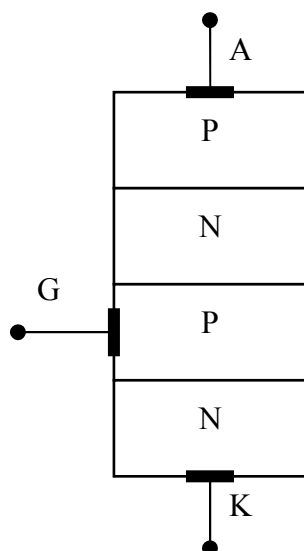


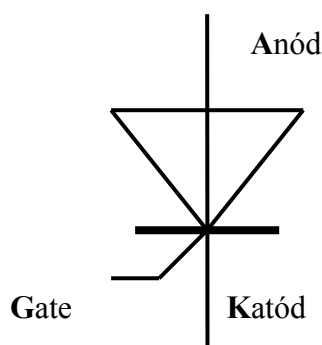
Tirisztorok

- négyrétegű félvezető → 3 záróréteg (I.; II.; III.)
- Teljesítmény elektronikai eszköz
- Nagy teljesítményű kapcsoló

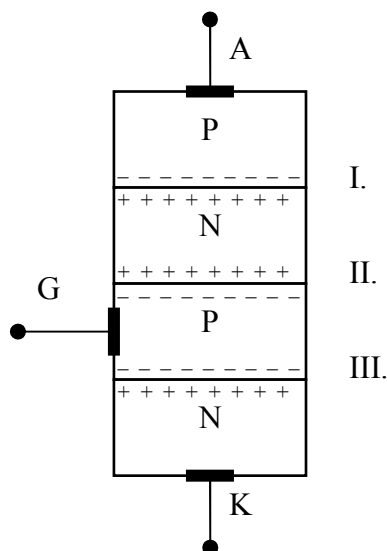
Felépítés



jelölés



Működés



1) $U_{AK} < 0$ (negatív)

- $U_G = 0$; II. záróréteg nyit; I. – III. záróréteg zárt
- $U_G > 0$; II. – III. záróréteg nyit, de I. záróréteg zárva marad
- $U_G < 0$; I. – II. nyit, III. zárva marad
 $I_A = 0$ **NEM VEZET**

2) $U_{AK} > 0$ (pozitív)

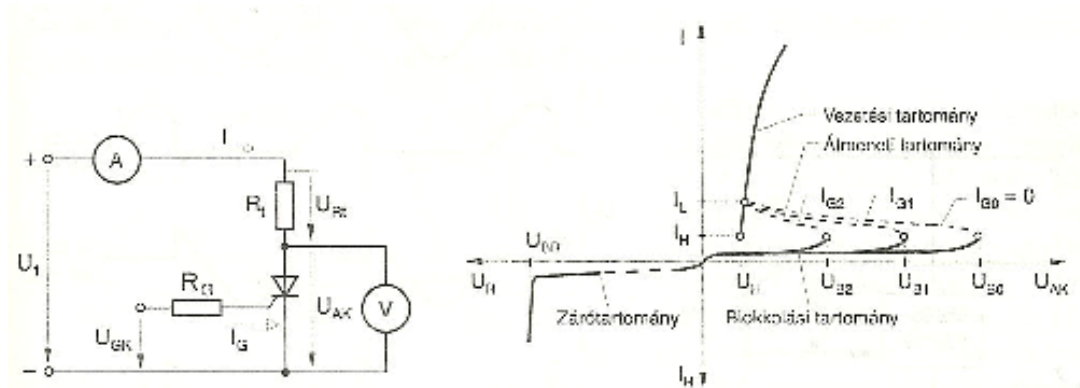
- $U_G = 0$; I. – III. nyit, II. zárva marad; $I_A = 0$
- $U_G = 0$; $U_{AK} = U_B$; II. nyit
 $I_A > 0$ **VEZET**
- $0 < U_{AK} < U_B$;
 $U_G > 0$; II. záróréteg nyit
 $I_A > 0$ **VEZET**

A tirisztor jelleggörbéje

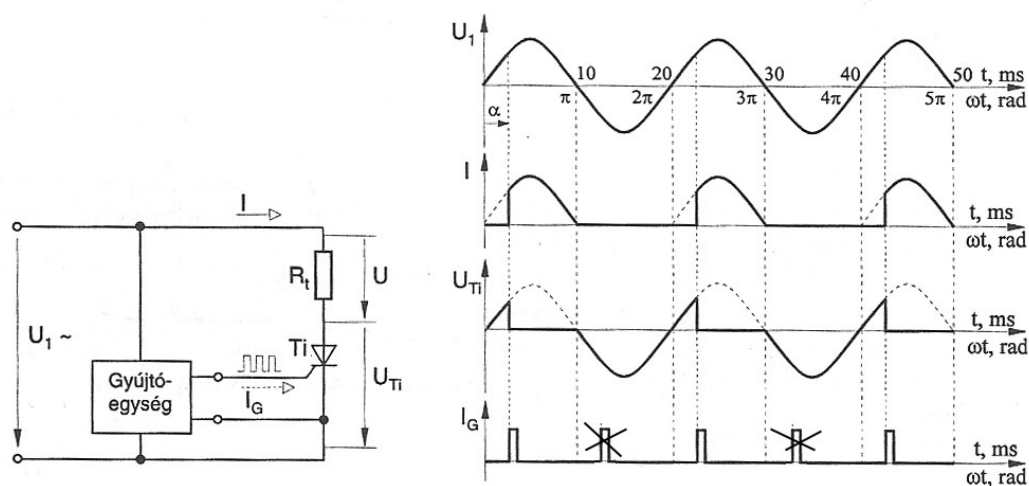
U_{BR} - letörési feszültség (kritikus)

U_{RM} - ismételhető maximális negatív zárófeszültség

- kioltás - a G-ből nem lehetséges;
- kioltási feltétel: $I_A < I_H$ - fenttartási áram



Vezérelt egyenirányító

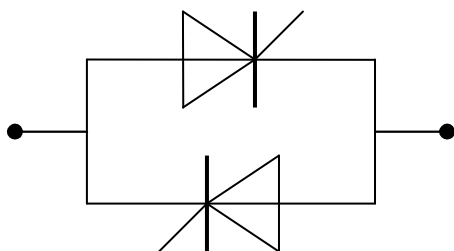


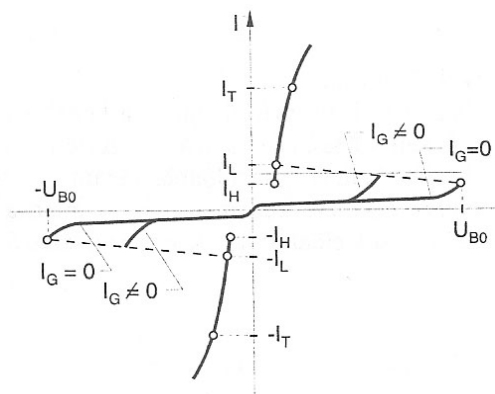
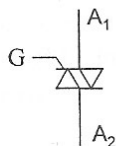
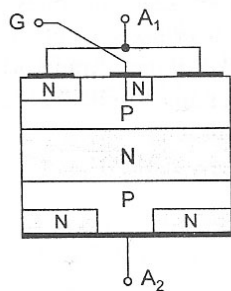
- gyújtási szög φ ; $\varphi = 30^\circ$ (minimális gyújtási szög) $\rightarrow$ anódáram maximális
- $\varphi = 150^\circ$ (maximális gyújtási szög) $\rightarrow$ anódáram minimális
- A negatív félsperiódus alatt érkező gyújtóimpulzusok hatástalanok maradnak
- A gyújtási szög változtatásával változik az egyenirányított áram középértéke:

$$I_A = \frac{I}{T} \int_{\varphi}^T I_M \cdot \sin \omega t \cdot dt$$

Triac

- két ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztor
- mindkét irányban vezeti az áramot





- működés:

$U_A \neq 0$ és $U_G = 0 \rightarrow I_A = 0$; a tirisztor nem vezet

- Négyféle vezetési üzemmód:

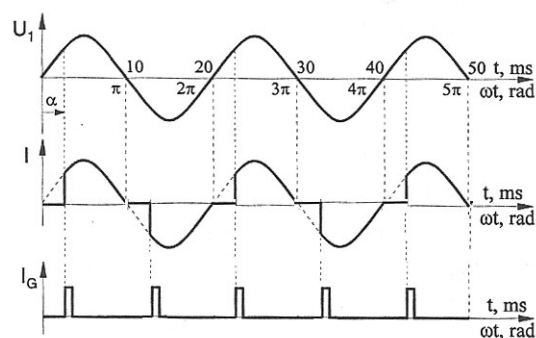
1) $U_A > 0$;
 $U_G > 0$
 $I_A > 0$

2) $U_A > 0$;
 $U_G < 0$
 $I_A > 0$

3) $U_A < 0$;
 $U_G > 0$
 $I_A < 0$

4) $U_A < 0$;
 $U_G < 0$
 $I_A < 0$

Alkalmazás: Váltakozó áramú teljesítményszabályozó

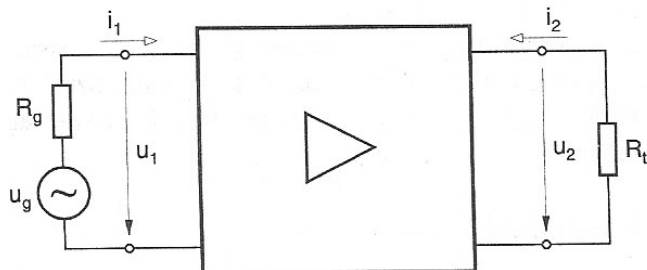


ERŐSÍTŐK

- jel erősítést végeznek – vezérelt teljesítmény átalakítás
- aktív négy pólus
- bipoláris vagy térvezérlésű tranzistorok alkotják

- osztályozás: - hullámforma szerint - egyenfeszültségű

- váltakozó feszültségű: - szélessávú
- hangolt



Fontosabb jellemzők:

feszültségerősítés $A_u = \frac{U_2}{U_1}$

Ha $U_2 > U_1$; $A_u > 1$ erősítő

$U_2 = U_1$; $A_u = 1$ ismételő

$U_2 < U_1$; $A_u < 1$ atenuátor (csillapító)

- az erősítés mértékegysége: **decibel [dB]**

$$A_u [dB] = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \quad U_2 > U_1 \rightarrow A_u [dB] > 0$$

$$U_2 = U_1 \rightarrow A_u [dB] = 0$$

$$U_2 < U_1 \rightarrow A_u [dB] < 0$$

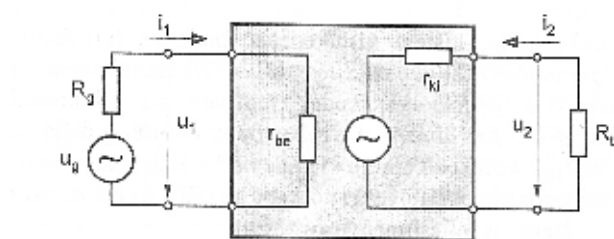
Áramerősítés:

$$A_i = \frac{I_2}{I_1} \quad A_i [dB] = 20 \lg \frac{I_2}{I_1}$$

- **teljesítményerősítés:** $A_p = A_i \cdot A_u = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{I_2}{I_1} = \frac{P_2}{P_1}$

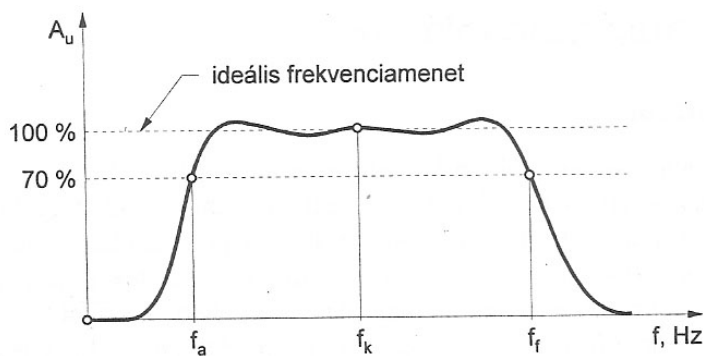
$$A_p [dB] = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$$

- az erősítés fázisa (φ); a bemeneti és kimeneti feszültségek közötti fáziskülönbség



- bemeneti ellenállás: $r_{Be} = \frac{u_1}{i_1}$

- kimeneti ellenállás: $r_{Ki} = \frac{u_2}{i_2}$



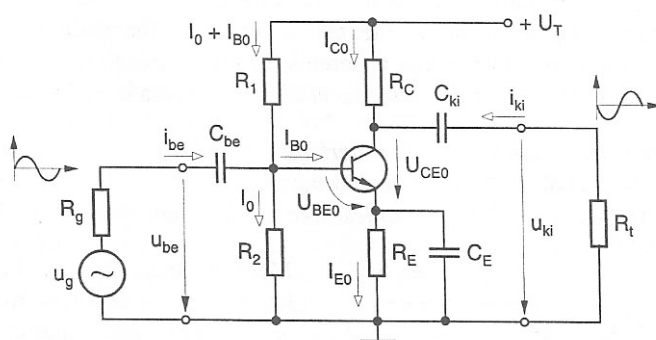
- **sávszélesség:**

$$B = f_f - f_a$$

f_f – felső határfrekvencia
 f_a – alsó határfrekvencia

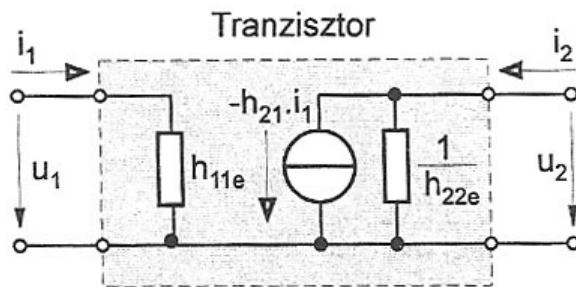
- **határfrekvencia:** - az a frekvencia érték, ahol az erősítés 3dB-el csökken az 1kHz-en mért frekvenciához képest

Bipoláris tranzisztoros erősítő



- a generátor jellemzői: R_g ; u_g
- C_{be} , C_{ki} ; Csatoló kondenzátorok; megvédik a munkapont beállítását a rákapcsolt generátortól, illetve terhelés hatásától
- R_1 , R_2 ; bázisosztó
- R_C ; kollektor ellenállás
- R_E ; emitter ellenállás
- R_t ; terhelő ellenállás (terhelés)
- C_E ; emitter hidegítő ellenállás

- a jellemző értékek meghatározásakor az erősítőt négyfólusként kezeljük és a tranzisztort az egyszerűsített *hibrid* modellel helyettesítjük



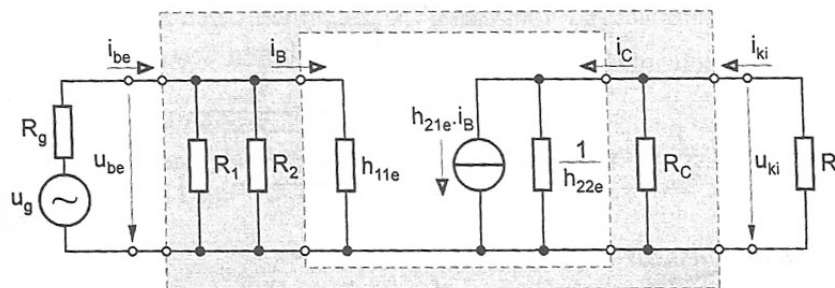
- h_{11e} ; bementi ellenállás

- h_{21e} ; áramerősítési tényező (β)

- h_{22e} ; kimeneti admitancia

hibrid paraméteres helyettesítő kép

- az erősítő váltakozó áramú modelljének elkészítésekor alkalmazott szabály:
 - o minden, ami állandó értékű (pl. táplálási fesz.) a testhez kapcsolódik
 - o minden kondenzátor rövidzár



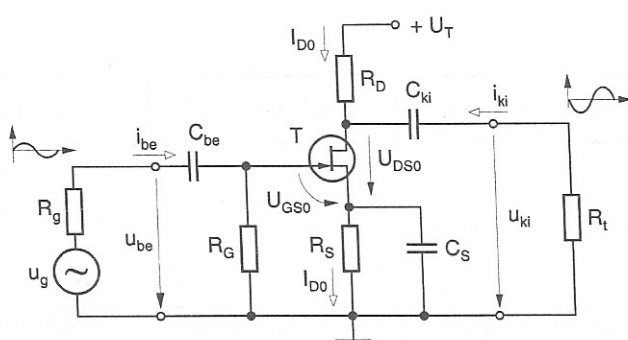
- felírhatók a következők:

$$A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{-h_{21e} \cdot i_b \cdot \left(\frac{1}{h_{22e}} \times R_C \times R_t\right)}{i_b \times h_{11e}} = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} \left(\frac{1}{h_{22e}} \times R_C \times R_t\right)$$

$$r_{be} = \frac{u_1}{i_1} = \frac{i_1 (R_1 \times R_2 \times h_{11e})}{i_1} = R_1 \times R_2 \times h_{11e}; \quad R_1 \times R_2 \gg h_{11e} \rightarrow r_{be} = h_{11e}$$

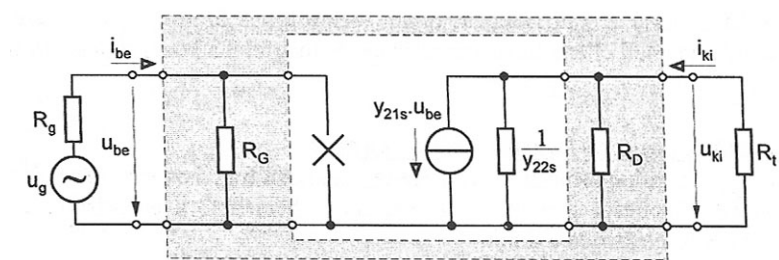
$$r_{ki} = \frac{u_2}{i_2} = \frac{i_2 \cdot \left(R_C \times \frac{1}{h_{22e}}\right)}{i_2} = R_C \times \frac{1}{h_{22e}}; \quad \frac{1}{h_{22e}} \gg R_C \rightarrow r_{ki} = R_C$$

FET tranzisztoros erősítő



- a generátor jellemzői: R_g ; u_g
- C_{be} , C_{ki} ; Csatoló kondenzátorok; megvédik a munkapont beállítását a rákapcsolt generátortól, illetve terhelés hatásától
- R_D ; drain ellenállás
- R_S ; source ellenállás
- R_t ; terhelő ellenállás
- C_S ; source hidegítő ellenállás

- FET erősítő helyettesítő kép és jellemző értékek

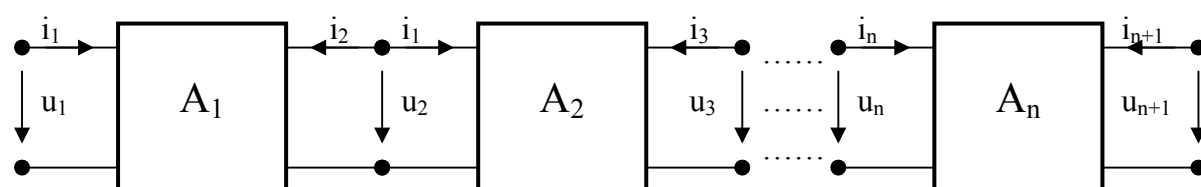


$$r_{be} = \frac{u_1}{i_1} = R_G$$

$$r_{ki} = \frac{u_2}{i_2} = \frac{i_2 \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \right)}{i_2} = \frac{1}{y_{22s}} \times R_D$$

$$A_U = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_2 \cdot \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t \right) - y_{21} \cdot u_{be} \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t \right)}{u_{be}} = -y_{21} \cdot \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t \right) = -y_{21} \cdot (r_{ki} \times R_t)$$

Többszorosított erősítők



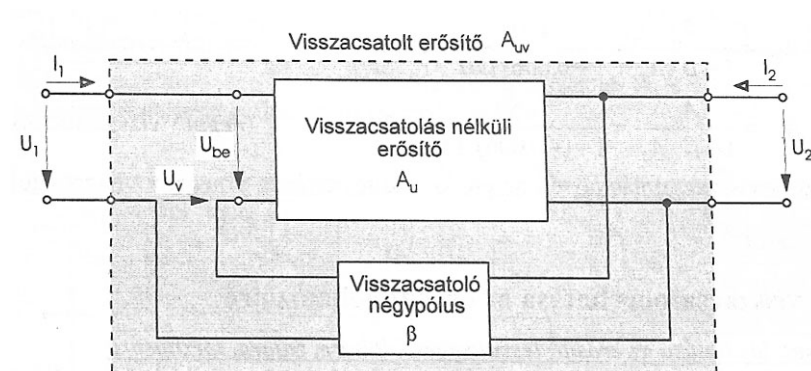
$$A_U = \frac{u_{n+1}}{u_1} = \frac{u_n \cdot A_n}{u_1} = \frac{u_{n-1} \cdot A_n \cdot A_{n-1}}{u_1} = \dots = A_n \cdot A_{n-1} \cdot \dots \cdot A_1$$

$$A_{U[dB]} = A_{U1[dB]} + A_{U2[dB]} + \dots + A_{Un[dB]}$$

$$r_{be} = \frac{u_1}{i_1}$$

$$r_{ki} = \frac{u_{n+1}}{i_{n+1}}$$

Visszacsatolt erősítők (negatív visszacsatolás)



$$A_U = \frac{U_2}{U_{be}} \quad \text{- visszacsatolás nélküli erősítő}$$

$$A_{Uv} = \frac{U_2}{U_1} \quad \text{- erősítés visszacsatolással}$$

$$\beta = \frac{U_v}{U_2} \quad \text{visszacsatolási tényező } (\beta < 1)$$

$$A_{uv} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{A_u \cdot U_{be}}{U_{be} - U_v} = \frac{A_u \cdot U_{be}}{U_{be} - \beta \cdot U_2} = \frac{A_u \cdot U_{be}}{U_{be} (1 - \beta \frac{U_2}{U_{be}})} = \frac{A_u}{1 - \beta \cdot A_u}$$

$\beta \cdot A_u$ – hurokerősítés; ha $\beta \cdot A_u \gg 1$; akkor: $A_{uv} = -\frac{1}{\beta}$

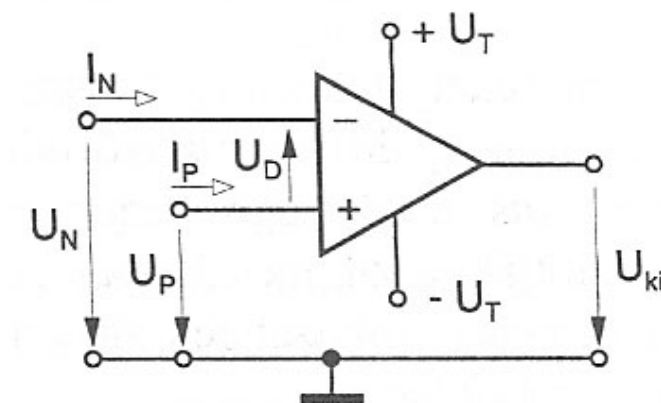
$\beta < 0$ a feltétele a negatív erősítésnek;

- az erősítőknél csak negatív erősítés alkalmazható.

- hátrány: - csökken az erősítés
- előny: stabilá válik az erősítő
 - o növelhető a bemeneti ellenállás
 - o csökkenthető a kimeneti ellenállás
 - o nő a sávszélesség

Műveleti erősítők

- kiváló minőségű integrált áramkörös rendszerint többfokozatú erősítő
 - o nagy feszültség erősítés - $A_u > 100 \text{ dB}$
 - o nagy bemeneti ellenállás - $r_{be} > 1 \text{ M}\Omega$
 - o kicsi kimeneti ellenállás - $r_{ki} > 10 \Omega$
- integrált áramkör: - egy félvezető kristályon (monolit kristály) vannak elhelyezve a tranzisztorok, ellenállások, stb.
 - o ellenállás helyet tranzisztorok (aktív ellenállások)
- elnevezés – kezdetben aritmetikai műveletvégzésre tervezték. (pl. analóg jelek összeadása, szorzása, logaritmus)



- AC, DC jelek erősítésére egyaránt alkalmas
- Differenciál bemenettel rendelkeznek
- Szimmetrikus tápfeszültség ($+U_T$; $-U_T$)
- U_- - invertáló (fázisfordító)
- U_+ - neminvertáló (fázist nem fordító)
- $U_D = U_+ - U_-$ - differenciál
- A_{u0} – differenciális nyílthurkú erősítés
- I_+ ; I_- bemeneti áramok (nagyon kicsi érték pA,)

$$U_{ki} = A_{u0} U_D = A_{u0} (U_+ - U_-)$$

Jellemző mennyiségek:

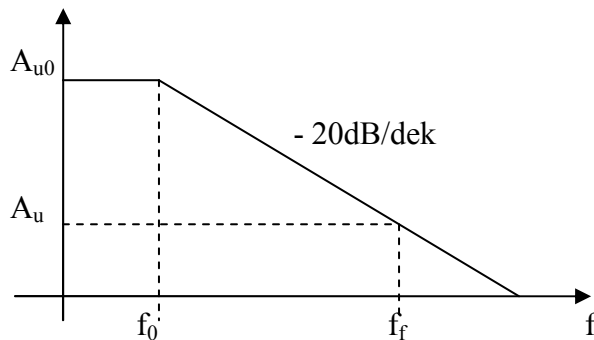
$$A_{u0} = \frac{U_{ki}}{U_D} \text{ - nyílthurkú differenciális erősítés}$$

$$A_{uk} = \frac{U_{ki}}{U_k} \text{ közös módú erősítés (nagyon kicsi)}$$

$$G = \frac{A_{u0}}{A_{vk}} - \text{közös módú elnyomás}$$

$$G_{[dB]} = 20 \lg \frac{A_{u0}}{A_{uk}} \text{ nagyon kicsi}$$

- sávszélesség:



$$B = f_f - f_a$$

f_a – alsó határfrekvencia;
 egyenáramú erősítőnél: $f_a = 0$
 f_0 – törésponti frekvencia;
 ettől az értéktől kezdve a nyílthurkú erősítés – 20dB/dec értékkel csökken;
 tipikus értéke: $f_0 = 10\text{Hz}$

- a felső határfrekvencia visszacsatolt erősítőnél: $f_f = f_0 \frac{A_{u0}}{A_{uv}}$

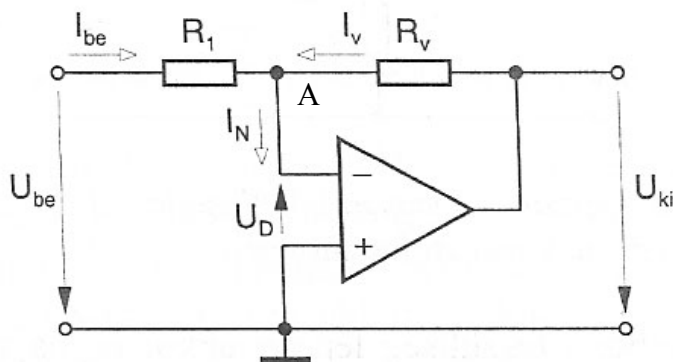
- negatív visszacsatolás alkalmazásakor:

$$A_{uv} = \frac{A_{u0}}{1 + \beta A_{u0}} \approx \frac{1}{\beta}$$

- az erősítést csak a külső elemek határozzák meg.

Alapkapcsolások

1) Invertáló erősítő



A pont - virtuális nullpont

$$I_N \approx 0 \quad U_A = 0; \quad I_v = -I_{be}$$

$$A_{uv} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{I_v \cdot R_v}{I_{be} \cdot R_1} = -\frac{R_v}{R_1}$$

- sajátos eset: $R_v = R_1$;
 $A_{uv} = -1$; csak invertál, nem erősít

- bemeneti ellenállás:

$$r_{be} = \frac{U_{be}}{I_{be}} = \frac{I_{be} \cdot R_1}{I_{be}} = R_1$$

- kimeneti ellenállás:

$$r_{ki} = R_{ki} \frac{A_{uv}}{A_{u0}}; \text{ ahol } R_{ki} \text{ a műveleti erősítő kimeneti ellenállása}$$

Offset probléma

$$U_{be} = 0$$

A műveleti erősítő nagy bemeneti ellenállása miatt, az A pont potenciálja kissé megemelkedik, ami azt eredményezi, hogy a kimeneti feszültség nullától különböző lesz. Ezt hívjuk *offset feszültségnek*.

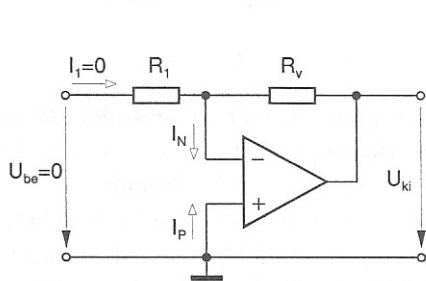
$$U_A \neq 0 \longrightarrow U_{ki} \neq 0 \longrightarrow U_{off} \neq 0 ; U_{off} = I_N \cdot R_v$$

- *megoldás*: kompenzációval

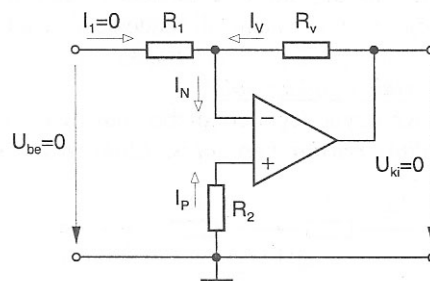
A + bemenet potenciálját fel kell emelni az A pont potenciálra

$$U_{be} = U_{ki} = 0 \longrightarrow R_2 = R_1 \times R_v \text{ ellenálláson keresztül kell a + bemenetet a testre kötni.}$$

R_2 – *offset kompenzáló ellenállás*

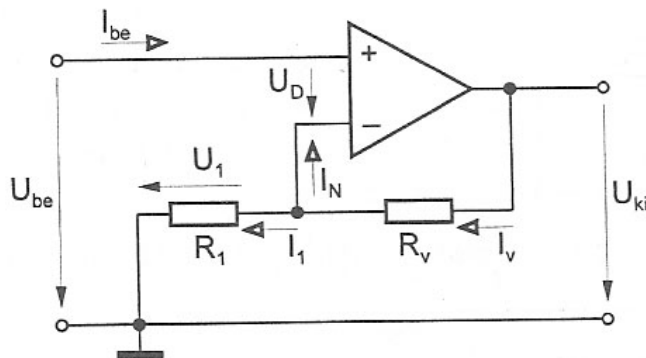


a) kapcsolás kompenzáló ellenállás nélkül



b) kapcsolás kompenzáló ellenállással

Nem invertáló erősítő



$$U_{be} = I_{be} \cdot R_{be} + I_v \cdot R_v$$

$$I_{be} \approx 0; \Rightarrow U_{be} = I_v \cdot R_v$$

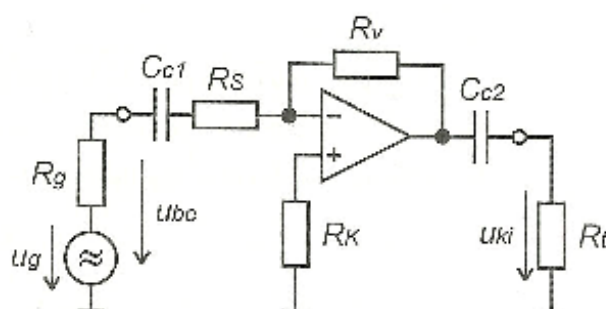
$$U_{ki} = I_v \cdot (R_v + R_l)$$

$$A_{uv} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{I_v \cdot (R_v + R_l)}{I_v \cdot R_l} = 1 + \frac{R_v}{R_l}$$

$$r_{be} = R_{be} \text{ (nagyon nagy értékű)}$$

- a kimeneti ellenállás ua. mint az invertáló erősítőnél

Váltakozó áramú erősítő



$$A_{u0} = 100 \text{ dB}$$

$$r_{be} = 22 \text{ k}\Omega$$

$$A_{uv} = -100$$

$$r_g = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_t = 2 \text{ k}\Omega$$

$$C_{c1} = C_{c2} = 10 \mu\text{F}$$

a) $R_s; R_v = ?$

b) $R_k = ?$

c) $f_a = ?; f_f = ?$

d) $U_g = 50 \text{ mV} \implies U_{ki} = ?$

Megoldási útmutató

a)

$$R_1 = R_{be} \longrightarrow R_1 = 22 \text{ k}\Omega$$

$$A_{uv} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{R_v}{R_s}$$

$$R_v = -A_{uv} \cdot R_s = 100 \cdot 22 \text{ k}\Omega = 2,2 \text{ M}\Omega$$

b)

$$R_k = R_s \times R_v \approx 22 \text{ k}\Omega \quad (R_k \text{ párhuzamos } R_v\text{-vel})$$

c) $C_{c1}; C_{c2}$ törésponti frekvenciát visz be

$$r_g; R_s; C_{c1}; \text{-áramkör} \longrightarrow f_1 = \frac{I}{2\pi(r_g + R_s) \cdot C_{c1}}$$

$$C_{c2}; R_t \text{ áramkör} \longrightarrow f_2 = \frac{I}{2\pi R_t C_{c2}}$$

$$\text{ha } f_1 > f_2 \longrightarrow f_a = f_1$$

$$f_2 > f_1 \longrightarrow f_a = f_2$$

Az alsó határfrekvenciát mindig a nagyobb törésponti frekvencia fogja meghatározni

$$f_f = f_0 \frac{A_{u0}}{A_{uv}}$$

d)

$$U_{be} = U_g \cdot \frac{R_s}{R_s + r_g} =$$