

A fogyasztón fellépő maximális átlagteljesítmény, mivel szinuszos a jel (1/2-es szorzó):

$$P_{f \max} = \frac{1}{2} (I_{f \max})^2 R_f = \frac{1}{2} 1 \cdot 14 = 7 \text{ W}$$

A 2 telepből felvett átlagteljesítmény: $P_{2telep \max} = 2U_t \bar{i}_C = 2U_t I_0 = 2 \cdot 15 \cdot 0,5 = 15 \text{ W}$ kivezérlés és jelalak függetlenül állandó.

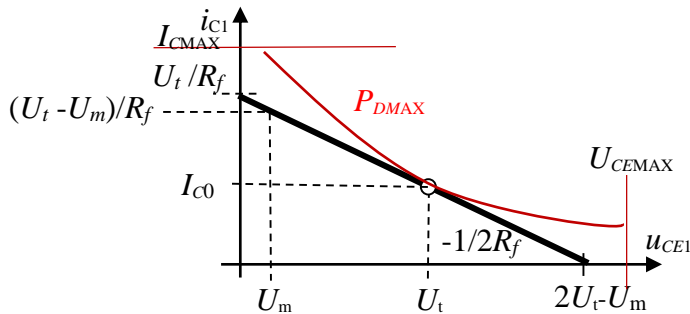
Az 1 tranzisztoron eldisszipált hővé alakuló átlagteljesítmény:

$$P_{D1tr \max} = \frac{1}{2} [P_{2telep} - P_{f \min}] = \frac{1}{2} [15 - 0] = 7,5 \text{ W}$$

A maximális hatásfok:

$$\eta_{t \max} = \frac{P_{f \max}}{P_{2telep}} = \frac{\frac{1}{2} I_{f \max}^2 R_f}{2U_t I_0} = \frac{7}{15} = 0,4666 = \mathbf{46,66 \%}$$

A munkaegyenes:



A tranzisztorok határadatai:

$$P_{D \max} = P_{D1tr \max} = 7,5 \text{ W}$$

$$U_{CE \max} \geq 2U_t - U_m = 30 - 1 = 29 \text{ V}$$

$$I_{C \max} \geq \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1 \text{ A}$$

A BD243-BD244 komplementer párral valóban megépíthető.

A tápegységből felvett maximális áram (megegyezik a tranzisztor, illetve a fogyasztó legnagyobb áramával):

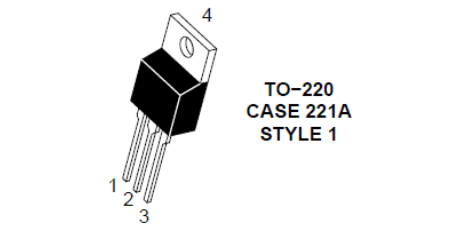
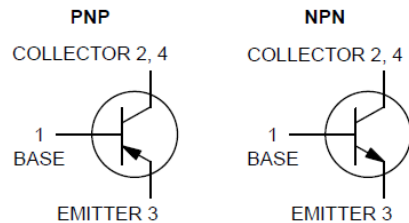
$$I_{t \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1 \text{ A}$$

A hűtőborda hőellenállása:

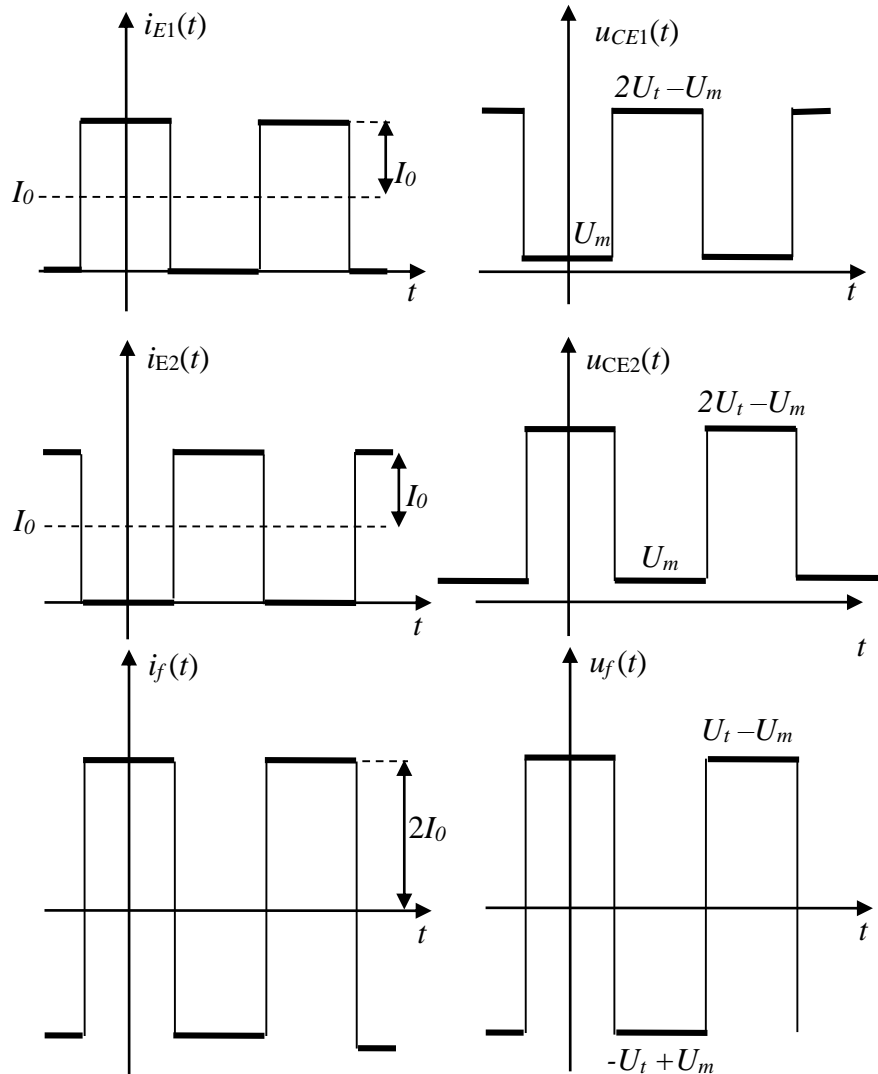
$$T_{\text{Junction}} = T_{\text{Ambient}} + P_D R_{thCA} + P_D R_{thJC}$$

$$R_{thCA} = \frac{T_J - T_A - P_D R_{thJC}}{P_D} = \frac{150 - 75 - 7,5 \cdot 2}{7,5} = 8 \text{ C/W}$$

Ez egy viszonylag nagy hűtőbordát igényel.



2.) Feladat Az előző áramkört változatlan adatokkal, csak **négyszög kimenő jellel** vizsgáljuk. Az ábra a maximális kivezérés esetét mutatja:



A kimenő feszültség maximuma ugyanúgy:

$$U_{f \max} = U_t - U_m$$

A fogyasztó árama ugyanúgy:

$$i_f = i_{E1} - i_{E2}$$

A kimenő (fogyasztó) áram maximuma ugyanúgy (A osztályú működés mellett, azaz a tranzistor nem zárhat le, csak határhelyzetben 0 az árama):

$$I_{f \max} = 2I_0$$

A tápfeszültség, illetve a munkaponti áram által meghatározott maximális kimenő feszültségek legyenek egyformák – optimális munkapont ugyanúgy:

$$U_t - U_m = 2R_f I_0$$

Az optimális munkaponti áram ugyanúgy: $I_0 = I_{0opt} = \frac{U_t - U_m}{2R_f} = \frac{15 - 1}{2 \cdot 14} = 0.5 \text{ A}$

A fogyasztón folyó maximális áram amplitúdó ugyanúgy: $I_{f \max} = 2I_0 = 1 \text{ A}$

A fogyasztón fellépő maximális átlagteljesítmény, mivel a négyzöggel effektív értéke a csúcserővel megegyezik (az $\frac{1}{2}$ -es szorzó eltűnik):

$$P_{f \max} = (I_{f \max})^2 R_f = 1 \cdot 14 = 14 \text{ W}$$

A 2 telepből felvett átlagteljesítmény ugyanannyi:

$P_{2telep \max} = 2U_t \overline{i_C} = 2U_t I_0 = 2 \cdot 15 \cdot 0,5 = 15 \text{ W}$ mivel ez kivezérlés és jelalak függetlenül állandó.

Az 1 tranzisztoron eldisszipált maximális átlagteljesítmény ugyanannyi:

$$P_{D1tr \max} = \frac{1}{2} [P_{2telep} - P_{f \min}] = \frac{1}{2} [15 - 0] = 7,5 \text{ W}$$

A maximális hatásfok: $\eta_{t \max} = \frac{P_{f \max}}{P_{2telep}} = \frac{I_{f \max}^2 R_f}{2U_t I_0} = \frac{14}{15} = 0,93 = 93 \%$

A jó maximális hatásfok abból adódik, hogy maximális kivezérlésnél a tranzisztorokon egyidejűleg nagy feszültség esik és kis áram folyik, vagy nagy áram folyik és kis feszültség esik. Ezért a szorzatuk, a disszipációs teljesítmény kicsi, a hatásfok jó.

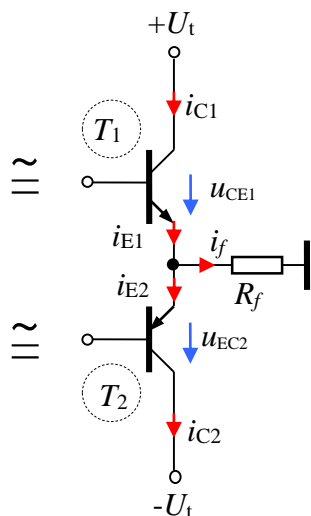
A tranzisztor határadatok a szinuszos esettel megegyeznek.

3.) Feladat: „B” osztályú végfokozat

Az első feladat áramkörét most B osztályban használjuk. Határozzuk meg az első feladatbéli paramétereket szinuszos, illetve négyszög kimenő jelet feltételezve.

$$U_t = 15 \text{ V}, \quad U_m = 1 \text{ V}, \quad A = 1, \quad I_0 = 0, \quad R_f = 14 \, \Omega,$$

$$T_A = 75 \text{ C}, \quad T_{JMAX} = 150 \text{ C}, \quad R_{thJC} = 2 \text{ C/W}$$



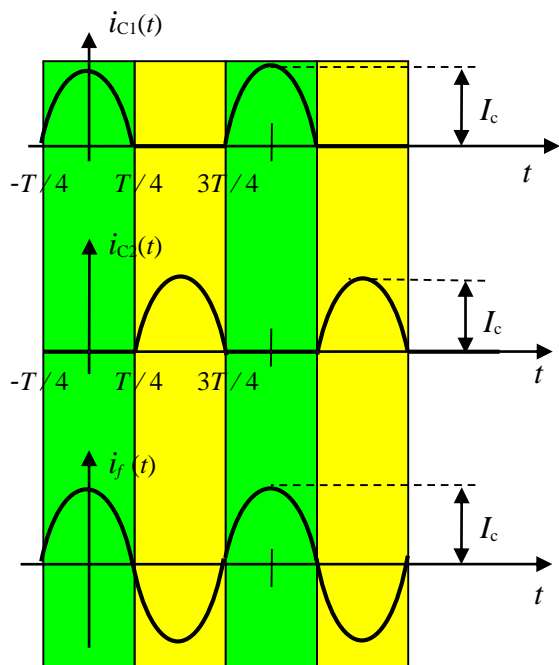
1. A maximális kimenő teljesítmény
2. A két telepből felvett teljesítmény
3. Telephatásfok
4. Egy tranzisztor maximális disszipációs teljesítménye
5. A tranzisztor U_{CEMax} , I_{CMax} paraméterei
6. A tápegységből felvett maximális áram
7. Az alkalmazandó hűtőborda maximális hőellenállása

Megoldás:

B osztályú erősítő áramai szinuszos kimeneti jellel:

“B” osztály

$$I_{C01} = I_{C02} = 0$$



A B osztályú erősítőben a tranzisztorok munkaponti árama nulla. A kimenőjel pozitív félperiódusában a T_1 tranzisztor vezet, míg a T_2 -őn nem folyik áram, a negatív félperiódusban pedig fordítva, az ábra szerint.

A kimenőfeszültség maximális értéke az A osztályhoz hasonlóan:

$$U_{f \max} = U_t - U_m = 15 - 1 = 14 \text{ V}$$

A maximális kimeneti áram:

$$I_{f \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1 \text{ A}$$

A maximális kimeneti teljesítmény *szinuszos* esetben:

$$P_{f \max} = \frac{1}{2} I_{f \max}^2 R_f = 0.5 * 1 * 14 = 7 \text{ W}$$

A maximális kimeneti teljesítmény *négyszögjel* esetén:

$$P_{f \max} = I_{f \max}^2 R_f = 1 * 14 = 14 \text{ W}, \text{ ahogyan ez az A osztály estén is volt.}$$

A 2 telepből felvett átlagteljesítmény: $P_{2telep} = 2U_t \bar{i}_C$

Ahol a telep áramának egyenáramú összetevője (átlaga) *szinuszos* vezérlő jelre, ahogyan azt előadáson láttuk:

$$\bar{i}_C = \frac{1}{T} \int_{-T/4}^{+T/4} I_c \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) dt = \frac{I_c}{T} \frac{T}{2\pi} \left[\sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \right]_{-T/4}^{+T/4} = \frac{I_c}{\pi}$$

A telepekből akkor vesszük fel a **maximális teljesítményt**, amikor az áram amplitúdója maximális: $I_{C \max} = I_{f \max}$

$$P_{2telep \max} = \frac{2}{\pi} U_t I_{C \max} = \frac{2}{\pi} 15 * 1 = 9.55 \text{ W}$$

Négyszög kimenő jelre:

$$\bar{i}_C = \frac{I_c}{2} \quad P_{2telep \max} = \frac{2}{2} U_t I_{C \max} = \frac{2}{2} 15 * 1 = 15 \text{ W}$$

Vezérlés nélkül a telepből felvett teljesítmény zérus, hiszen sem a T_1 , sem a T_2 tranzisztoron nem folyik áram!

A maximális kivezérléshez tartozó telephatásfok *szinuszos* esetben:

$$\eta_{telep} = \frac{P_{f \max}}{P_{2telep \max}} = \frac{7}{9.55} = 0.733 = 73.3 \%$$

A maximális kivezérléshez tartozó telephatásfok **négyszögjel** esetén:

$$\eta_{telep} = \frac{P_{f \max}}{P_{2telep \max}} = \frac{14}{15} = 0.93 = 93 \%$$

A disszipációs teljesítmény *maximumát* keressük, hiszen ez határozza meg a szükséges hűtési igényt. Míg A osztály esetén a maximális disszipáció a magától értetődően a minimális kivezérlésnél áll fenn, ez B osztályban nem igaz, hiszen akkor nulla a disszipáció.

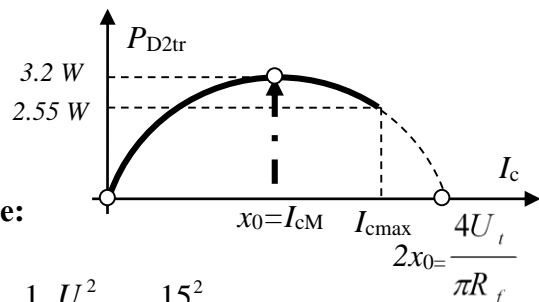
A tranzisztorokon **az eldisszipált teljesítmény szinuszos esetben** a kimenő áram függvényében:

$$P_{D2tr} = P_{2telep}(I_c) - P_f(I_c) = \frac{2}{\pi} U_t I_c - \frac{1}{2} I_c^2 R_f = -\frac{R_f}{2} I_c \left[I_c - \frac{4U_t}{\pi R_f} \right] \quad \{ y(x) = -ax(x - 2x_0) \}$$

$y(x)$ invertált parabola, ami 0-nál nulla, illetve $2x_0$ -nál nulla, mivel a parabola szimmetrikus, a maximum x_0 -nál van.

Tehát a maximális disszipációhoz tartozó áram:

$$I_c = I_{cM} = \frac{2 U_t}{\pi R_f} = \frac{2 \cdot 15}{\pi \cdot 14} = 0.682 \text{ A}$$



A maximális eldisszipált teljesítmény behelyettesítve:

$$P_{D1tr} = \frac{R_f}{4} I_c \left[\frac{4U_t}{\pi R_f} - I_c \right] = \frac{R_f}{4} \frac{2 U_t}{\pi R_f} \left(\frac{2 U_t}{\pi R_f} \right) = \frac{1}{\pi^2} \frac{U_t^2}{R_f} = \frac{15^2}{14 * \pi^2} = 1.6 \text{ W}$$

A tranzisztorokon az **eldisszipált teljesítmény négyszögjel esetén** a kimenő áram függvényében:

$$P_{D2tr} = P_{2telep}(I_c) - P_f(I_c) = \frac{2}{2} U_t I_c - I_c^2 R_f = -R_f I_c \left[I_c - \frac{U_t}{R_f} \right] \quad \{ y(x) = -ax(x - 2x_0) \}$$

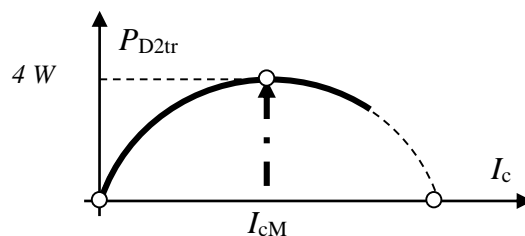
Ha a kivezérlés:

$$I_c = I_{cM} = \frac{U_t}{2R_f} = \frac{15}{2 \cdot 14} = 0.53 \text{ A}$$

Deriválással is kereshetünk volna szélső értéket:

$$\frac{dP_{D2tr}}{dI_c} = U_t - 2I_c R_f = 0$$

$$I_c = \frac{U_t}{2R_f} = \frac{15}{2 \cdot 14} = 0.53$$



A maximális eldisszipált teljesítmény behelyettesítve:

$$P_{D1tr} = \frac{1}{2} [U_t I_c - I_c^2 R_f] = \frac{1}{2} [15 \cdot 0.53 - 0.53^2 \cdot 14] = 2 \text{ W}$$

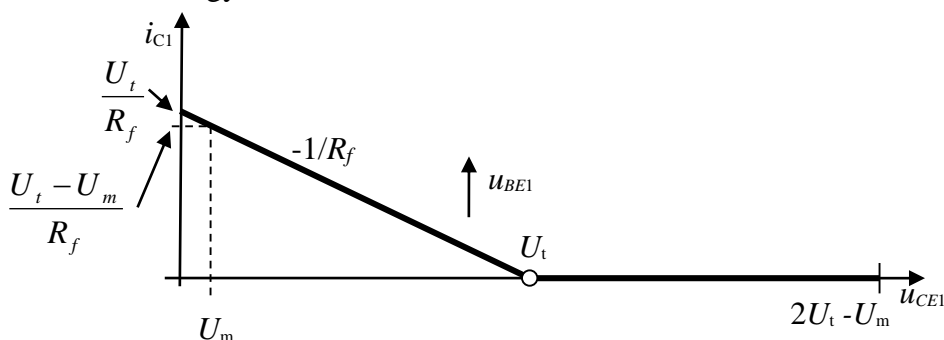
A tranzisztorok határadatainak számítása szinuszos, illetve négyszög esetben:

szinusz: $P_{DMAX} = P_{D1tr \max} = 1.6 \text{ W}$ négyszög: $P_{DMAX} = P_{D1tr \max} = 2 \text{ W}$

$$U_{CEMAX} \geq 2U_t - U_m = 30 - 1 = 29 \text{ V}$$

$$I_{CMAX} \geq \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1 \text{ A}$$

A munkaegyenes a :



A tápegységből felvett maximális áram (megegyezik a tranzisztor, illetve a fogyasztó legnagyobb áramával):

$$I_{t \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1 \text{ A}$$

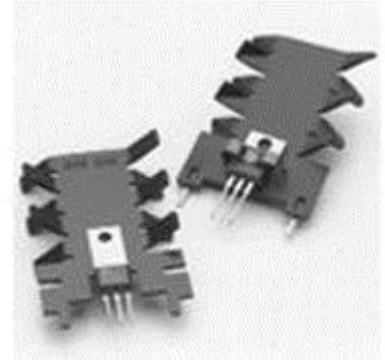
A hűtőborda hőellenállása szinuszos esetre:

$$R_{thCA} = \frac{T_J - T_A - P_D R_{thJC}}{P_D} = \frac{150 - 75 - 1.6 * 2}{1.6} = 44.8 C/W$$

A hűtőborda hőellenállása négyzög esetre:

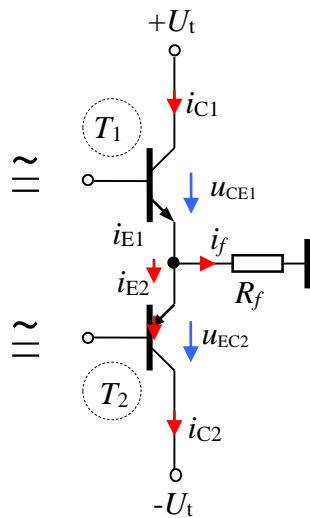
$$R_{thCA} = \frac{T_J - T_A - P_D R_{thJC}}{P_D} = \frac{150 - 75 - 2 * 2}{2} = 35.5 C/W$$

Láthatóan különbözik a disszipációs előírás a jelalak függvényében.



4.) Feladat: „B” osztályú végfokozat

Az első feladat áramkörét most is B osztályban használjuk. Ez az áramkör most egy változtatható *egyen feszültség forrás* végfokozata, ami ugyanarra az ohmos terhelésre dolgozik, mint az előző feladatokban.



$$U_t = 15 \text{ V}, \quad U_m = 1 \text{ V}, \quad A = 1, \quad I_0 = 0, \quad R_f = 14 \, \Omega,$$

$$T_A = 75 \text{ C}, \quad T_{JMAX} = 150 \text{ C}, \quad R_{thJC} = 2 \text{ C/W}$$

Határozzuk meg az alábbi paramétereket

1. A maximális kimenő teljesítmény
2. A két telepből felvett teljesítmény
3. Telephatásfok
4. Egy tranzisztor maximális disszipációs teljesítménye
5. A tranzisztor U_{CEMax} , I_{CMax} paramétere
6. A tápegységből felvett maximális áram
7. Az alkalmazandó hűtőborda maximális hőellenállása

A kimenő egyenfeszültség maximális értéke:

$$U_{f \max} = U_t - U_m = 15 - 1 = 14 \text{ V}$$

A maximális kimeneti áram:

$$I_{f \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1 \text{ A}$$

A maximális kimeneti teljesítmény *egyenfeszültség* esetben:

$$P_{f \max} = I_{f \max}^2 R_f = 1^2 * 14 = 14 \text{ W}, \text{ ahogyan a négyszögjelnél.}$$

A 2 telepből felvett átlagteljesítmény:

$$P_{2telep} = U_t I_f \text{ (mindig csak az egyik telepből veszünk fel teljesítményt)}$$

$$P_{2telep \max} = U_t I_{f \max} = 15 * 1 = 15 \text{ W}$$

Vezérlés nélkül a telepből felvett teljesítmény zérus, hiszen sem a T_1 , sem a T_2 tranzisztoron nem folyik áram!

A maximális telephatásfok *egyenáramon* a négyszögjelhez hasonlóan:

$$\eta_{telep \max} = \frac{P_{f \max}}{P_{2telep \max}} = \frac{14}{15} = 0.93 = 93 \%$$

A disszipációs teljesítmény maximumát keressük, hiszen ez határozza meg a szükséges hűtőbordát.

A munkaegyenes egyenlete, amelyen az összetartozó áram feszültség értékek lehetnek:

$$i_C = -\frac{1}{R_f} u_{CE} + \frac{U_t}{R_f}$$

A tranzisztor disszipációs teljesítménye: $P_D = u_{CE} i_C = -\frac{1}{R_f} u_{CE}^2 + \frac{U_t}{R_f} u_{CE}$

$$\frac{dP_D}{du_{CE}} = -2\frac{1}{R_f} u_{CE} + \frac{U_t}{R_f} = 0 \quad u_{CE} = \frac{U_t}{2}$$

Ebből a maximális disszipációs teljesítmény:

$$P_{D1tr\max} = -\frac{1}{R_f} \frac{U_t^2}{4} + \frac{U_t}{R_f} \frac{U_t}{2} = \frac{U_t^2}{4R_f} = \frac{225}{4 \cdot 14} = 4W$$

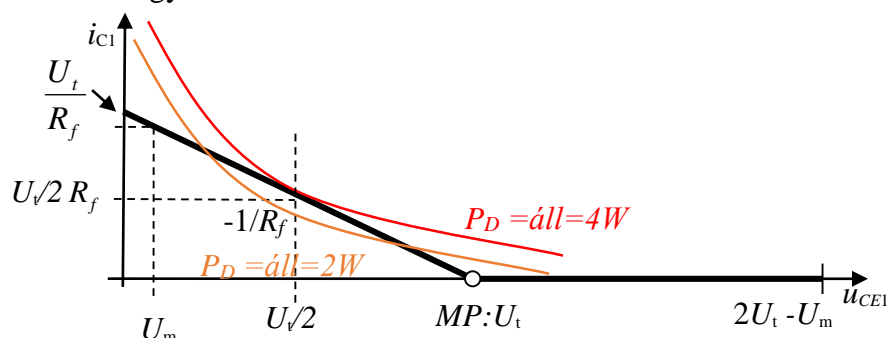
A tranzisztorok határadatainak számítása:

$$P_{D\max} = P_{D1tr\max} = 4W$$

$$U_{CE\max} \geq 2U_t - U_m = 30 - 1 = 29V$$

$$I_{C\max} \geq \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1A$$

A munkaegyenes:



A tápegységből felvett maximális áram (megegyezik a tranzisztor, illetve a fogyasztó legnagyobb áramával):

$$I_{t\max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{15 - 1}{14} = 1A$$

A hűtőborda hőellenállása:

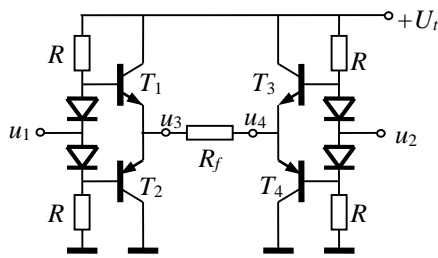
$$R_{thCA} = \frac{T_J - T_A - P_D R_{thJC}}{P_D} = \frac{150 - 75 - 4 \cdot 2}{4} = 16,75C/W$$

Látható, hogy ebben az esetben a szükséges hűtőborda hőellenállása sokkal kisebb, mérete sokkal nagyobb lesz. Tehát a váltóáramra tervezett B osztályú erősítővel nem lehet tetszőlegesen kis frekvenciájú jelet előállítani a túlmelegedés veszélye nélkül.



5.) Feladat: Egy autórádió *hídkapcsolású* végfokozatának kapcsolási rajzát mutatja az ábra. Az $R_f = 4\Omega$ ellenállás reprezentálja a személyautó hangsugárzóját (fogyasztó). A kapcsolás vezérlése (u_1, u_2) biztosítják, hogy az (u_3, u_4) kimenetek feszültségei ellentétes fázisban változzanak és kivezérlés nélkül mindkettő $U_t/2$ értékű legyen. Mindkét végfokozat **B osztályban** működik.

Adatok: tápfeszültség: $U_t = 12V$, $R = 500\Omega$, Maradékfeszültség: $U_m = 1V$, a diódák nyitófeszültsége: $U_{ny} = 0.6V$, $R_f = 4\Omega$



$$u_3(t) = \frac{U_t}{2} + \frac{u_v(t)}{2} \quad u_4(t) = \frac{U_t}{2} - \frac{u_v(t)}{2}$$

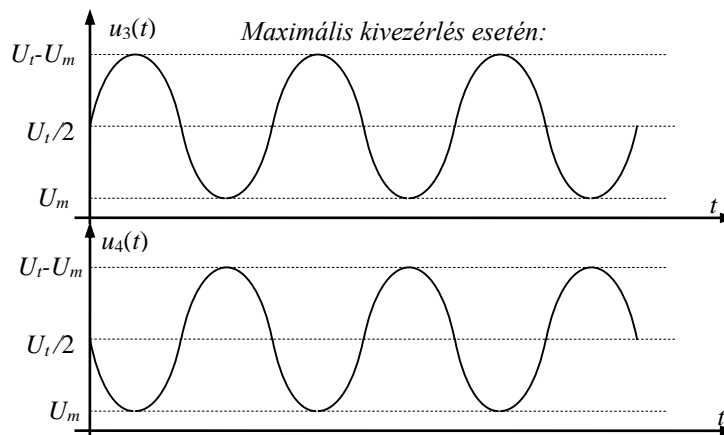
Megoldás:

a.) Mivel B osztályú a működés, kivezérlés nélkül a tranzisztorokon nincs áramfelvétel.

A tápegység árama a diódák árama:

$$2I_d = 2 \frac{U_t - 2U_{ny}}{2R} = 2 \frac{12 - 1.2}{1} = 21.6 \text{ mA}$$

b.)



c.) Mivel a kimeneti jel $U_f = u_3 - u_4$, ezért a kimeneti feszültség maximális amplitúdója:

$$U_{fMax} = U_t - 2U_m = 10V$$

A kimeneti szinuszos teljesítmény maximális értéke:

$$P_{fMax} = \frac{1}{2} \frac{U_{fMax}^2}{R_f} = \frac{1}{2} \frac{100}{4} = 12.5W$$

d.) Nem hídkapcsolás esetén:

$$U_f = u_3 - u_4 = u_3 - \frac{U_t}{2} \quad U_{fMax} = U_t - U_m - \frac{U_t}{2} = \frac{U_t}{2} - U_m = 6 - 1 = 5V$$

$$P_{Max} = \frac{1}{2} \frac{U_{fMax}^2}{R_f} = \frac{25}{8} = 3.125W$$

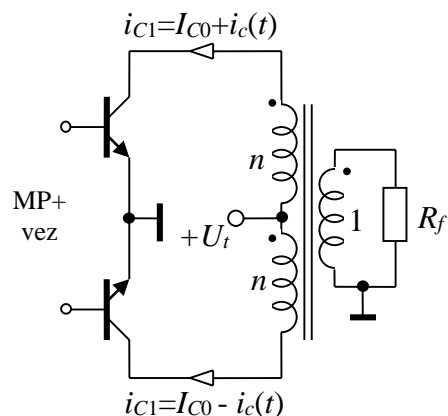
6.) Feladat

Határozzuk meg az „A” osztályú beállítás

- optimális munkaponti áramát,
- telepből felvett teljesítményt,
- a maximális kimenő teljesítményt és
- a maximálisan elérhető hatásfokot!

$$U_t = 15V, \quad U_m = 1V, \quad R_f = 7\Omega$$

$$n = 10, \quad \text{“A” osztályú beállítás}$$



Megoldás:

Mindkét tranzisztor munkapontja: $[U_t, I_{C0}]$

A váltóáramú helyettesítő képből:

Veszteségmentes transzformátor:

A váltóáramú helyettesítő képből:

$$P_{be} = P_{ki}$$

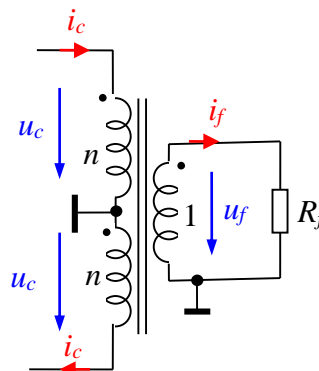
$$2u_c i_c = u_f i_f$$

$$u_c = nu_f$$

$$i_c = \frac{u_f i_f}{2u_c} = \frac{i_f}{2n}$$

$$R_v = \frac{u_c}{i_c} = \frac{nu_f}{i_f / 2n} = 2n^2 \frac{u_f}{i_f} = 2n^2 R_f$$

$$P_{f \max} = \frac{1}{2} I_{f \max}^2 R_f = \frac{1}{2} (2n I_{c \max})^2 R_f = I_{c \max}^2 R_v$$



Optimális munkapont:

$$U_{ce}^+ = U_{ce}^- \quad U_t - U_m = I_{C0} R_v$$

$$I_{C0 \text{ opt}} = \frac{U_t - U_m}{R_v}$$

$$R_v = 2n^2 R_f = 200 * 7 = 1.4 \text{ k}\Omega$$

$$I_{C0 \text{ opt}} = \frac{U_t - U_m}{R_v} = \frac{15 - 1}{1.4} = 10 \text{ mA} = I_{c \max}$$

$$P_t = 2U_t I_{C0} = 30 * 0.01 = 0.3 \text{ W} = 300 \text{ mW}$$

$$P_{f \max} = I_{c \max}^2 R_v = (0.01)^2 * 1400 = 0.14 \text{ W} = 140 \text{ mW}$$

$$\eta_t = \frac{P_{f \max}}{P_t} = \frac{140}{300} = 46.67 \%$$

