

Telekommunikation, RRY010, 6/4-2018:

Lösningar

1. Se kurslitteratur.

2.

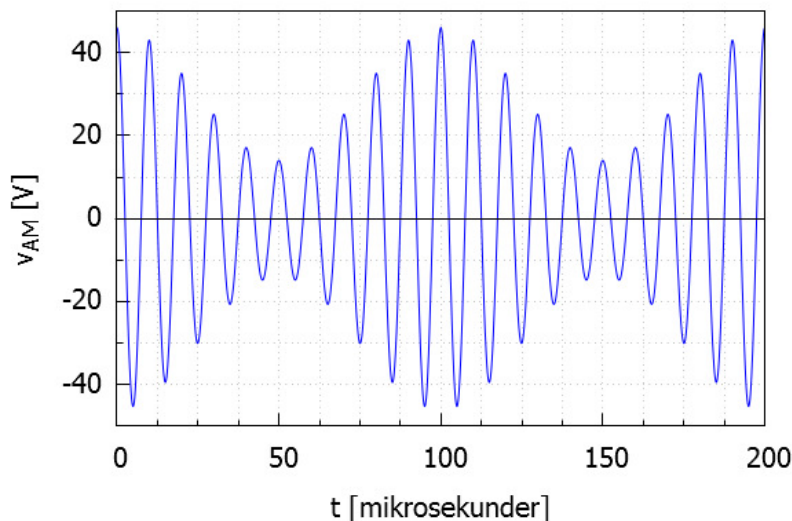
$$P_{medel} = \frac{1}{2R} \{V_{undre\ sidband}^2 + V_{bärvåg}^2 + V_{övre\ sidband}^2\} = \frac{1}{2 \cdot 100} \{8^2 + 30^2 + 8^2\} \approx 5,1 \text{ W}.$$

a) **Övermodulation** inträffar om $V_m > V_c$, d.v.s. $V_m \leq 30 \text{ V}$ för att undvika detta.

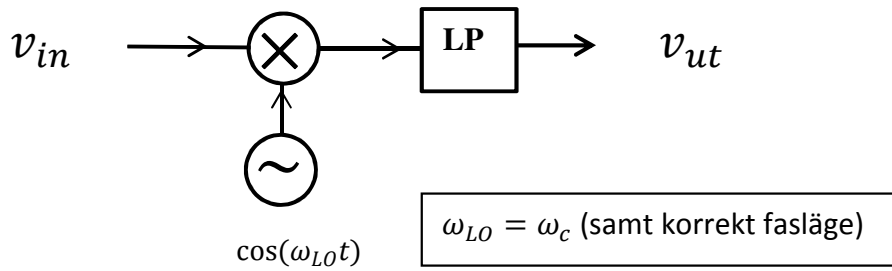
b) $B = 2 f_m \Rightarrow f_m = 10 \text{ kHz}$, $V_m = 2 V_{sidband} \Rightarrow V_m = 16 \text{ V}$, f_c och V_c givna.

$$v_{AM}(t) = V_c \left(1 + \frac{V_m}{V_c} \cos(2\pi f_m t) \right) \cos(2\pi f_c t) = \\ 30 \left(1 + \frac{16}{30} \cos(2\pi 10^4 t) \right) \cos(2\pi 10^5 t) \text{ volt}$$

Varje meddelandeperiod ($100 \mu\text{s}$) innehåller 10 bärvågsperioder. $|v_{AM}|_{max} = V_c + V_m = 46 \text{ V}$ och $|v_{AM}|_{min} = V_c - V_m = 14 \text{ V}$. Meddelandet utgör en positiv och en negativ envelopp kring $v_{AM} = +30 \text{ V}$ resp. -30 V .



c) **Blockschema:**



Insignal: $v_{in} = v_{AM}(t) = V_c \left(1 + \frac{V_m}{V_c} \cos(2\pi f_m t) \right) \cos(2\pi f_c t)$

Signalen efter blandaren:

$$\cos(\omega_{LO} t) V_c \left(1 + \frac{V_m}{V_c} \cos(\omega_m t) \right) \cos(\omega_c t) \text{ där } \omega_{LO} = \omega_c$$

Tillämpa trigonometriformler $\Rightarrow \frac{V_c}{2} (1 + \cos(2\omega_c t)) + \frac{V_m}{2} \cos(\omega_m t) + \frac{V_c}{2} (\cos(2\omega_c t + \omega_m t) + \cos(2\omega_c t - \omega_m t))$

Utsignal: Lågpassfiltrering leder till $v_{ut} = \frac{V_m}{2} \cos(\omega_m t) + \frac{V_c}{2}$

(Vi ser att utsignalen innehåller meddelandet samt en likspänningsnivå som behöver sedan elimineras. Man kan också istället för LP-filter använda ett bandpassfilter.)

3.

a) $P_{medel} = \frac{V_c^2}{2R} \Rightarrow V_c = \sqrt{2 R P_{medel}} = 31,6 \text{ V}$ (med $R = 50 \Omega$).

$$\beta = \frac{\Delta f_c}{f_m} = \frac{10}{2} = 5$$

$$v_{FM}(t) = V_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)) = 31,6 \cos(2\pi 10^5 t + 5 \sin(4\pi 10^3 t)) \text{ V.}$$

b) $B \approx 2f_m (1 + \beta) \approx 24 \text{ kHz.}$

c) $\frac{V_1}{V_c} = |J_1(\beta)| \approx 0,3276 \approx 0,33.$

4.

a) $S_{medel} = \frac{1}{2} Z_{TEM} H^2 \Rightarrow H = \sqrt{\frac{2 S_{medel}}{Z_{TEM}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{376,73}} \approx 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ ampere/meter.}$

b) Elektriska fältet och magnetfältet är båda vinkelräta mot Poyntingvektorn (som är i +y led) och dessutom vinkelräta relativt varandra. Välj **E-fältet** i xz-planet, t.ex. i **+x led**, högerhandsregeln för vektorprodukt ger då att **H-fältet** är i **-z led**.

5.

$v(t) = V(z) \cos(\omega t - \beta z)$ volt, där $V(z) = V(0) e^{-\alpha z}$ är amplituden som funktion av positionen. Jämför med givna data: $V(0) = 5$ volt, $V(2) = 4,90$ volt, $V(6) = 4,71$ volt. **Dämpningskoefficienten** blir $\alpha = -\frac{1}{z} \ln\left(\frac{V(z)}{V(0)}\right) \approx 0,01$ **neper/meter** för såväl $z = 2$ som $z = 6$ data.

Frekvensen avläses ur $\cos(\omega t - \beta z) = \cos(\pi \cdot 10^7 t - \beta z)$ till $f = \frac{\omega}{2\pi} = 5$ **MHz**.

Fasförskyllningen $v_{fas} = \frac{\omega}{\beta}$ där vågtalet β avläses ur $\cos(\omega t - \beta z) = \cos(\pi \cdot 10^7 t - 0,46)$ då $z = 2$ eller $\cos(\omega t - \beta z) = \cos(\pi \cdot 10^7 t - 1,38)$ då $z = 6$. Båda ger $\beta = 0,23$ rad/meter. **Fasförskyllningen** $v_{fas} = \frac{\pi \cdot 10^7}{0,23} \approx 1,4 \cdot 10^8$ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

6.

a) Löptiden $\tau = 20$ ns, reflexionskoefficienter: $\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = -0,2$ och $\Gamma_G = \frac{Z_G - Z_0}{Z_G + Z_0} = -0,2$,
 $V_0^+ = V_G \frac{Z_0}{Z_G + Z_0} = 7,2$ volt, $V_0^- = \Gamma_L V_0^+$, $V_1^+ = \Gamma_G V_0^-$, o.s.v.

Vid tiden $t = 15$ ns har första vågfronten ännu inte nått fram till lasten och: $V_L = 0$.

Vid tiden $t = 115$ ns har tre lastreflexioner hunnit inträffa vilket ger:

$V_L = V_0^+ + V_0^- + V_1^+ + V_1^- + V_2^+ + V_2^- \approx 5,9996$ volt $\approx 6,0$ volt.

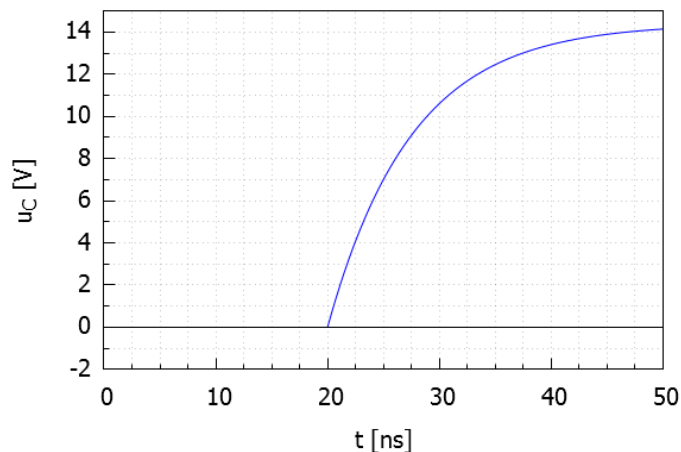
Vid tiden $t = 15$ s ("lång tid") kan stationärtillstånd anses råda: har tre lastreflexioner hunnit inträffa vilket ger:

$V_L = V_G \frac{Z_L}{Z_G + Z_L} = 6,0$ volt.

- b) Vid start: helt urladdad kondensator, d.v.s. laständen uppför sig som en kortslutning och $\Gamma_L \approx -1$.
Efter lång tid: fullt uppladdad kondensator, d.v.s. laständen uppför sig som ett avbrott och $\Gamma_L \approx +1$.
Uppladdning av kondensatorn sker med tidskonstanten $Z_0 C = 7,5$ ns.

Första vågfronten (7,2 V) når fram till laständen vid tiden 20 ns och totalreflekteras med $\Gamma_L \approx -1$ så $V_L = 0$ men börjar sedan stiga enligt uppladdningskurvan $14,4 (1 - e^{-(t-20)/(7,5)})$ volt mot slutvärdet 14,4 V (totalreflexion av 7,2 V mot $\Gamma_L \approx +1$). [Detta gäller tills första generatorreflexionen når till lasten (60 ns) och ändrar situationen.] Tiden i uttrycket ges i ns.

Graf visas på nästa sida.



- c) Växelspänningskälla leder till multipelreflexioner med resulterande stående våg. och $\Gamma_L < 0$ innebär att minimum inträffar vid lasten. Ledningslängden är $l = v_{fas} \tau = 2 \cdot 10^8 \cdot 20 \cdot 10^{-9} = 4,0$ meter och våglängden är $\lambda = \frac{v_{fas}}{f} = \frac{2 \cdot 10^8}{25 \cdot 10^6} = 8,0$ meter d.v.s. ledningen är en halvvågsledning. Detta betyder att spänningen vid ingången är lika med spänningen vid lasten. Slutsats: **spänningsminima inträffar vid ingång och last, samt ett spänningsmaximum halvvägs in på ledningen.**
- d) Impedansanpassning:
-Kvartsvågstransformator: $Z_L = \text{reell} \Rightarrow$ transformatorn kan **kopplas in direkt vid lasten**. $Z_{0,transf.} = \sqrt{Z_L Z_{0,ledning}} \approx 61 \Omega$.
-Parallellkopplad kortsluten stubbe: Markera in impedanstalet $z_L = \frac{50}{75} = \frac{2}{3}$ i Smithdiagrammet, gå över till admittanser ($y_L = 1,5$), därifrån en förflyttning i riktning mot generator och hitta en skärning med realdel=1 cirkeln, **första möjliga punkt ligger 0,108 λ från lasten**. Stubbens inadmittanstal ska vara $+0,42j$, markera in den och gå i riktning mot lasten till kortslutningen, vilket ger en **stubblängd på 0,313 λ .**

7. Ledningens inimpedans skall vara $Z_{in} = j\omega L = j 2\pi 100 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \Omega = j 20\pi \Omega$. Markera in impedanstalet $\frac{Z_{in}}{Z_0} = j0,4\pi$ i Smithdiagrammet och gå i riktning mot lasten till kortslutning (för *impedanser* d.v.s. vänstra ändpunkter på realaxeln ...). **Ledningslängden blir 0,143 λ .**

Alternativ lösning är att använda formeln för Z_{in} i fallet med $Z_L = 0$: $Z_{in} = jZ_0 \tan(\beta l)$ och lösa ut längden l uttryckt i λ (använd att $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$): $\frac{l}{\lambda} = \frac{1}{2\pi} \arctan(0,4\pi) \approx 0,143$.

8.

- a) Maximala bithastigheten begränsas av moddispersion. $f_{bit,max} \approx \frac{1}{\Delta t}$ (eller $\frac{1}{2\Delta t}$)
där $\Delta t = \frac{l}{c_0} \left(\frac{n_k}{n_m} - 1 \right) \approx 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ s} \Rightarrow f_{bit,max} \approx \frac{1}{\Delta t} \approx 4,3 \cdot 10^8 \text{ bit/s}$ vilket är $< 1 \text{ Gbit/s}$. **Denna fiber kan därmed inte användas** för överföringen av meddelandet.
- b) Fiberoptisk kommunikation sker oftast i det **infraröda** området. Exempel på vanligen använda våglängder är **0,85 μm , 1,3 μm och 1,55 μm .**