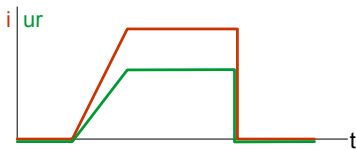


# ANALÓG ELEKTRONIKA

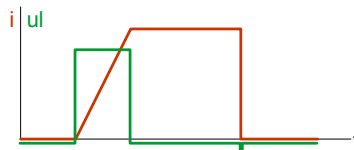
- előadás vázlat -

## Egyen mennyiségek (egyen-áramú körök) vizsgálata

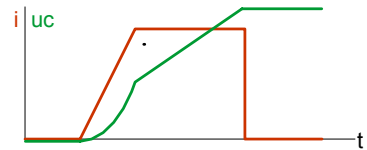
- áramkör → alkatелемek: **-aktív / passzív**  
fesz/áramot termelő elemeket szokás aktív, többiek passzív elemeknek nevezni.  
források/generátorok, ideális/reális (belső ellenállás)  
ell, kond, ind, dióda, tranz.
- lineáris / nemlineáris**  
olyan alkatелемek, melyek viselkedése lineáris mennyiségekkel írható le.  
Pl: ell, kond, tekercs, fesz/áram gen.  
Nem lin alkatелемek: pl. félvezetők



$$u_R(t) = R i(t);$$



$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt};$$

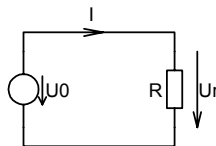


$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt;$$

- mennyiségek: **-abszolút** (V, A,  $\Omega$ ), előtagok (... , f, p, n,  $\mu$ , m, egység, k, M, G, T, ...)  
**-relatív** (dB)

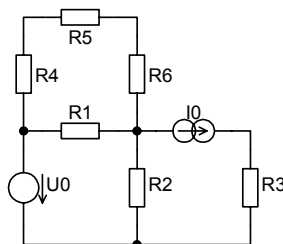
$$A_U = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{ki}}{U_{be}} \right); \quad A_I = 20 \cdot \lg \left( \frac{I_{ki}}{I_{be}} \right); \quad A_P = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{ki}}{P_{be}} \right);$$

- törvények: **-Ohm**  
 $U = R I$  (lényegében a  $J = \rho E$  következménye), ell mértékegys  $\Omega$ , hőfüggés ill. szupravezetés



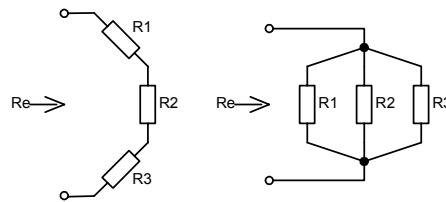
## -Kirchoff (csomóponti + hurok)

n-1 független csomóponti törv.  
annyi zárt hurok, hogy minden egyes alkatrész legalább egy hurokban szerepeljen.

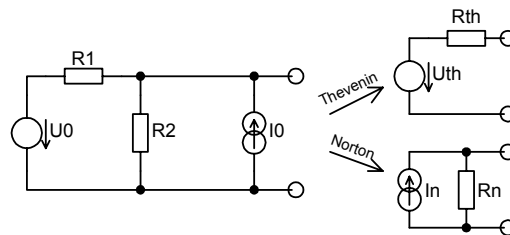


- **következmények:**

-ellenállások **soros / párh.** kapcsolása



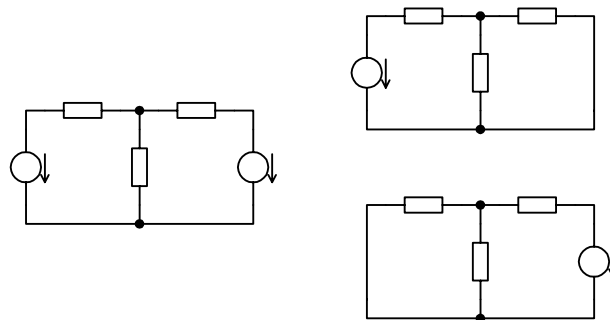
**-Thevenin / Norton tételek:**



- **elvek:**

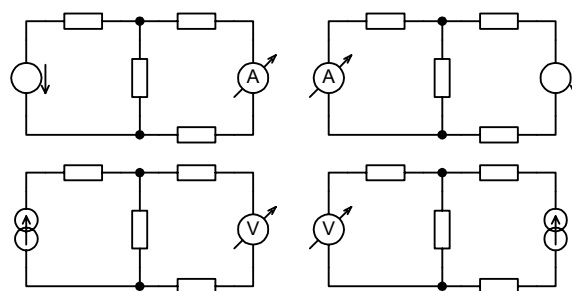
**-szuperpozíció:**

csak lin. áramkörök esetén fesz. ill. áramgenerátorokra alkalmazni.



**-reciprocitás:**

csak lin. áramkörökben feszgen—árammérő ill. áramgen—fesz mérő helyei felcserélhetők, miközben a mutatott értékek nem változnak.



**Válto mennyiségek vizsgálata idő-tartományban**

$$u_R(t) = R i(t);$$

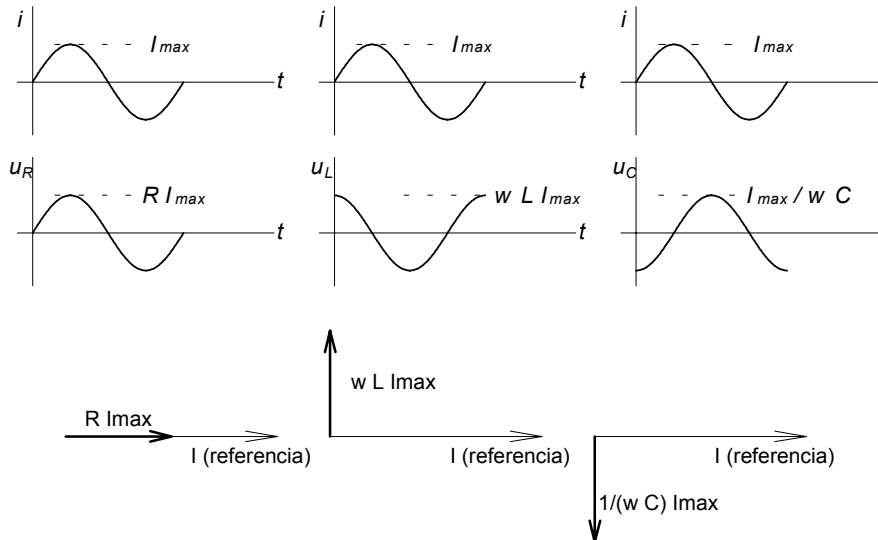
$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt};$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt;$$

• **szinuszos jelek esetén**

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t)$$

$$u_R(t) = R I_{\max} \sin(\omega t); \quad u_L(t) = \omega L I_{\max} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); \quad u_C(t) = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$



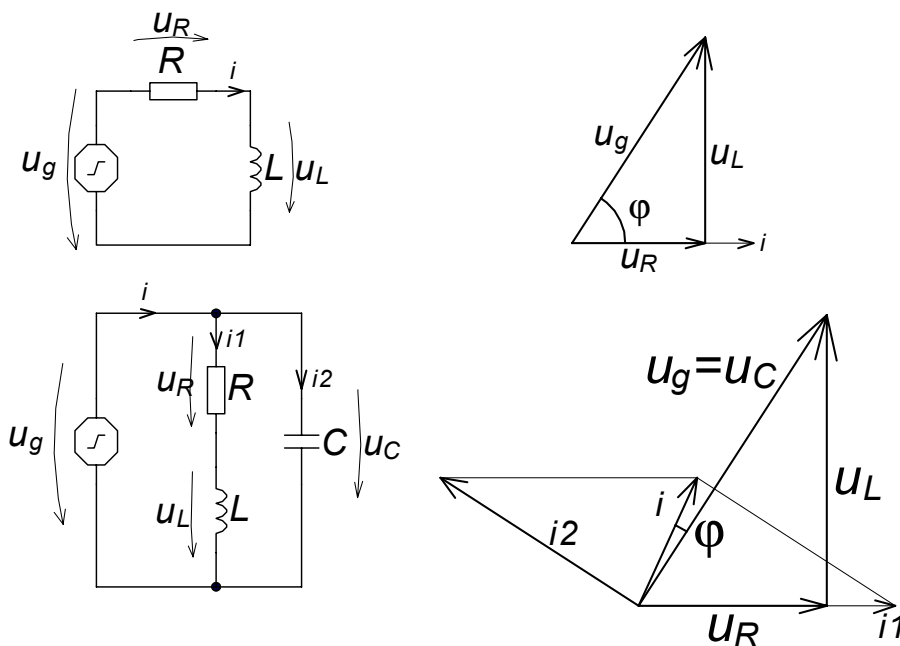
-impedanciák:

$$R$$

$$X_L = \omega L$$

$$X_C = 1/(\omega C)$$

-vektordiagram (fesz., imped., telj. háromszög)

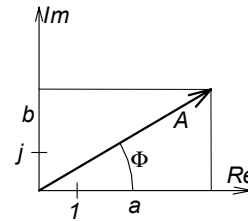


**-komplex számok:**

$$a + jb; \quad A e^{j\Phi}$$

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad \Phi = \arctan \frac{b}{a}$$

$$a = A \cos(\Phi); \quad b = A \sin(\Phi);$$

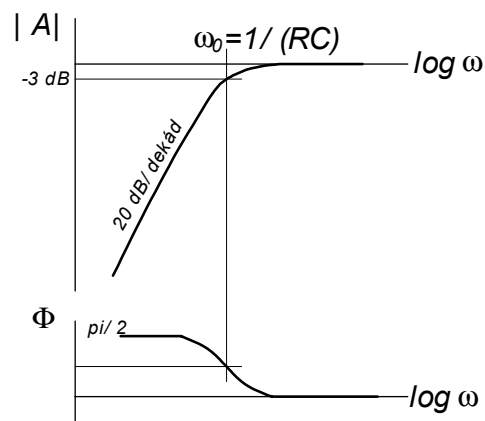
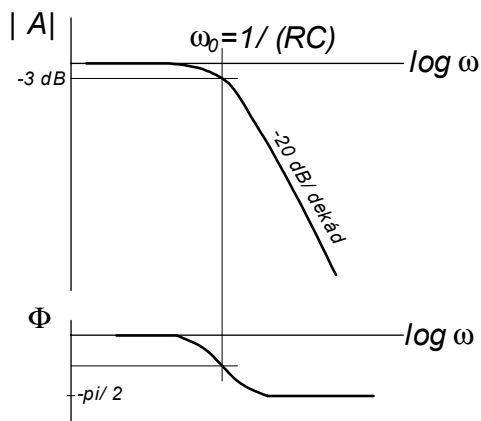
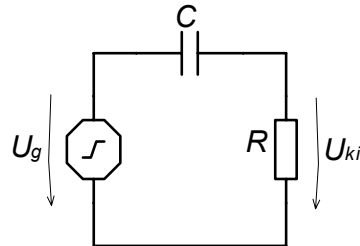
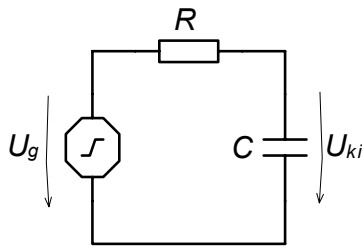


előző példánál maradva:

$$U_g = I \frac{(R + j\omega L) \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

**Válto mennyiségek vizsgálata frekvencia-tartományban**

-transzfer karakterisztikák, decibel, Bode, Nyquist diagram, alsó és felső határfrekvencia fogalma



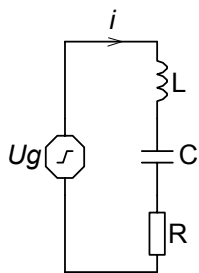
$$\frac{U_{ki}}{U_g} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega RC};$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}; \quad \Phi = -\arctan(\omega RC)$$

$$\frac{U_{ki}}{U_g} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC};$$

$$A = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}; \quad \Phi = \arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$$

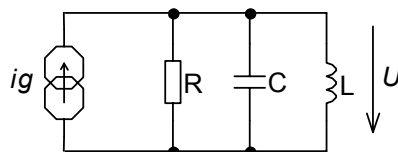
## -rezonancia (soros/párh rezgőkör), sávszélesség, jósági tényező



$$\frac{I}{U_g} = \frac{1}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}};$$

$$A = \frac{I}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}};$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad Q = \frac{\omega_0}{B}$$



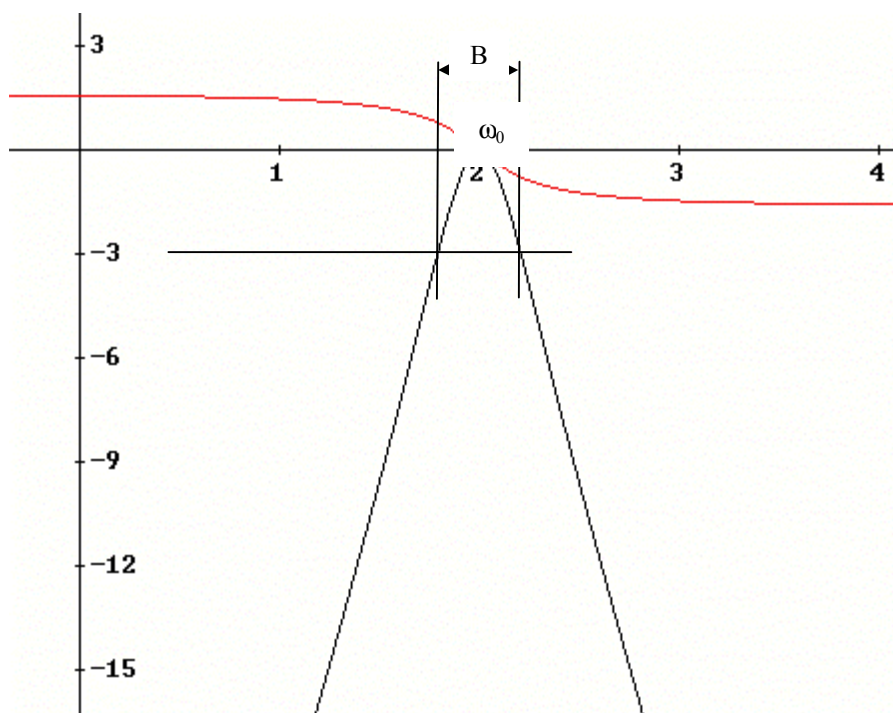
$$\frac{U}{I_g} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C}$$

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$$

 $\omega_0$  - rezonancia-frekvencia

B – sávszélesség

Q - jósági tényező



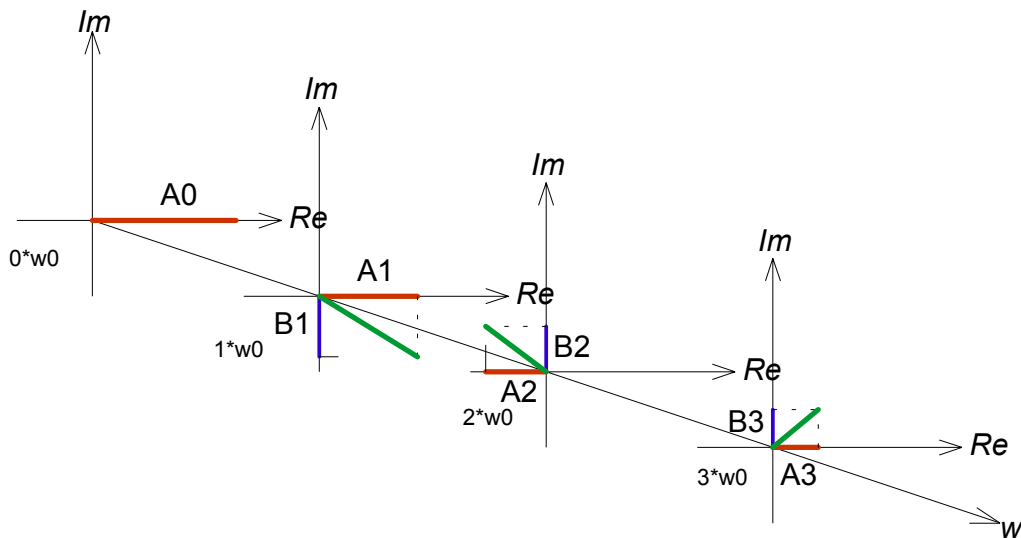
# Fourier sorbafejtés

-f(t) periódikus függvény ( $T_0$  periódussal)

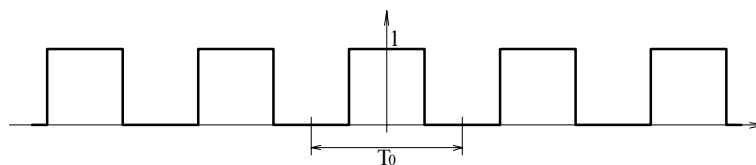
$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos(k\omega_0 t) + B_k \sin(k\omega_0 t))$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0};$$

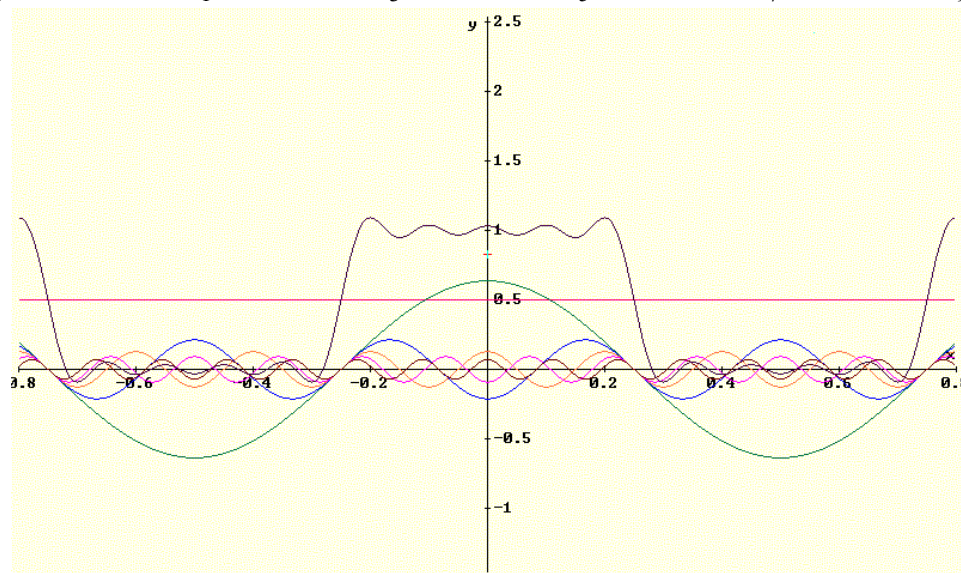
$$A_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) dt; \quad A_k = \frac{2}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) \cos(k\omega_0 t) dt; \quad B_k = \frac{2}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) \sin(k\omega_0 t) dt;$$



-pl. szimmetrikus négyszögjel esetén



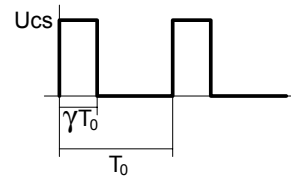
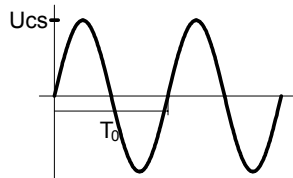
$$A_0 = 1/2; \quad A_1 = 2/\pi; \quad A_3 = -2/(3\pi); \quad A_5 = 2/(5\pi); \quad A_7 = -2/(7\pi); \quad A_9 = 2/(9\pi); \dots$$



**Effektív érték, középérték.**

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T u^2(t) \cdot dt} \quad U_{koz} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot dt \quad \frac{U_{eff}}{U_{koz}} = \text{formatényező}$$

-példák:



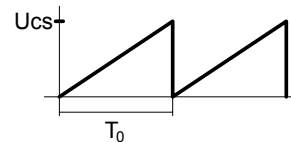
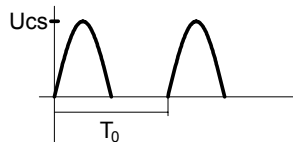
$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{cs}$$

$$U_{koz} = 0$$

$\gamma$  – kitöltési tényező;  $\gamma \in [0,1]$

$$U_{eff} = \sqrt{\gamma} \cdot U_{cs}$$

$$U_{koz} = \gamma \cdot U_{cs}$$

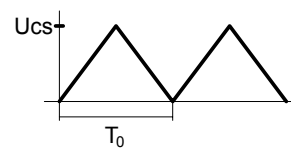
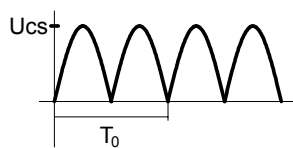


$$U_{eff} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} U_{cs}$$

$$U_{koz} = \frac{1}{\pi} U_{cs}$$

$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot U_{cs}$$

$$U_{koz} = \frac{1}{2} \cdot U_{cs}$$



$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{cs}$$

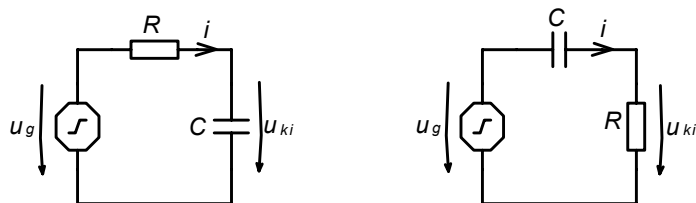
$$U_{koz} = \frac{2}{\pi} U_{cs}$$

$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot U_{cs}$$

$$U_{koz} = \frac{1}{2} \cdot U_{cs}$$

**Válto mennyiségek vizsgálata idő-tartományban (folytatás)**

- nem szinuszos jelek esetén



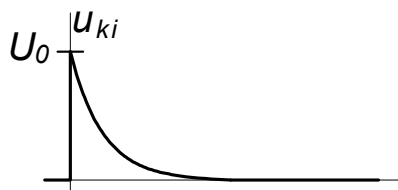
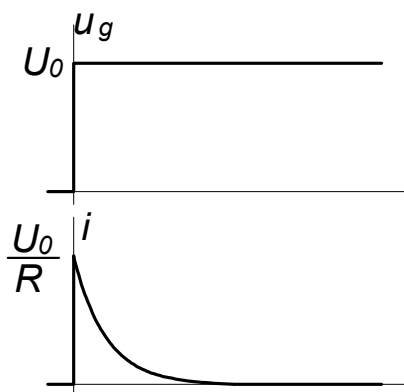
-általános esetben csak az alábbi differenciál egyenlet használható:

$$u_g = iR + \frac{1}{C} \int_0^t i \, dt$$

ha  $u_g$  egységurás,  $i = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$

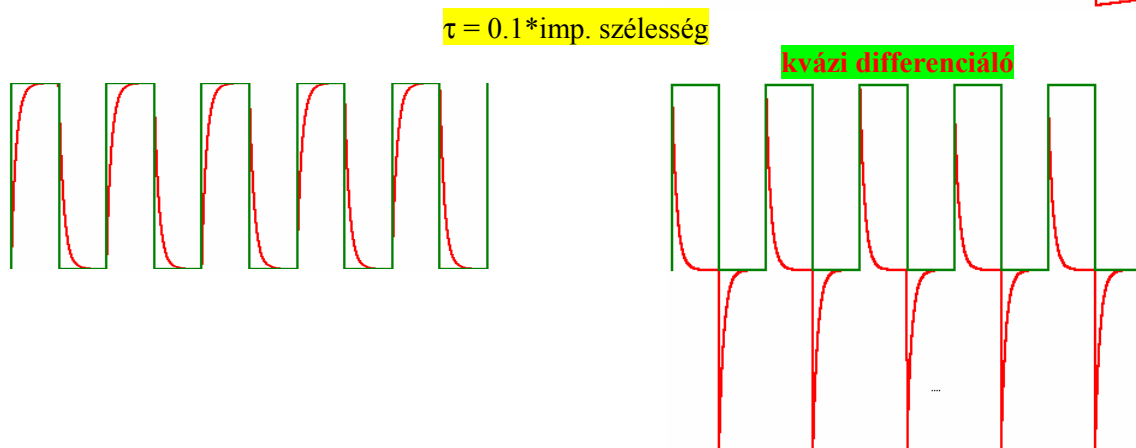
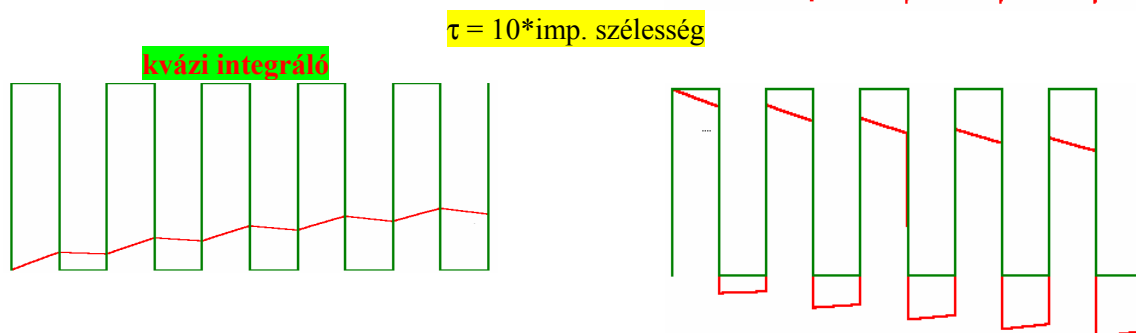
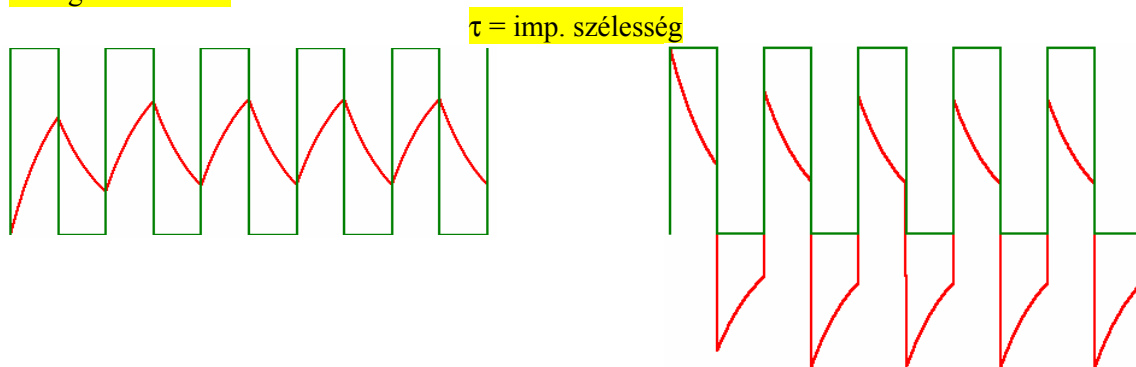
$$u_{ki} = U_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right);$$

$$u_{ki} = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$



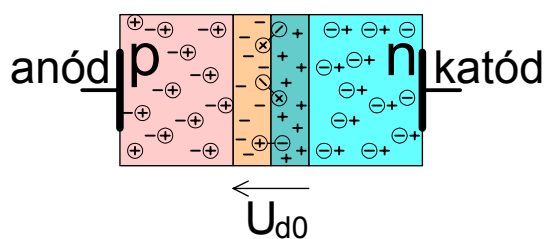


-ha  $u_g$  négyszögjel,  $\rightarrow$  vizsgálat különböző  $\tau$  és imp.szélesség viszonyok esetén:

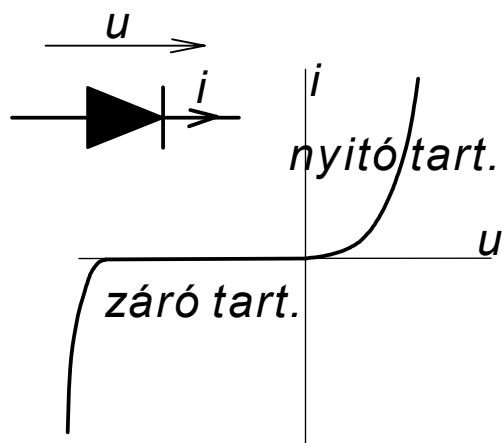


**Félvezető eszközök**

- PN dióda:

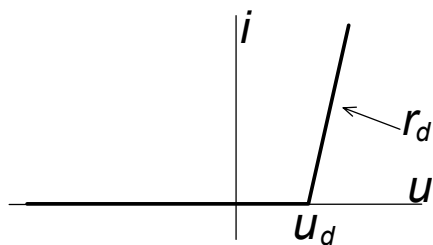


-karakterisztika (nyitó/záró tartomány, munkapont, dinamikus ellenállás fogalma)

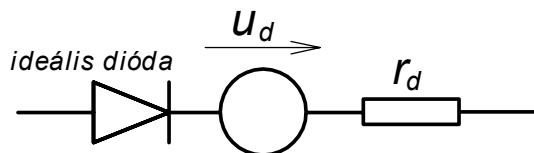
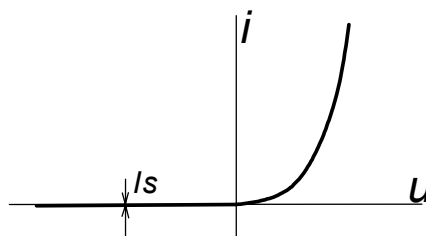


-karakterisztika közelítések

*Lineáris*



*Exponenciális*



$$i = \frac{(u - u_d) \cdot \text{STEP}(u - u_d)}{r_d}$$

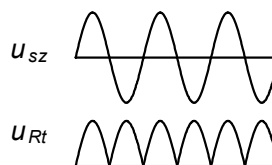
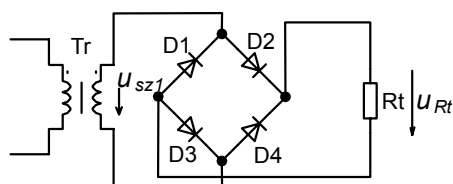
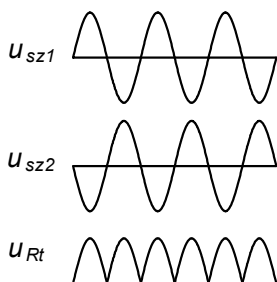
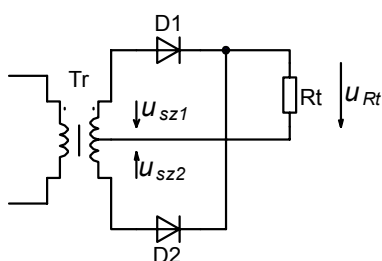
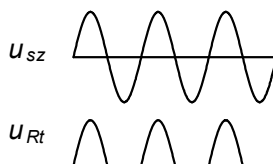
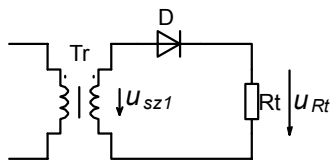
$$i = I_s \left( e^{\frac{u}{v_T}} - 1 \right)$$

### -diódák fajtái:

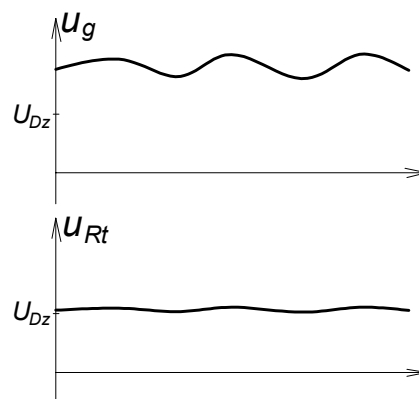
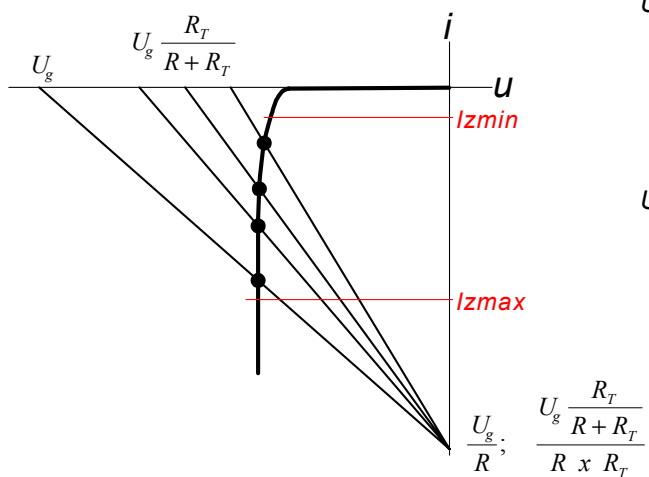
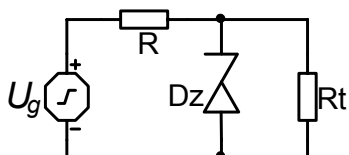
- egyenirányító,
- Zener,
- kapacitás (varikap),
- fotodióda,
- fénykibocsátó (LED).

### -diódák alkalmazása:

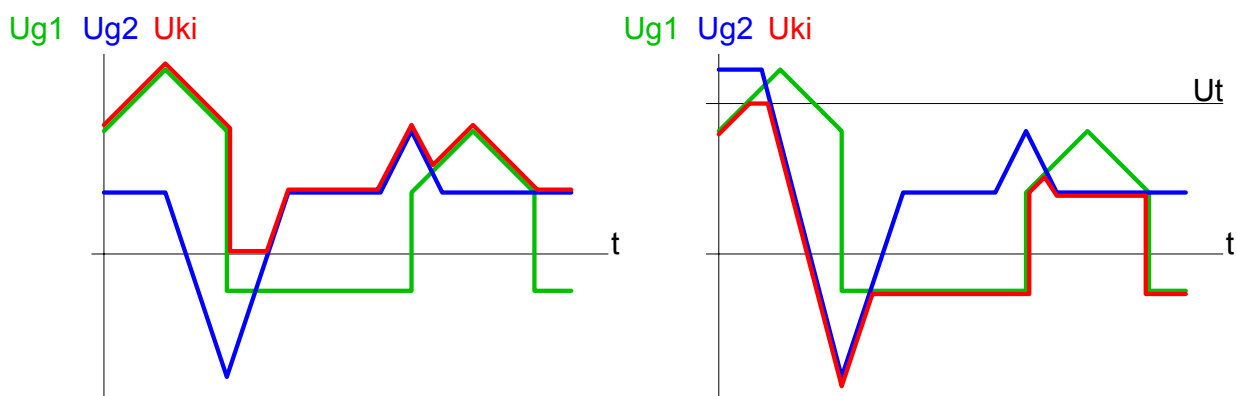
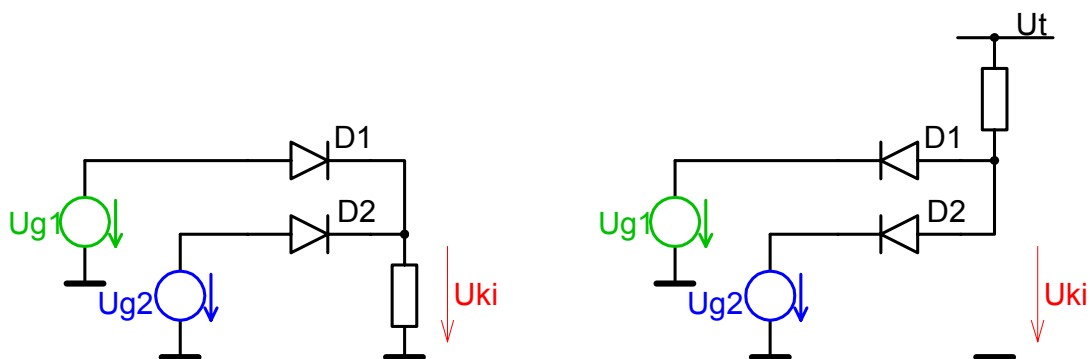
- egyenirányítás (egyútas, kétútas)



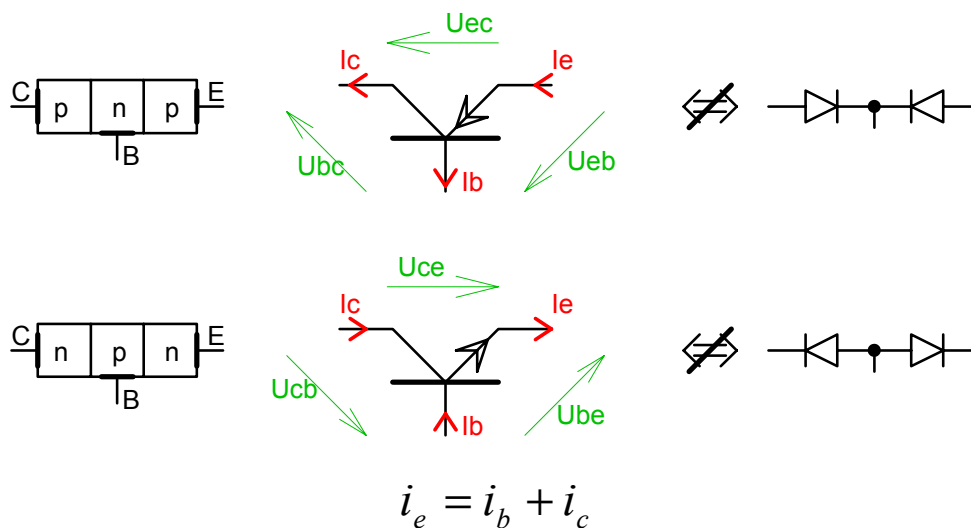
### -zener diódás feszültségstabilizáló kapcsolás



-diódás (egyelőre még analóg) „VAGY” (mindig a nagyobb) és „ÉS” (mindig a kisebb)



- Bipoláris tranzisztorok



-üzemmódok:

- normál aktív (BE – nyitott, CB – zárt)
- lezárt (BE – zárt, CB – zárt)
- telített (BE – nyitott, CB – nyitott)
- inverz (BE – zárt, CB – nyitott)

-normál aktív üzemmód:

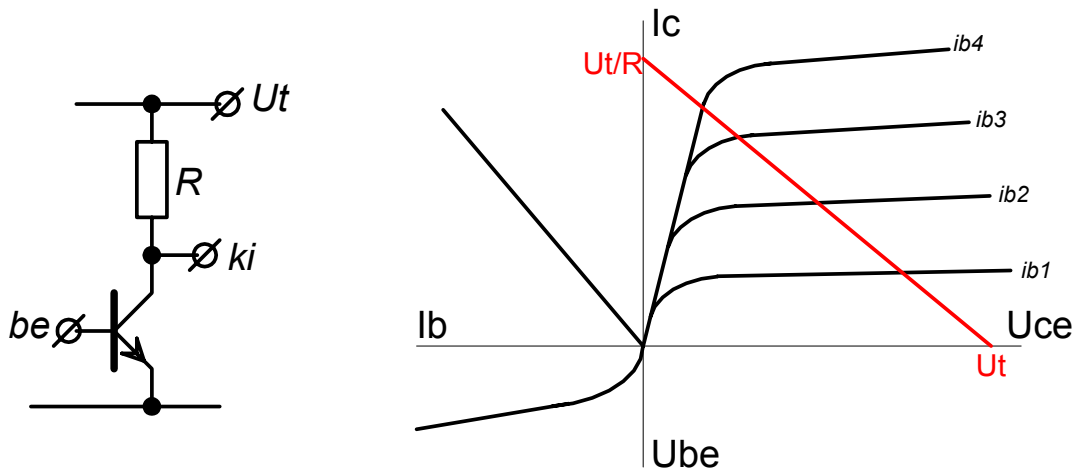
közös bázisú áramerősítési tényező:

$$\alpha = \frac{i_c}{i_e}$$

közös emitteres áramerősítési tényező:

$$\beta = \frac{i_c}{i_b}$$

-karakterisztika:

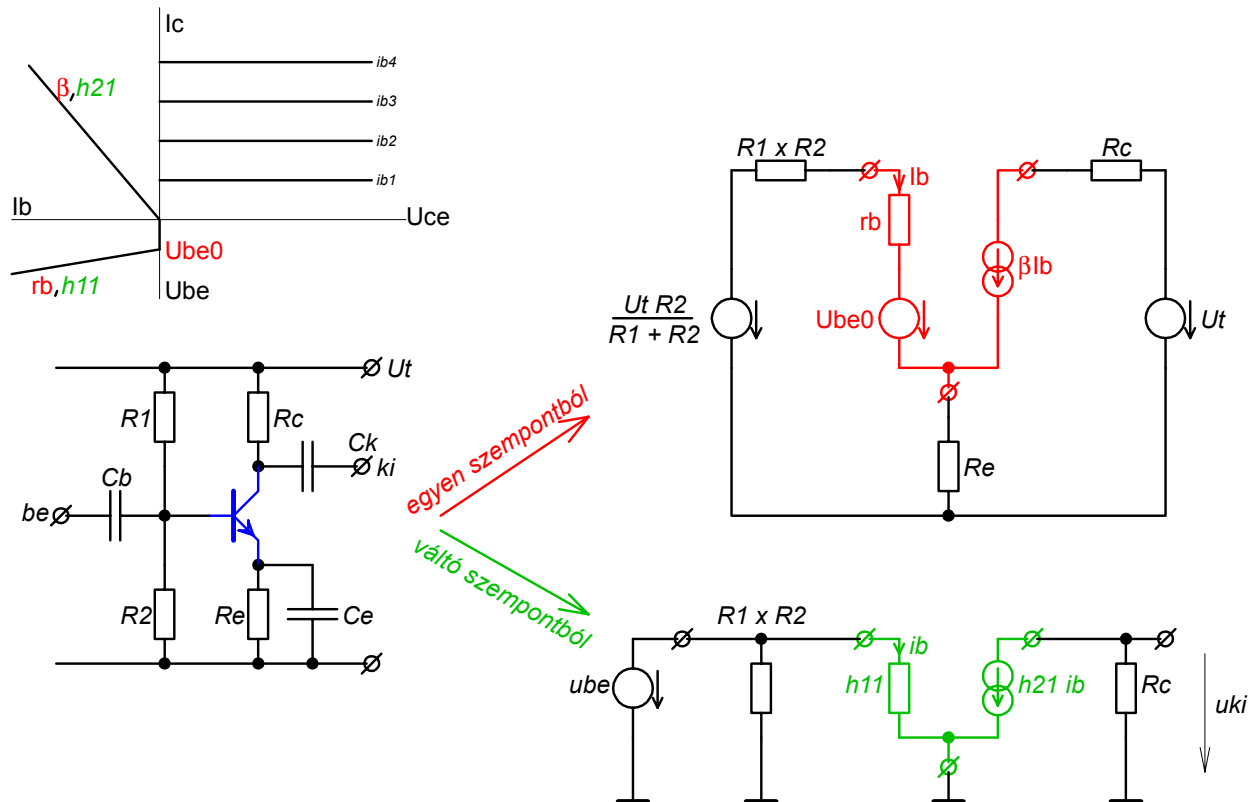


-munkapont ( $U_{CE} = ?$ ,  $I_C = ?$ ), munkapont számítás

$$\frac{U_t \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{I_c}{\beta} ((R_1 \parallel R_2) + r_b) + U_{be0} + I_c \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \cdot R_e$$

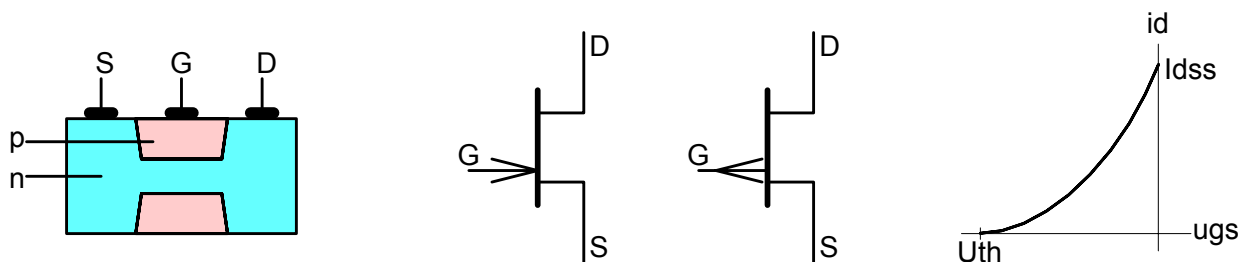
$$I_c = \frac{\frac{U_t \cdot R_2}{R_1 + R_2} - U_{be0}}{(\beta + 1) \cdot R_e + (R_1 \parallel R_2) + r_b} \cdot \beta$$

$$U_{ce} = U_t - I_c \cdot R_c - I_c \cdot \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \cdot R_e$$



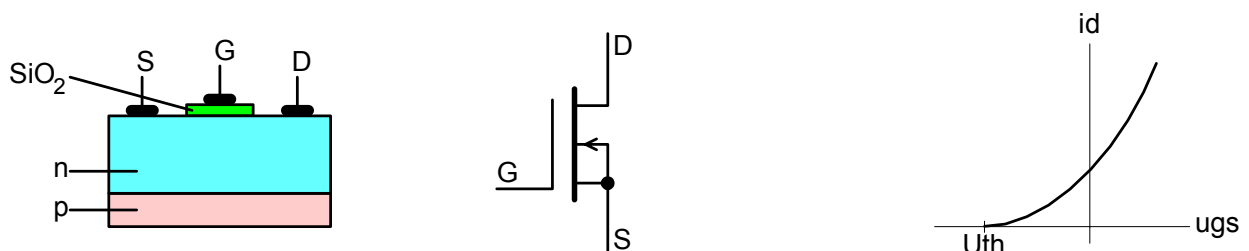
$$u_{be} = h_{11} \cdot i_b \quad u_{ki} = -h_{21} \cdot i_b \cdot R_c \quad A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{h_{21} \cdot R_c}{h_{11}}$$

- Térvezérlésű tranzisztorok (FET – Field Effect Transistor)**  
**-zárréteges térvezérlésű tranzisztorok:** (JFET – junction FET)



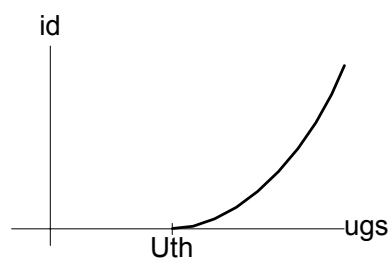
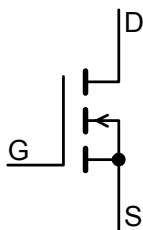
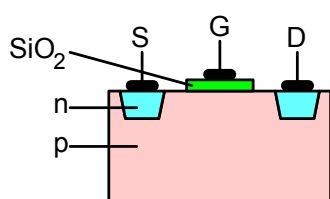
$$i_d = I_{dss} \cdot \left(1 - \frac{u_{gs}}{U_{th}}\right)^2$$

- szigetelt kapus térvezérlésű tranzisztorok:** (MOSFET – Metal-Oxid-Semiconductor FET)  
**-önvezető (kiürítéses):**



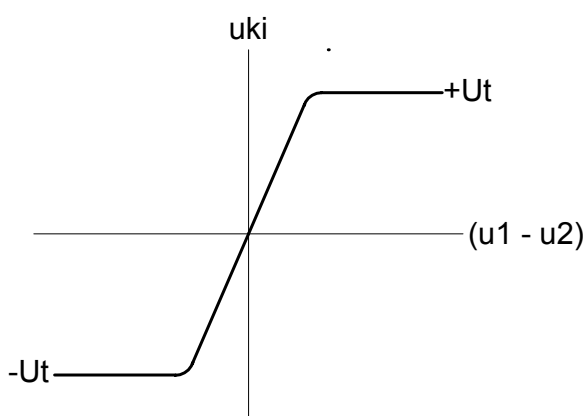
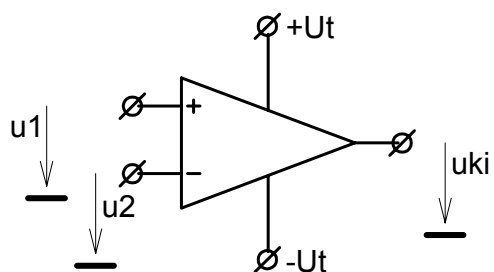
$$i_d = \beta \cdot (u_{gs} - U_{th})^2$$

-övezáró (növekményes):



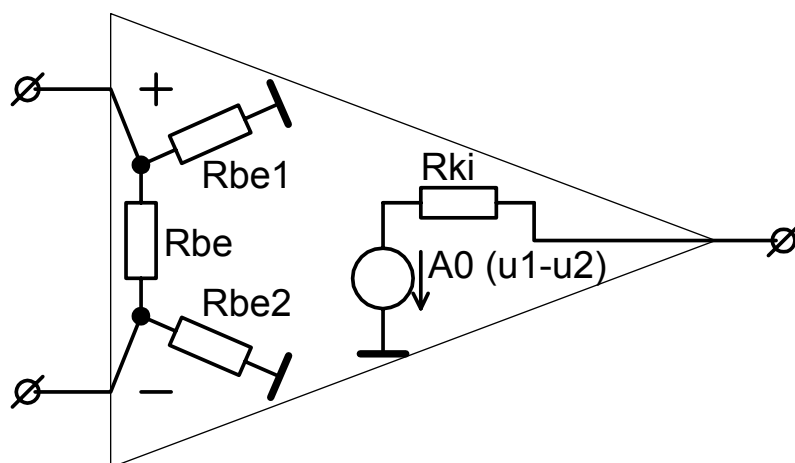
### Műveleti erősítők

-integrált technikával készülnek, differenciál bemenettel rendelkeznek



$$u_{ki} = A_0 \cdot (u_1 - u_2)$$

$$A_0 \in [10^4 \div 10^6]$$



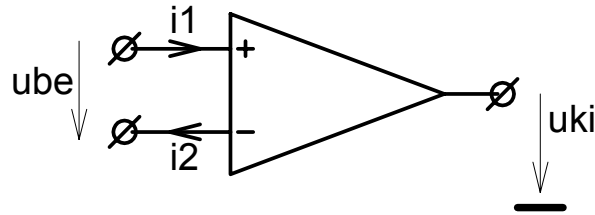
-ideális műveleti erősítők:

$$A_0 \rightarrow \infty$$

$$\Rightarrow u_{be} = 0 \text{ (ha } u_{ki} \in [-U_t, +U_t])$$

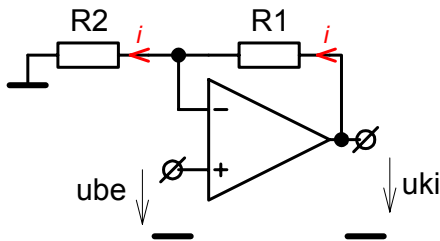
$$R_{be}, R_{be1}, R_{be2} \rightarrow \infty$$

$$\Rightarrow i_1 = i_2 = 0$$



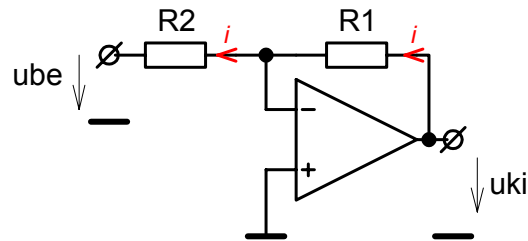
-ideális műveleti erősítők alkalmazása:

**Nem invertáló erősítő**



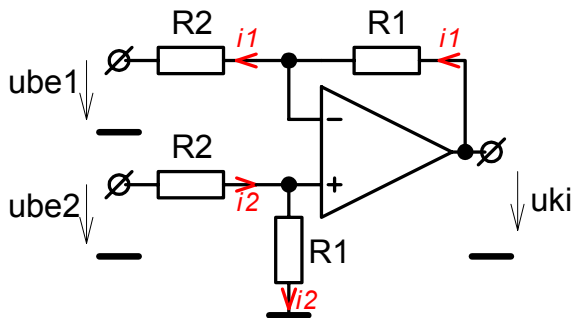
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{i(R_1 + R_2)}{i \cdot R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

**Invertáló erősítő**



$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{i \cdot R_1}{-i \cdot R_2} = -\frac{R_1}{R_2}$$

**Különbségképző**



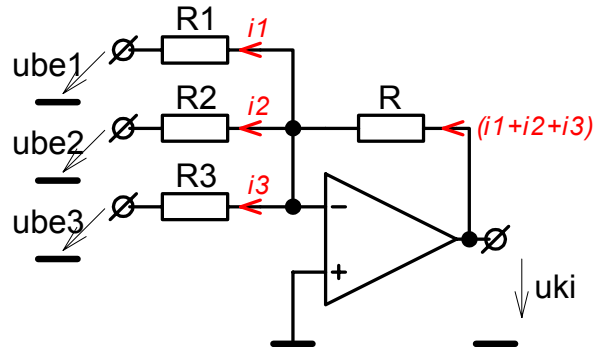
$$u_{ki} = i_1 \cdot (R_1 + R_2) + u_{be1}$$

$$u_{be2} = i_2 \cdot (R_1 + R_2)$$

$$i_2 \cdot R_1 = u_{be1} + i_1 \cdot R_2$$

$$\Rightarrow u_{ki} = -\frac{R_1}{R_2} (u_{be1} - u_{be2}) \Rightarrow u_{ki} = -\left( \frac{R}{R_1} u_{be1} + \frac{R}{R_2} u_{be2} + \frac{R}{R_3} u_{be3} \right)$$

**Súlyozott összeadó**



$$u_{be1} = -i_1 \cdot R_1$$

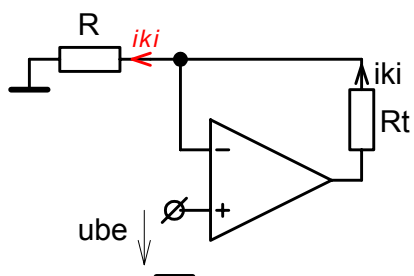
$$u_{be2} = -i_2 \cdot R_2$$

$$u_{be3} = -i_3 \cdot R_3$$

$$u_{ki} = (i_1 + i_2 + i_3) \cdot R$$

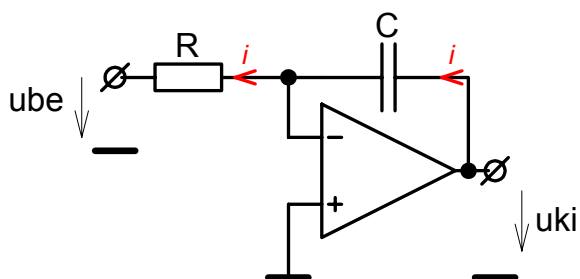


### Feszültségvezérelt áramgenerátor



$$i_{ki} = \frac{u_{be}}{R}$$

### Integráló

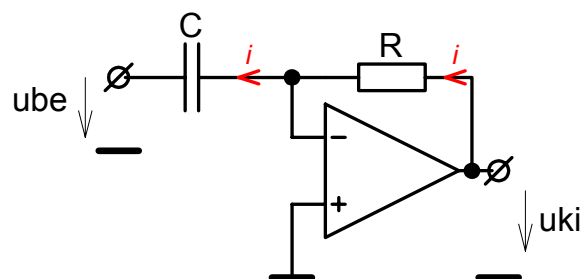


$$u_{be} = -i \cdot R$$

$$u_{ki} = \frac{1}{C} \int_0^t i \cdot dt$$

$$\Rightarrow u_{ki} = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{be} \cdot dt$$

### Differenciáló

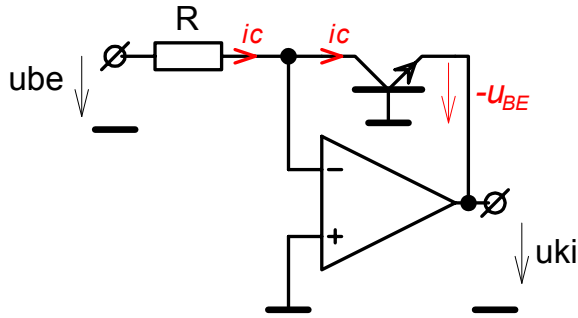


$$i = C \frac{d(-u_{be})}{dt}$$

$$u_{ki} = i \cdot R$$

$$\Rightarrow u_{ki} = -RC \frac{du_{be}}{dt}$$

### Logaritmáló

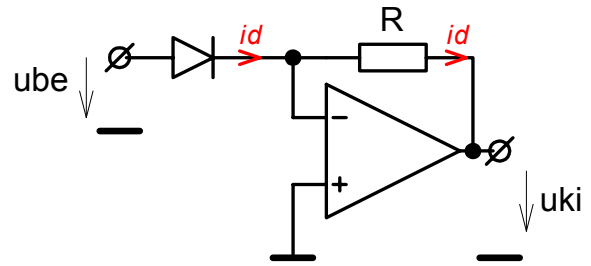


$$i_c = \frac{u_{be}}{R}$$

$$i_c = \beta \cdot I_S \cdot e^{\frac{-u_{ki}}{v_T}}$$

$$\Rightarrow u_{ki} = -v_T \cdot \ln \frac{u_{be}}{R \cdot \beta \cdot I_S}$$

### Exponenciáló



$$i_d = I_S \cdot e^{\frac{u_{be}}{v_T}}$$

$$u_{ki} = -i_d \cdot R$$

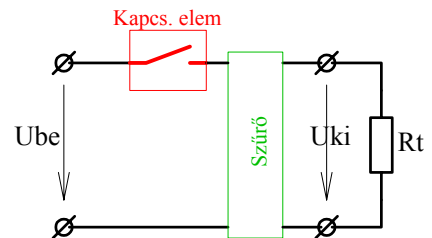
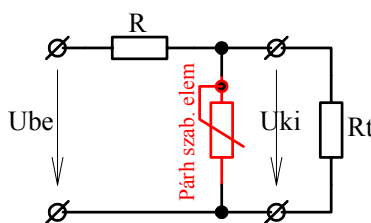
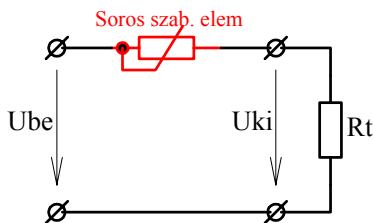
$$u_{ki} = -I_S \cdot R \cdot e^{\frac{u_{be}}{v_T}}$$

### Tápegységek

Stabilizáló egységek lehetnek:

-analóg szabályozású  
-soros  
-párhuzamos

-kapcsolóüzemű



Stabilizáló egységek jóságát jellemző paraméterek:

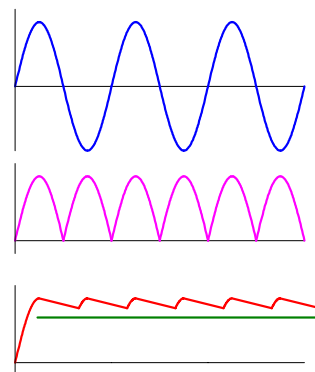
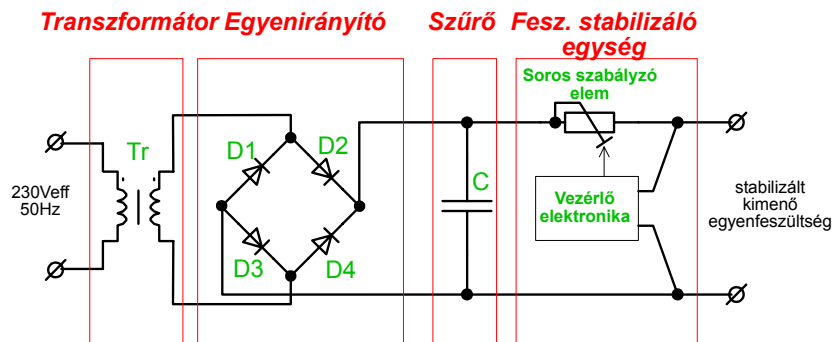
stabilizálási tényező:

$$S = \left. \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{ki}} \right|_{I_{ki}=\text{állandó}}$$

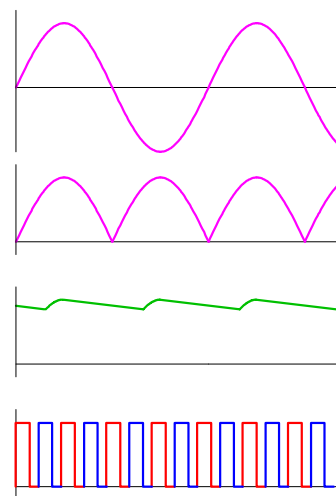
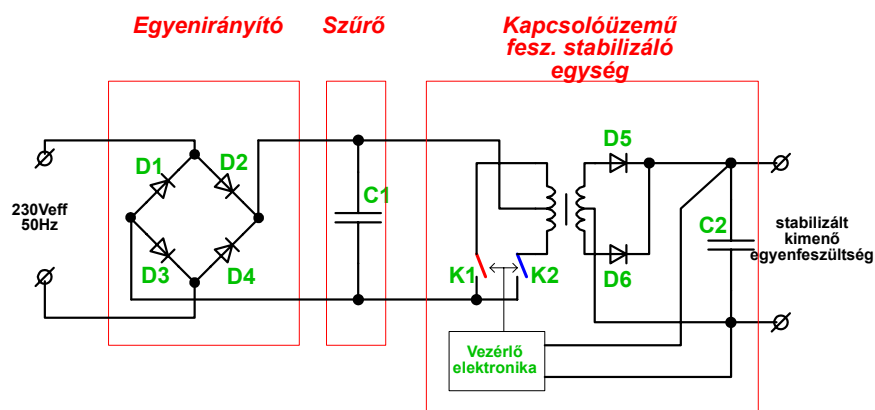
kimenő ellenállás:

$$R_{ki} = \left. \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta I_{ki}} \right|_{U_{be}=\text{állandó}}$$

- Soros analóg szabályozású tápegység:



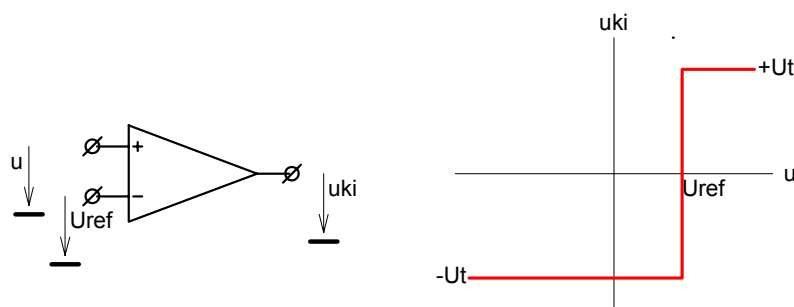
- Kapcsolóüzemű tápegység:



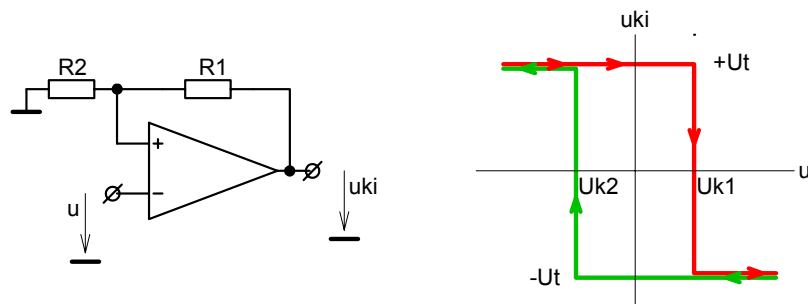
### Billenőkörök

-kimeneteik feszültsége két, jól meghatározott érték (**Low** és **High**) egyike lehet. Ettől még nem digitális áramkörök, mert bemeneteiken folyamatosan változó egyenfeszültséget várnak.

- Komparátor**



- Hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger)**



- Bistabil, Astabil, Monostabil**

