



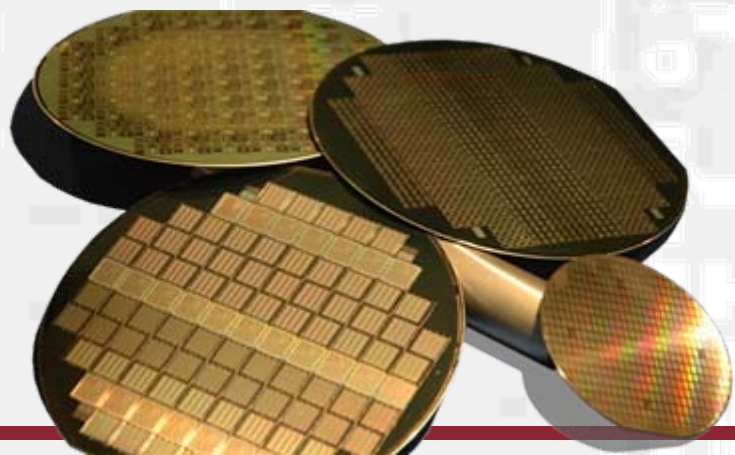
**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
**Elektronikus Eszközök Tanszéke**

# **Elektronika**

**Elektronika előadás**  
Mérnök informatikus szak

Dr. Rencz Márta, Dr. Ress Sándor

<http://www.eet.bme.hu>





# A tantárgy oktatásának módja

- Az előadások vázlata PDF-formátumban a tanszéki webről letölthető:

<http://www.eet.bme.hu/vieea307/>

belépés: **NEPTUN kód nagybetűvel!**

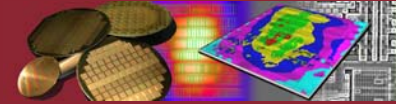
Jelszó: NEPTUN kód megfordítva

Első belépés után változtassa meg!

- **Jegyzet, felhasználható irodalom:**

- Székely Vladimír: Elektronika I, Félvezető Eszközök, 2001, Azonosító sz.: 55054
- Mikroelektronika és elektronikai technológia, Szerk.: Dr. Mojzes I. Műszaki Könyvkiadó, 2005





# Elektronika

## Elektromos áram félvezetőkben ill. vákumban

- ▶ Ágai (régebben erős-, gyenge áram)
  - energy processing
  - information processing
- ▶ Utóbbi felosztása, az ún. **4C**
  - Communication
  - Computation
  - Control
  - **Components**





# A tantárgy tematikája

- ▶ Bevezető, az elektronika története
- ▶ Félvezető fizikai összefoglaló
- ▶ Félvezető eszközök
  - p-n átmenet, dióda
  - bipoláris tranzisztor
  - MOS tranzisztor
- ▶ CMOS áramkörök
  - analóg és digitális áramköri elemek
- ▶ Memóriák
- ▶ VLSI áramkörök
  - integrált áramkörök tervezési kérdései
- ▶ Számítástechnikai periféria elektronika
- ▶ MEMS





# Az elektronika története

## Generációk

- ▶ Elektromágnessel mozgatott mechanika (elektromosságtan)
- ▶ Elektromos és mágneses erőterrel, vákuumban mozgatott elektron
- ▶ Szilárd testben mozgó, potenciáalterekkel vezérelt elektron





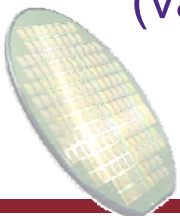
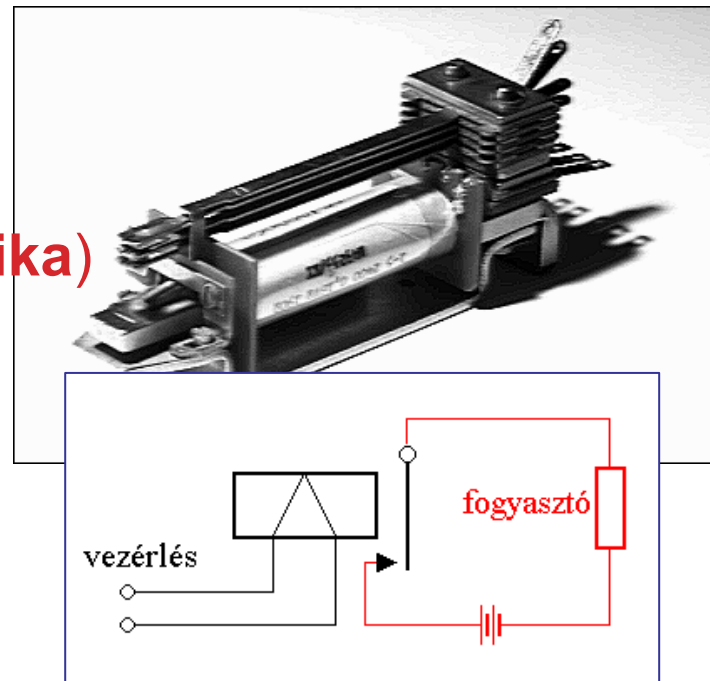
# Az elektronika története 2.

## A gyökerek

(Elektromosság-tan)

(Elektromágnessel mozgatott **mechanika**)

- ▶ 1837 Morse, telegráf
- ▶ 1876 Bell, telefon
- ▶ 1877 Edison, fonográf: az első ROM
- ▶ 1865 Maxwell, az elektromágneses hullámok elmélete
- ▶ 1888 (azaz 23 évvel később) Herz előállítja őket
- ▶ 1896 Marconi rádió kapcsolat = drót nélküli távíró  
(vagy Popov, 1 évvel korábban, de nem publikálta...)





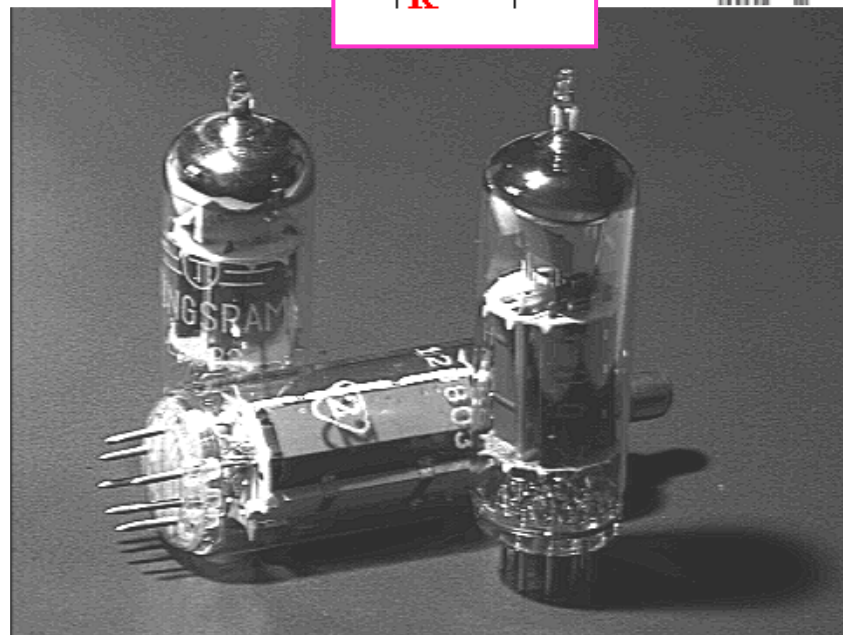
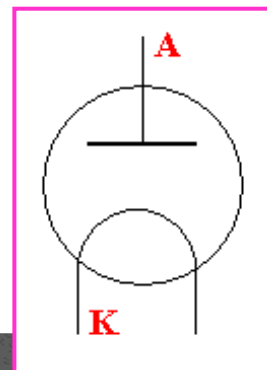
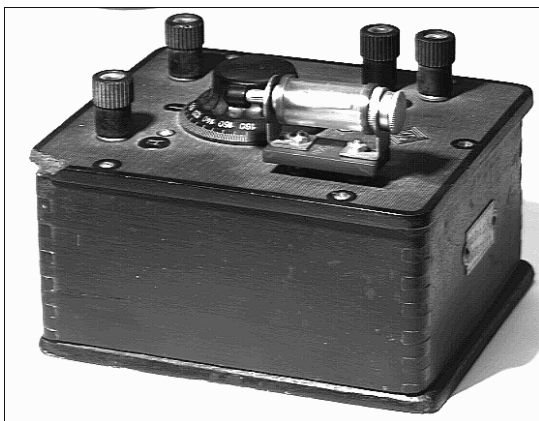


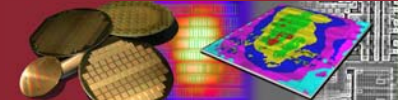
# Elektroncső korszak

Vákuumban mozgatott **elektron** → **elektronika**

- ▶ 1895 Lorenz kimutatta az elektronok létét
- ▶ 1897 Braun az első katódsugárcső
- ▶ 1904 Fleming az első dióda (valve) – nemlineáris eszköz
- ▶ Trióda - erősítő eszköz
- ▶ 1920 Rádiótávközlés
- ▶ 1940 TV, radarrendszerek

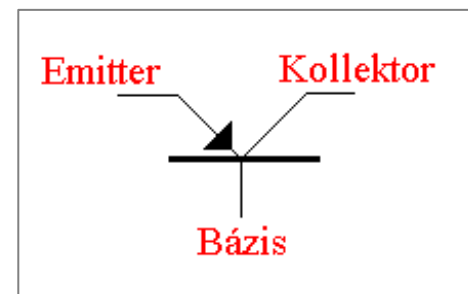
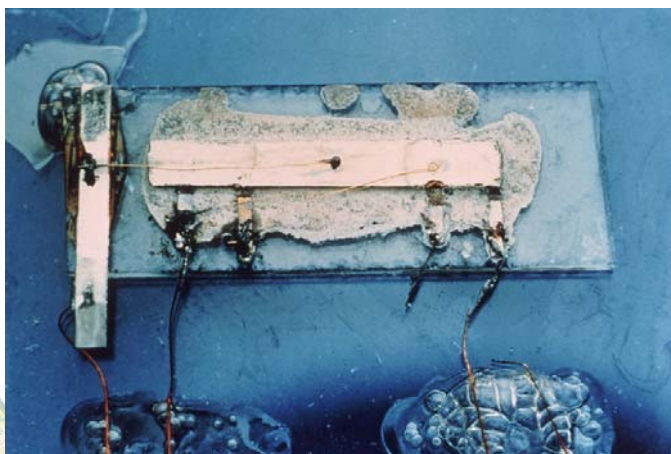
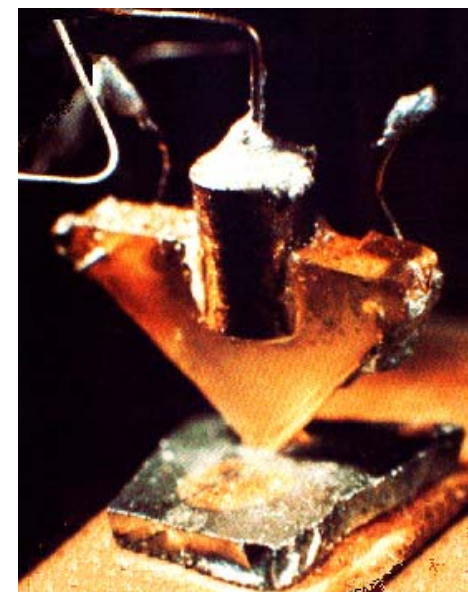
Rádió a  
20-as  
évekből



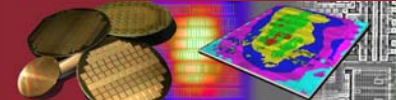


# Tranzisztor korszak

- ▶ 1948 Bell Laboratórium **Shockley, Bardeen, Brattain**  
Bipoláris eszköz: elektronok és lyukak  
(Germánium tűs tranzisztor)
- ▶ 1954 Szilícium tranzisztor,  
Texas Instruments
- ▶ 1958 az első integrált áramkör **Kilby**,  
Texas Instruments

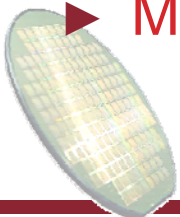
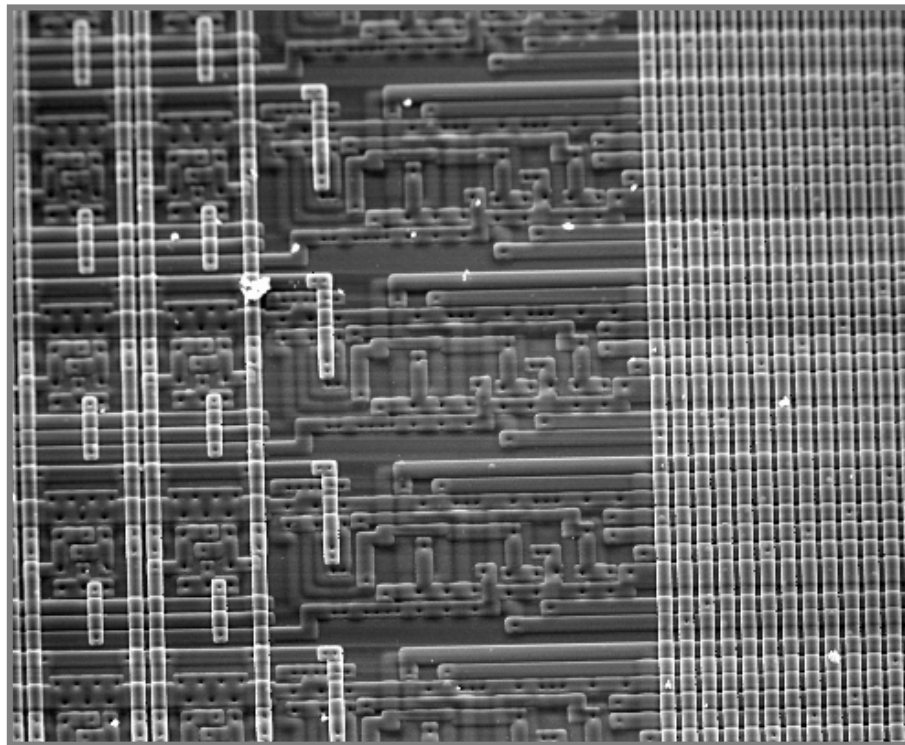






# Integrált áramkörök

- 1960 SSI  $< 100$  elem
- 1966 MSI  $n \times 100$  elem
- 1969 LSI  $n \times 1000$  elem
- 1975 VLSI  $n \times 10\,000$  elem
- **Ma: ULSI  $n \times 10^9$  elem**
- ▶ Új felosztás:
  - Elektronikai ipar:
    - chip gyártók
    - chip felhasználók
- ▶ 1958 JFET
- ▶ 1960 MOSFET
- ▶ 1969 Mikroprocesszor (Intel, **Andrew Grove**)
- ▶ Memóriák, képfeldolgozó eszközök
- ▶ **Ma: System-on-a-chip SoC, Network on a chip NoC**





# A szükséges alapok felfrissítése

- ▶ Kirchhoff törvények
- ▶ Ideális és valós források
- ▶ Helyettesítő képek
- ▶ Lineáris hálózatok, a **Szuperpozíció elve**
- ▶ Passzív lineáris hálózati elemek
- ▶ RC hálózatok jellemzése
- ▶ Bode diagramm
- ▶ Erősítők jellemzői

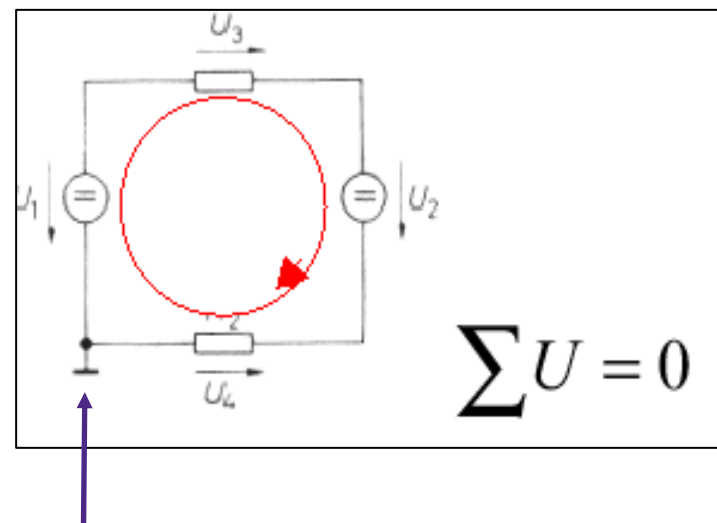
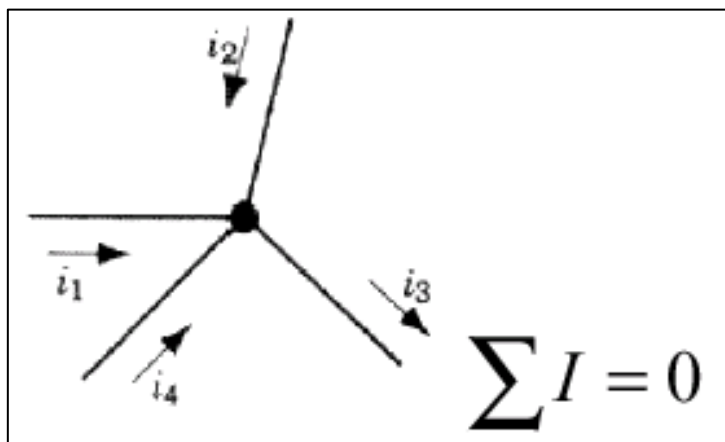




# Kirchhoff-törvények

- Egy csomópontba befolyó áramok előjeles összege = 0.
- Tetszőleges zárt hurokban a feszültségek összege = 0.

A Kirchhoff-törvények alkalmazásával  
minden hálózat megoldható.



Referencia feszültség, föld potenciál





# Áramkör analízis

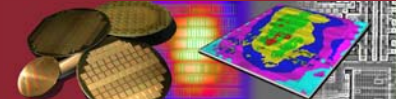
## Alapvető számítás módszerek

### ► Csomóponti potenciálok módszere

Áramkör analízis programok általában ezt használják

- minden  $(n)$  csomópont potenciálja ismeretlen, ezekkel kifejezzük az ágáramokat
- segítségükkel minden csomópontra felírjuk a csomóponti törvényt
- megoldjuk az  $n$  egyenletből álló  $n$  ismeretlenes egyenletrendszert
- a csomóponti potenciálokkal meghatározzuk az ágáramokat





# Ideális és valós források 1.

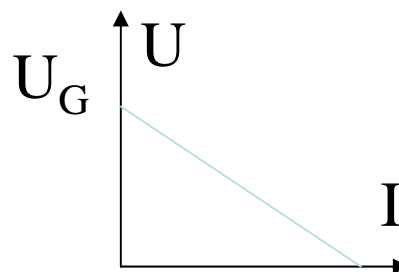
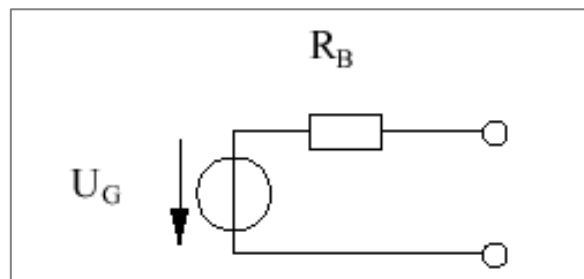
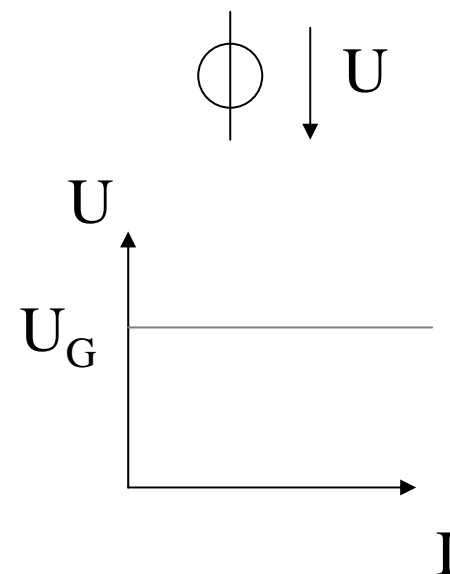
## Feszültségforrások

### ► ideális:

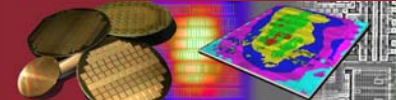
- a 2 kivezetés között a feszültség független a feszültségforrás áramától

### ► valós:

- a kivezetések között mérhető feszültség függ az áramtól (a gyakorlatban: csökken)
- modell: belső ellenállás







# Ideális és valós források 2.

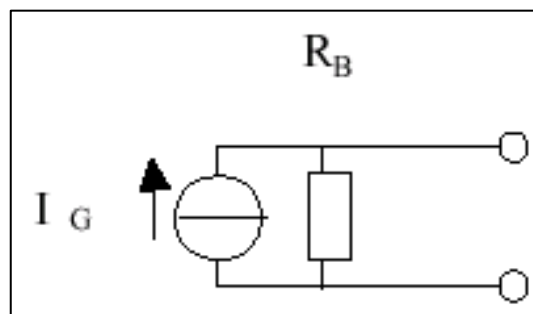
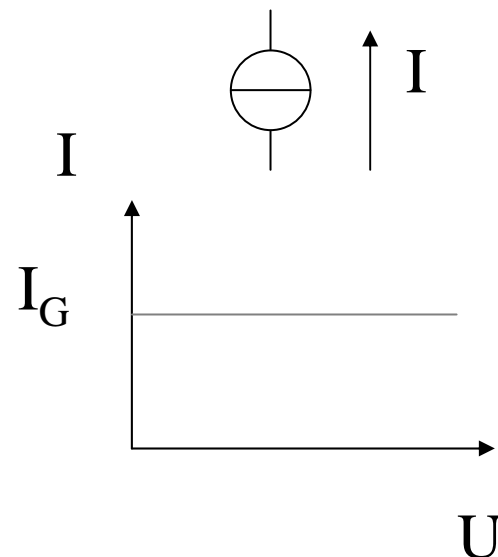
## Áramforrások

### ► ideális:

- az áram független az áramforráson eső feszültségtől

### ► valós:

- a kimenő áram függ az áramforráson eső feszültségtől
- modell: ideális áramforrás + belső ellenállás





# Helyettesítő képek (modellek)

- Olyan áramköri részletek, amelyek a **kapcsokon** (az áramkör további részeihez való kapcsolódási pontokon) olyan **karakterisztikát** (összetartozó áram és feszültség értékeket) mutatnak, mint a helyettesítendő áramköri részlet.

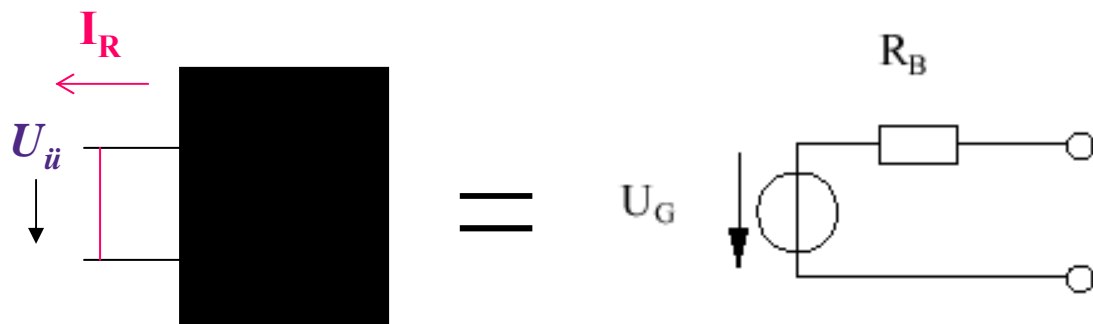
**kapocs pár = kapu**

Nemlineáris elemek lineáris helyettesítő képei  
csak közelítések, adott feltételekre.



# Thévenin helyettesítő kép

- ▶ Tetszőleges, ellenállásokból és ideális forrásokból álló 1 kapus hálózat helyettesíthető egy sorbakapcsolt ideális feszültségforrással ( $U_G$ ) és egy ellenállással ( $R_B$ ).
- ▶ A helyettesítőkép meghatározása:
  - Legyen  $U_{\ddot{u}}$  = a kapu kimenetén mérhető (számítható) feszültség (az üresjárási feszültség),  $I_R$  a kapu kimenetén mérhető (számítható) rövidzárási áram.



$$U_G = U_{\ddot{u}}$$

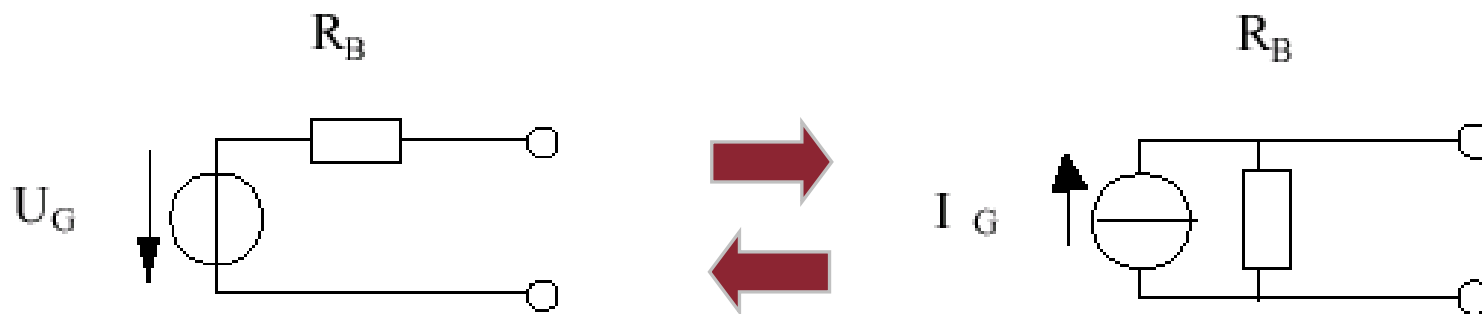
$$R_B = \frac{U_u}{I_R}$$





# Thévenin – Norton átalakítás

- ▶ Tetszőleges  $R_B$  belső ellenállású,  $U_G$  feszültségforrás helyettesíthető egy  $I_G = U_G/R_B$  ideális áramforrás és egy  $R_B$  ellenállás párhuzamos kapcsolásával.
- ▶ A két alak ekvivalens: azt érdemes használni, amivel a hálózat egyszerűbben számítható.





# Szuperpozíció elve

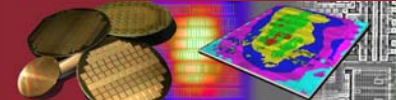
## Lineáris hálózatok:

- ▶ amelyekben minden elem  $I(U)$  karakterisztikáját lineáris egyenlet, vagy lineáris differenciálegyenlet írja le.
- ▶ Lineáris hálózatokban teljesül, hogy
  - $f(F+\Delta F) = f(F) + f(\Delta F)$
- ▶ Így **a különböző gerjesztésekre adott együttes válasz meghatározható az egyes gerjesztésre adott válaszok összegeként.**
  - alkalmazásnál:
    - az ideális áramgenerátort szakadással,
    - a feszültséggenerátort rövidzárral kell helyettesíteni.

amíg a többi generátor hatását számoljuk egyenként,  
majd az összes generátor hatást összeadjuk...







# Passzív lineáris hálózati elemek

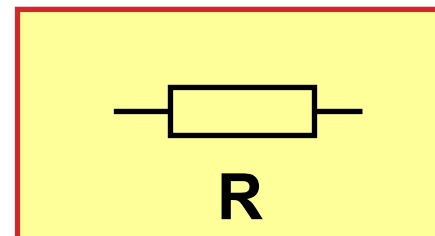
## ► Disszipatív elem:

### ▪ ellenállás

- az  $R$  ellenálláson átfolyó  $I$  áram

$$P = UI = I^2R = U^2/R$$

teljesítményt **hővé** alakít



$$U = I \cdot R$$

## ► Energia tároló elemek:

- kapacitás
- induktivitás



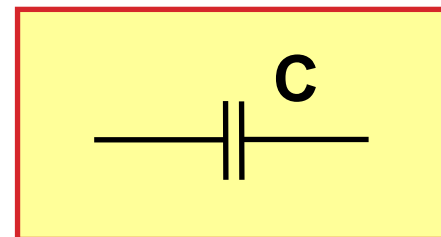


# Kapacitás

Egymáshoz közeli, de egymástól elektromosan elszigetelt két vezető → töltés felhalmozódás

►  $Q = C \cdot U$

►  $C$  egysége a Farad (As/V)



► Mivel:  $I = dQ/dt$  →

$$I = C \cdot dU/dt$$

- Ha az ideális kapacitáson a feszültség nem változik (állandósult állapot, DC eset): árama = 0, azaz szakadásként viselkedik, töltését megtartja.
- A valóságos kapacitásnak mindig van párhuzamos veszteségi ellenállása.

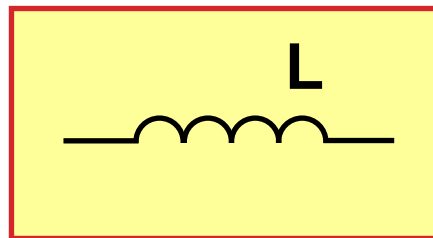




# Induktivitás

Hurkolt vezető, amin áram folyik. Ha az áram megváltozik, az induktivitás végpontjain feszültség mérhető

$$U = L \cdot di/dt$$

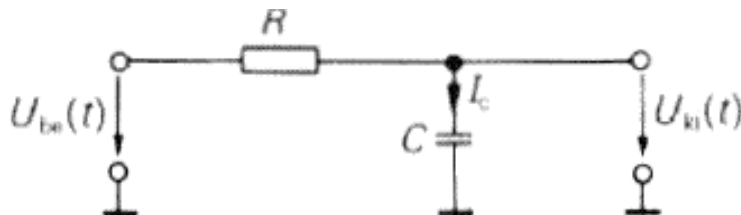


- ▶ **L** egysége a Henry (Vs/A)
- ▶ Ha az induktivitáson állandó áram folyik, a rajta eső feszültség  $U = 0$ 
  - Ha az induktivitást rövidre zárjuk, a veszteség mentes (ideális) induktivitásban az folytonosan (örökké) folyik.
  - Valóságos induktivitásnak mindig van soros veszteségi ellenállása, sőt párhuzamos kapacitása is.



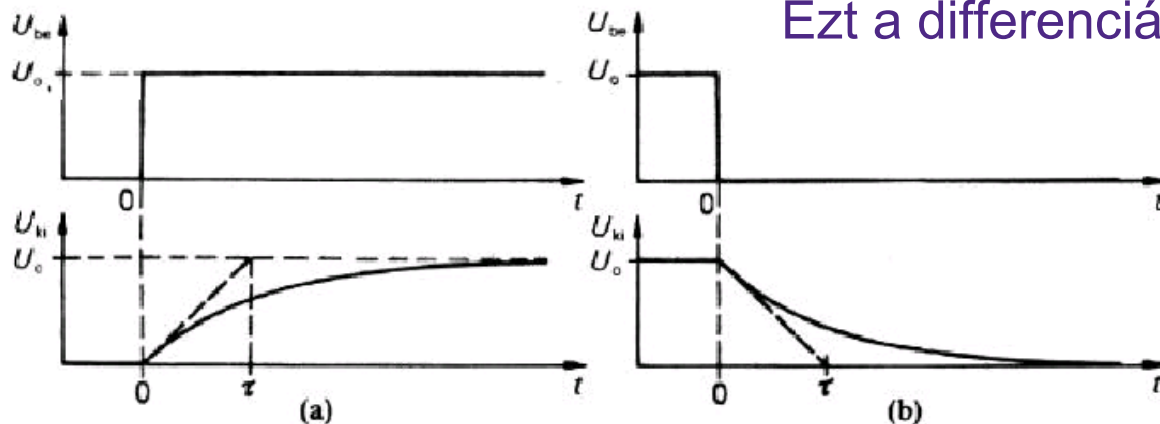
# RC hálózatok jellemzése

## Időtartományban



$$\frac{U_{be} - U_{ki}}{R} = C \frac{dU_{ki}}{dt}$$

Ezt a differenciálegyenletet kell megoldani...



bekapcsoláskor (a)  $U_{be} = U_0$  kikapcsoláskor (b)  $U_{ki}(0) = U_0$

$$U_{ki}(t) = U_0 (1 - e^{-t/RC}) \quad U_{ki}(t) = U_0 e^{-t/RC}$$

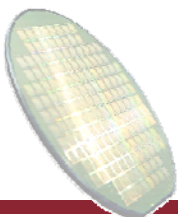
A  $\tau = RC$  mennyiség az ún. **időállandó**.

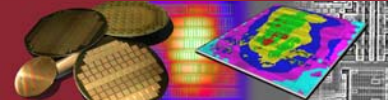
Az időállandó megadja, hogy mennyi ideig tart, amíg az eltérés az állandósult állapottól e-d részére csökken. Az eltérés  $5\tau$  idő alatt már kevesebb mint 1%.

**Késleltetés**



gyors  
változásokat  
nem tud  
követni





# Jellemzés frekvenciatartományban

## Bode-diagramm

► Az  $A(\omega) = U_{ki} / U_{be}$  átviteli függvényt ábrázoljuk.  
Ha  $U_1$  amplitudójú,  $\omega$  **frekvenciájú** szinuszos jelet teszünk a hálózat bemenetére:

- $U_{be}(t) = U_1 \cos(\omega t)$ , a kimeneten  $U_{ki}(t) = U_2 \cos(\omega t + \varphi)$
- az átvitel abszolút értéke  $U_2 / U_1$ , a bemenet és a kimenet között  $\varphi$  fázistolás van.

► **Az átvitel abszolút értékét és a fázistolást szokás a frekvencia függvényében logaritmikusan ábrázolni, ez a Bode-diagramm.**

- Az  $|A|$  mértékegysége a dB (decibel)

$$A|_{dB} = 20 \lg(A)$$

Feszültség- és áramerősítés esetén.  
Teljesítményerősítés esetén  $P(dB) = 10 \lg(P)$

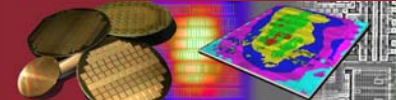
**Késleltetés**



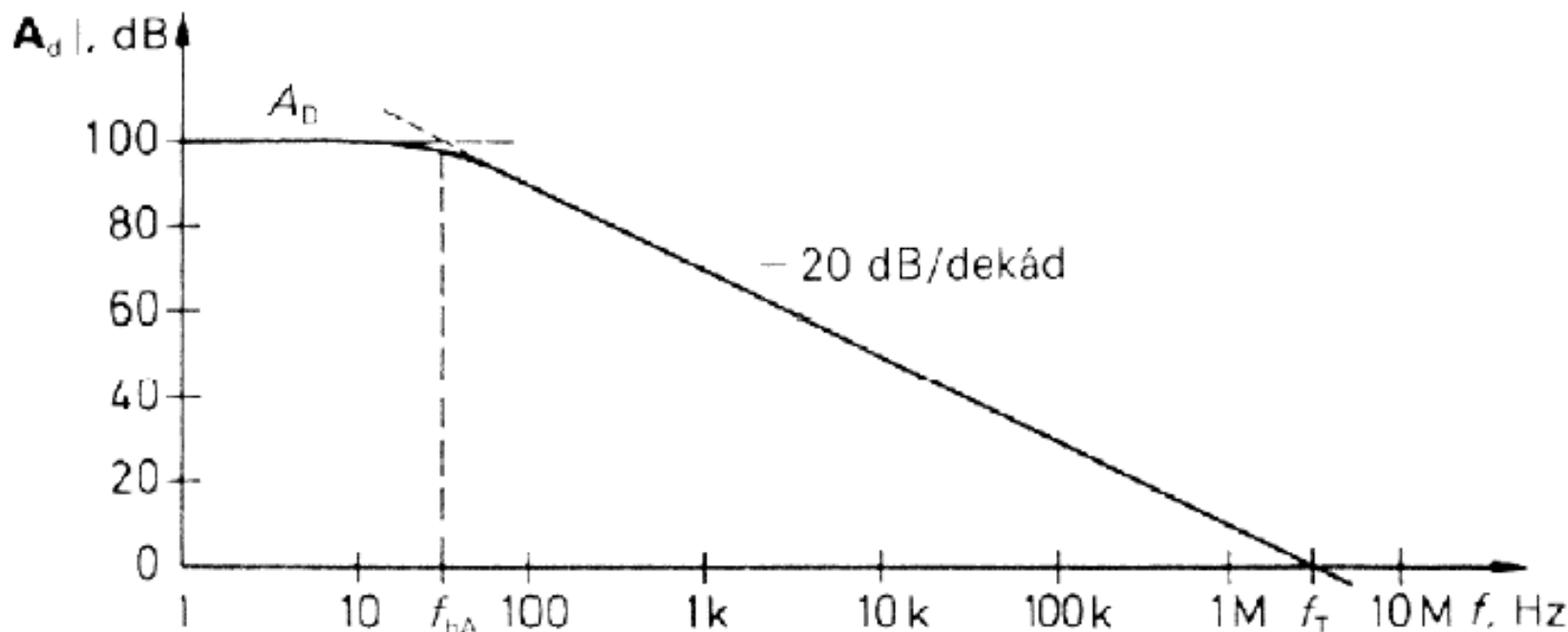
gyors  
változásokat  
nem tud  
követni





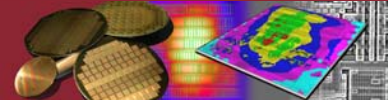


# Példa Bode-diagrammra



## ► Jellegzetes pontok:

- **Határfrekvencia:**  $f_h$  az a pont, ahol az erősítés a névleges erősítésnél 3dB-el kevesebb.
- **Tranzitfrekvencia:** az a frekvencia, ahol az erősítés abszolút értéke 1-re csökken. (Más néven **erősítés-sávszélesség szorzat, GBW, sávjóság.**)
- **Sávszélesség:** két határfrekvencia közötti frekvencia tartomány

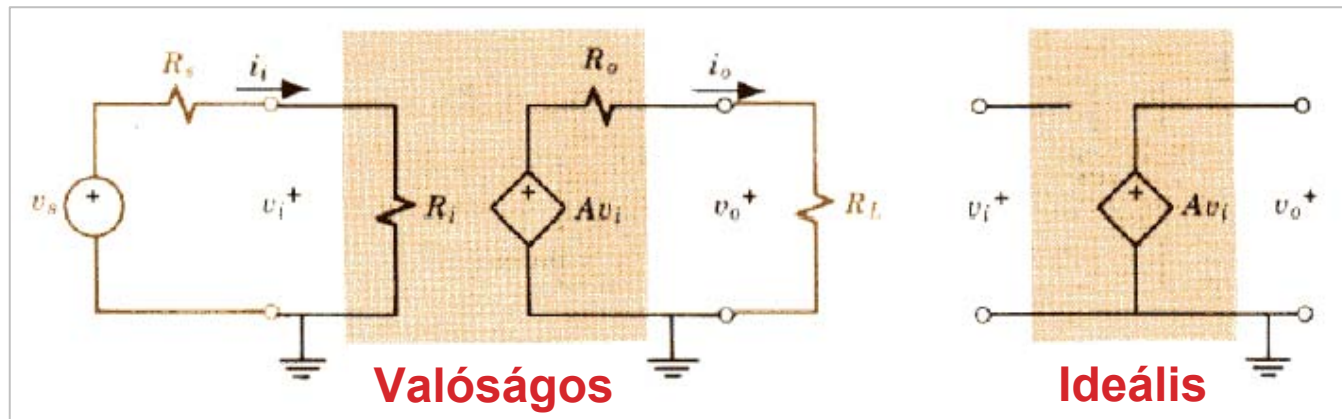


# Erősítők jellemzői

- ▶ Az erősítő aktív eszköz, **teljesítményt erősít**. (A transzformátor pl. nem erősítő!)

- Az erősítés:  $A = U_{ki} / U_{be}$  (feszültség erősítő)
- a valóságos erősítő modellje

$$A_V = A \cdot \frac{R_i}{R_i + R_S} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_O}$$



*Ideális erősítőben:*  
 $R_i = \infty$ ,  $R_o = 0$ ,  
 azaz  
 $I_{in} = 0$ , és  
 ideális feszültség-  
 generátoros  
 kimenet

- ▶ A jó erősítőhöz tehát az kell, hogy  $R_i \gg R_S$  másrészt  $R_o \ll R_L$
- ▶ Ideális erősítőben:  $R_i = \infty$ ,  $R_o = 0$
- ▶ **Az erősítés frekvenciafüggő**
- ▶ Általában a Bode-diagrammon szokás megadni a frekvenciamenetet.

