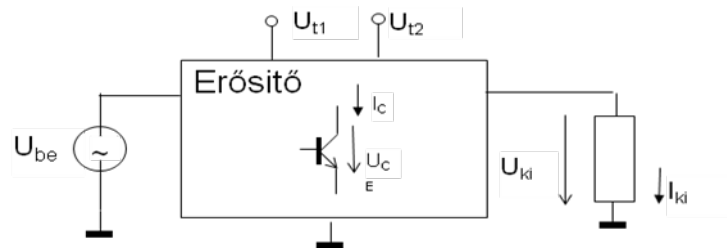


4. Előadás (2017.09.26.)

Teljesítmény fokozatok



Teljesítmények:

- pillanatnyi teljesítmény:

$$p(t) = u(t)i(t)$$

kapu áram és feszültség szorzata

- átlag teljesítmény

$$P = \overline{p(t)} = \overline{u(t)i(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$$

- periodikus jelek:

szinuszos, négyszög, egyéb

A kapu („melyen teljesítményt értelmünk) lehet:

- a fogyasztó ellenállása: P_{ki} kimeneti hatásos teljesítmény $P_{ki} = \overline{u_{ki}(t)i_{ki}(t)}$
- tápfeszültséget adó telep(ek): P_{telep} telepből felvett teljesítmény $P_t = \overline{U_t i_t(t)}$
- tranzisztor kimeneti kapuja: P_{tr} tranzisztor disszipációja $P_{Dtr} = \overline{u_{CE}(t)i_C(t)}$

Végfok jellemzők:

- Maximális kimeneti hatásos teljesítmény
- Maximális telep teljesítmény
- Tranzisztor maximális disszipációja

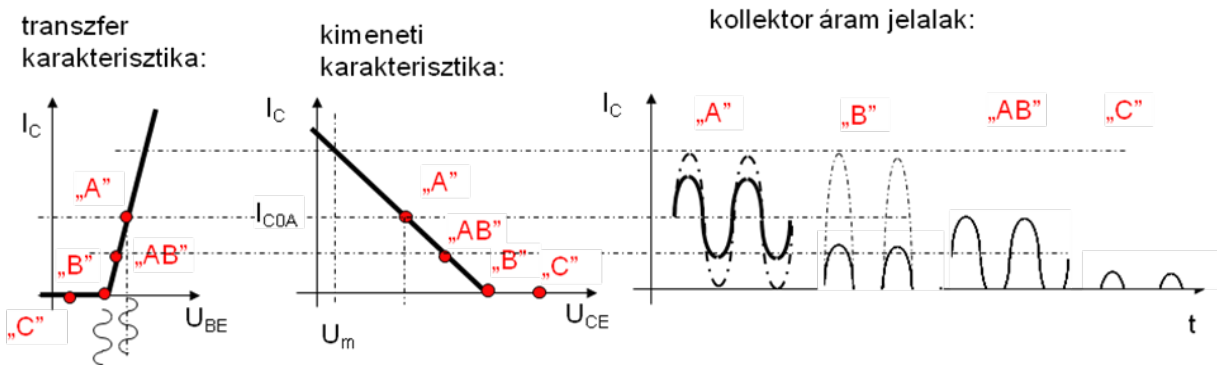
Hatásfokok, teljesítmény arányok:

- Telephatásfok: P_{kimax}/P_{tmax}
- Disszipációs hatásfok: P_{kimax}/P_{Dtrmax}

A végfok jellemzők függnek:

- a kimeneti jelalaktól: szinuszos, négyszög, egyéb.
- a kivezérlés mértékétől:
 - a kimenő jelalak amplitúdója írja le
 - nincs kivezérlés, $u_{be}=0$
 - maximális kivezérlés,
 - köztes kivezérlés.
- a munkaponttól:
 - „A” osztály
 - „B” osztályú
 - „AB”, „C”, stb.

- **„A” osztály:** a tranzisztor(ok) munkapontja a kivezérelhetőségi tartomány közepére esik, a tranzisztorok a teljes működés alatt „nyitva” vannak.
- **„B” osztály:** a tranzisztor(ok) munkapontja a kivezérelhetőségi tartomány határára esik, a tranzisztorok fél periódus alatt „nyitva” vannak, fél periódus alatt „zárva”.



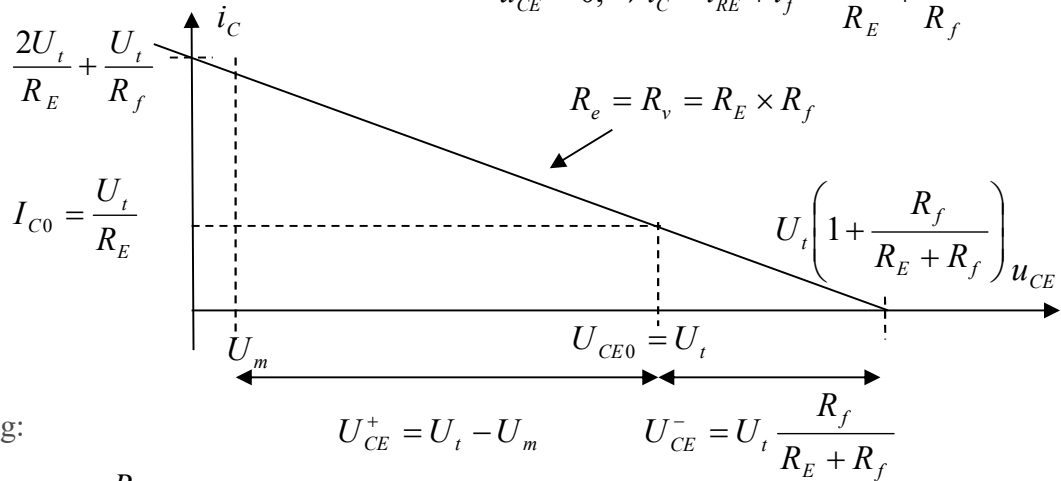
Első példa: "A" osztályú emitterkövető

A tranzisztorra: $A=1$, ($i_C=i_E$)

A kimenő jelalak szinuszos: $u_f(t) = U_{fA} \sin(\omega t)$

Munkapont: $u_f(t)=0 \rightarrow U_{E0}=0$, $U_{CE0}=U_t$, és $I_0 = \frac{U_t}{R_E}$

A kimeneti karakterisztika munkaegyenesének tengelymetszetei:



Kivezélhetőség:

$$U_{CE}^+ = U_t - U_m \quad U_{CE}^- = U_t \frac{R_f}{R_E + R_f}$$

tipikusan: $U_{CE}^- = U_t \frac{R_f}{R_E + R_f} < U_{CE}^+ = U_t - U_m$

kimeneti maximális feszültség amplitúdó: $U_{fA \max} = U_t \frac{R_f}{R_E + R_f}$

Maximális kimeneti hatásos teljesítmény: $P_{ki \max} = \frac{1}{R_f} (U_{fA \max})^2 \overline{(\sin(\omega t))^2} = \frac{1}{2} U_t^2 \frac{R_f}{(R_E + R_f)^2}$

A $P_{ki \max}(R_f)$ függvény maximuma : $R_E = R_f$ -nél: $P_{ki \max} = \frac{1}{R_f} (U_{fA \max})^2 \overline{(\sin(\omega t))^2} = \frac{1}{8} \frac{U_t^2}{R_f}$

A telepteljesítmény: $P_t = P_{t1} + P_{t2} = \overline{U_t i_C(t)} + \overline{U_t i_E(t)} = 2U_t I_{C0} = 2 \frac{U_t^2}{R_f} = P_{t \max}$, állandó!

Tranzisztor disszipációs teljesítménye:

$$P_{Dtr} = \overline{u_{CE}(t) i_C(t)} = \overline{(U_t - u_f(t)) \left(\frac{U_t + u_f(t)}{R_E} + \frac{u_f(t)}{R_f} \right)} \Big|_{R_E = R_f} = \overline{(U_t - u_f(t)) \left(\frac{U_t}{R_f} + \frac{2}{R_f} u_f(t) \right)} = \frac{U_t^2}{R_f} + \left(\frac{U_t}{R_f} - 2 \frac{U_t}{R_f} \right) \overline{u_f(t)} - \frac{2}{R_f} \overline{u_f(t)^2} = \frac{U_t^2}{R_f} - \frac{U_{fA}^2}{R_f}$$

$$P_{Dtr \max} = \frac{U_t^2}{R_f}$$

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{P_{ki \max}}{P_{t \max}} = \frac{1}{16} = 6,25\%$, Disszipációs hatásfok: $\eta_t = \frac{P_{ki \max}}{P_{Dtr \max}} = \frac{1}{8} = 12,5\%$

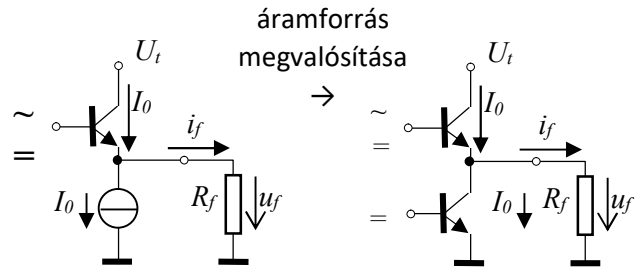
Második példa: R_E helyett I_0 áramforrás

A tranzisztorra: $A=1$, ($i_c=i_E$)

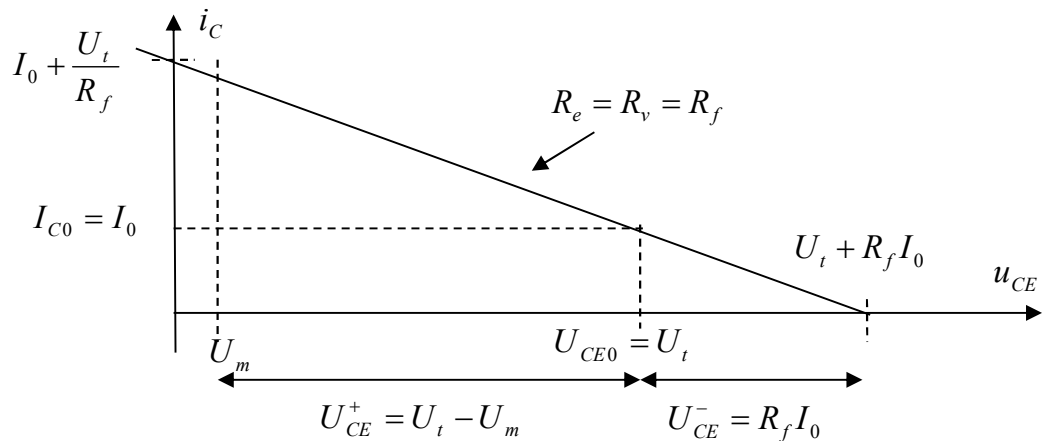
A kimenő jelalak szinuszos: $u_f(t) = U_{fA} \sin(\omega t)$

Munkapont:

$$u_f(t) = 0 \rightarrow I_{E0} = I_{C0} = I_0, \quad U_{CE0} = U_t$$



A kimeneti karakterisztika munka egyenesének egyenlete: $u_{CE} = U_t - R_f(i_c - I_0) = U_t + R_f I_0 - R_f i_c$



Kivezélhetőség: optimális I_0 : $U_{CE}^- = R_f I_0 = U_{CE}^+ = U_t - U_m \rightarrow I_{0opt} = \frac{U_t - U_m}{R_f}$

kimeneti maximális feszültség amplitúdó: $U_{fAmax} = R_f I_{0opt} = U_t - U_m$

Maximális kimeneti hatásos teljesítmény: $P_{ki\max} = \frac{1}{R_f} (U_{fAmax})^2 (\sin(\omega t))^2 = \frac{(U_t - U_m)^2}{2R_f}$

A telepteljesítmény: $P_t = P_{t1} + P_{t2} = \overline{U_t i_c(t)} + \overline{U_t I_0} = 2U_t I_{0opt} = 2 \frac{U_t [U_t - U_m]}{R_f} = P_{t\max}$ állandó!

Tranzisztor disszipációs teljesítménye:

$$P_{Dtr} = \overline{u_{CE}(t) i_c(t)} = (U_t - u_f(t)) \left(I_0 + \frac{u_f(t)}{R_f} \right) = U_t I_0 - \left(\frac{U_t}{R_f} - I_0 \right) \overline{u_f(t)} - \frac{1}{R_f} \overline{u_f(t)^2} = U_t I_0 - \frac{U_{fA}^2}{2R_f}$$

$$P_{Dtr\max} = \frac{U_t (U_t - U_m)}{R_f}$$

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{P_{ki\max}}{P_{t\max}} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < \frac{1}{4} = 25\%$,

Disszipációs hatásfok: $\eta_i = \frac{P_{ki\max}}{P_{Dtr\max}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < \frac{1}{2} = 50\%$

Harmadik példa: „A” osztályú ellenütemű végfokozat

Mindkét tranzisztort vezéreljük, d0e ellenütemben:

A tranzisztorokra: $A=1$, ($i_C=i_E$)

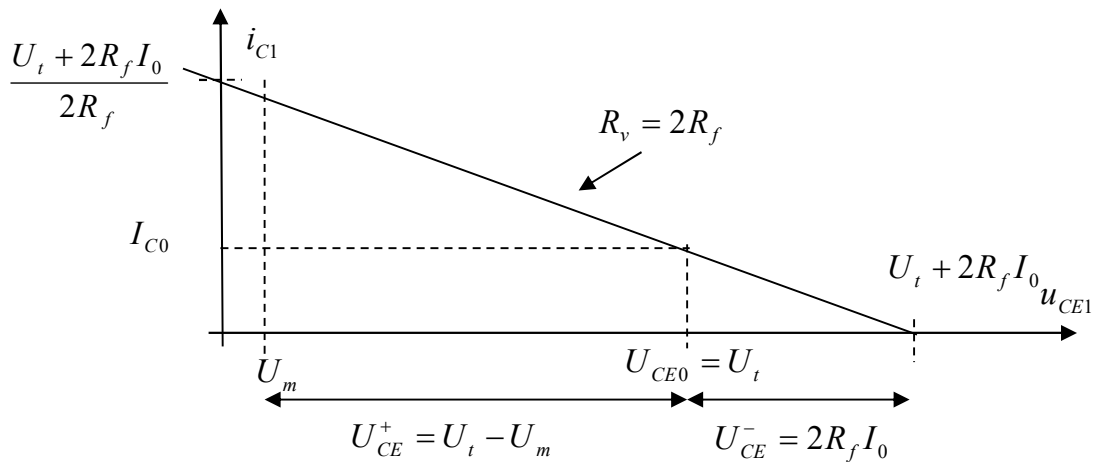
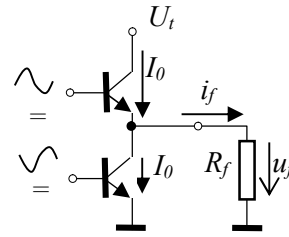
A kimenő jelalak szinuszos: $u_f(t) = U_{fA} \sin(\omega t)$

Munkapont:

$u_f(t)=0 ! \rightarrow I_{E0} = I_{C0} = I_0$, $U_{CE0} = U_t$

Feltételezzük: $i_{C1} = I_0 + i_c$ és $i_{C2} = I_0 - i_c \rightarrow i_f = 2i_c$

A T1 tranzisztor kimeneti karakterisztikájának munka egyenese: $u_{CE1} = U_t - R_f 2(i_{c1} - I_0)$



Kivezélhetőség: optimális I_0 : $U_{CE}^- = U_{CE}^+ \rightarrow I_{0opt} = \frac{U_t - U_m}{2R_f}$

kimeneti maximális feszültség amplitúdó: $U_{fAmax} = 2R_f I_{0opt} = U_t - U_m$

Maximális kimeneti hatásos teljesítmény: $P_{ki max} = \frac{1}{R_f} (U_{fAmax})^2 \overline{(\sin(\omega t))^2} = \frac{(U_t - U_m)^2}{2R_f}$

A telepteljesítmény:

$$P_{t1} = \overline{U_t i_{C1}(t)} = U_t I_{0opt} = \frac{U_t [U_t - U_m]}{2R_f} = P_{t2}, \quad P_t = P_{t1} + P_{t2} = \frac{U_t [U_t - U_m]}{R_f} \quad \text{állandó!}$$

Tranzisztor disszipációs teljesítménye:

$$P_{Dtr1} = \overline{u_{CE1}(t) i_{C1}(t)} = (U_t - u_f(t)) \left(I_0 + \frac{u_f(t)}{2R_f} \right) = U_t I_0 - \left(\frac{U_t}{2R_f} - I_0 \right) \overline{u_f(t)} - \frac{1}{2R_f} \overline{u_f(t)^2} = U_t I_0 - \frac{U_{fA}^2}{4R_f}$$

$$P_{Dtr max} = \frac{U_t (U_t - U_m)}{2R_f}$$

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < \frac{1}{4} = 50\%$, Disszipációs hatásfok: $\eta_d = \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < \frac{1}{2} = 100\%$

Negyedik példa: „B” osztályú ellenütemű végfokozat

Mindkét tranzisztort vezéreljük, d0e ellenütemben:

A tranzisztorokra: $A=1$, ($i_C=i_E$)

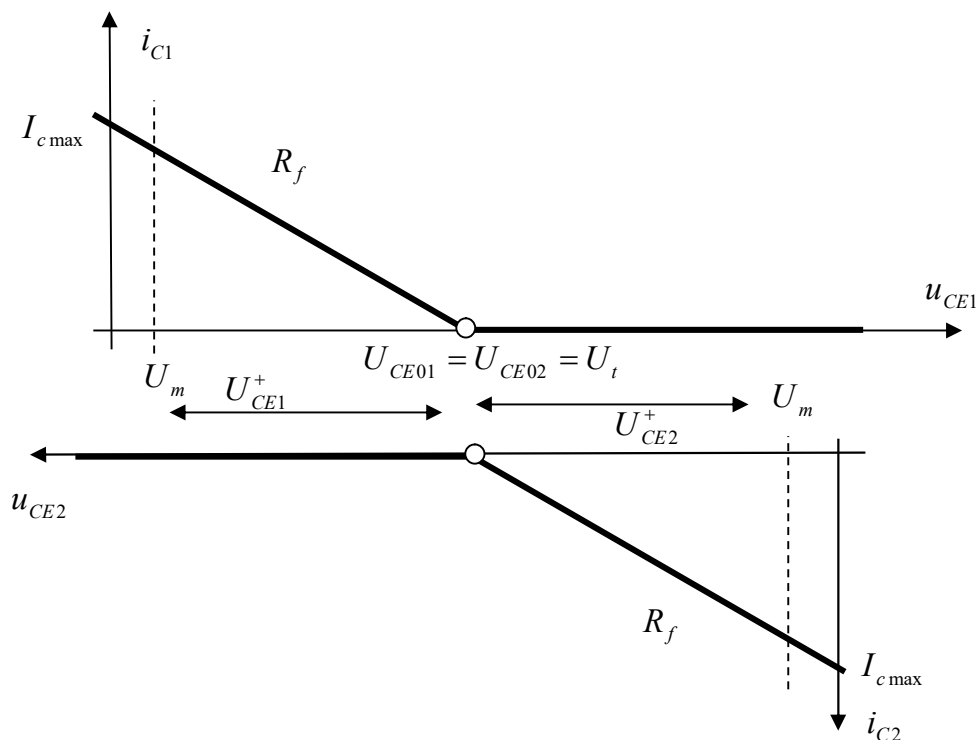
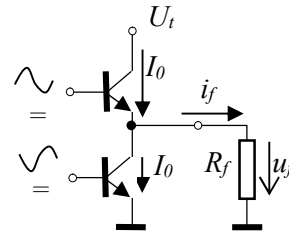
A kimenő jelalak szinuszos: $u_f(t) = U_{fA} \sin(\omega t)$

Munkapont:

$$u_f(t) = 0 \rightarrow I_{E0} = I_{C0} = I_0, \quad U_{CE0} = U_t$$

„B” osztály \rightarrow a tranzisztorok munkapontja a normál aktív tartomány szélé, félperiódusban az egyik vezet, a másik zár és fordítva: $I_{01} = I_{02} = I_0 = 0$, $i_f = i_{c1} - i_{c2}$

A T1 és T2 tranzisztor kimeneti karakterisztikájának munka egyenese:



A kimeneti maximális feszültség amplitúdó: $U_{fA \max} = U_t - U_m$

Maximális kimeneti hatásos teljesítmény:
$$P_{ki \max} = \frac{1}{R_f} (U_{fA \max})^2 \overline{(\sin(\omega t))^2} = \frac{(U_t - U_m)^2}{2R_f}$$

A telepteljesítmény: félperiódusnyi, I_c amplitúdójú áram és konstans U_t tápfeszültség szorzatának

átlaga $P_{t1} = \overline{U_t i_{c1}(t)} = U_t I_C \overline{\Lambda} = \frac{1}{\pi} U_t I_C$, ami nem állandó, függ az kivezérés I_c mértékétől!

Maximuma $I_{C \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f}$ esetén $P_{t \max} = P_{t1 \max} + P_{t2 \max} = \frac{2 U_t [U_t - U_m]}{\pi R_f}$

Tranzisztor disszipációs teljesítménye:

$$P_{D_{tr1}} = \overline{u_{CE1}(t)i_{C1}(t)} = \overline{(U_t - R_f I_C \sin(\omega T))I_C} = U_t I_C - R_f I_C^2 \left(\frac{1}{\pi} \right)^2 = \frac{1}{\pi} U_t I_C - \frac{1}{4} R_f I_C^2$$

A disszipációs teljesítmény az IC kivezéréstől függ: $P_{D_{tr}}(I_C) = \frac{1}{\pi} U_t I_C - \frac{1}{4} R_f I_C^2$.

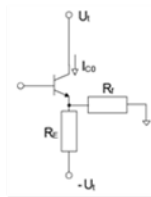
Szükség: a $\frac{d}{dI_C} P_{D_{tr}}(I_C) = \frac{1}{\pi} U_t - \frac{1}{2} R_f I_C = 0$ egyenletből $P_{D_{tr \max}} = \frac{1}{\pi^2} \frac{U_t^2}{R_f}$

Telep hatásfok: $\eta_t = \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < 78\%$, Disszipációs hatásfok: $\eta_i = \frac{\pi^2}{2} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < 500\%$

A példák eredményeinek összefoglalása:

Első példa:

„A” osztályú
emitterkövető

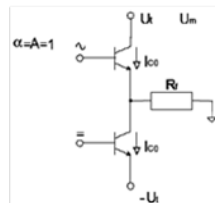


$$\eta_{Topt} = \frac{1}{4} \frac{R_f^2}{(2R_f)^2} = \frac{1}{16}$$

$$\eta_{Dopt} = \frac{1}{2} \frac{R_f^2}{(2R_f)^2} = \frac{1}{8}$$

Második példa:

áramgenerátoros,
„A” osztályú

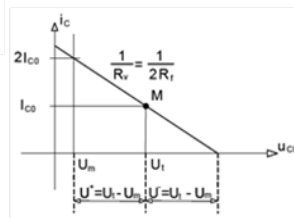
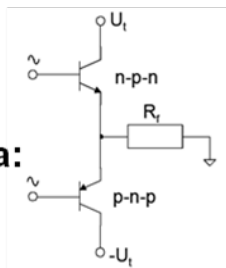


$$\eta_{Topt} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < 25\%$$

$$\eta_{Dopt} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < 50\%$$

Harmadik példa:

ellenütemű
„A” osztályú

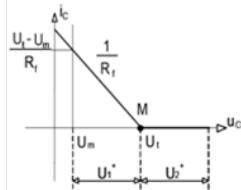


$$\eta_{Topt} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < 50\%$$

$$\eta_{Dopt} = \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) < 100\%$$

Negyedik példa:

„B” osztályú



$$\eta_{Topt} = \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right) \approx 78\%$$

$$\eta_{Dopt} = \frac{\pi^2}{2} \left(1 - \frac{U_m}{U_t} \right)^2 \approx 500\%$$

Megjegyzés: a számításokat eddig szinuszos kimeneti jelalakra végeztük.

Ha négyszög-hullám kimenő jelalakra végezzük a számításokat (mely számítások egyszerűbbek annál, mit amit eddig a szinuszos kapcsán átlagoltunk), jobb hatásfokokat kapunk.