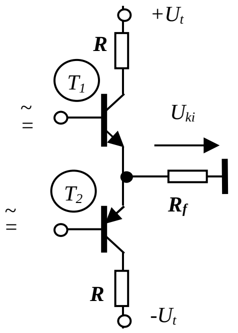
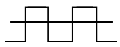


Az áramkör adatai:

$U_t = 16\,\text{V}, \quad R = 1\Omega \quad R_f = 14\,\Omega$

tranzisztorok : $U_m = 1\,\text{V}, \quad A = 1$

Határozza meg az ábrán látható ellenütemű, komplementer végfokozat teljesítmény paramétereit ($P_{f\,max}$ =?, $P_{t\,max}$ =?, $P_{D(1tr)\,max}$ =?, η_t =?, η_D =?)

- "A" osztályú és
- "B" osztályú üzemmódban is,
- szinuszos és $jel(t) = \sin(\omega t)$ 
- négyszög $jel(t) = sign(\sin(\omega t))$ 

kimenő jelekre !

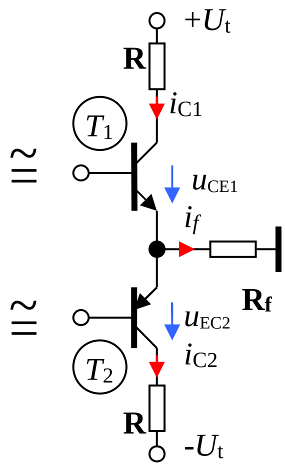
Megoldás:

Munkapont: gerjesztetlen állapotban $U_{ki} = 0$ követelményből a munkaponti áramokra

$$\longrightarrow \quad I_{C10} = I_{C20} = I_0 = ?$$

- "A" osztályú esetben: meghatározandó a maximális szimmetrikus kivezérléshez tartozó optimális $I_0 = I_{0\,opt}$ munkaponti áram.
- "B" osztályú esetben: $I_{C10} = I_{C20} = I_0 = 0$!

"A" osztályú eset



Általános feltételezés: a két tranzisztort sikerül úgy vezérelni, hogy az áramuk a vezérlés hatására ellenütemben változik, azaz

$$i_{C1}(t) = I_0 + \Delta i(t), \qquad i_{C2}(t) = I_0 - \Delta i(t)$$

A fogyasztó áramára írhatjuk: $i_f(t) = i_{c1}(t) - i_{c2}(t) = 2\Delta i(t)$,
ami I_k amplitúdójú szinuszos-, vagy négyszög-jel lehet:

$$i_f(t) = I_k \sin(\omega t), \quad \text{vagy } i_f(t) = I_k\, sign(\sin(\omega t))$$

és a kimeneti I_k amlitúdó a tranzisztor Δi áram-ingadozása I_d amplitúdójának a kétszerese:

$$I_k = 2\, I_d$$

A felső tranzisztorra egy fontos hurok egyenlet:

$$\boxed{U_t = R\, i_{C1} + u_{CE1} + R_f\, i_f = u_{CE1} + RI_0 + (R + 2R_f)\Delta i}$$

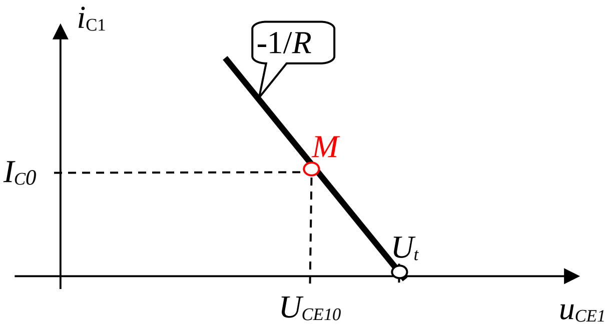
Vezérlés mentes esetben ($\Delta i=0$) az $i_{C1} = I_0$ munkaponti áramra kapjuk, hogy

$$U_t = u_{CE1} + RI_0 \qquad \text{azaz} \qquad \boxed{i_{C1}(u_{CE1}) = \frac{U_t}{R} - \frac{u_{CE1}}{R}}, \qquad u_{CE10} = U_t - RI_0$$

Tehát, a vezérlésmentes esethez tartozó munkaegyenes és munkapont:

$U_{CE10} = U_t - R\,I_0$

(azaz, a C-E kapu egyenáramú lezárása: $R_e = R$)



A kiindulási $\boxed{U_t = R\,i_{C1} + u_{CE1} + R_f\,i_f = u_{CE1} + RI_0 + (R+2R_f)\Delta i}$ hurok egyenlet alakja a

munkaponti értékektől való $\Delta i = \Delta i_{C1}$, $\Delta u_{CE} = (u_{CE} - U_{CE0})$ eltérésekre:

$$\Delta i = -\frac{u_{CE1} - (U_t - RI_0)}{R+2R_f} \qquad \text{azaz} \qquad \Delta i_{c1} = -\frac{\Delta u_{CE1}}{R+2R_f}$$

(azaz, a C-E kapu váltóáramú lezárása: $R_v = R+2R_f$)

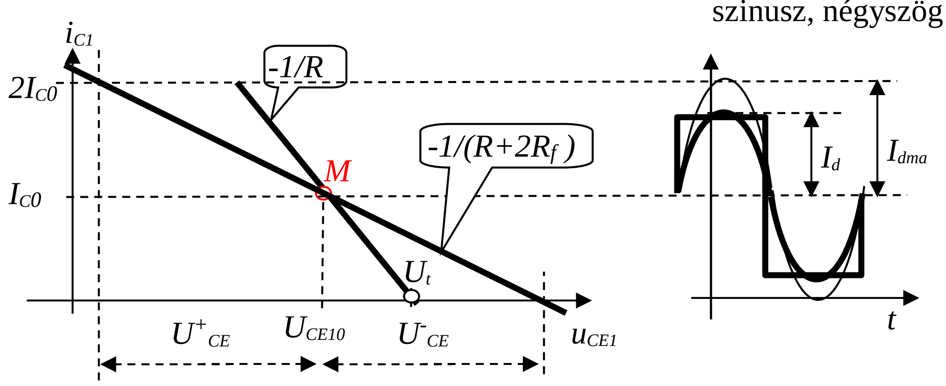
Tehát a munkaponti értékektől való eltérések munka egyenese:

$i_{C1}(t)=I_0+\Delta i$
szinusz, négyszög

Kivezérelhetőség:

$$U_{CE}^{+} = U_{CE0} - U_m = \\ = U_t - I_0 R - U_m$$

$$U_{CE}^{-} = I_0(R+2R_f)$$



Maximális szimmetrikus kivezérelhetőség és a hozzátartozó **optimális munkaponti áram:**

$$U_{CE}^{+} = U_{CE}^{-} \qquad \Rightarrow \qquad I_{0\,opt} = \frac{U_t - U_m}{2(R+R_f)} = \frac{16-1}{2(1+14)} = 0.5A \qquad \boxed{I_{0\,opt} = 0.5A}$$

A munkaponti áramtól való periódikus és szimmetrikus eltérés amplitúdójának maximuma:

$$I_{d\max} = I_{0\,opt} = \frac{U_t - U_m}{2(R+R_f)}$$

és az R_f fogyasztón folyó kimeneti áram maximális amplitúdója:

$$I_k = 2\,I_d\,, \qquad I_{k\max} = 2I_{0\,opt} = \frac{U_t - U_m}{R+R_f} = 1\ \text{A} \qquad \boxed{I_{k\max} = 1\ \text{A}}$$

A teljesítmények számítása:

A fogyasztóra jutó **hatásos teljesítmény** (természetesen, függ a kivezérléstől, annak amplitúdója négyzetével arányos):

- szinuszos kimenet: $P_{fszinusz} = \frac{1}{2} R_f I_k^2, \quad P_{f\max} = \frac{1}{2} R_f I_{k\max}^2 = \frac{1}{2} R_f \left(\frac{U_t - U_m}{R + R_f} \right)^2$ $\boxed{P_{fszinusz} = 7\ \mathrm{W}}$
- négyszög kimenet: $P_{fnégyszög} = R_f I_k^2, \quad P_{f\max} = R_f I_{k\max}^2 = R_f \left(\frac{U_t - U_m}{R + R_f} \right)^2$ $\boxed{P_{fnégyszög} = 14\ \mathrm{W}}$

Telep teljesítmény: $P_{t1} = \overline{U_t i_{c1}(t)} = U_t \overline{I_0 + \Delta i(t)} = U_t I_0 = \frac{U_t (U_t - U_m)}{2(R + R_f)}$

$P_t = P_{t1} + P_{t2} = P_{t\max}$ $\boxed{P_{t\max} = 16\ \mathrm{W}}$

Nem függ a kivezérléstől "A" osztály esetén!

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{P_{f\max}}{P_{t\max}}$ $\boxed{\eta_{tszinusz} = \frac{7}{16} = 43{,}75\%}$ $\boxed{\eta_{tsnégyszög} = \frac{14}{16} = 87{,}5\%}$

Tranzisztor **disszipációs teljesítmény**: $P_D = P_{D1} + P_{D2}$, szimmetria miatt: $P_{D1} = P_{D2}$

- direkt módon számolva:

$$P_{D1} = \overline{u_{CE1}(t) i_{C1}(t)} = \overline{\left(U_t - R(I_0 + \Delta i(t)) - R_f 2\Delta i(t)\right)(I_0 + \Delta i(t))} =$$

$$= \overline{U_t I_0 - R I_0^2 + [U_t - (R + 2R_f) I_0] \Delta i(t) - (R + 2R_f) \Delta i(t)^2} =$$

$$= U_t I_0 - R I_0^2 - (R + 2R_f) \overline{\Delta i(t)^2} = \begin{cases} U_t I_0 - R I_0^2 - \frac{1}{2} (R + 2R_f) I_d^2 & \text{szimusz esetén} \\ U_t I_0 - R I_0^2 - (R + 2R_f) I_d^2 & \text{négyszög esetén} \end{cases}$$

Függ a kivezérléstől! Maximális, ha minimális (nulla) a kivezérlés:

$P_{D1\max} = U_t I_0 - R I_0^2$ $\boxed{P_{D1\max} = 7.75W}$

- indirekt módon számolva:

$$P_{D1} + P_{D2} = P_t - P_R - P_R - P_{R_f} = 2U_t I_0 - R\overline{(I_0 + \Delta i(t))^2} - R\overline{(I_0 - \Delta i(t))^2} - R_f \overline{(2\Delta i(t))^2} =$$

$$= 2U_t I_0 - 2R I_0^2 - 2\frac{1}{2} R I_d^2 - \frac{1}{2} R_f 4 I_d^2 = 2U_t I_0 - 2R I_0^2 - R I_d^2 \text{-} 2R_f I_d^2 \quad \text{(szinusz esetén)}$$

$P_{D1} = P_{D2}$ maximális, ha $I_d = 0$, azaz, ha nincs vezérlés:

$P_{D1\max} = U_t I_0 - R I_0^2$ Ugyan az, mint amit az előbb kaptunk!

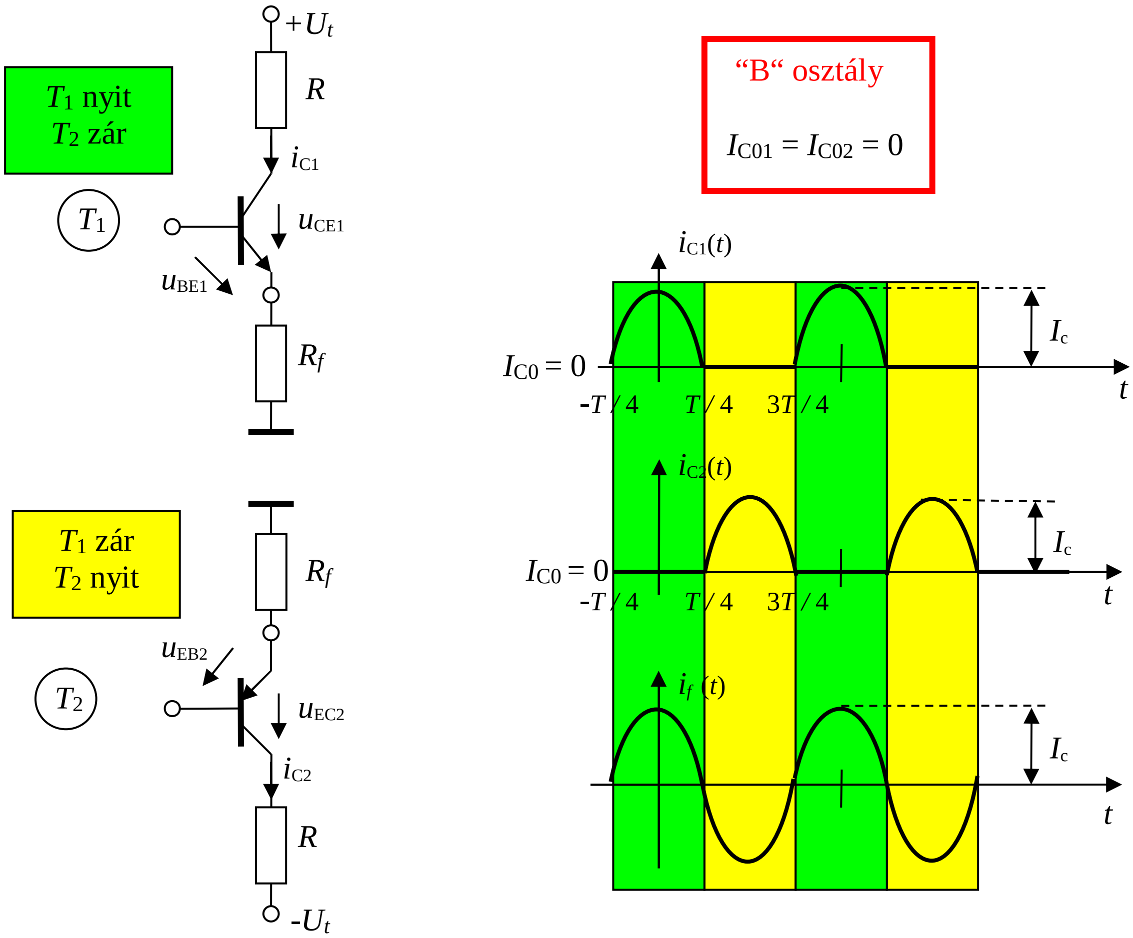
Disszipációs hatásfok(egy tranzisztorra): $\eta_{D1tr} = \frac{P_{f\max}}{P_{D1\max}}$ $\boxed{\eta_{D1szinusz} = 90.3\%}$ $\boxed{\eta_{D1snégyszög} = 180.6\%}$

"B" osztályú eset

A szimmetrikus, periódikus gerjesztés

- pozítív felében a T2 tranzisztor zárva, T1 vezet, árama az R_f fogyasztón át folyik a föld felé
- negatív felében T1 tranzisztor zárva, T2 vezet, árama az R_f fogyasztón át folyik a föld felől.

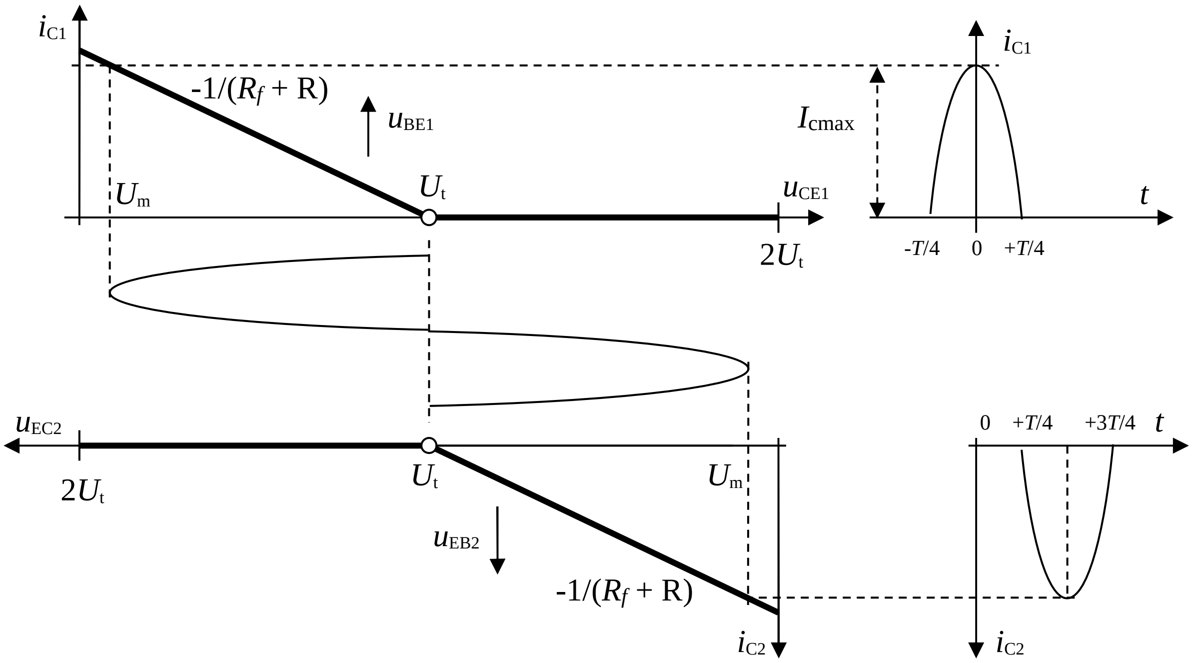
A fogyasztón folyó I_C amplitúdójú periódikus áram félperiódusa a T1 tranzisztoron folyik, másik félperiódusa a T2-n.



A fogyasztón folyó periódikus áram I_C amplitúdóját a tranzisztorok kivezérelhetősége korlátozza:

$$U_t = u_{CE1} + i_{C1}\left(R_f + R\right), \quad u_{CE1} > U_m \quad \rightarrow \quad I_{cmax} = \frac{U_t - U_m}{R + R_f}$$

$$\boxed{I_{C\max} = 1\ \mathrm{A}}$$



A teljesítmények számítása:

A **fogyasztóra jutó hatásos teljesítmény:**

- szinuszos kimenet: $P_{fszinusz} = \frac{1}{2} R_f I_C^2$, $\quad P_{f\max} = \frac{1}{2} R_f I_{C\max}^2 = \frac{1}{2} R_f \left(\frac{U_t - U_m}{R + R_f} \right)^2$ $\quad \boxed{P_{fszinusz} = 7 \text{ W}}$
- négyszög kimenet: $P_{fnégyszög} = R_f I_k^2$, $\quad P_{f\max} = R_f I_{k\max}^2 = R_f \left(\frac{U_t - U_m}{R + R_f} \right)^2$ $\quad \boxed{P_{fnégyszög} = 14 \text{ W}}$

Telep teljesítmény: "B" osztály esetén függ a kimeneti jelalaktól és a kivezérléstől is :

- szinuszos kimenet: $P_{t1} = \overline{U_t i_{c1}(t)} = U_t \overline{I_C\, félszinusz} = U_t \frac{1}{\pi} I_C$

$$P_{t1\max} = U_t \frac{1}{\pi} I_{C\max} = \frac{U_t (U_t - U_m)}{\pi (R + R_f)}$$

$$P_{t1} = P_{t2} \Rightarrow P_{t\max} = 2P_{t1\max} = \frac{2}{\pi} \frac{U_t (U_t - U_m)}{R + R_f} \qquad \boxed{P_{t\max} = 10.19 \quad \text{W}}$$

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{P_{f\max}}{P_{t\max}}$ $\qquad \boxed{\eta_{tszinusz} = 68{,}72\%}$

- négyszög kimenet: $P_{t1} = \overline{U_t i_{c1}(t)} = U_t \overline{I_C\, félnégyszög} = U_t \frac{1}{2} I_C$

$$P_{t1\max} = U_t \frac{1}{2} I_{C\max} = \frac{U_t (U_t - U_m)}{2(R + R_f)}$$

$$P_{t1} = P_{t2} \Rightarrow P_{t\max} = 2P_{t1\max} = \frac{U_t (U_t - U_m)}{R + R_f} \qquad \boxed{P_{t\max} = 16 \text{ W}}$$

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{P_{f\max}}{P_{t\max}}$ $\qquad \boxed{\eta_{tsnégyszög} = 87{,}50\%}$

Tranzisztor disszipációs teljesítmény: $P_D = P_{D1} + P_{D2}$, szimmetria miatt: $P_{D1} = P_{D2}$

- direkt számolva:

$$P_{D1} = \overline{u_{CE1}(t) i_{C1}(t)} = \overline{\left(U_t - R\, i_{C1}(t) - R_f\, i_f(t)\right) i_{C1}(t)} =$$
$$= \overline{U_t i_{C1}(t) - R i_{C1}(t)^2 - R_f i_{C1}(t) i_f(t)} = U_t \overline{i_{C1}(t)} - R\overline{i_{C1}(t)^2} - R_f \overline{i_{C1}(t) i_f(t)}$$

  - szinuszos esetben: $i_f(t)$ szinusz, $i_{C1}(t)$ félszinusz I_C amplitúdóval:

$$\overline{i_{C1}(t)} = \frac{1}{\pi} I_c \qquad \overline{i_{C1}(t)^2} = \overline{i_{C1}(t) i_f(t)} = \frac{1}{4} I_c^{\,2}$$

$$P_{D1} = \frac{U_t}{\pi} I_C - \frac{(R+R_f)}{4} I_C^{\,2}$$ másodrendűen függ az I_C áramkivezérléstől:

maximális: $\frac{d}{dI_c} P_{D1}(I_C) = 0 \;\rightarrow\; \frac{U_t}{\pi} = \frac{(R+R_f)}{2} I_C \;\rightarrow\; I_{Ch} = \frac{2}{\pi}\frac{U_t}{(R+R_f)}$

$$P_{D1\max} = \frac{1}{\pi^2}\frac{U_t^{\,2}}{(R+R_f)} \qquad \boxed{P_{D1\max} = 1{,}73W}$$

Disszipációs hatásfok(egy tranzisztorra): $\eta_{D1tr} = \frac{P_{f\max}}{P_{D1\max}}$ $\boxed{\eta_{D1szinusz} = 405\%}$

  - négyszög jel esetben: $i_f(t)$ négyszög, $i_{C1}(t)$ félnégyszög I_C amplitúdóval:

$$\overline{i_{C1}(t)} = \frac{1}{2} I_c \qquad \overline{i_{C1}(t)^2} = \overline{i_{C1}(t) i_f(t)} = \frac{1}{2} I_c^{\,2}$$

$$P_{D1} = \frac{U_t}{2} I_C - \frac{(R+R_f)}{2} I_C^{\,2}$$ másodrendűen függ az I_C áramkivezérléstől:

maximális: $\frac{d}{dI_c} P_{D1}(I_C) = 0 \;\rightarrow\; \frac{U_t}{2} = (R+R_f) I_C \;\rightarrow\; I_{Ch} = \frac{1}{2}\frac{U_t}{(R+R_f)}$

$$P_{D1\max} = \frac{1}{8}\frac{U_t^{\,2}}{(R+R_f)} \qquad \boxed{P_{D1\max} = 2.13W}$$

Disszipációs hatásfok(egy tranzisztorra): $\eta_{D1tr} = \frac{P_{f\max}}{P_{D1\max}}$ $\boxed{\eta_{D1szinusz} = 656\%}$

- indirekt számolva: $P_{D1} + P_{D2} = P_t - P_R - P_R - P_{R_f} = 2U_t \overline{i_C(t)} - 2R\overline{i_C(t)^2} - R_f \overline{i_f(t)^2}$

  - szinusz esetén: $P_{D1} + P_{D2} = \frac{2}{\pi} U_t I_C - 2R\frac{1}{4} I_C^2 - R_f \frac{1}{2} I_C^2 = \frac{2}{\pi} U_t I_C - \frac{R+R_f}{2} I_C^2$

$P_{D1} = P_{D2}$ maximális, ha $\frac{2}{\pi} U_t = (R+R_f) I_C \;\rightarrow\; I_{Ch} = \frac{2}{\pi}\frac{U_t}{(R+R_f)}$

Természetesen, innen ugyan az, mint ez előbb direkt úton számolva.

Hatásfokok összefoglalva:

	"A" osztály		"B" osztály	
kimenő jelalak:	szinusz	négyszög	szinusz	négyszög
telep hatásfok:	43,7 %	87,5 %	68,7 %	87,5 %
disszipációs hatásfok:	90.3 %	180.6 %	405 %	656 %