P_r \cdot \pi) \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{R^2}{\lambda}$$

$$G = 1.543 \times 10^3$$

$$A := G \cdot \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \quad A = 0.077$$

The physical aperture is:

$$A_p := \frac{A}{\eta} \quad A_p = 0.11 \text{ m}^2$$

$$0.2 \cdot a = A_p$$

$$a := \frac{A_p}{0.2} \quad a = 0.548$$

$$h := 0.11 \cdot a \quad h = 0.06$$

$$P_r = P_t \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

$$\frac{P_r}{P_t} \cdot (4\pi)^3 R^4 = G^2 \sigma \lambda^2$$

$$G = \sqrt{\frac{P_r}{P_t} \cdot \frac{R^4}{\lambda^2} \cdot \frac{1}{\sigma}} \cdot \sqrt{4\pi^3}$$

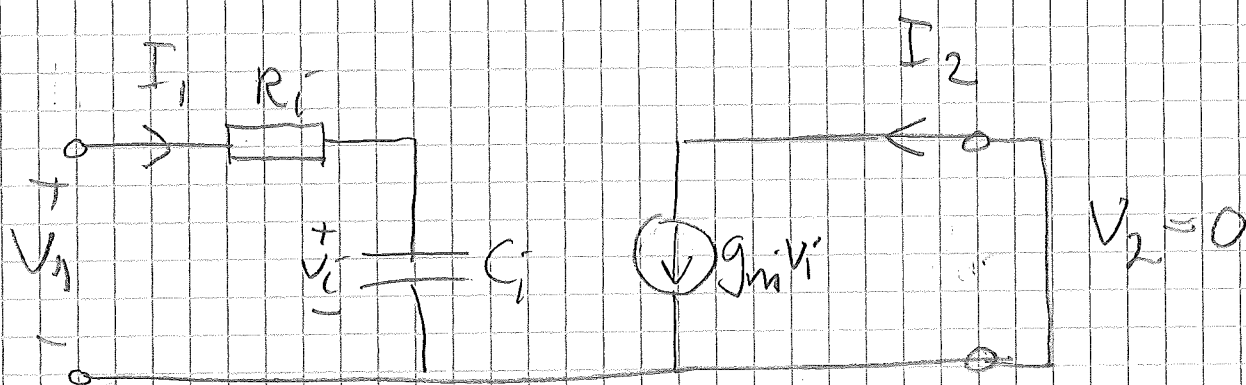
$$G = \sqrt{\frac{P_r}{P_t} \cdot \frac{R^2}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sigma}} \cdot 8 \cdot \pi^{\frac{3}{2}}$$

7(1)

Lösung bill uppgift 5, 2011-04-29

$$a) h_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{V_2=0}$$

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



$$V_1 = \left(R_i + \frac{1}{j\omega C_i} \right) \cdot I_1$$

$$\Rightarrow h_{11} = \frac{V_1}{I_1} = \underline{\underline{R_i + \frac{1}{j\omega C_i}}}$$

$$\begin{cases} V_i = I_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_i} \\ I_2 = g_m \cdot V_i \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{I_2}{g_m} = \frac{I_1}{j\omega C_i}$$

$$\Rightarrow h_{21} = \frac{I_2}{I_1} = \underline{\underline{\frac{g_m}{j\omega C_i}}}$$

2c)

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

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

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

$$I_1=0 \Rightarrow V_1=0$$

$$\Rightarrow V_2 = I_2 \frac{R_{ds} + \frac{1}{j\omega C_{ds}}}{R_{ds} + \frac{1}{j\omega C_{ds}}}$$

$$\Rightarrow h_{22} = \frac{R_{ds} + \frac{1}{j\omega C_{ds}}}{R_{ds} + \frac{1}{j\omega C_{ds}}}$$

$$= \underline{\underline{j\omega C_{ds} + \frac{1}{R_{ds}}}}$$

$$b) |h_{21}| = \left| \frac{g_m}{j\omega C_i} \right| = \frac{g_m}{2\pi f \cdot C_i} =$$

$$= \frac{0.12}{2\pi f \cdot 3.2 \cdot 10^{-12}} = \frac{5.97 \cdot 10^9}{f}$$

$$f_T \approx 6 \text{ GHz}$$

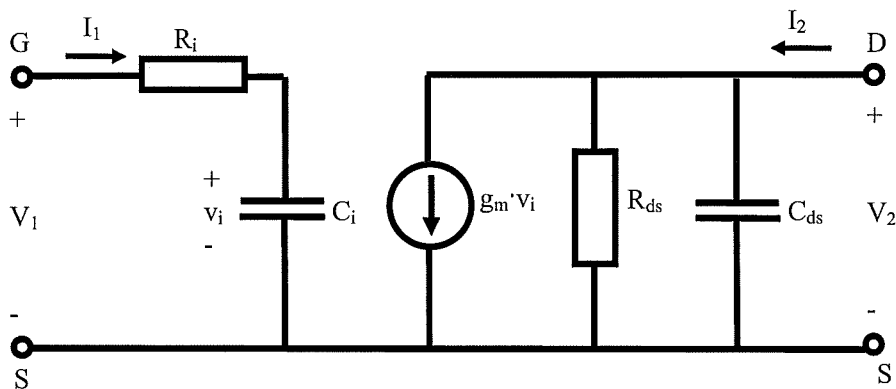
Kontroll

3 c)

$$|h_{21}| = 1 \Rightarrow f_T = \frac{g_m}{2\pi \cdot C_i} = 5,96 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

c) Man får kortare transit-tider för samma gate längd eftersom elektronerna är mer lätt-rörliga (högre mobilitet)

5. (10p) En förenklad högfrekvensmodell för en GaAs HEMT med common-source visas nedan, tillsammans med definitionen av hybrid-parametrar för en tvåport.
- (4p) Bestäm uttryck för hybridparametrarna (h_{11} , h_{12} , h_{21} och h_{22}). Är transistoren unilateral? Motivera.
 - (4p) Plotta strömförstärkningen $|h_{21}|$ i nedanstående log-log diagram för $g_m=120$ mS, $R_f=12.5$ Ω , $C_f=3.2$ pF, $R_{ds}=64$ Ω och $C_{ds}=0.6$ pF. Bestäm gränshfrekvensen f_T (unity current gain). Bifoga diagrammet till din lösning.
 - (2p) Varför använder man ofta GaAs- i stället för kisel-transistorer för mikrovågor?



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

