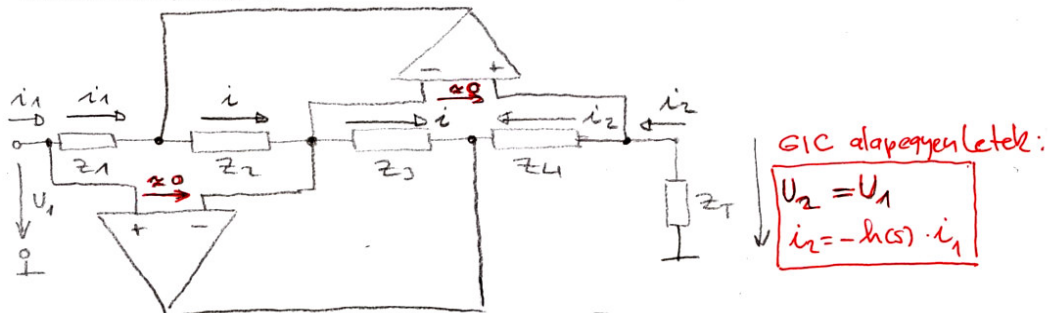


1. FELADAT. Induktivitás megvalósítása GIC áramkörrel.

Rajzoljon fel két műveleti erősítővel felépített GIC kapcsolást, amivel induktivitást valósítunk meg. Határozza meg a kapcsolás elemeit és a lezáró impedanciát úgy, hogy a megvalósított induktivitás $10\mu\text{H}$ legyen.



$$i_1 \cdot Z_1 + i \cdot Z_2 = 0 \rightarrow i = -i_1 \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$i \cdot Z_3 - i_2 \cdot Z_4 = 0 \rightarrow i = i_2 \frac{Z_4}{Z_3}$$

$$-i_1 \frac{Z_1}{Z_2} = i_2 \frac{Z_4}{Z_3}$$

$$i_1 = -i_2 \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}$$

$$Z_{be} = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_1} = \frac{U_2}{-i_2 \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}} = Z_T \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

$$Z_T = R_T, Z_1 = R_1, Z_3 = R_3, Z_2 = \frac{1}{sC_2}, Z_4 = R_4$$

$$Z_{be} = sC_2 \frac{R_T \cdot R_1 \cdot R_3}{R_4} = sL$$

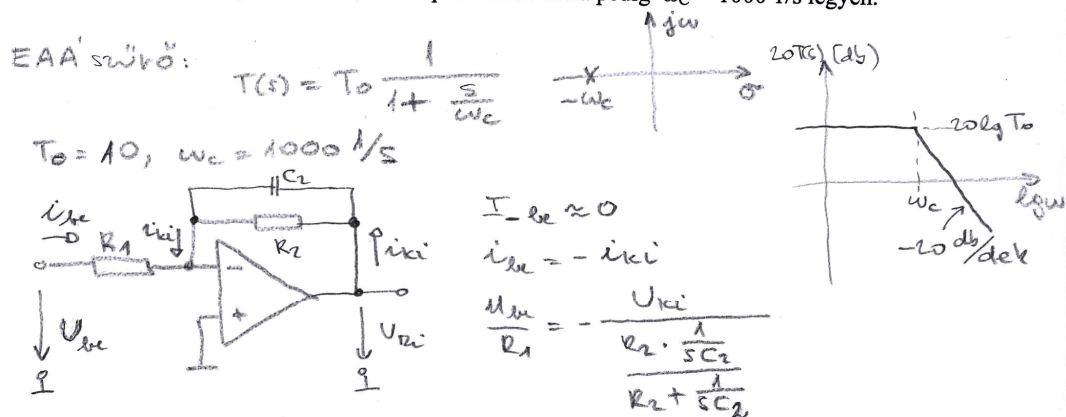
$$L = \frac{C_2 \cdot R_T \cdot R_1 \cdot R_3}{R_4}$$

legyen $R_T = R_1 = R_3 = 1\text{k}, R_4 = 100\text{k}$

$$C_2 = \frac{L \cdot R_4}{R_T \cdot R_1 \cdot R_3} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5}{10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 10^{-9} \text{ F} = 1\text{nF}$$

2. FELADAT. Elsőfokú alul áteresztő szűrő megvalósítása műveleti erősítővel.

Elsőfokú alul áteresztő szűrő alaptagot műveleti erősítés kapcsolással (aktív RC szűrő) valósítunk meg. Határozzuk meg a kapcsolás átviteli függvényét. Határozzuk meg az elemek értékét úgy, hogy az egyenfeszültségű átvitel 10, a törésponti frekvencia pedig $\omega_c = 1000$ 1/s legyen.



$$\frac{U_{be}}{R_1} = - \frac{U_{ki}(R_2 + \frac{1}{sC_2})}{R_2 \cdot \frac{1}{sC_2}} \cdot \frac{1}{sC_2}$$

$$\frac{U_{be}}{R_1} = - \frac{U_{ki}(R_2 s C_2 + 1)}{R_2}$$

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = - \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + R_2 C_2 s} \left(T_0 \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_c}} \right)$$

$$T_0 = \frac{R_2}{R_1} \text{ legyen } R_1 = 1k \rightarrow R_2 = 10k$$

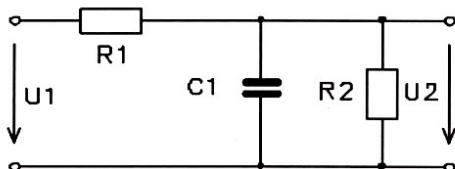
$$\frac{1}{\omega_c} = R_2 \cdot C_2 \rightarrow C_2 = \frac{1}{\omega_c \cdot R_2} = \frac{1}{10^3 \cdot 10^4} = 10^{-7} = 100 \cdot 10^{-9} F = 100 nF$$

Mennyi a kapcsolás bemenő ellenállása?

$$R_{be} = R_1 = 1k$$

3. FELADAT. Egytárolós R-C szűrő megvalósítása

Határozza meg az ábra szerinti egytárolós RC szűrő átviteli függvényét. Határozza meg az elemek értékét úgy, hogy a szűrő egyenfeszültségű átvitele $2/3$, a törésponti frekvenciája pedig $\omega_c = 1000$ 1/s legyen. Ismertesse a passzív szűrők előnyös tulajdonságait.



$$\begin{aligned}
 A(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} &= \frac{R_2 \times \frac{1}{sC_1}}{R_1 + R_2 \times \frac{1}{sC_1}} = \frac{\frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_1}}{R_2 + \frac{1}{sC_1}}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_1}}{R_2 + \frac{1}{sC_1}}} = \frac{\left(R_2 + \frac{1}{sC_1}\right)}{\left(R_2 + \frac{1}{sC_1}\right)} = \\
 &= \frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_1}}{R_1 \left(R_2 + \frac{1}{sC_1}\right) + R_2 \cdot \frac{1}{sC_1}} = \frac{(sC_1)}{(sC_1)} = \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot sC_1 + R_1 + R_2} = \\
 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} C_1 \cdot s} = \frac{A_{V0}}{1 + \frac{1}{\omega_c} s}
 \end{aligned}$$

$$\frac{2}{3} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$2R_1 + 2R_2 = 3R_2$$

$$2R_1 = R_2$$

$$R_1 = 10k$$

$$R_2 = 20k$$

$$\frac{1}{\omega_c} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} C_1$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega_c} \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} =$$

$$= \frac{1}{10^3} \frac{10^4 + 2 \cdot 10^4}{10^4 \cdot 2 \cdot 10^4} =$$

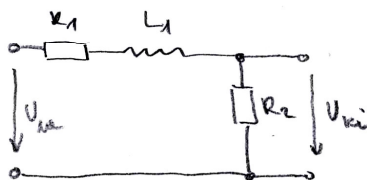
$$= \frac{3 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^{11}} = \frac{3}{2} \cdot 10^{-7} =$$

$$150 \cdot 10^{-9} F = 150 nF$$

- csak passzív elem (nehézbáncsolás kicsi)
 - nincs hővesztés (energiatérlet)
 - saját zajja kicsi (nincs erősítő)
 - minimális elemisméret (minden reaktív elem képes egy pótlást, vagy zérushelyet)

4. FELADAT. Egytárolós L-C szűrő megvalósítása

Rajzoljon fel egy egytárolós RL szűrőt és határozza meg az átviteli függvényét. Rajzolja fel a közelítő Bode amplitúdó diagramját. Jellegre adja meg a σ , $j\omega$ koordináta rendszerben a pólusok (x) és a zérushelyek (o) elhelyezkedését. Határozza meg az elemek értékét úgy, hogy a szűrő egyenfeszültségű átvitele $2/3$, a törésponti frekvenciája pedig $\omega_c = 5 \cdot 10^5$ 1/s legyen. A terhelő (R_2) ellenállás értéke 1K. Egészítse ki a kapcsolást további elemmel, vagy elemekkel úgy, hogy a szűrőnek legalább egy zérus helye legyen.



$$U_{ki}(s) = U_{we}(s) \frac{R_2}{R_1 + R_2 + sL_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{1 + \frac{sL_1}{R_1 + R_2}} U_{we}(s)$$

$$A(s) = \frac{U_{ki}(s)}{U_{we}(s)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{1 + s \frac{L_1}{R_1 + R_2}} \left(\frac{T_0}{1 + \frac{s}{\omega_c}} \right)$$

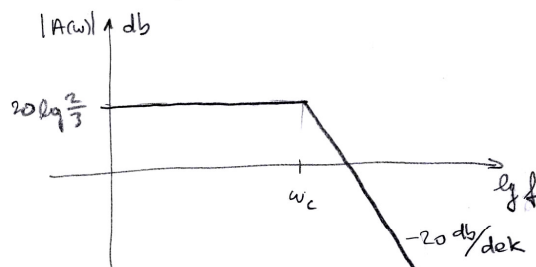
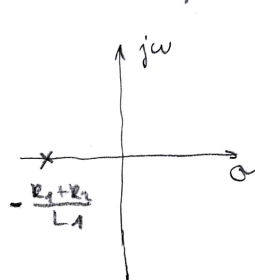
$$T_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{3}$$

$$1 = \frac{2}{3} R_1 + \frac{2}{3}$$

$$\frac{1}{3} = \frac{2}{3} R_1$$

$$R_1 = \frac{1}{2} \text{ K } (500 \Omega)$$

$$\omega_c = \frac{R_1 + R_2}{L_1} \rightarrow L_1 = \frac{R_1 + R_2}{\omega_c} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^5} = 0,3 \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 3 \text{ mH}$$

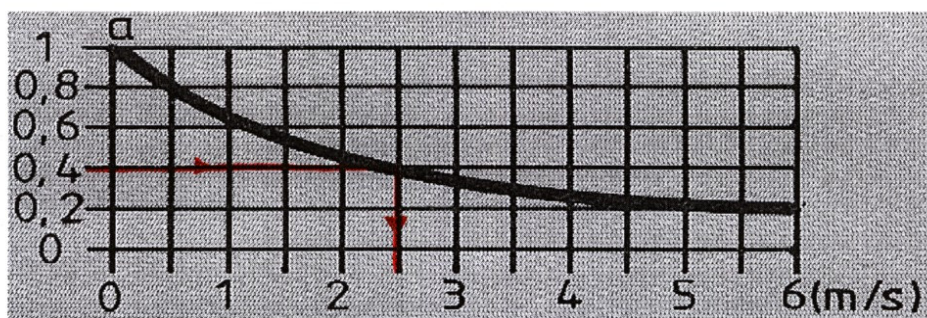


Zérus hely létrehozása: Kapcsoljunk az L_1 induktivitással párhuzamosan egy C_1 kondenzátort. Ekkor az L_1 - C_1 rezonancia frekvencián keletkezik zérus hely, hiszen az ideális (vesztésmentes) párhuzamos rezgőkör a rezonancia frekvencián végtelen impedanciát jelent, azaz az átvitel ezen a frekvencián 0.

ha marad idő elmaradt példák megoldása, vagy a következők:

4. FELADAT. Melegedés, hűtőborda, léghűtés.

Egy teljesítménytranzisztor belső hőellenállása $R_{thb}=1.2$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]. A tranzisztor egy $R_{thh}=7.5$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] hőátadási ellenállású hűtőbordára van szerelve. A tranzisztor és a hűtőborda közötti hőátadási ellenállás $R_{tha}=0.2$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]. A tranzisztor állandósult veszteségi teljesítménye $P_d=25\text{W}$, megengedett réteghőmérséklete $\theta_{j\text{meg}}=150^{\circ}\text{C}$. Megfelel-e a hűtőborda a tranzisztor hűtéséhez, ha a maximális környezeti hőmérséklet $\theta_{a\text{max}}=40^{\circ}\text{C}$? Ha nem, akkor mekkora légsebességgel kell a hűtő levegőt áramoltatni a hűtőbordán? Az ábrán a hűtőborda hőellenállásának a relatív megváltozása látható a légsebesség függvényében.



Léghűtés nélkül:

$$\theta_j = P_d (R_{thb} + R_{tha} + R_{thh}) + \theta_{a\text{max}}$$

$$\theta_j = 25 \cdot (1.2 + 0.2 + 7.5) + 40^{\circ}\text{C} = 262.5^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_j > \theta_{j\text{meg}}(150^{\circ}\text{C}) \Rightarrow \underline{\text{léghűtés szükséges}}$$

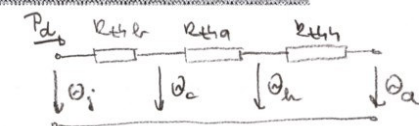
$$\theta_{j\text{meg}} = P_d (R_{thb} + R_{tha} + R_{thh}^*) + \theta_{a\text{max}}$$

$$R_{thh}^* = \frac{\theta_{j\text{meg}} - \theta_{a\text{max}}}{P_d} - R_{thb} - R_{tha} =$$

$$= \frac{150^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}}{25\text{W}} - 1.2 - 0.2 = 3^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

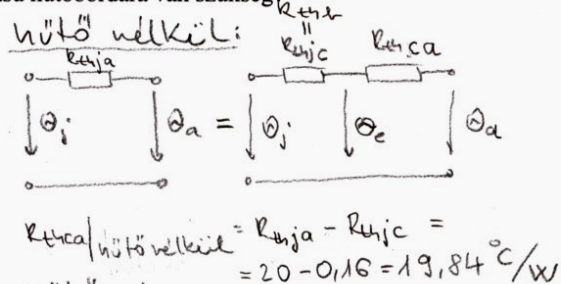
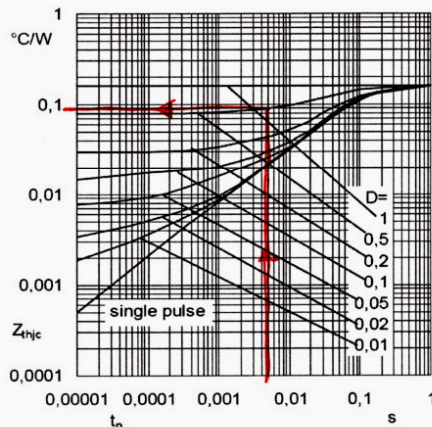
$$a = \frac{R_{thh}^*}{R_{thh}} = \frac{3^{\circ}\text{C}/\text{W}}{7.5^{\circ}\text{C}/\text{W}} = 0.4$$

Grafikon alapján a szükséges légsebesség: 2.5 m/s



5. FELADAT. Melegedés, hűtőborda, tranziens termikus impedancia.

Egy disco stroboszkóp villogtatását egy FET tranzisztor vezérli. A stroboszkóp tápfeszültsége 100V egyenfeszültség, teljesítménye 1000W. A villogtatás 50%-os kitöltési tényezővel, 100Hz-es frekvenciával működik. A FET tranzisztor adatai: belső hőellenállása $R_{thb}=0.16$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$], hűtőborda nélkül a teljes hőátadási ellenállás az átmenet és a környezeti levegő között $R_{thja}=20$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$], hűtőborda alkalmazása esetén a hőátadási ellenállás a hűtőborda felé $R_{tha}=0.15$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$], a tranzisztor bekapcsolt állapotbeli csatorna ellenállása $r_{DS(on)}=0.3\Omega$, $\theta_{jmcg}=160^{\circ}\text{C}$. A maximális környezeti hőmérséklet $\theta_{amax}=40^{\circ}\text{C}$. Mekkora a működtető FET-en átfolyó áram a bekapcsolás alatt (I_{DSM}) és középtételeben (I_{DSAV})? Mekkora a FET bekapcsolási idő alatti (P_{dKM}) és átlagos (P_{dAV}) disszipációs teljesítménye? Szükséges-e a FET-et hűteni? Ha igen mekkora R_{thh} hőellenállású hűtőbordára van szükség?



$$f = 100 \text{ Hz} \quad T = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ s} \quad (10 \text{ ms}) \quad t_p = 5 \text{ ms} \quad Z_{thb} = 0.09$$

$$D = \frac{t_p}{T} = 0.5 \rightarrow t_p = 0.01 \cdot 0.5 = 0.005 \text{ s} \quad (5 \text{ ms}) \quad D = 0.5$$

$$R_{ST} = \frac{U_T^2}{P} = \frac{100^2}{1000} = 10 \Omega$$

$$I_{DSM} = \frac{U_T}{R_{ST} + r_{DS(on)}} = \frac{100}{10 + 0.3} = \frac{100}{10.3} \approx 9.7 \text{ A}$$

$$I_{DSAV} = I_{DSM} \cdot D = 9.7 \cdot 0.5 = 4.85 \text{ A}$$

$$P_{dKM} = I_{DSM}^2 \cdot r_{DS(on)} = 9.7^2 \cdot 0.3 = 28.2 \text{ W}$$

$$P_{dAV} = P_{dKM} \cdot D = 28.2 \cdot 0.5 = 14.1 \text{ W}$$

hűtő nélkül:

$$\theta_j = P_{dKM} \cdot Z_{thb} + P_{dAV} \cdot R_{thca} + \theta_{amax} = 28.2 \cdot 0.09 + 14.1 \cdot 19.84 + 40 = 2.54 + 280 + 40 = 322.54^{\circ}\text{C} > \theta_{jmcg} = 160^{\circ}\text{C} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ KELL HŰTŐBORDA

hűtővel:

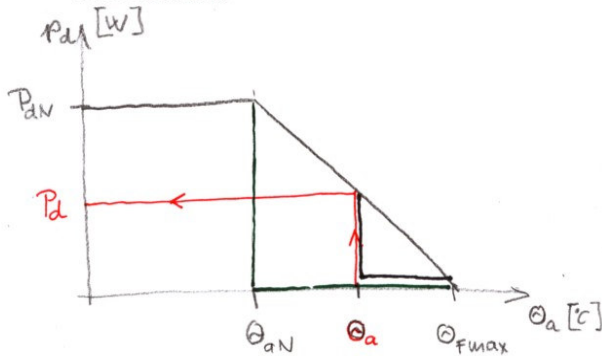
$$\theta_{jmcg} = P_{dKM} \cdot Z_{thb} + P_{dAV} (R_{thca} + R_{thh}) + \theta_{amax}$$

$$R_{thh} = \frac{\theta_{jmcg} - \theta_{amax} - P_{dKM} \cdot Z_{thb}}{P_{dAV}} - R_{thca} =$$

$$= \frac{160 - 40 - 28.2 \cdot 0.09}{14.1} - 0.15 = 8.33 - 0.15 = 8.18^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

1. FELADAT. Ellenállás melegedés, terhelhetőség.

Egy 10ohmos, $\theta_{aN}=35^\circ\text{C}$ -os névleges környezeti hőmérsékleten $P_{dN}=100\text{W}$ névleges terhelhetőségű, $\theta_{Fmax}=160^\circ\text{C}$ megengedett, maximális felületi hőmérsékletű huzalellenállást $\theta_a=60^\circ\text{C}$ -os környezeti hőmérsékleten használunk. Mekkora teljesítménnyel, illetve mekkora maximális effektív értékű árammal terhelhető az ellenállás $\theta_a=60^\circ\text{C}$ -os környezeti hőmérsékleten?



$$\frac{P_{dN}}{\theta_{Fmax} - \theta_{aN}} = \frac{P_d}{\theta_{Fmax} - \theta_a} \quad (\text{hasonló háromszögek})$$

$$P_d = P_{dN} \frac{\theta_{Fmax} - \theta_a}{\theta_{Fmax} - \theta_{aN}} = 100\text{W} \frac{160^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}}{160^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}} = 100\text{W} \frac{100^\circ\text{C}}{125^\circ\text{C}} = \underline{\underline{80\text{W}}}$$

$$I_{rms} = \frac{U_{rms}}{R} \quad I_{rms}^2 \cdot R = P \quad I_{rms} = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I_{rms}|_{\theta_a=60^\circ} = \sqrt{\frac{P_d}{R}} = \sqrt{\frac{80\text{W}}{10}} = \underline{\underline{2,82\text{A}}}$$

Mekkora az ellenállás áramterhelhetősége névleges környezeti hőmérsékleten?

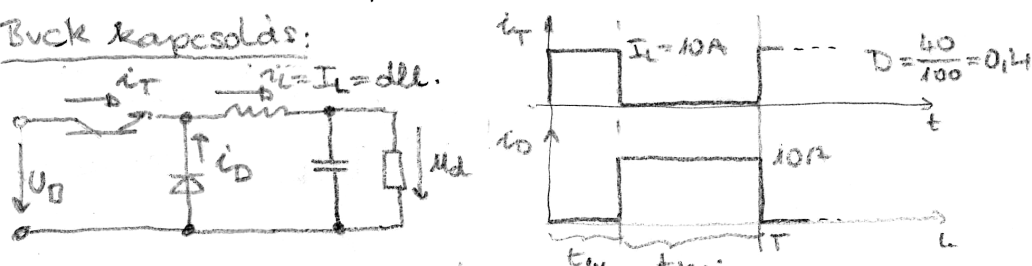
$$I_{rms}|_{\theta_a=35^\circ} = \sqrt{\frac{P_{dN}}{R}} = \sqrt{\frac{100}{10}} = \underline{\underline{3,16\text{A}}}$$

7. FELADAT. Közös hűtőre szerelt alkatrészek melegedése.

Egy 10A-es kimeneti áramú, feszültségcsökkentő (Buck) típusú egyenáramú szaggató kapcsolás $U_B=100V$ -os bemenő feszültségből $U_d=40V$ -os középértékű kimenő feszültséget állít elő. Az L induktivitás árama állandónak ($\Delta I_L \sim 0A$) tekinthető. A kapcsolási frekvencia 20kHz. A kapcsolás tranzisztora (T) és diódája (D) közös hűtőbordára van szerelve, aminek a hőátadási ellenállása $R_{thh}=15 [^{\circ}C/W]$. A kapcsoló tranzisztorra $R_{thb} (R_{thjc}) = 1.6 [^{\circ}C/W]$, $R_{thd} (R_{thch}) = 0.5 [^{\circ}C/W]$, a diódára $R_{thb} (R_{thjc}) = 1.2 [^{\circ}C/W]$, $R_{thd} (R_{thch}) = 0.5 [^{\circ}C/W]$. A tranzisztora (T) és a dióda bekapcsolt állapotbeli feszültség esése egységesen $0,5V$. Mekkora lesz $\theta_a=40^{\circ}C$ -os környezeti hőmérsékleten a tranzisztor és a dióda tokhőmérséklete (θ_{cT} és θ_{cD}), és réteghőmérséklete (θ_{jT} és θ_{jD})?

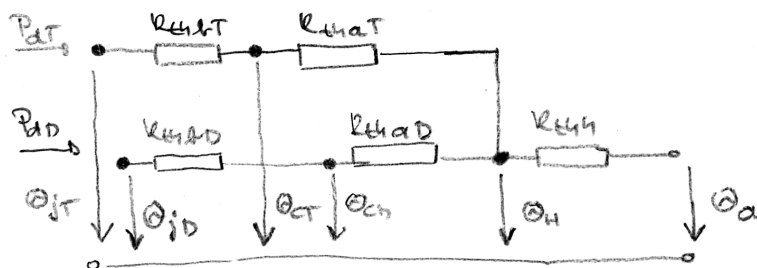
$f = 20kHz \gg 3-5kHz \rightarrow$ hőmérséklet elhanyagolható P_{DAV} -vel lehet számolni a p-n átmeneteknél is.

Buck kapcsolás:



$$P_{dT} = I_L \cdot \frac{t_{on}}{T} \cdot U_{To} = I_L \cdot \frac{DT}{T} \cdot U_{To} = 10 \cdot 0.4 \cdot 0.5 = 2W$$

$$P_{dD} = I_L \cdot \frac{t_{off}}{T} \cdot U_{To} = I_L \cdot \frac{0.6T}{T} \cdot U_{To} = 10 \cdot 0.6 \cdot 0.5 = 3W$$



$$\theta_h = \theta_a + (P_{dT} + P_{dD}) \cdot R_{thh} = 40 + (2 + 3) \cdot 15 = 115^{\circ}C$$

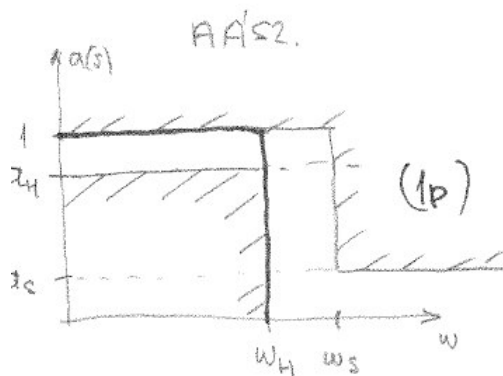
$$\theta_{cT} = P_{dT} \cdot R_{thaT} + \theta_h = 2 \cdot 0.5 + 115 = 116^{\circ}C$$

$$\theta_{jT} = P_{dT} \cdot R_{thjT} + \theta_{cT} = 2 \cdot 1.6 + 116 = 119.2^{\circ}C$$

$$\theta_{cD} = P_{dD} \cdot R_{thaD} + \theta_h = 3 \cdot 0.5 + 115 = 116.5^{\circ}C$$

$$\theta_{jD} = P_{dD} \cdot R_{thjD} + \theta_{cD} = 3 \cdot 1.2 + 116.5 = 120.1^{\circ}C$$

Rajzolja fel az alul áteresztő szűrő és a sávszűrő (sáváteresztő szűrő) tolerancia sémáját. Jelölje be az a_H , a_S átviteli tényezőket, valamint az $\omega_{H1}, \omega_{S1}, \omega_{H2}, \omega_{S2}$ frekvenciákat. Definiálja a sávszűrő esetére a sáv szélességet, sávközép frekvenciát, valamint a relatív sáv szélességet. Mit nevezünk lyukszűrőnek? Sorolja fel a szűrő tervezés lépéseit.



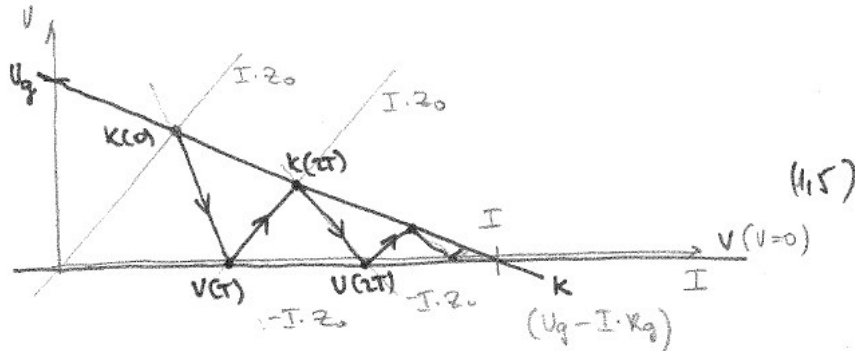
$$\left. \begin{aligned} \Delta \omega_H &= \omega_{H2} - \omega_{H1} \\ \omega_k &= \frac{\omega_{H2} + \omega_{H1}}{2} \\ \partial &= \frac{\Delta \omega_H}{\omega_k} \end{aligned} \right\} (0,5p)$$

$$\partial = 0,01 \dots 0,001 \quad (0,5p) \quad \text{lyukszűrő}$$

Szűrő tervezés lépései: (1p)

- 1., Specifikáció
- 2., Approximáció
- 3., Megvalósítás (realizáció)
- 4., Tolerancia vizsgálat

5. A Z_0 hullámimpedanciával és γ hullámterjedési együtthatóval jellemezhető l hosszúságú veszteségmentes távvezeték bemenetére (K) a $t=0$ pillanatban az R_g generátor ellenálláson át U_g egyenfeszültség forrást kapcsolunk. A távvezeték vége (V) rövidre van zárva ($Z_l=0$). A Bergeron szerkesztést használva rajzolja fel a kialakuló tranziens folyamatra a K és V pontokon az összetartozó feszültség-áram értékek alakulását. Határozza meg a tranziens folyamat végén a kialakuló állandósult áram értékét, a távvezetéken a jelterjedés idejét (T), a jelterjedés sebességét (v), ha $U_g=15V$, $R_g=10\Omega$, $l=10m$, $L=10\mu H/m$, $C=10pF/m$, $R=0$, $G=0$. Mennyi a reflexió tényező a távvezeték elején és végén? Hogyan alakulna a távvezeték végén a beérkező és a visszavert hullám viszonya (amplitúdó, fázishelyzet) ha $Z_l=\infty$, illetve $Z_l=Z_0$ lenne?



$$I = \frac{U_g}{R_g} = \frac{15V}{10\Omega} = 1,5A \quad (0,5)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-16}}} = \sqrt{10^{16}} = 10^8 \frac{m}{s} = 100.000 \frac{km}{s} \quad (0,5)$$

$$T = \frac{l}{v} = \frac{10m}{10^8 \frac{m}{s}} = 10^{-7}s = 100 \cdot 10^{-9}s = 100ns \quad (0,5)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt{10^6} = 10^3 \Omega = 1000\Omega$$

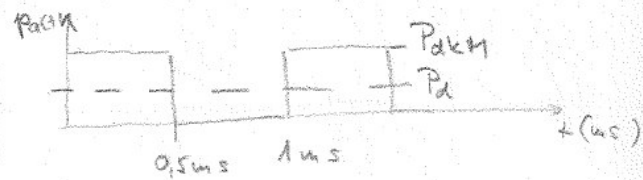
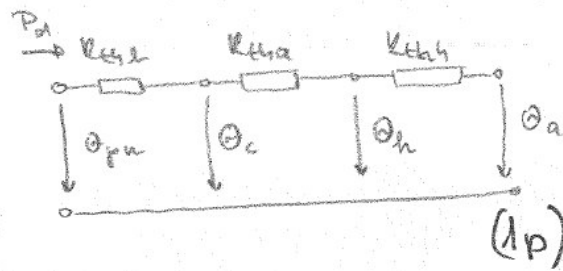
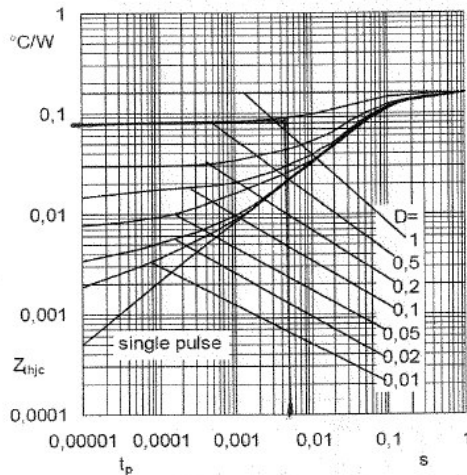
$$Z_g = \frac{Z_g - Z_0}{Z_g + Z_0} = \frac{10 - 1000}{10 + 1000} = -0,9 \quad (0,5)$$

$$Z_l = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} = \frac{0 - 1000}{0 + 1000} = -1 \quad (0,5)$$

$$Z_l \Big|_{Z_l=\infty} = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} = \frac{1 - \frac{Z_0}{Z_l}}{1 + \frac{Z_0}{Z_l}} = 1 \quad (0,5)$$

$$Z_l \Big|_{Z_l=Z_0} = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} = 0 \quad (0,5)$$

Egy kapcsolóüzemben működő teljesítmény tranzisztor belső hőellenállása $R_{thb}=0.16 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$, átmeneti hőellenállása a hűtőborda felé $R_{tha}=0.2 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$, $\theta_{j\text{meg}}=150^{\circ}\text{C}$. A kapcsolóüzemű működés periódusideje: 1ms , a tranzisztor periódusonként fél periódusidőre van bekapcsolva. A bekapcsolási idő alatt a tranzisztor veszteségi teljesítménye folyamatosan $P_{\text{dKM}}=250\text{W}$ állandó értékű. Rajzolja fel a termikus helyettesítő kapcsolást. Legfeljebb mekkora R_{thh} hőellenállású hűtőbordára kell felszerelni a tranzisztort, ha a maximális környezeti hőmérséklet $\theta_{\text{amax}}=40^{\circ}\text{C}$. Mennyi lenne az R_{thh} maximális értéke, ha a kapcsolási frekvenciát 20kHz -re növelnénk?



$$P_{\text{dKM}} = 250\text{W} \rightarrow P_d = 125\text{W}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_p = 0.5\text{ms} \\ T = 1\text{ms} \end{array} \right\} D = 0.5 \rightarrow Z_{thj} \approx 0.082^{\circ}\text{C}/\text{W} \quad (1p)$$

$$\theta_{j\text{meg}} = Z_{thj} \cdot P_{\text{dKM}} + P_d (R_{tha} + R_{thhh}) + \theta_{\text{am}} \quad (1p)$$

$$R_{thhh} = \frac{\theta_{j\text{meg}} - \theta_{\text{am}} - Z_{thj} \cdot P_{\text{dKM}}}{P_d} - R_{tha} = \frac{150 - 40 - 0.082 \cdot 250}{125} - 0.2 = 0.516^{\circ}\text{C}/\text{W} \quad (0.5p)$$

20kHz

$$\theta_{j\text{meg}} = P_d (R_{thb} + R_{tha} + R_{thhh|_{20}}) + \theta_{\text{am}} \quad (1p)$$

$$R_{thhh|_{20}} = \frac{\theta_{j\text{meg}} - \theta_{\text{am}}}{P_d} - R_{tha} - R_{thb} = \frac{150 - 40}{125} - 0.16 - 0.2 = 0.52^{\circ}\text{C}/\text{W} \quad (0.5p)$$