HFT 60, Tentamen i högfrekvensteknik, EEM021
2018-04-06 i SB-salar. Längd: 4 timmar.

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 1-7	Vincent Desmaris, tel ankn. 1846 Sascha Krause tel ankn. 1851
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!

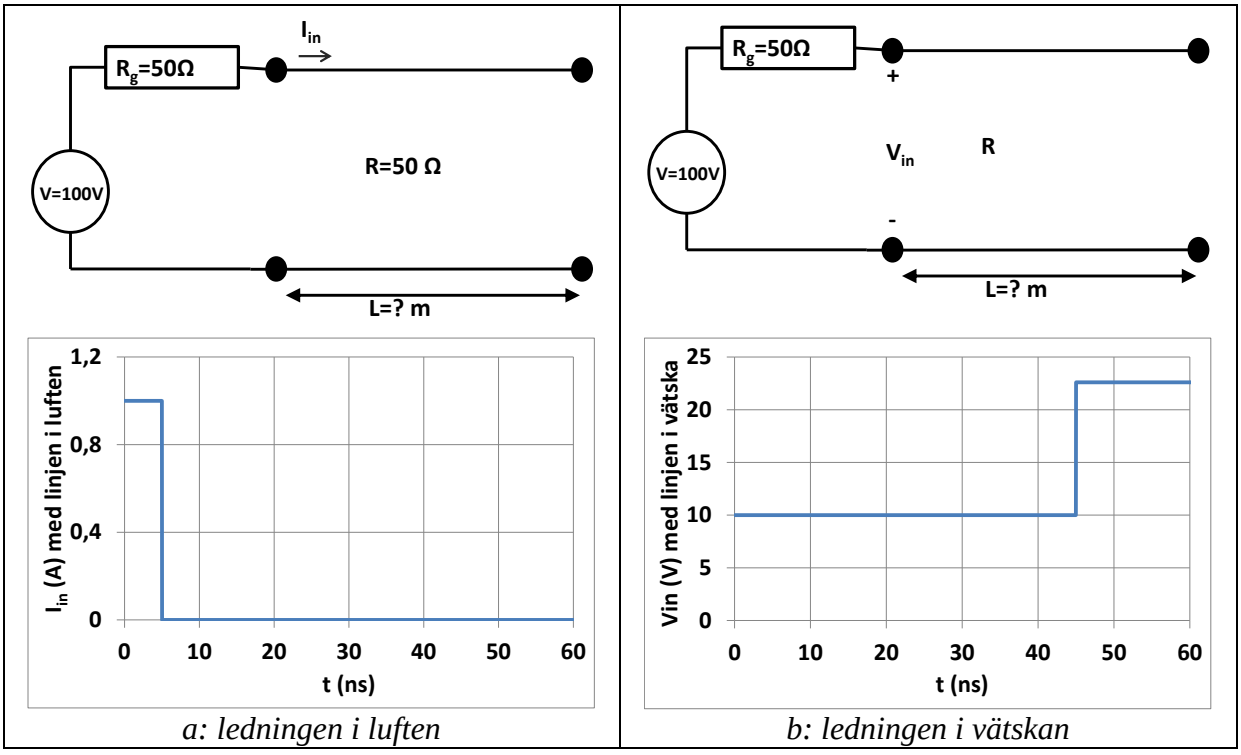
Duggadelen

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

Uppgift 1 (7p):

En *teleledning* (två parallella ledare) med karakteristisk impedans Z_0= 50Ω (i luft) och längd (l) har kopplats till en *steggenerator*. Vid t=0, slås generatorn på.
Vi mäter följande ström, resp. spänning vid ingången av linjen när man har ledningen i luft (a), resp. i en vätska (b).



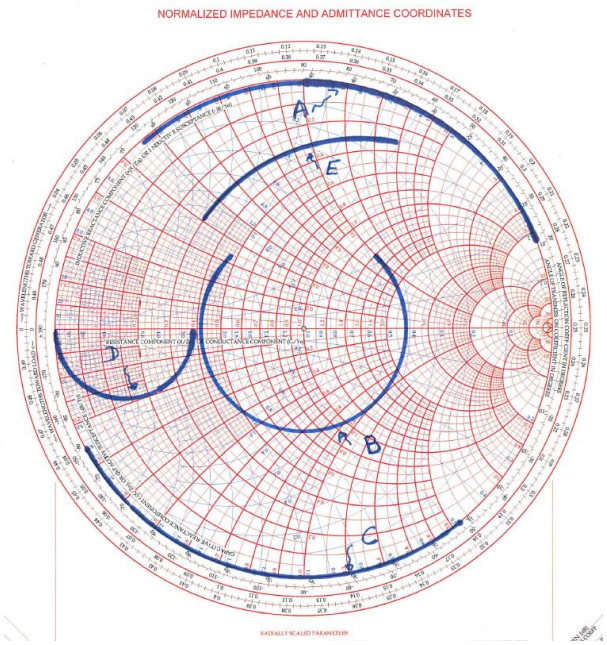
a: ledningen i luften | *b: ledningen i vätskan*

a) Räkna längden på linjen.
b) Räkna den reella delen av vätskans permitivitet.
c) Beräkna förlusterna i teleledningen i dB/m när linjen ligger i vätskan.

Uppgift 2 (10p):

Med hjälp av en nätverksanalysator mäter Sascha följande reflektionsfaktorer för olika laster mellan 1 GHz and 3 GHz. Mätningarna plottas i följande Smithdiagram.

Indikera vilken typ av last som mättes för varje mätning i följande lista. (Det kan finnas flera rätta svar. Fel svar ger poängavdrag!)



1. En spole.
2. En kondensator.
3. En reaktiv last i slutet av en transmissionsledning.
4. En resistiv last i slutet av en transmissionsledning.
5. En resistans i serie med en induktans.
6. En resistans i serie med en kondensator
7. En parallell koppling av en resistor, en spole samt en kondensator.
8. En okänd last som inte finns med i listan ovan.

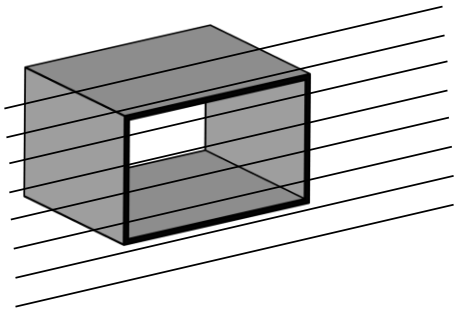
Vågledare:

Uppgift 3 (7p):

Över vilket frekvensband kan man byta ut en cylindrisk vågledare med inre diameter 5mm, fylld med luft, mot en cylindrisk vågledare med samma diameter fylld med dielektriskt material (ε_r=1.5) och vara säker på att endast den dominanta moden utbreder sig.

Uppgift 4 (10p):

Sascha mäter signalstyrkan mellan 3 GHz och 6 GHz på utgången av en 10cm lång rektangulär luftfylld vågledare ***med perfekt ledande väggar*** (a=5cm, b=2,7cm) utrustad med ett metallgaller på utgången av vågledaren och orienterat parallellt mot de breda väggarna (se figuren nedan). Han konstaterar att ingen signal kommer ut. Han plockar därför bort gallret och konstaterar att han nu mäter endast en signal med styrka 1W vid 5,5 GHz.

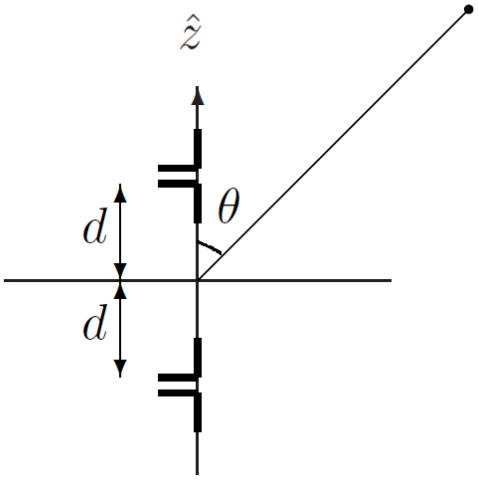


Beräkna signalstyrkan vid ingången av vågledaren.

Antenner:

Uppgift 5 (10p):

Två hertzdipoler riktade ut med z-axeln ligger med sina mittpunkter i (0,0,d) och (0,0,-d). De matas med samma ström i amplitud och fas.



a) **Beräkna allmänt det utstrålade E-fältet i fjärrfältet.**
b) **Skissa strålningsdiagrammet för ett fast värde av φ (d.v.s för alla värden av θ) om d=λ/2**

Uppgift 6 (6p):

En satellit ska skickas till Jupiter (~4.2 AE. från Jorden) för att studera dess atmosfär. Satelliten ska skicka mätdata tillbaka till Jorden genom att använda en mikrovågslänk på 1 GHz och en parabolantenn med 1m diameter. Sändaren på satelliten byggs av elektronik som kan leverera 500mA till antennen. Stationen på Jorden är utrustad med en 20m parabolantenn och en mottagare med 1fW brusgolv.

Vilken är den minsta strålningsresistans som antennen på satelliten ska ha, för att datan skall kunna användas av forskarna på Jorden?

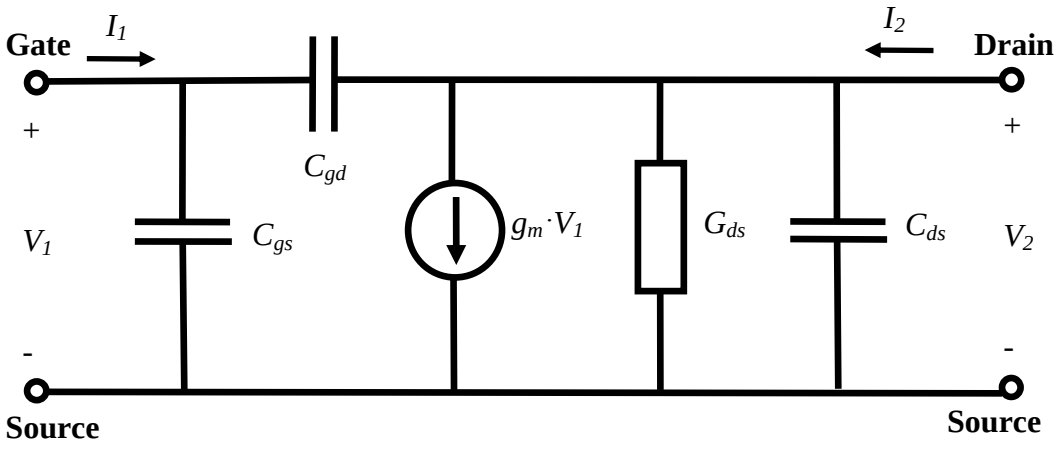
Mikrovågsteknik

Uppgift 7 (10p):

En småsignalmodell för en RF-MOSFET med common-source visas nedan, tillsammans med definitionen av admittans-parametrar. För en specifik arbetspunkt mätte man nedanstående *y*-parametrar vid frekvensen *f*=1 GHz.

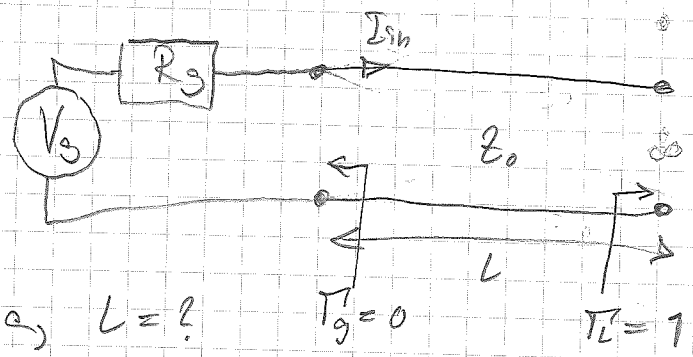
Bestäm kapacitansen för de tre kondensatorerna C_{gs}, C_{gd} och C_{ds}, samt transkonduktansen g_m och konduktansen G_{ds}.

y_{11} (ohm^{-1})	y_{12} (ohm^{-1})	y_{21} (ohm^{-1})	y_{22} (ohm^{-1})
j·0.0107	-j·0.0032	0.253-j·0.0032	2.11+j·0.0157



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

Uppgift 1



$R_g = 50\ \Omega$

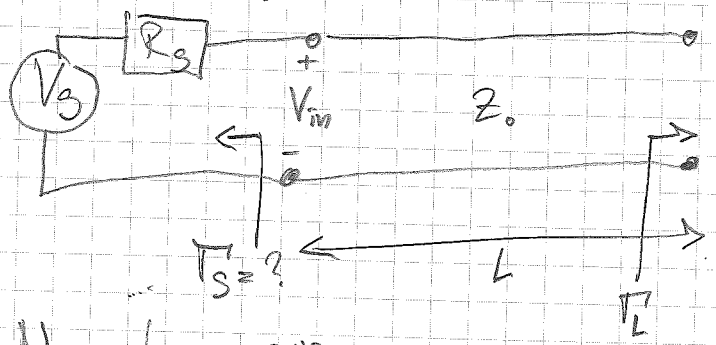
$V_g = 100 \cdot \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$

a) $L = ?$

Vid $t=0$ → Spännings/strömvåg börjar propagera i teledning. Denna reflekteras sedan mot ledningens ände och återvänder igen efter $t_L = \frac{2L}{c}$. Strömmen reflekteras enl. $-\Gamma_L$ och släcker efter t_L ut ursprungsvågen, vilket syns i graf (a).

$$\Rightarrow \quad L = \frac{t_L c}{2} \approx \frac{5 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{2} = 0{,}75\ \text{m}$$

b) $c_{\text{vätska}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_{\text{vätska}}}}$ $\quad \text{Re}[\varepsilon_{r,\text{vätska}}] = ?$



Nu tar spänningsvågen 45 ns = t_r på sig att utbreda sig $2L = t_r c_{\text{vätska}}$

$$\Rightarrow \quad c_{\text{vätska}} = \frac{2L}{t_r} = \frac{c_0}{\sqrt{\text{Re}[\varepsilon_{r,\text{vätska}}]}}$$

$$\Rightarrow \text{Re}[\varepsilon_{\text{vätska}}] = \left(\frac{c_0 t_r}{2L}\right)^2 \approx 9$$

c) Förlustber i dB/m = ?

$$\Gamma_S = \frac{50 - 5{,}56}{50 + 5{,}56} \approx 0{,}8$$

$$V_g \cdot \frac{Z_0}{R_g + Z_0} = V_{in} \Rightarrow Z_0 = \frac{V_{in}}{V_g}(R_g + Z_0)$$

$$\Rightarrow Z_0\left(1 - \frac{V_{in}}{V_g}\right) = \frac{V_{in}}{V_g} R_g$$

$$\Rightarrow Z_0 = \frac{V_{in}}{V_g} R_g \Big/ \left(1 - \frac{V_{in}}{V_g}\right) \approx 5{,}56\ \Omega$$

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

c) $\Gamma_g = 0.8$

$$V_{in} = V_1^+ + V_1^- \cdot a + \Gamma_g V_1^- \cdot a$$
$$= V_1^+ + a(1+\Gamma_g) \cdot V_1^- = 22.5$$

kosten är en öppenkrets $\rightarrow V_1^- = V_1^+$

$$\Rightarrow a = \frac{22{,}5 - V_1^+}{V_1^- \cdot 1{,}8} = 0.7$$

$$a = e^{-\alpha(2 \cdot l)} \Rightarrow \alpha = -\frac{1}{2l} \ln(a)$$

$$\alpha = 0.466 \text{ Np/m} \rightarrow \underline{4 \cdot \text{dB/m}}$$

Uppgift 2

A -1, 3

B - 4,

C -2, 3

D, 7

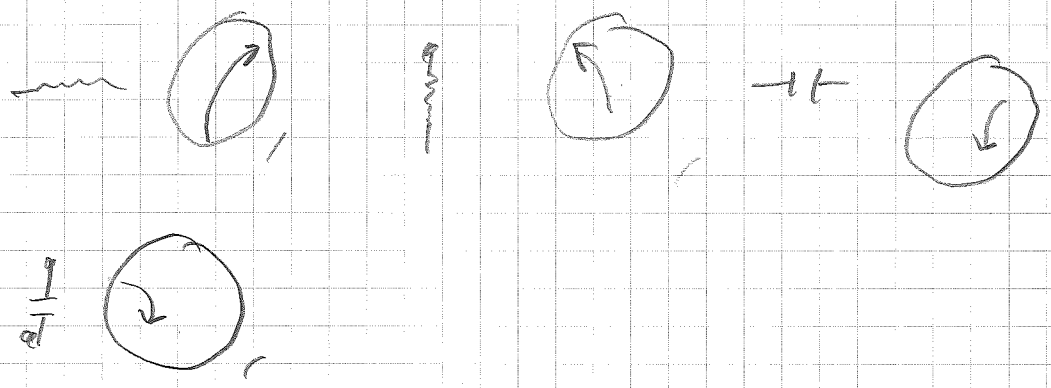
E - 5,

antag: endast 7 platas ej 4

antag resistans 7 lim - annars A → 5
r → 0 ? C → 6

antag Resistans ≠ jättestor
↓
annars A, C → 7

antag 1 & 2 = i serie
↓
Z



resistans

resistans + //T

resistans + Dass kapacitans

kan va D

resistans +

D kan vara 7 & 8

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

Uppgift 3

① Cirk vågledare → 5mm diameter ⇒ a = 2,5mm
→ 2 samma men $\varepsilon_r \to 1,5$

$$f_{c_{11}} = \frac{k_{mp} C}{2\pi} = \left\{ \begin{matrix} \text{dominant} \Rightarrow \\ \Rightarrow TE_{11} \end{matrix} \right\} = \frac{x'_{11} \cdot C}{a \cdot 2\pi} = \frac{1,841 \cdot 3 \cdot 10^8}{2\pi \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 35,2 \cdot 10^9 = 35,2 \text{ GHz}$$

$$f_{c_{21}} = \left\{ \text{osv} \right\} = f_{c_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{35,2 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{1,5}} = 28,7 \text{ GHz}$$

$f_{c_{22}} < f_{c_{12}} \Rightarrow f_{c_{11}} > f_{c_{22}}$ = Sökta Bandet.

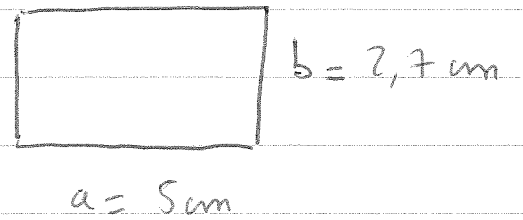
$$f_{c_{22}} = \frac{k_{mp} C}{2\pi} = \left\{ \begin{matrix} \text{näst} \\ \text{med} \\ TM^z_{01} \end{matrix} \right\} = \frac{x_{01} C_0}{2\pi \sqrt{\varepsilon_r} \cdot a} = 37,5 \text{ GHz}$$

frekvens bandet där endast den dominanta moden är tillåtet blir 35,2 – 37,5 GHz

OBS luft → $\varepsilon_r \approx 1$

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

Uppgift 4



räkna brytfrekvenser för de första moderna:

$$F_{c\,TEnm} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}}\sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2+\left(\frac{m\pi}{b}\right)^2}$$

$\Rightarrow$ TE_{10}: $F_c = 3$ GHz
TE_{01}: $F_c = 5{,}55$ GHz
TE_{20}: $F_c = 6$ GHz

det är de endast moder som kan utbredda sig i vågledaren.

Gallret är metallisk: om E-fältet är parallell med gallret blir det reflektion! alltså:

* med gallret kan endast TE_{10} och TE_{20} homma genom vågledaren och då har vi ingen signal.

* utan gallret kan TE_{10}, TE_{01} och TE_{02} utbredda sig och då mäter Sascha en signal.

därför kan vi säga att signalen som sascha mäter utbredder sig enligt TE_{01} moden

vi har då en evanescent mod: $f < f_{c\,TE01}$

då $\alpha = \sqrt{\left(\frac{k\pi f}{c}\right)+\left(\frac{\pi}{b}\right)^2}$ $\Rightarrow$ $\alpha = 16{,}4$ Np/m

- vi har 1 W på utgången av vågledare:

$$P_{UT} = P_{in} \cdot e^{-\alpha 2l}$$

då räknar vi på effekt inte signalens amplitud.

$$P_{in} = \frac{P_{UT}}{e^{-\alpha 2l}} = \underline{26{,}57\ W}$$

Uppgift 5

Fraunhofer approximation

Amplitud: $R_1 \approx R_2 \approx R_0$

Exponent: $R_1 = R_0 - d\cdot\cos\theta$

$R_2 = R_0 + d\cos\theta$

(Tillämpad utan motivation ger fullt i

Totala E-fältet

$$K = Z_0 \cdot j\frac{\omega l I_0 \cdot \sin\theta}{4\pi c}; \quad \beta = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\mathbb{E}(R,\theta,\varphi) \approx \hat{\theta}\cdot K\cdot\frac{e^{-j\beta(R_0 - d\cdot\cos\theta)}}{R_0} + \hat{\theta}\cdot K\cdot\frac{e^{-j\beta(R_0 + d\cdot\cos\theta)}}{R_0} =$$

$$= \hat{\theta}\cdot\frac{K}{R_0}\cdot\left(e^{-j\beta R_0}e^{j\beta d\cos\theta} + e^{-j\beta R_0}e^{-j\beta d\cos\theta}\right) =$$

$$= \hat{\theta}\cdot\frac{K\cdot 2\cdot e^{j\beta R_0}}{R_0}\left(\frac{e^{j\beta d\cos\theta} + e^{-j\beta d\cos\theta}}{2}\right) =$$

$$= \hat{\theta}\cdot\frac{K\cdot 2\cdot e^{-j\beta R_0}}{R_0}\cos(\beta d\cos\theta) \Rightarrow$$

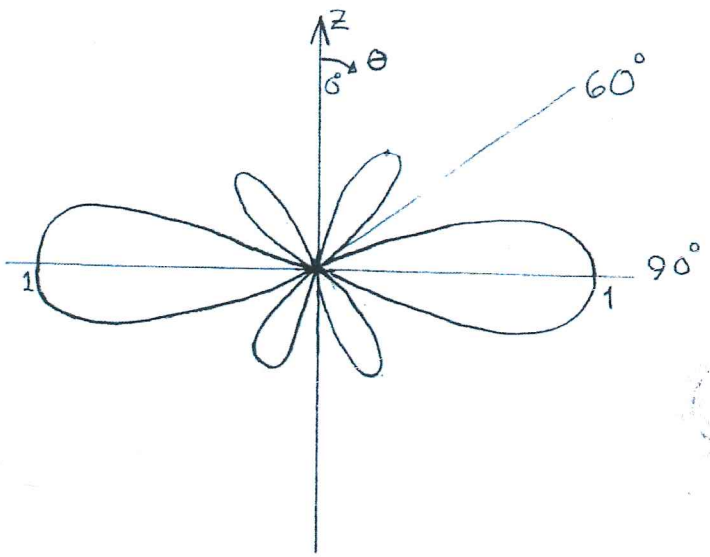
$$\mathbb{E}(R,\theta,\varphi) = \hat{\theta}\cdot\frac{Z_0\cdot j\omega l I_0\cdot 2\cdot e^{-j\beta R_0}}{4\pi c R_0}\cdot\sin\theta\cdot\cos(\beta d\cos\theta) \quad [V/m]$$

$$F(\theta) = \sin\theta\cdot\cos(\beta d\cos\theta)$$

[Normaliserad ty max=1 då $\theta = \frac{\pi}{2}$ oavsett βd.]

Vardetabell $d = \frac{\lambda}{2}$; $F(\theta) = \sin\theta\cdot\cos(\pi\cos\theta)$

θ	$\lvert F(\theta)\rvert$
0	0
$\pi/6$	0,46
$\pi/3$	0
$\pi/2$	1
$2\pi/3$	0
$5\pi/6$	0,46
π	0
$\pi/4$	0,43
$3\pi/4$	0,43



6) $f = 1\,GHz$ physics $\lambda = \frac{c}{f} = 0.3\,m$

$R = 4.2\ A.E \approx 4.2 \cdot 1.496 \cdot 10^{11}\,m$

Sändaren har en antenn med diametern

$d_1 = 1m \Rightarrow A_1 = \pi r_1^2 = \frac{\pi}{4}\,m^2$

$i = 500\,mA$

Mottagaren har en antenn med diametern

$d_2 = 20m \Rightarrow A_2 = \pi r_2^2 = 100\pi\,m^2$

$P_L = 1\,fW$

För trådlösa antenner använder vi Friis formel

$$\frac{P_L}{P_{ut}} = \frac{G_{D1} G_{D2} \lambda^2}{(4\pi R)^2} = \frac{A_1 A_2}{(\lambda R)^2}$$

$$\Rightarrow P_{ut} = P_L \frac{(\lambda R)^2}{A_1 A_2} \approx \underline{0.144\,MW}$$

Vi beräknar nu strålningsresistansen mha formeln

$P_{med} = R_{strål} \cdot i_{eff}^2 \Rightarrow$

$$R_{strål} = \frac{P_{med}}{i_{eff}^2} \approx \frac{0.144\,MW}{(0.5\ A)^2} = \underline{\underline{0.576\,M\Omega}}$$

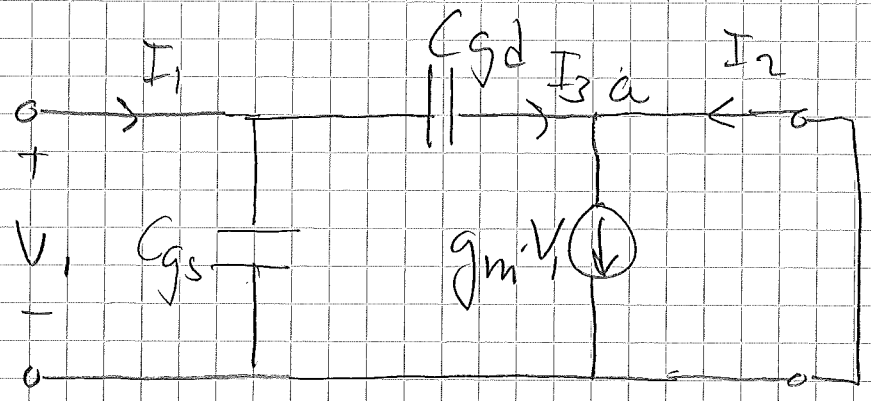
Answer only one question on this page. Do not write on the back of this paper
Behandla endast en uppgift på detta blad. Skriv ej på baksidan

Lösning uppgift 7 180406

7) $y_{11} = \frac{I_1}{V_1}\Big|_{V_2=0}$ $\quad y_{12} = \frac{I_1}{V_2}\Big|_{V_1=0}$

$y_{21} = \frac{I_2}{V_1}\Big|_{V_2=0}$ $\quad y_{22} = \frac{I_2}{V_2}\Big|_{V_1=0}$

$V_2 = 0$, kortslut port 2



KVL: $I_1 = V_1 (j\omega C_{gs} + j\omega C_{gd})$

$\Rightarrow \underline{\underline{y_{11}}} = \frac{I_1}{V_1} = \underline{\underline{j\omega (C_{gs} + C_{gd})}}$

KCL i nod a

$I_3 = g_m \cdot V_1 - I_2$ (*)

KVL: $I_3 = V_1 \cdot j\omega C_{gd}$ (**)

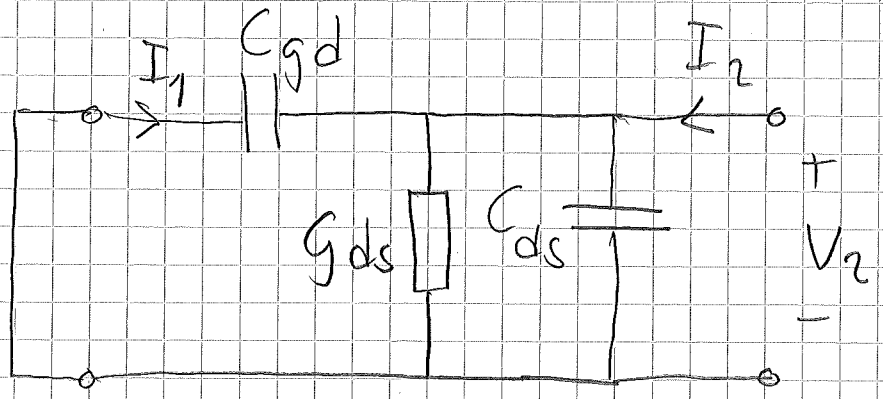
kombinera (*) och (**)

$$g_m V_1 - I_2 = V_1 \cdot j\omega C_{gd}$$

$$V_1 (g_m - j\omega C_{gd}) = I_2$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{y_{21}}} = \frac{I_2}{V_1} = \underline{\underline{g_m - j\omega C_{gd}}}$$

$V_1 = 0$, kortslut port 1



KVL: $I_2 = V_2 (j\omega C_{ds} + g_{ds} + j\omega C_{gd})$

$$\Rightarrow \underline{\underline{y_{22}}} = \frac{I_2}{V_2} = \underline{\underline{g_{ds} + j\omega (C_{gd} + C_{ds})}}$$

KVL: $I_1 = -j\omega C_{gd} \cdot V_2$

$$\Rightarrow \underline{\underline{y_{12}}} = \frac{I_1}{V_2} = \underline{\underline{-j\omega C_{gd}}}$$

Från uttrycken för y- 3 C)
parametrarna ser vi att

$$\underline{g_m} = \mathrm{Re}[y_{21}] = \underline{\underline{0.253\ \Omega^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{g_{ds}}} = \mathrm{Re}[y_{22}] = \underline{\underline{2.11\ \Omega^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{C_{gd}}} = -\frac{\mathrm{Im}[y_{12}]}{2\pi \cdot 10^9} = \underline{\underline{0.51\ pF}}$$

$$C_{gd} + C_{ds} = \frac{\mathrm{Im}[y_{22}]}{2\pi \cdot 10^9}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{C_{ds}}} = \frac{0.0157}{2\pi \cdot 10^9} - 0.51 \cdot 10^{-12} = \underline{\underline{2.0\ pF}}$$

$$C_{gs} + C_{gd} = \frac{\mathrm{Im}[y_{11}]}{2\pi \cdot f}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{C_{gs}}} = \frac{0.0107}{2\pi \cdot 10^9} - 0.51 \cdot 10^{-12} = \underline{\underline{1.19\ pF}}$$

<u>Svar</u>: $C_{gs} = 1.2\ pF$, $C_{gd} = 0.51\ pF$,
$C_{ds} = 2.0\ pF$, $g_m = 0.25\ S$

$g_{ds} = 2.1\ S$