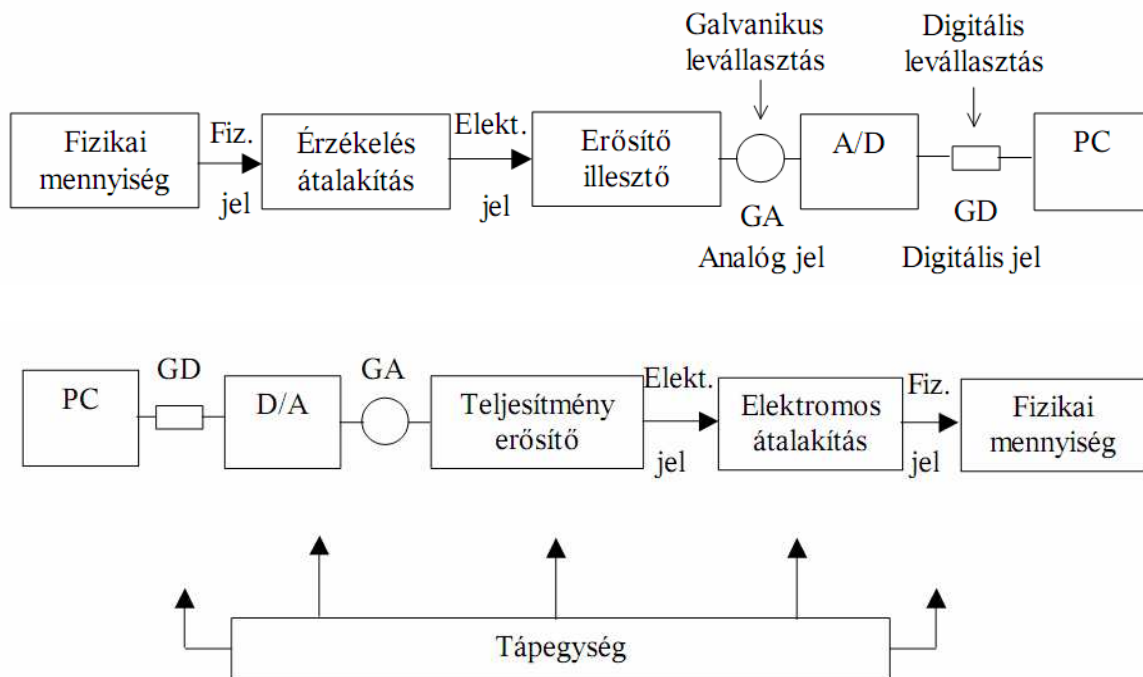


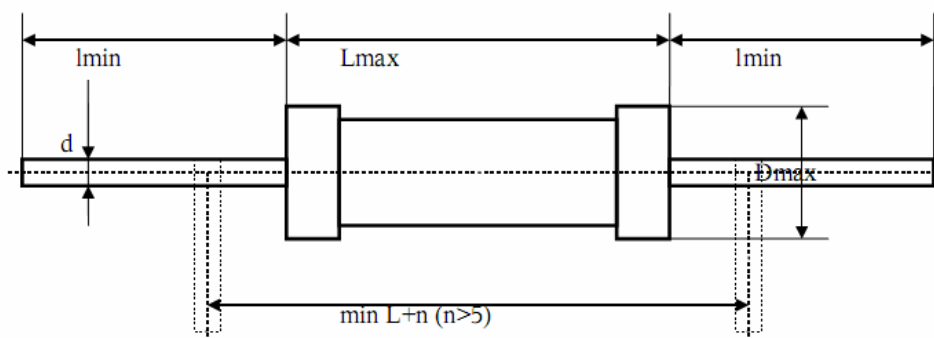
Moduláramkörök és készülékek

1) Ismertesse az általános elektronikai szabályozórendszer felépítését (blokkvázlat)!



Több helyen lehet visszacsatolás a bemenetre, így akár szabályozó rendszer is készíthető.

2) A valóságos alkatrészek jellemzése (paramétereik összefoglalása).



Fizikai méret: L_{max} , l_{min} , D_{max} , d

Névleges érték: E6, E12 , E24-es sor szerint

Névleges terhelhetőség: 600mW, 1W stb. Az üzemi terhelhetőség ennél mindig kisebb és hőmérsékletfüggő!

Névleges tűrés: +20%, +10%, +5% stb.

Szerkezeti felépítés: A hordozó, az ellenállás réteg, a kivezetés és a szigetelő réteg típusa

Határfeszültség: 200-1000V

Hőmérsékleti tényező: [mΩ/C]

Zajfeszültség: [μV/V]

Szórt inuktivitás és kapacitás értékei

Környezetállóság: Szabvány szerint

Kivezetők szilárdsága: Húzás, hajlítás, csavarás

Forraszthatóság: Huzaltótól minimum 6mm

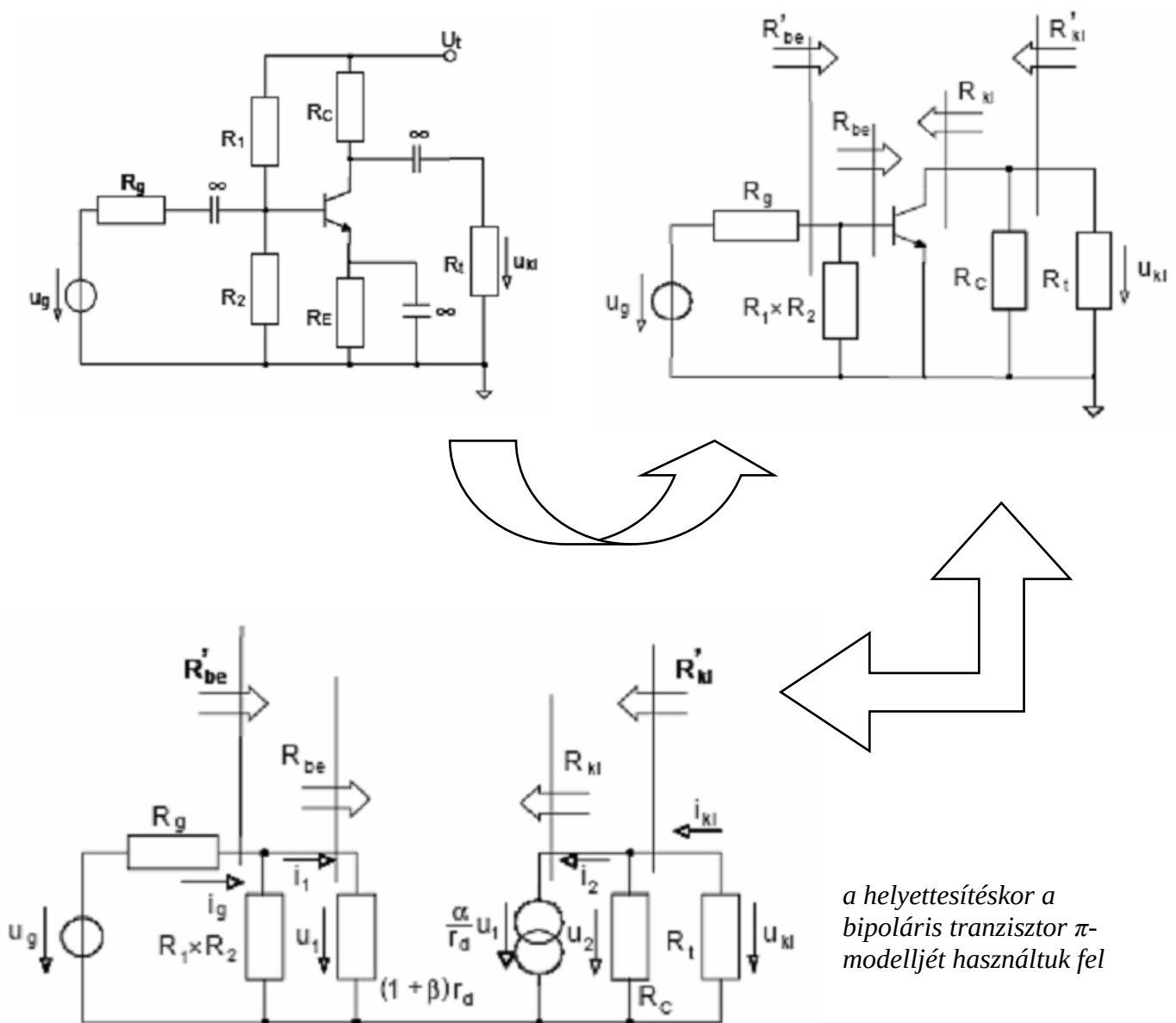
Forrasztási hőállóság: dR/R

Tartósság

Vizsgálati szabványok: IEC 115-1, IEC 68

Megjelölés: Színjelzés, vagy felirat

3) Ismertesse a földelt emitteres erősítő feszültségerősítésének különböző pontosságú-, valamint a bemenő-ellenállásának a számítási módszereit!



A földelt emitteres alapkapsolás feszültségerősítése:

$$A_u = \frac{u_{k1}}{u_1} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-\frac{\alpha u_1}{r_d}(R_C \times R_f)}{u_1} = -\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_d},$$

Az áramerősítése:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{\frac{\alpha u_1}{r_d}}{\frac{u_1}{(1+\beta)r_d}} = \alpha(1+\beta) = \beta,$$

A bemeneti ellenállása:

$$R_{be} = \frac{u_1}{i_1} = \frac{u_1}{\frac{u_1}{(1+\beta)r_d}} = (1+\beta)r_d,$$

Ugyanezek a paraméterek a teljes kapcsolásra:

Feszültségerősítés:

$$A'_u = \frac{u_{k1}}{u_1} = \frac{u_2}{u_1} = A_u = -\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_d},$$

Bemeneti ellenállás:

$$R'_{be} = \frac{u_1}{i_g} = ((1+\beta)r_d) \times (R_1 \times R_2),$$

4) Ismertesse a "véletlenszerűen" összerakott földelt emitteres erősítők számításának módszerét!

Előző tétel +

Az alapkapsolás teljesítményerősítése: $G = |A_u A_i| = \left| \frac{u_2}{u_1} \frac{i_2}{i_1} \right| = \alpha \frac{R_C \times R_f}{r_d} \beta$

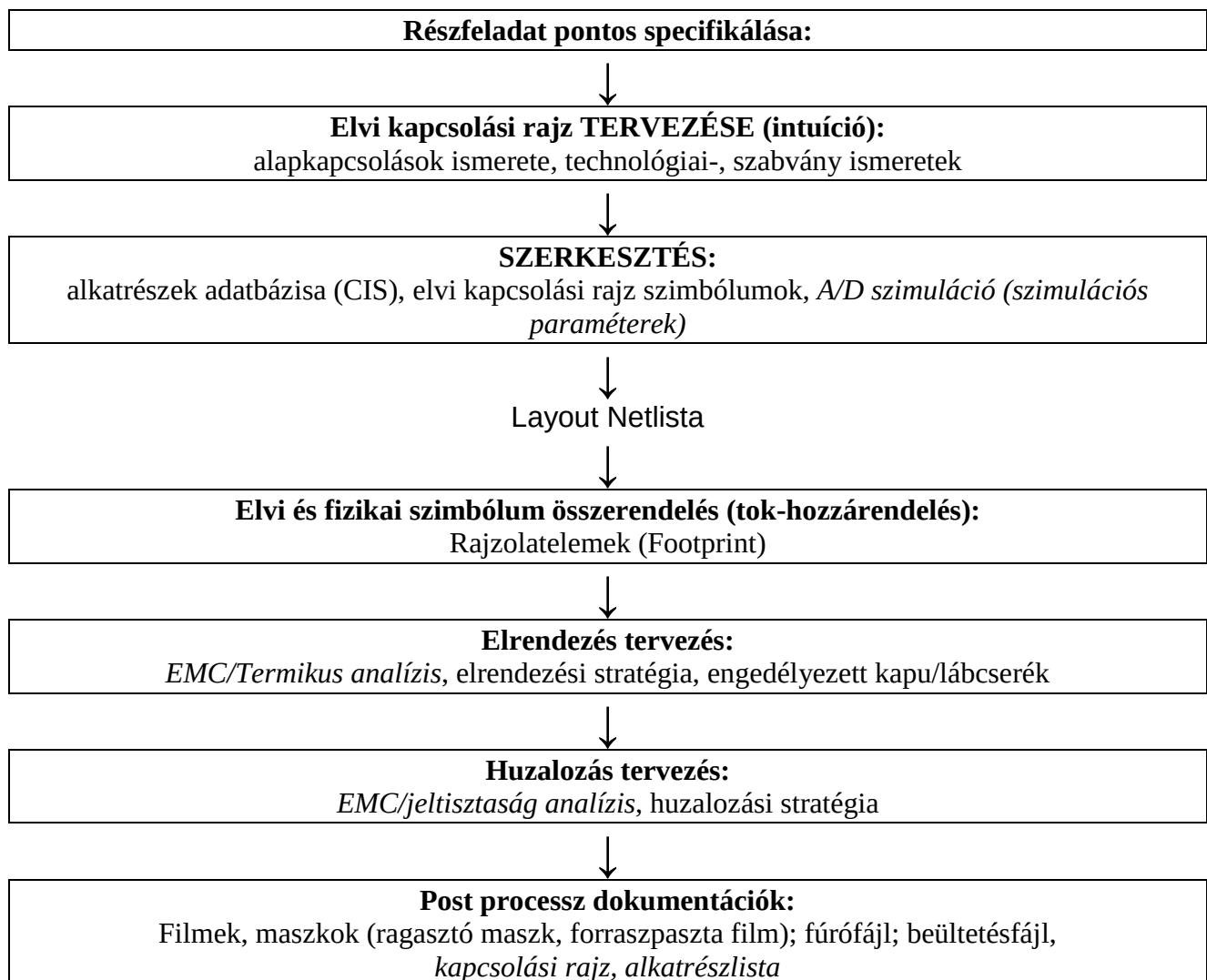
A teljes fokozat teljesítményerősítése: $G' = |A'_u A'_i| = \left| \frac{u_{k1}}{u_1} \frac{i_{k1}}{i_1} \right|.$

A fokozat teljes erősítése a generátor belső feszültségétől a kimenetig az

$$A_{ug} = \frac{u_{k1}}{u_g} = A_u \frac{R'_{be}}{R_g + R'_{be}} = -\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_d} \frac{R'_{be}}{R_g + R'_{be}}$$

kifejezés segítségével határozható meg, mivel a gen. feszültség először leosztódik a fokozat bemeneti ellenállása és a gen. ellenállás között, majd az így létrejött u_1 feszültség a fokozat A_u erősítéssel juttatja el a kimenetre.

5) Ismertesse a moduláramkör számítógéppel segített tervezésének blokkvázlatát!



6) Ismertesse az elvi kapcsolási rajz szerkesztésének menetét!

A SZERKESZTÉS részfeladatai:

- szimbólumok keresése (könyvtárszerkezet, fájlok),
- strukturálás,
- (először csak) az alkatrész-szimbólumok felhelyezése (és) szerkesztése,
- összeköttetések létesítése,
- az alkatrészek adatainak (attribútumok) szerkesztése,
- egyéb információk elhelyezése, szerkesztése,
- kimeneti dokumentációk készítése.

Ha egy rajzlapon nem fér el, akkor több rajzlap kell.

Ha több egyforma egység van:

- megoldható blokkokkal, vagy
- hierarchikus rajzrendszerrel (hasonló, mint a szubrutin)

Egy fázisban tetszőleges számú szimbólum felhelyezhető, de célszerű funkcionális egységre bontva végezni a rajzszerkesztést.

A kimeneti dokumentációk:

- kapcsolási rajz,
- .net (netlista a szimulációhoz), amely tartalmazza az:alkatrészlistát, az összekötés listát,a szimulációhoz szükséges generátor beállításokat.
- .mnl (netlista a layouthoz), amely tartalmazza az: alkatrész rajzolat (Footprint) neveket, tokozás neveket, alkatrész neveket (refdes=reference designator), összeköttetés, csomópont (=net) neveket, alkatrész kivezetéseket minden csomóponthoz, és egyéb alkatrészjellemzőket.
- .bom=bill of materials (alkatrészlista).

7) Ismertesse a kapcsolási rajz szimulációjának lehetőségeit! Ismertesse a Nyomtatott Huzalozású lemez rétegszerkezetét!

• Analóg áramkörök szimulációja:

- Egyenáramú analízis. (Nemlineáris, munkapont számítás.)
- Munkaponti érzékenység analízis. (Valamely tartományon belül változó paraméter hatása.)
- Tranziens szimuláció.
- Hőmérséklet-függés.
- Monte-Carlo/Worst Case. (Véletlenszám generátoros/a legrosszabb eset vizsgálata.)
- AC/Noise. (Bode-diagram/Zaj analízis.)

• Digitális szimuláció:

- Funkcionális szimuláció, a működés ellenőrzésére.
- Időzítési (Worst Case timing) szimuláció, pl. a hazardok felderítésére.

• Mixed (Analóg és Digitális) szimuláció.

Rétegszerkezet:

- VCC
- GND
- belső rétegek
- huzalozási rétegek
- fúrás
- dokumentációs
- forrasztásgátló
- szita
- forraszpaszta
- beültetési koordináta

8) Ismertesse a layout szerkesztés menetét! Ismertesse a kimeneti dokumentációk fajtáit, felépítését!

1. Padstack készítés

Alakja, mérete, benne levő furat mérete. Azonosítója.

Padstack méret és luk méret nem egyenlő.

Furatot nagyobbra vesszük, mert galvanizáláskor csökken az átmérő

2. Alkatrész footprint készítése

Részei:

- Név
- Mértékegység
- Padstack adatok (szám, azonosító, koordináták, fajta)
- Outline
- Azonosító
- Tokozás
- Érték

3. Tok hozzárendelése

Elvi és fizikai szimbólumok összerendelése, kiválasztjuk a Layoutban, melyik kell, majd ezt megadjuk az alkatrész tulajdonságai között tokozásnak. Netlistagenerálás véglegesíti ezt a lépést.

4. Elrendezés tervezése

Lehet automatikus, ekkor van vezérlőstratégia.

Kézi felrakás: pont-pont összeköttetések vannak. Hisztogramok segítik a felrakást.

5. Huzalozás

Kézi, interaktív vagy automatikus, stratégiákkal. DRC-vel ellenőrizhető.

Viaminimalizálás, push&shove csinálhat még helyet a többi madzagnak.

6. Dokumentáció elkészítése

- Kapcsolási rajz
- Alkatrésztlista
- Maszkok
- Fúrófájl
- Ragasztófilm
- Forraszpasztafilm
- Beültetési fájl

Gyártófilmek gerberben (koordináták, apertúra kódok, alakok stb)

Fúró: koordináták, fúró szerszámtároló koordinátái

9) Ismertesse a gyárthatóságra, szerelhetőségre, tesztelhetőségre tervezés irányelveit, térjen ki a költséghatékonyságra is!

Design for fabrication = DfF:

- topológia ellenőrzése gyártás egyszerűsége vagy megvalósíthatóság szempontjából (minél olcsóbban)
- legyen elég távolság a huzalpályák között
- fémezett furatnál fúrás pontatlanságát figyelembe kell venni
- GND és VCC réteg közötti távolság legyen nagy
- nagy fémfelületre hidakkal csatlakozunk
- löstopp ablaka nagyobb, mint a kontaktus, de minél kevesebb huzal lógjon ki alóla
- pozícióábra ne lógjon kontaktusba vagy viákba
- szél és rajzolat közti távolság minimum 3mm
- súlyozás közepre

DfA (assembly):

- funkciók integrálásával alkatrészek számának csökkentése
- IC-ket nem temetünk el

- alkatrészek közé elég táv, hogy beültethető legyen, és hogy ne legyen rövidzár
- alkatrész ne legyen a hordozó szélén
- minél több fiduciális jel
- polaritásos alkatrészek álljanak egy irányba

DfT (testability):

- cél az olcsó és egyszerű ellenőrzés
- összes mérőpont elérhető legyen ICT-tűvel, a felülete legyen elég nagy hozzá
- fontos jelvezetékek legyenek mérőponttal ellátva, vagy legyen rá kivezetve
- önellenőrzési és öndiagnosztikai funkciók beépítve
- szabványos csatlakozók

DfLC (low cost):

- kevés kézi művelet
- egyszerű toplógia, sok SM alkatrész
- szabványos alkatrészek alkalmazása
- minél több alkatrész mutasson egy irányba
- árat meghatározza, hány szerelési ciklusból áll a termék (SM, THM, SM+THM, hány oldala van, hányfajta forrasztást használunk)

10)Ismertesse az áramkörti topológiák tervezési irányelveit (mérőpontok, pozícionálást segítő pontok, szerelést segítő furatok)!

Mérőpontok:

- $d > 0.63\text{mm}$, szabvány szerint kör alakú és $d > 1\text{mm}$
- ha négyzet, akkor $a > 0.9\text{mm}$
- a mérőpont tartalmazhat viát
- ne takarja lakk
- rézrétegre kell szerkeszteni, mintha rajzolat lenne

Pozícionálást segítő ábrák:

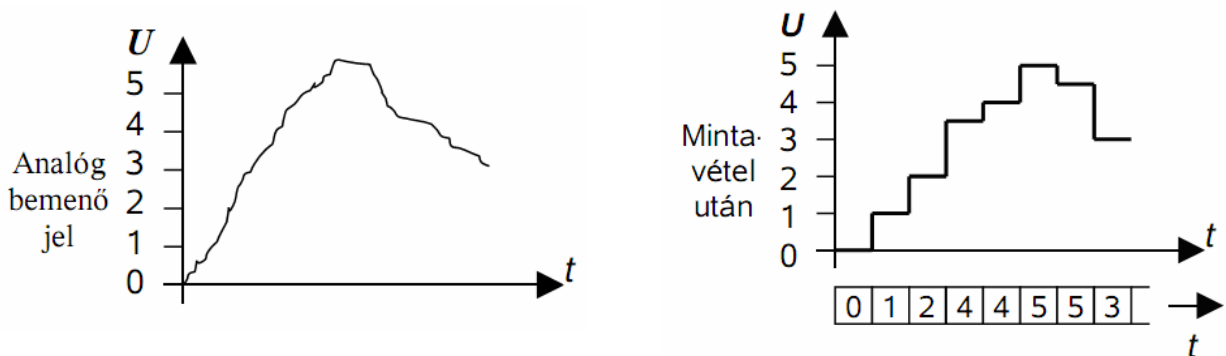
- szerelés fázisaiban pontosan el lehessen helyezni a hordozót, belőni a koordináta-tengelyt
- segédábrák a rézrétegre
- ne legyen lakkos
- globális és lokális segédábrák:
 - lokális:
 - rászterosztás kisebb, mint 0.63mm , akkor kell
 - két sarokban egy-egy ábra
 - $d > 1\text{mm}$
 - globális:
 - három db. ajánlott távoli pontokon
 - minden oldalra
 - szélétől való távolság $> 5\text{mm}$
 - $3\text{mm} > d > 1\text{mm}$

Szerelést segítő furatok:

- nem fémezettek, szereléskor tartják a hordozót
- minimum kettő darab átellenesen
- szabvány 2.4mm , 2.8mm , 3.2mm
- globális pozícionálást segítő ábrákkal megegyező rácsponton lehetnek

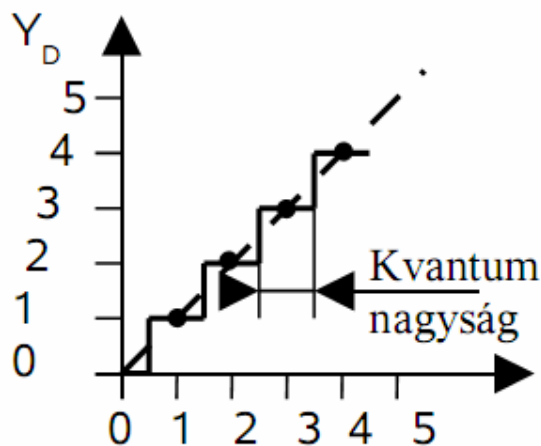
11) Ismertesse az A/D és D/A konverterek karakterisztikáját, hibáit!

Az analóg–digitális átalakítás során az amplitúdóban és időben folytonos jelből mind időben, mind amplitúdóban diszkrét jelet (diszkrét értékek sorozatát) állítunk elő.



Átalakítási karakterisztika:

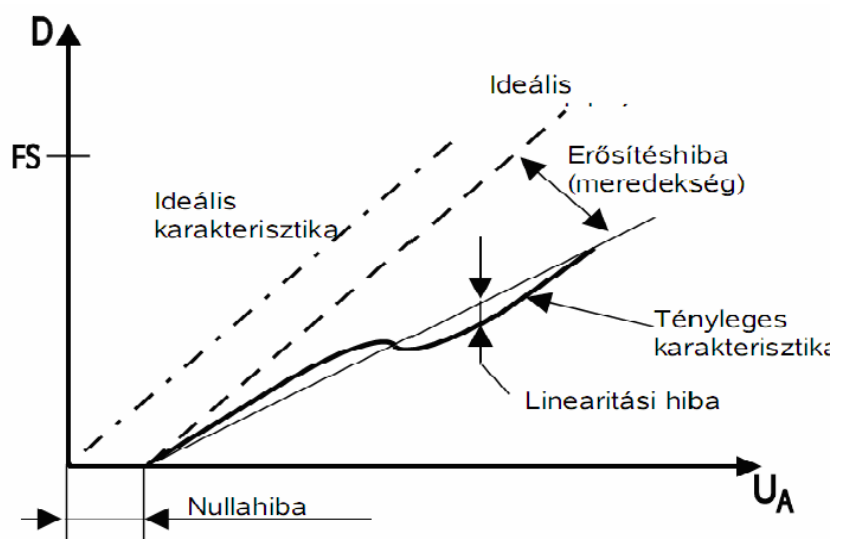
Az A/D átalakító az analóg bemenő jel egy-egy kis résztartományához egy-egy digitális értéket rendel:



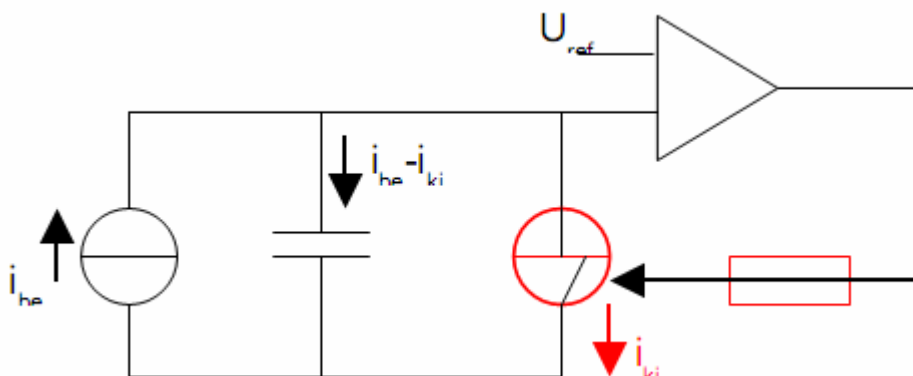
A résztartományok határai az ún. átváltási vagy komparálási szintek. A résztartományok közepe a névleges kvantálási szint. A résztartományok szélessége, az átváltási szintek közti távolság a kvantumnagyság. Átalakítási karakterisztikának a névleges kvantálási szinteknek megfelelő pontokra simuló görbét tekintjük.

Az átalakítók hibái:

- Kvantálási hiba
- Felbontóképesség
- Integrális linearitási hiba
- Differenciális linearitási hiba
- Erősítési hiba
- Nullhiba = ofszethiba

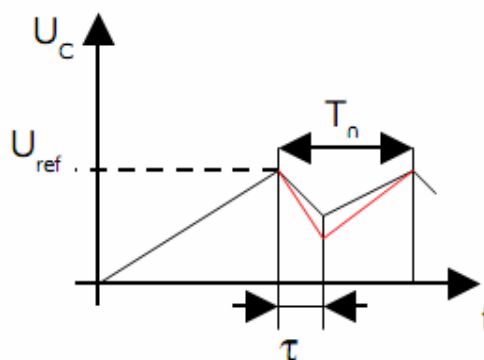
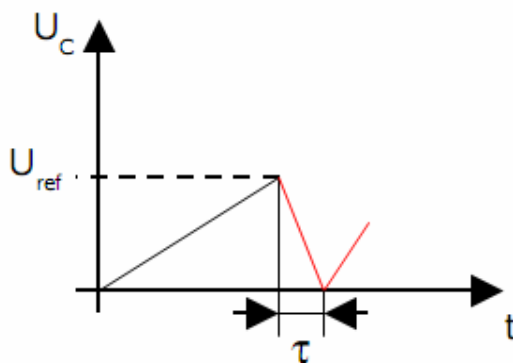


12) Ismertesse a feszültség-frekvencia konverter (UFC) működési elvét, felépítését!



Működése:

- i_{be} tölti a kondenzátort, aminek a feszültsége nő
 - ha a komparátoron a bemenő fesz. nagyobb a referenciánál, egy one-shot monostabil multivibrátor jelet küld, ami:
 - kikapcsolja a kondit, ha $i_{ki}=0$ (áramgenerátor helyett kapcsoló), bal ábra
 - a one-shot tau idejéig csökken a fesz., aztán megint nő (jobb ábra)
- Minél nagyobb a töltőáram, annál gyorsabb a folyamat, vagyis a frekvencia ettől függ.

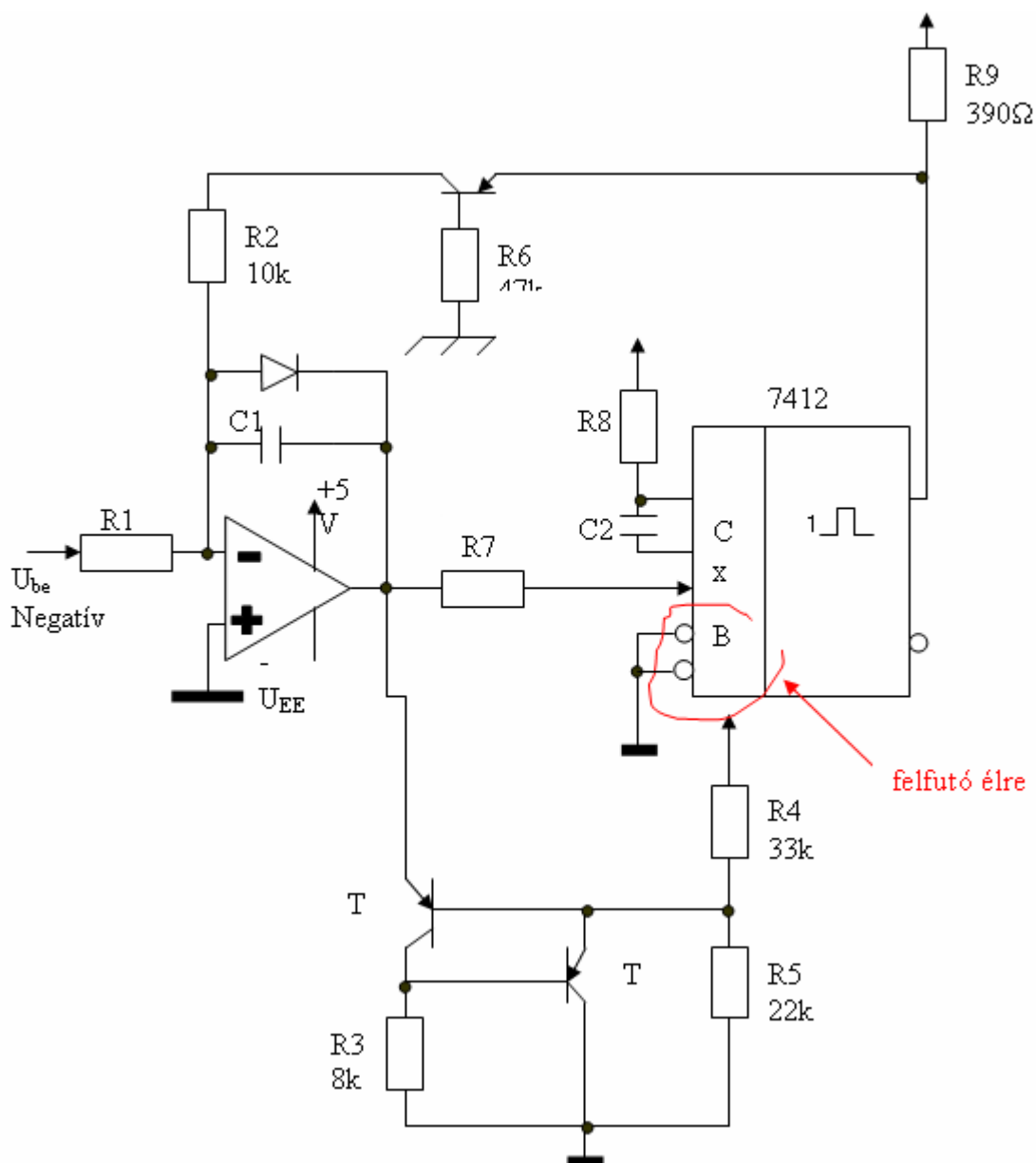


13) Ismertesse az UFC technológiáját, az egyes alkatrészekkel szemben támasztott követelményeket, az általuk okozott hibákat!

$$f = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{U_B}{U_{CC} \cdot \ln(2) \cdot R_8 \cdot C_2}$$

- R_8 : hosszúidejű stabilitás -> fémréteg ellenállás (hőmérsékletfüggés kicsi legyen)
- C_2 : nem lehet kerámia vagy elektrolit kondenzátor – nagyon nem stabilak Schmitt-trigger küszöbfeszültsége is jelentősen változik (de ez mindegy, hiszen mindig ugyanott komparál, csak ez a szint legyen stabil) 1 mérési ciklusig
- R_1 és R_2 osztásaránya legyen állandó (a hőmérsékletfüggésük is ugyanannyi) pl. vékonyréteg R
- C_1 -re kritérium: rövididejű stabilitás
- az erősítőnek (komparátornak) lehet egy kis offset-je (pozitív v. negatív)
- negatív offset, kis negatív zavar □ az erősítő kimenete negatívba vándorol
- a TTL bemenet ezt nem viseli el (van ugyan egy dióda, de az csak rövid impulzusok levágására képes); az R_7 akadályozza meg a kondenzátorfeszültség lefelé vándorlását
- U_{CC} legyen stabil

14) Ismertesse a feszültség-frekvencia konverter (UFC) kapcsolási rajzát!



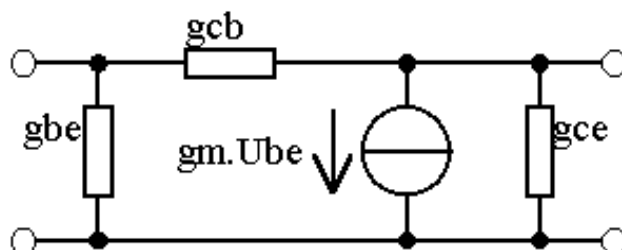
15) Ismertesse a tranzisztor helyettesítő képeit, az egyes paraméterek közötti összefüggéseket!

A földelt emitteres helyettesítőkép (g paraméterek)

$$\frac{dI_E}{dU_{BE}} = I_0 \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \cdot \frac{1}{U_T} = \frac{I_E}{U_T}$$

$g_m = 1 / r_E$, ahol r_E a differenciális ellenállás

$$g_{be} = \frac{1}{(\beta + 1)r_E}$$



$$g_{cb} = \mu \cdot g_{be} = \frac{\mu}{(1 + \beta)r_E}, \text{ ahol } \mu \text{ a feszültség-visszahatási tényező}$$

$$g_{ce} = \frac{I_{ki}}{U_{ki}} = \mu \cdot g_m = \mu \cdot \frac{I_E}{U_T}$$

$$g_{ce} = I_E / U_A, \text{ ahol } U_A = \frac{U_T}{\mu} \text{ (Early feszültség)}$$

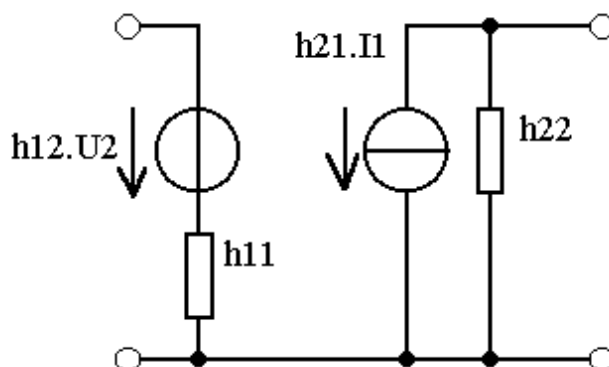
A tranzisztor h paraméteres helyettesítőképe:

$$U_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot U_2$$

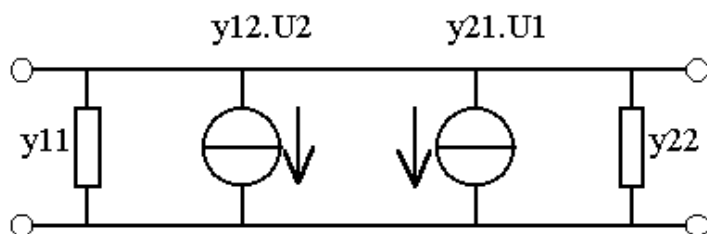
$$I_2 = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot U_2$$

$$\text{, ahol } h_{11} = \beta \frac{U_T}{I_E}; \quad h_{12} = \mu;$$

$$h_{21} = \beta; \quad h_{22} = \frac{I_E}{U_A}$$



A tranzisztor nagyfrekvenciás helyettesítőképe (y paraméteres leírás):



$$I_1 = y_{11}U_1 + y_{12}U_2$$

$$I_2 = y_{21}U_1 + y_{22}U_2$$

$$\text{, ahol } y_{11} = \frac{1}{R_{be}}; \quad y_{21} = g_m; \quad y_{22} = g_{ce}$$

16) Ismertesse a differenciálerősítők kisjelű működését, hibáit, előnyeit!

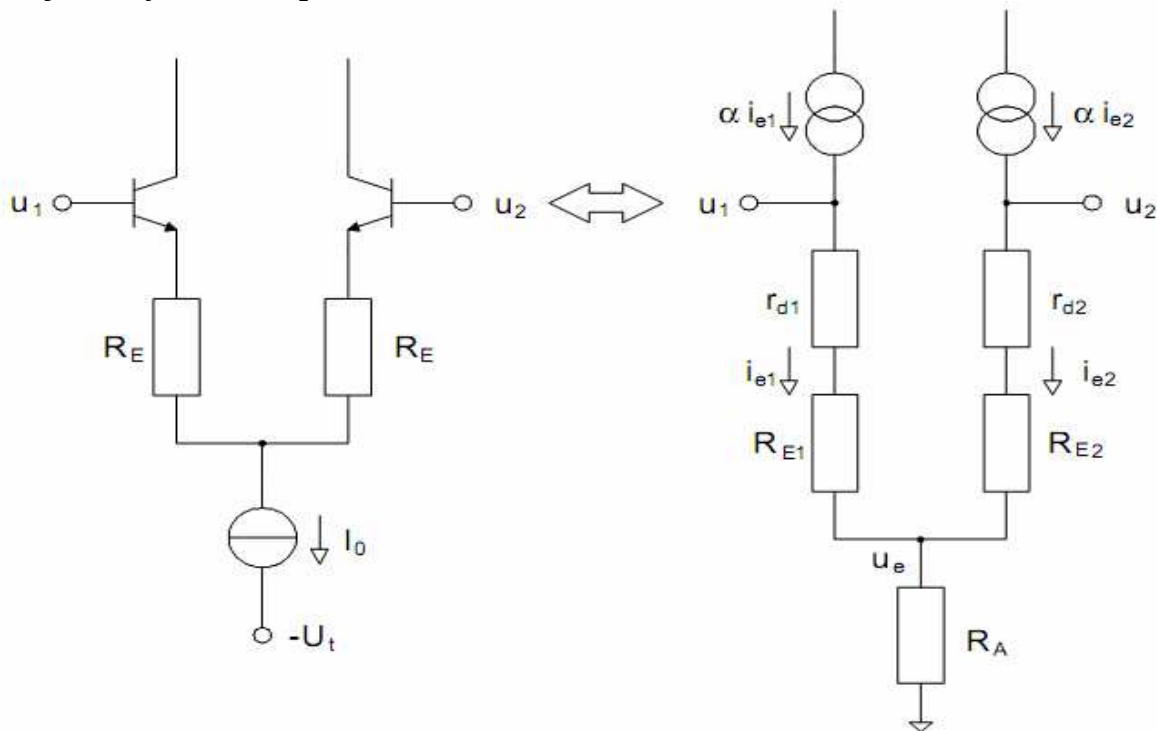
Az erősítők olyan elektronikus áramkörök, amelyek a fogyasztó felé nagyobb teljesítményt képesek leadni, mint amekkorát a meghajtó hálózathoz felvesznek.

A legegyszerűbb esetben a meghajtó hálózathoz helyettesítő generátor és a terhelés is egyik kapcsán földelt kétpólus. Ilyenkor aszimmetrikus erősítő kapcsolható közéjük.

A meghajtó hálózat az erősítendő jelet sok esetben két, a földpotenciáltól eltérő potenciálú pont között szolgáltatja. Ilyenkor szimmetrikus erősítőt (más néven differencia- vagy differenciálerősítőt) kell alkalmaznunk, amely a földetlen bemeneti pontok közötti feszültséget erősíti. Az erősített feszültség vagy két földetlen kimeneti kapocs között jelenik meg a

földpotenciálhoz viszonyítva szimmetrikusan, vagy egy földetlen és egy földelt kimeneti kapocs között aszimmetrikusan.

Kisjelű helyettesítő kép:



A tranzisztorok munkaponti áramai különbözhetnek egymástól, azaz általában: $r_{d1} \neq r_{d2}$

A kapcsolásban szereplő I_0 áramú áramgenerátor annyiban nemideális, hogy a belső ellenállása véges (R_A) értékű. Ez mindössze annyit jelent, hogy az áramgenerátor árama függ a közös emitter pont feszültségétől is, és ezt a függést a munkapont kis környezetében az R_A ellenállás írja le.

Differenciál és a közös módusú vezérlőjel:

$$\begin{aligned} u_D &= u_1 - u_2 \Rightarrow u_1 = u_K + \frac{u_D}{2} \\ u_K &= \frac{u_1 + u_2}{2} \Rightarrow u_2 = u_K - \frac{u_D}{2} \end{aligned}$$

Előny:

Az ideális differenciálerősítő kimeneti árama csak a bemeneti feszültségek különbségétől, tehát a differenciál módusú vezérlő jeltől függ -> bármilyen közös módusú zavarójel érkezik is az ideális differenciálerősítő bemenetére, annak a hatása a kimeneten nem érzékelhető.

Hibák:

A szimmetrikus erősítőtől általában megkívánjuk, hogy lehetőleg csak a földetlen bemeneti pontok közé jutó feszültséget (U_{bes}) erősítse, a bemeneti közös jelre vonatkozó erősítése pedig elhanyagolható legyen. E követelmény teljesülésének mértékét a diszkriminációs tényezővel (D)

jellemezzük $D = \frac{A_{uss}}{A_{ukk}}$ -> ez áramgenerátoros üzemben éri el a kívánt értéket. (áramgenerátor nélkül kb. fele akkora dB-ben)

17) Ismertesse a differenciálerősítő nagyjelű működését!

$$I_C = I_0 \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} ; \quad I_{C1} + I_{C2} = I_{EE} ; \quad \frac{I_{C1}}{I_{C2}} = e^{\frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{U_T}} ; \quad x = \frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{U_T}$$

$$I_{C1} + I_{C1} \cdot e^{-x} = I_{EE} \rightarrow I_{C1} = I_{EE} \frac{1}{1 + e^{-x}} = I_{EE} \frac{e^{x/2}}{e^{x/2} + e^{-x/2}}$$

$$I_{C2} \cdot e^x + I_{C2} = I_{EE} \rightarrow I_{C2} = I_{EE} \frac{1}{1 + e^x} = I_{EE} \frac{e^{-x/2}}{e^{-x/2} + e^{x/2}}$$

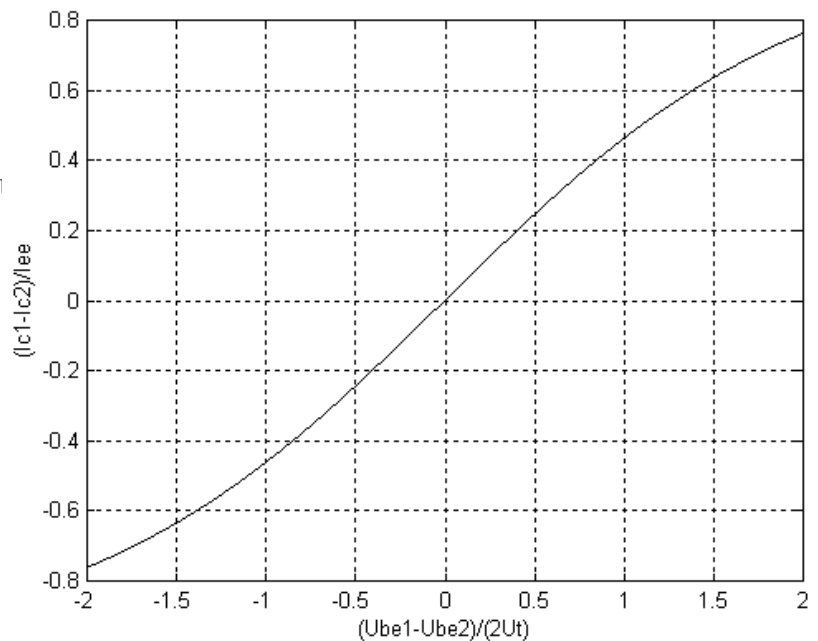
$$I_{C1} - I_{C2} = I_{EE} \frac{e^{x/2} - e^{-x/2}}{e^{x/2} + e^{-x/2}} \rightarrow \frac{I_{C1} - I_{C2}}{I_{EE}} = \tanh \frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{2U_T}$$

A kapott eredmény ábrázolása:

$$U_{Bemax} = \frac{U_{Kimax}}{A_{uss}} \Big|_{U_{Kimax} = U_{CC}/2} \Rightarrow$$

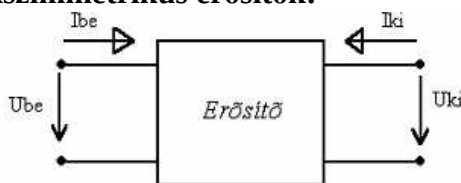
$$= U_T$$

$$\Delta U_{Bemax} = 2U_T$$



18) Ismertesse a négyfókusok paramétereit!

Aszimmetrikus erősítők:



bemenő impedancia: $Z_{be} = \frac{U_{be}}{I_{be}}$

kimenő impedancia: $Z_{ki} = -\frac{U_{ki}}{I_{ki}}$

feszültségerősítés: $A_u = \frac{U_{ki}}{U_{be}}$

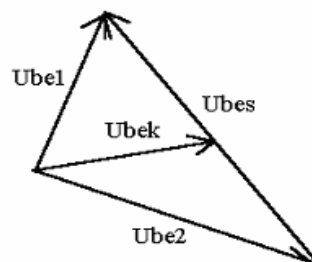
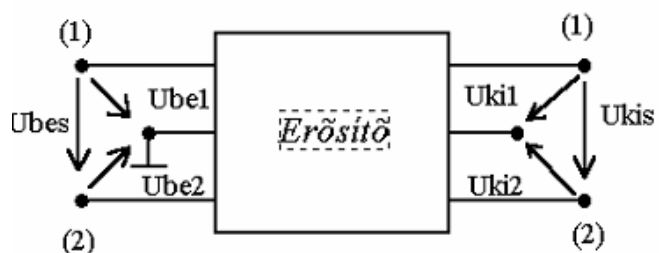
áramerősítés: $A_i = -\frac{I_{ki}}{I_{be}}$

teljesítményerősítés: $A_p = A_u \cdot A_i$

Átviteli impedancia: $Z = U_{ki} / I_{be}$

Átviteli admittancia: $Y = -I_{ki} / U_{be}$

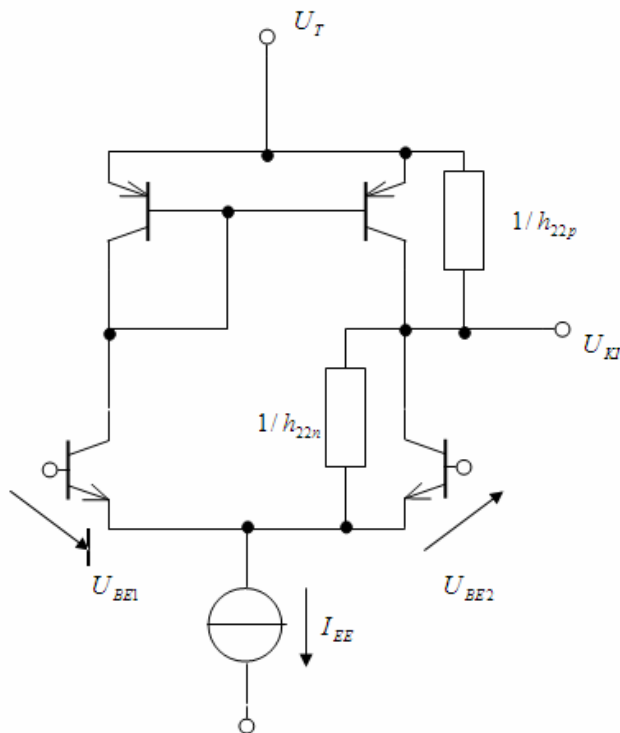
Szimmetrikus erősítők:



Közös módusú feszültség:
 $U_{bek} = (U_{be1} + U_{be2}) / 2$

Szimmetrikus feszültség:
 $U_{bes} = U_{be1} - U_{be2}$

19) Ismertesse a fázisösszegző (az aktív munkaellenállással terhelt differenciálerősítő) működését, az üresjárási feszültségerősítés számítási módszerét



A táp (U_T) váltakozó áramú szempontból rövidzár.

A feltüntetett ellenállások tehát egymással párhuzamosak.

Szimmetrikus bemenet, aszimmetrikus kimenet (a kimenetet csak az egyik kollektornál vesszük le).

$$U_{BE1} = U_{BE2} = \frac{U_{BES}}{2}$$

Működés:

Vezérlés nélkül a terhelésen nem folyik áram, mivel a munkaponti egyenáramok az áramtükörnek köszönhetően azonosak a két tranzisztoron, ezáltal a kimeneti csomópontba befolyó, illetve onnan elfolyó áramok azonosak, különbségük zérus. Szimmetrikus vezérlés

esetén azonban az áramváltozások ellentétes előjelűek, az áramtükör által tükrözött, a kimeneti csomópontba felülről befolyó áram, illetve a jobboldali NPN tranzisztor kollektor árama nem lesz azonos, így a terhelésen a két áram különbsége fog folyni.

$$A_u = g_m \cdot R_p = \frac{I_{EE}}{2U_T} \cdot \left(\frac{1}{h_{22n}} \times \frac{1}{h_{22p}} \right) = \frac{(U_{AN} \times U_{AP})}{U_T}$$

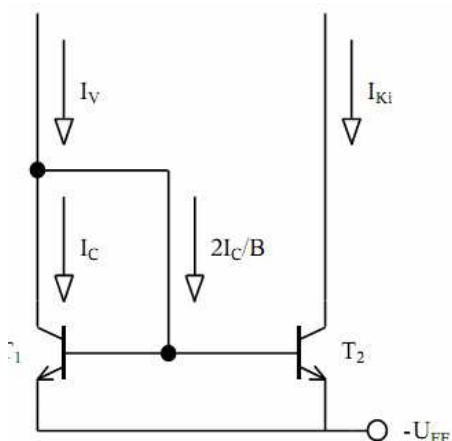
U_{AP} - a PNP tranzisztor Early feszültsége.

U_{AN} - az NPN tranzisztor Early feszültsége.

20) Ismertesse az áramvezérelt áramgenerátorok működését, az áramátviteli tényező számítását!

Az áramvezérelt áramgenerátorok esetén, a bemenő áramot tekintjük vezérlő jellemzőnek. A bemenő áramra a kapcsolás a lehető legkisebb hatással kell, hogy legyen! Az ideális eset az $R_{be}=0$ lenne. Az áramgenerátorok áramátviteli tényezője:

1.

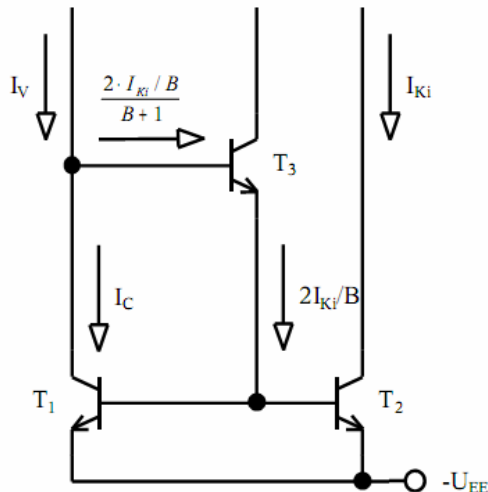


$$I_V = 2 \cdot I_C / B + I_C$$

$$I_{KI} = I_C$$

$$A = I_{KI} / I_V = I_C / [I_C \cdot (2/B + 1)] = 1 / (2/B + 1)$$

2.



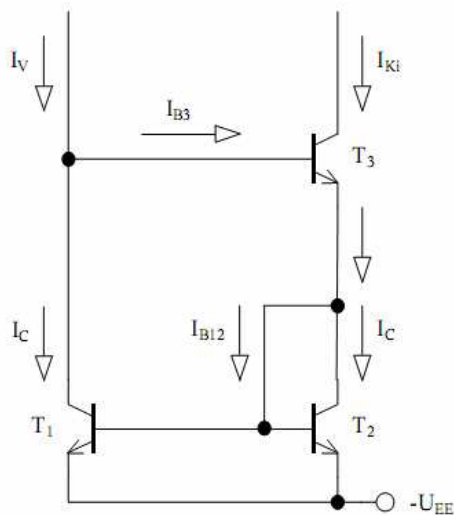
$$I_{Ki} = I_C$$

$$I_V = [(2 \cdot I_C / B) / (B + 1)] + I_C$$

$$A = I_{Ki} / I_C = I_C / \{ [(2 \cdot I_C / B) / (B + 1)] + I_C \} = 1 / \{ [2 / (B \cdot B + 1)] + 1 \}$$

$$\approx 2/B^2 \text{ --es a hiba}$$

3.



$$I_{Ki} = I_C \left(1 + \frac{2}{B} \right) \frac{B}{B+1}$$

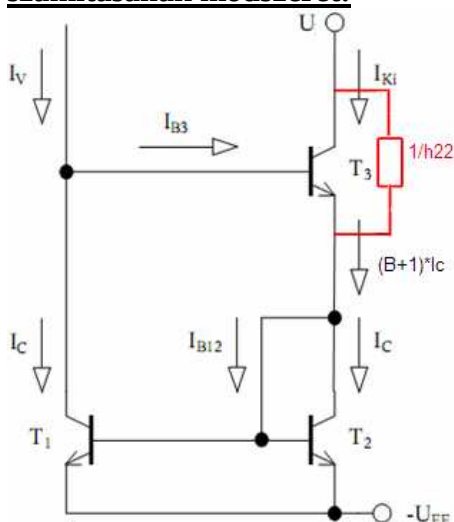
$$I_V = I_C \left(1 + \left(1 + \frac{2}{B} \right) \frac{1}{B+1} \right)$$

$$I_{B12} = I_C \frac{2}{B}$$

$$I_{B3} = I_C \frac{\left(1 + \frac{2}{B} \right)}{(B+1)}$$

$$\frac{I_{Ki}}{I_V} = \frac{I_C \left(1 + \frac{2}{B} \right) \frac{B}{B+1}}{I_C \left(1 + \left(1 + \frac{2}{B} \right) \frac{1}{B+1} \right)} = \frac{1}{1 + \frac{2}{B(B+2)}}$$

21) Ismertesse a 3 tranzisztoros áramvezérelt áramgenerátorok kimenő-ellenállás számításának módszerét!



$$I_V = \text{const}; \Delta u_s \approx 0; \Delta u_E \approx 0$$

$$(I_C = I_{B3})$$

$$I_{Ki} = U \cdot h_{22} - B \cdot I_{B3}; \quad (B+2) \cdot I_C = U \cdot h_{22};$$

$$I_C = (U \cdot h_{22}) / (B+2) \rightarrow I_{Ki} = U \cdot h_{22} - B \cdot (U \cdot h_{22}) / (B+2)$$

$$I_{Ki} / U = h_{22} \cdot [1 - B / (B+2)] = h_{22} \cdot 2 / (B+2)$$

(↑ kimeneti vezetőképesség)

$$\text{kimeneti ellenállás: } U / I_{Ki} = 1 / h_{22} \cdot (B+2) / 2$$

22) Ismertesse a műveleti meredekség erősítő (OTA) felépítését, jellemzőit!

Az **operatív transconductance amplifier (OTA) erősítő** egy feszültség vezérelt áramgenerátornak fogható fel. Legfőbb különbsége a szabványos műveleti erősítőkhöz képest az, hogy áram kimenetet produkál (a szabványos műveleti erősítők kimenete feszültség). Két további I_{bias} és I_{abc} bemenetet tartalmaz. Egyik fajtája a CA3080-as modell.

Működése:

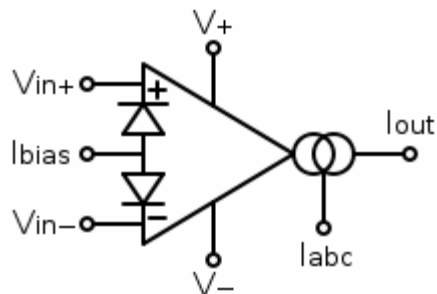
Az ideális OTA-nál, a kimeneti áram a differenciális bemeneti feszültség lineáris függvénye:

$$I_{out} = (V_{in+} - V_{in-}) \cdot g_m$$

Az erősítő kimeneti feszültsége az saját kimenő áram és a terhelés ellenállás szorzata:

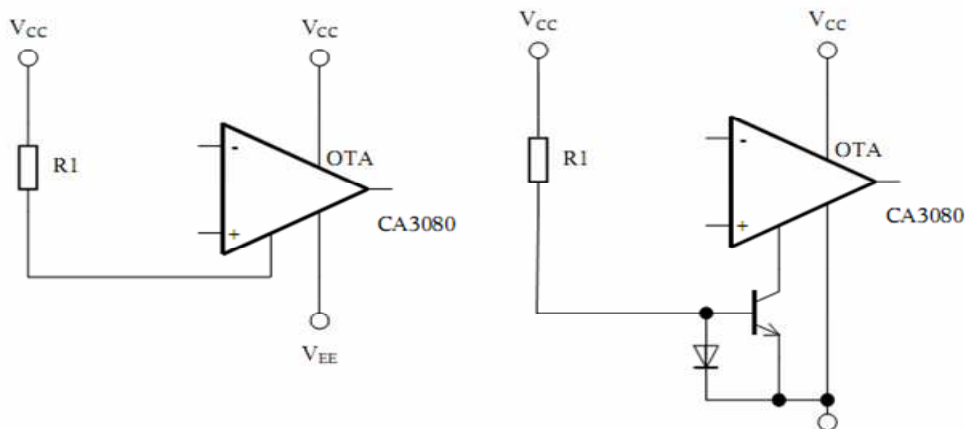
$$V_{out} = I_{out} \cdot R_{load}$$

...

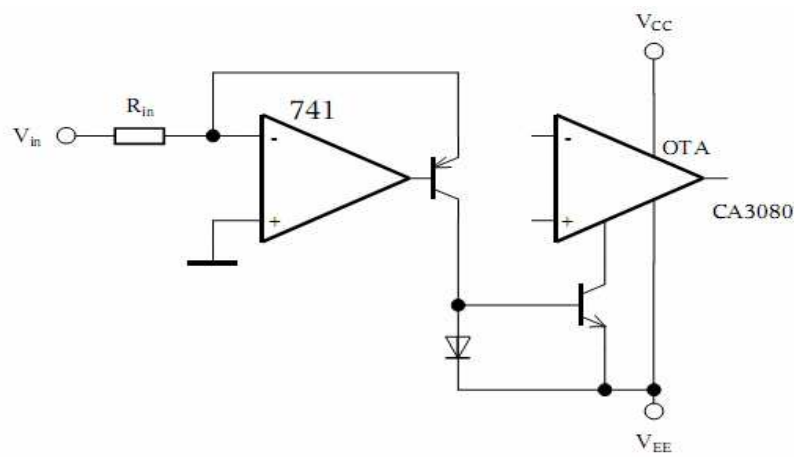


23) Ismertesse a műveleti meredekség erősítő (OTA) jellemző alkalmazásait!

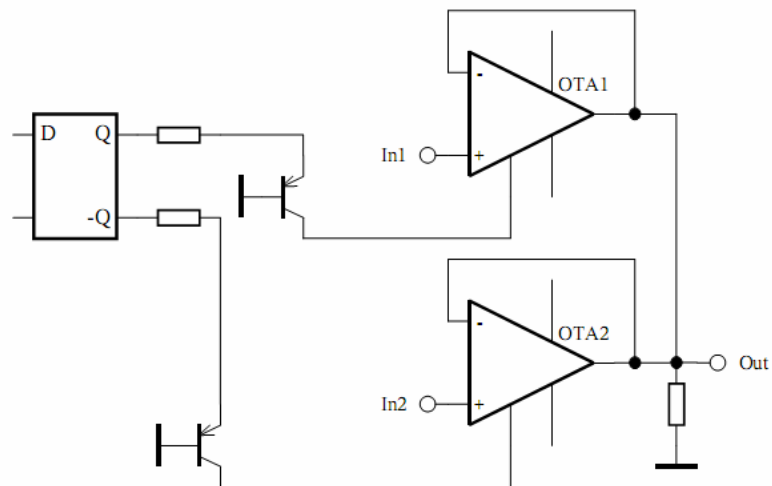
Munkapont beállító:



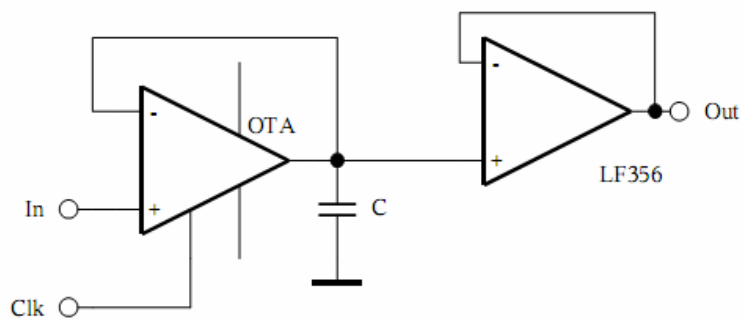
Linarizálja az áramkört:



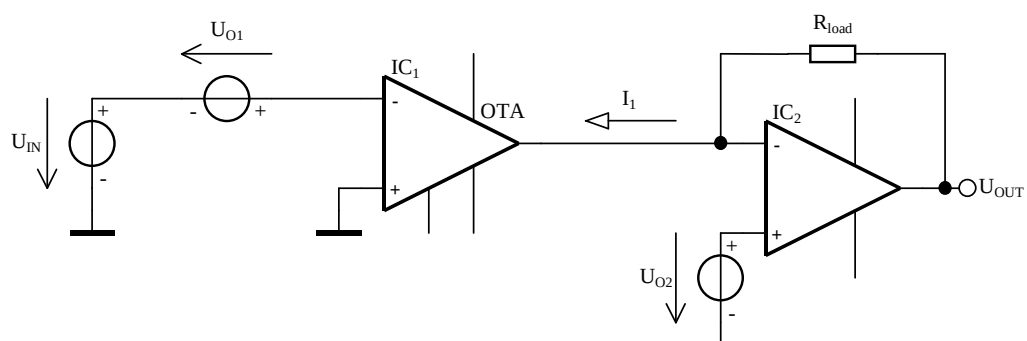
Kapcsoló:

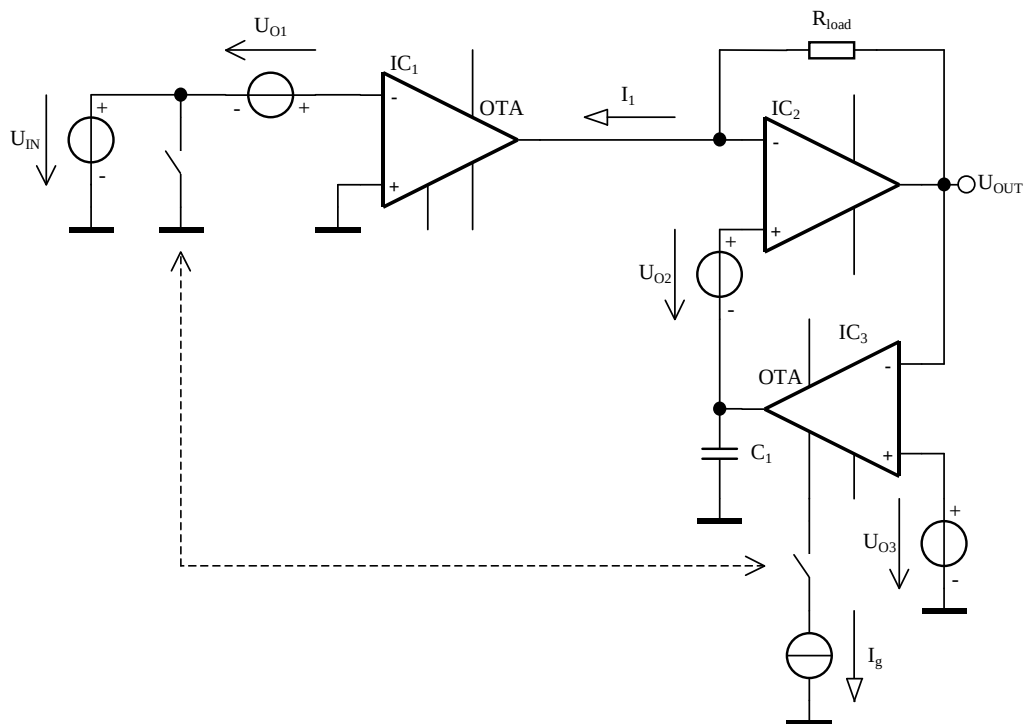


Mintavevő és tartó áramkör:

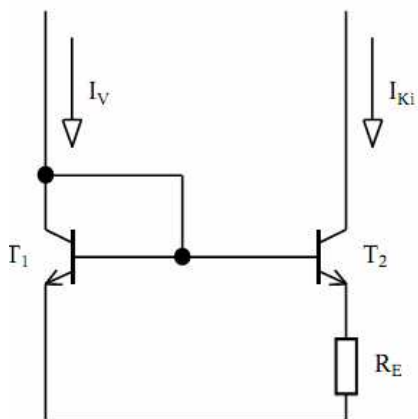


24) Ismertesse a műveleti meredekség erősítőkkel (OTA) felépített offset-kompenzált (kapcsolóüzemű) erősítő felépítését, működését!





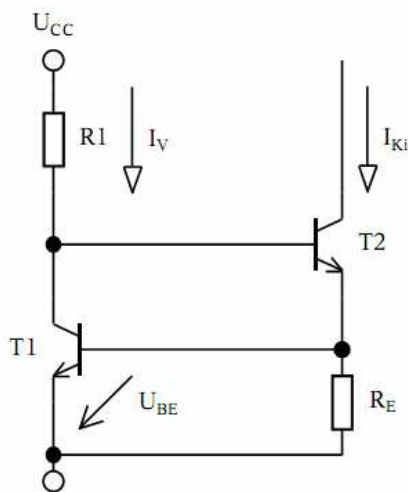
25) Ismertesse a különleges (kisáramú, logaritmikus) áramvezérelt áramgenerátorok működését, az áramáttételi tényező számítását!



$$U_T \ln \frac{I_V}{I_0} - U_T \ln \frac{I_{Ki}}{I_0} - I_{Ki} R_E = 0$$

$$U_T \ln \frac{I_V}{I_{Ki}} = I_{Ki} R_E$$

$$I_V = I_{Ki} e^{\frac{I_{Ki} R_E}{U_T}}$$



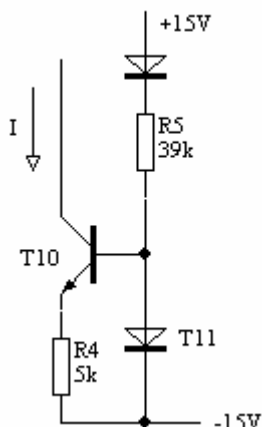
$$U_{BE} = U_T \ln \frac{I_V}{I_0} = I_{Ki} R_E$$

$$I_{Ki} = \frac{U_T}{R_E} \ln \frac{I_V}{I_0}$$

$$I_{Ki} = \frac{U_T}{R_E} \ln \frac{U_{CC} - 2U_{BE} - U_{EE}}{R_1 I_0}$$

26) Ismertesse a 741-es és a 776-os műveleti erősítő munkapont-beállító áramkörének felépítését!

Munkapont-beállító:



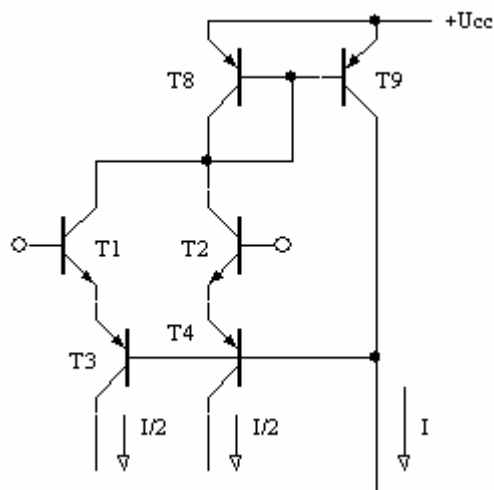
A munkapont beállítását egy két tranzisztoros áramvezérelt áramgenerátor végzi: $\pm 15V$ -os tápfeszültség esetén az I áram a következőképp számítható:

$$I_{R5} = \frac{30 - 1,4}{39 \cdot 10^3} = 730 \mu A$$

I meghatározásához felírható egyenlet:

$$I_{R5} = I_{C10} \cdot e^{\frac{I_{E10} \cdot R4}{U_T}} \approx I \cdot e^{\frac{I \cdot R4}{U_T}}$$

27) Ismertesse a 741-es műveleti erősítő bemeneti (1. erősítő) fokozatának felépítését!

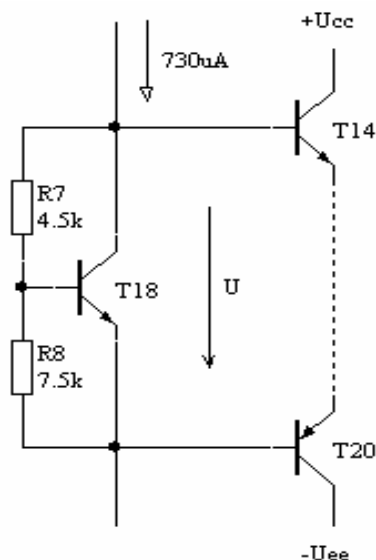


Bemeneti differenciál erősítő:

A PNP tranzisztorok megakadályozzák nagy differenciális bemeneti feszültség esetén a fokozat tönkremenetelét.

	Bázis-emitter	Bázis-kollektor
NPN	5...6V	30...1000V
PNP	30...1000V	30...1000V

28) Ismertesse a 741-es műveleti erősítő kimeneti fokozatának felépítését, a rövidzár-védelem megvalósításának módszereit!



Kimeneti fokozat:

A kimeneti fokozatot a T14, T20 NPN-PNP komplementer pár alkotja. A keresztvezési torzítás csökkentéséhez szükséges szinttolást végzi a T18, R7, R8 elemekből álló áramköri részlet.

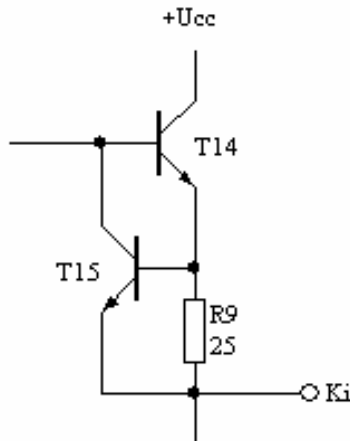
A T18 olyan munkapontba áll be, hogy teljesüljön a következő egyenlőség:

$$U_{BE18} = \frac{R_8}{R_7 + R_8} \cdot U$$

Ebből U -t kifejezve:

$$U = U_{BE18} \cdot \frac{R_7 + R_8}{R_8} = 0,6 \cdot \frac{4,5 + 7,5}{4,5} \approx 1V$$

Túláram védelem:



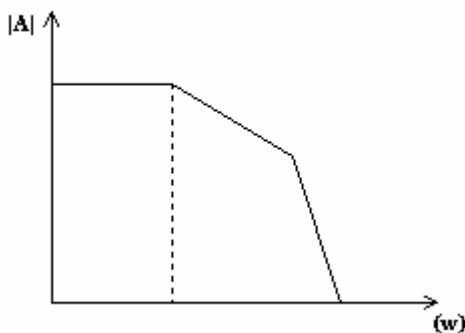
A negatív tápfeszültség felé való zárlat esetén a meghajtó $T14$ -es tranzisztort a $T15$, R_9 kettős védi. Amennyiben az R_9 ellenállás feszültsége eléri a $T15$ nyitófeszültségét, akkor $T15$ leszabályoz. Az ehhez szükséges kimeneti áram:

$$\frac{0,6}{R_9} = \frac{0,6}{25} = 24mA$$

A pozitív tápfeszültség felé való zárlatkor hasonlóképp avatkozik be $T22$ a főerősítő működésébe.

29) Jellemezze a 741-es és a 748-as műveleti erősítő frekvenciafüggését, a bemeneti- és kimeneti működési feszültség-tartományait!

Frekvenciamenet, kompenzáció, sávjóság



A 748-as erősítő nem tartalmaz frekvenciakompenzációt, ennek frekvenciamenete látható az ábrán. A két domináns pólus a két erősítőfokozat eredménye.

A visszacsatolt erősítő erősítése:

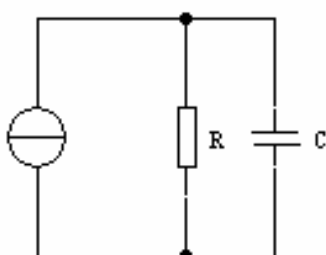
$$A^* = \frac{A}{1 + (\beta A)} = \frac{1}{\frac{1}{A} + \beta}$$

Kimeneti jelváltozási sebesség (Slew Rate):

A 741-es műveleti erősítő bemeneti differenciál erősítőjének kimeneti árama korlátozott:

$$I_{1MAX} = 19 \mu A$$

$$\frac{dU_{ki}}{dt} = \frac{I_{1MAX}}{C_k} = \frac{19 \cdot 10^{-6}}{30 \cdot 10^{-12}} = 0,6 \frac{V}{\mu s}$$



A 741-es műveleti erősítő belső frekvenciakompenzáció, ekkor egy domináns pólust viszünk a rendszerbe:

$$A_u = g_m \cdot R_C \cdot \frac{1}{1 + sRC}$$

$$\text{Sávjóság: } |A_u| = 1 = \frac{g_m \cdot R}{\omega \cdot R \cdot C} = \frac{g_m}{\omega \cdot C} \Rightarrow \omega = \frac{g_m}{C}$$

$$U_{beMAX} = U_{CC} - U_{BE(T8)} - U_{CES(T1,T2)} + U_{BE(T1,T2)}$$

$$U_{beMIN} = U_{EE} + U_{BE(T5,T6)} + U_{BE(T7)} + U_{CES(T3,T4)} + U_{BE(T1,T2)}$$

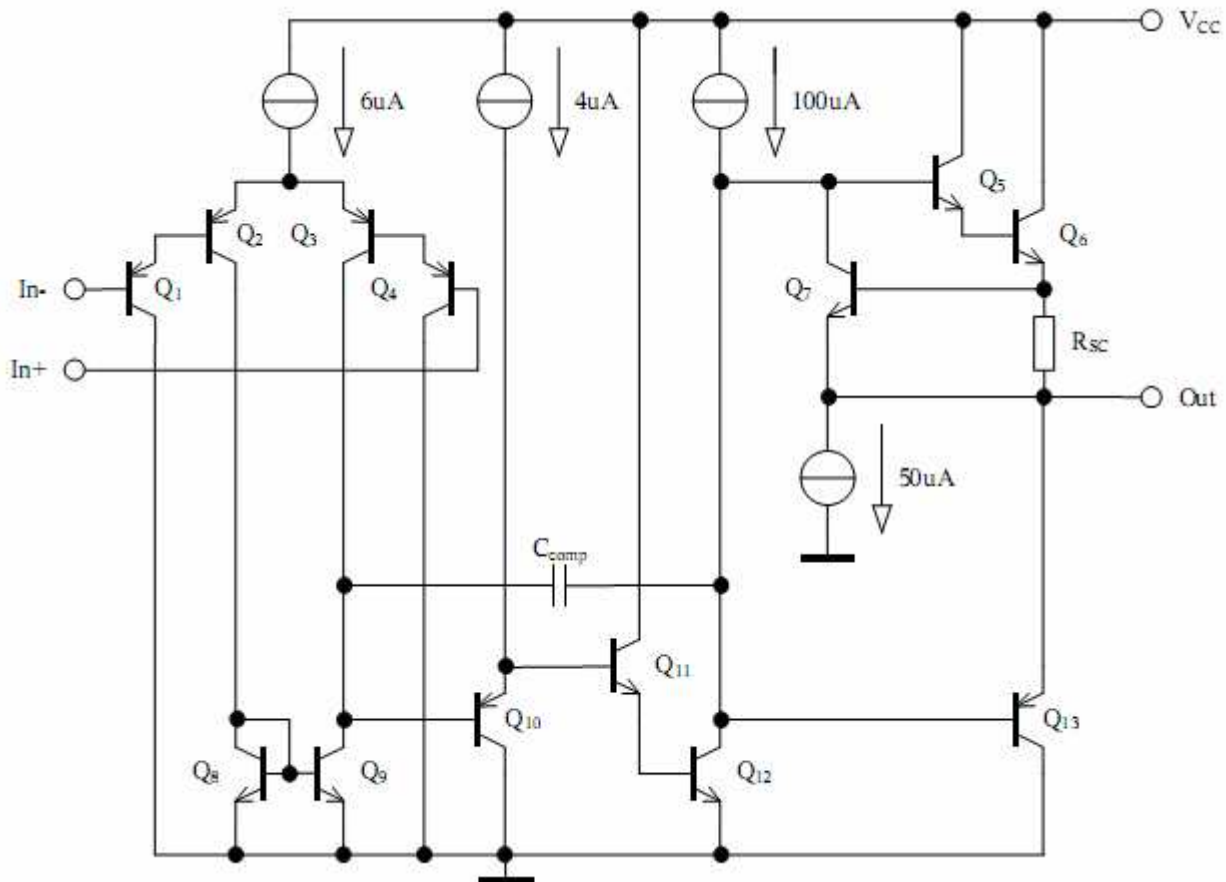
Be- és kimeneti kivezeléhetőség:

$$U_{kiMAX} = U_{CC} - U_{CES(T13)} - U_{BE(T14)}$$

$$U_{kiMIN} = U_{EE} + U_{BE(T17)} + U_{CES(T16)} + U_{BE(T20)}$$

30) Ismertesse az 1 tápfeszültségű műveleti erősítő felépítését, jellemzőit!

Nulla bemenet környezetében működő erősítő: Mivel a bemenet feszültsége a földpotenciál alá is kerülhet, egyetlen tápfeszültség elegendő

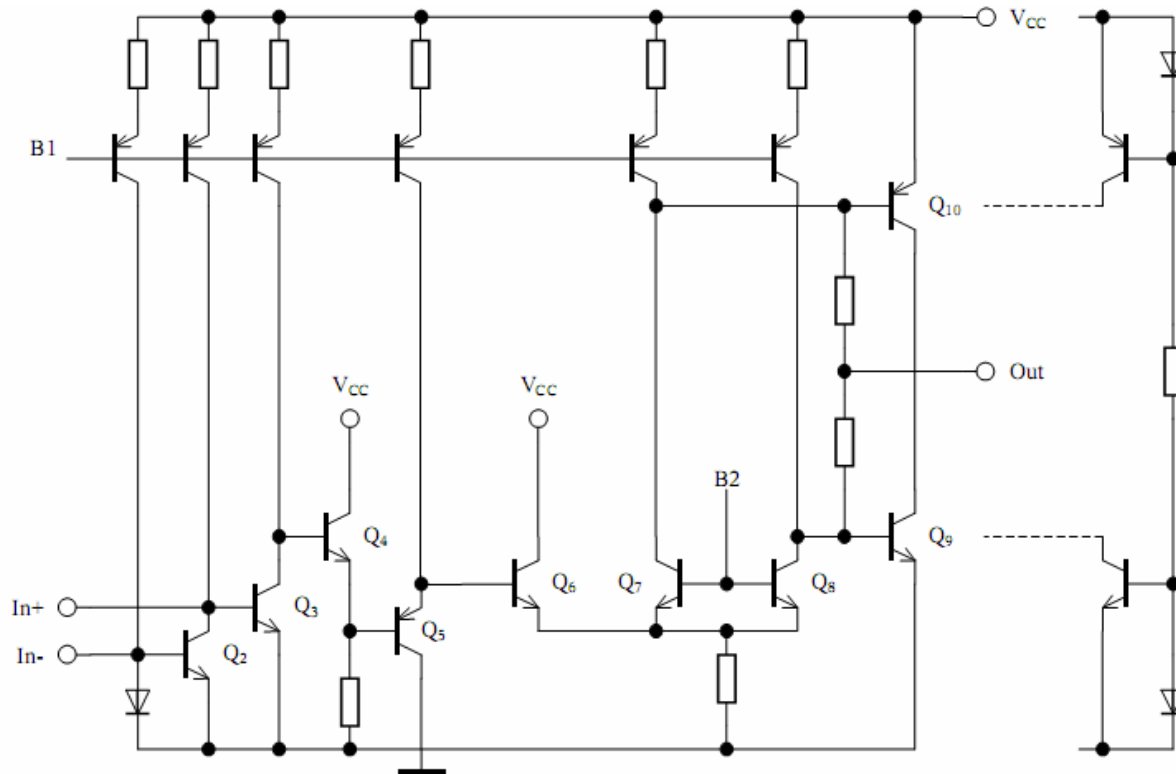


- Q1-Q2 és Q3-Q4 Darlington fokozatban => kis áramra viszonylag nagy erősítés
- Q8 és Q9 fázisösszegző => különbségi áramjel rávezetése Q10-re
- Q10 különbségi szinteltolást állít helyre
- Q11 és Q12 Darlington meghajtja Q13-Q5-Q6 végfokot
- Rsc és Q7 zárlatvédelmet látnak el
- A kondi frekvenciakompenzáló

Feszültségviszonyok az áramkörben: A fázisösszegző tranzisztorainak bázisa – a bázis emitter dióda hatása miatt – 0,7V potenciálon van. Így a Q2, illetve Q3 tranzisztorok emitterének feszültségét csak a szaturációs feszültség korlátozza, melynek értéke körülbelül 0,2V. Innen a bemenetig 2db PN átmenet vezet, tehát $0,9V - 2 \cdot 0,7V = -0,5V$ körüli bemeneti feszültségnél az erősítő még üzemképes.

31) Ismertesse a kis tápfeszültségű műveleti erősítő felépítését, jellemzőit!

Alacsony tápfeszültségű erősítő: Kötött feszültségű bemenet. Norton – erősítő, Norton – bemeneti fokozat



- Közösített bázisú tranzisztorok mindegyike áramgenerátor, amit az emitter ellenállásokkal lehet beállítani.
- Q1 és Q2 fázisösszegző, kötött potenciálú
- A fázisösszegző árama Q3-Q4-Q5-ön át jut a Q6-Q7 diff. erősítőre
- A Q7-Q8 kollektorai hajtják meg a végfokot
- Q9 és Q10 szinttelőrással rendelkeznek, fix potenciálúak
- a kötött potenciálok miatt erősítőt árammal lehet vezérelni

Feszültségviszonyok az áramkörben: A bemeneti tranzisztor és dióda állandó 0,7V – os potenciálon tartja a bemenetet. Q4 emitter körüli ellenállásán alig esik feszültség, így Q3 kollektora, és Q5 emittere is lehet 0,7V potenciálú. A Q8 kollektorának feszültségét Q9 U_{be} feszültsége adja (0,7V), míg Q7 kollektora V_{cc}-

U_{ce} potenciálú. Mivel az áramgenerátorok tranzisztorainak szaturációs feszültsége kb. 0,2V, az egész áramkör akár már 1V – ról is üzemképes.

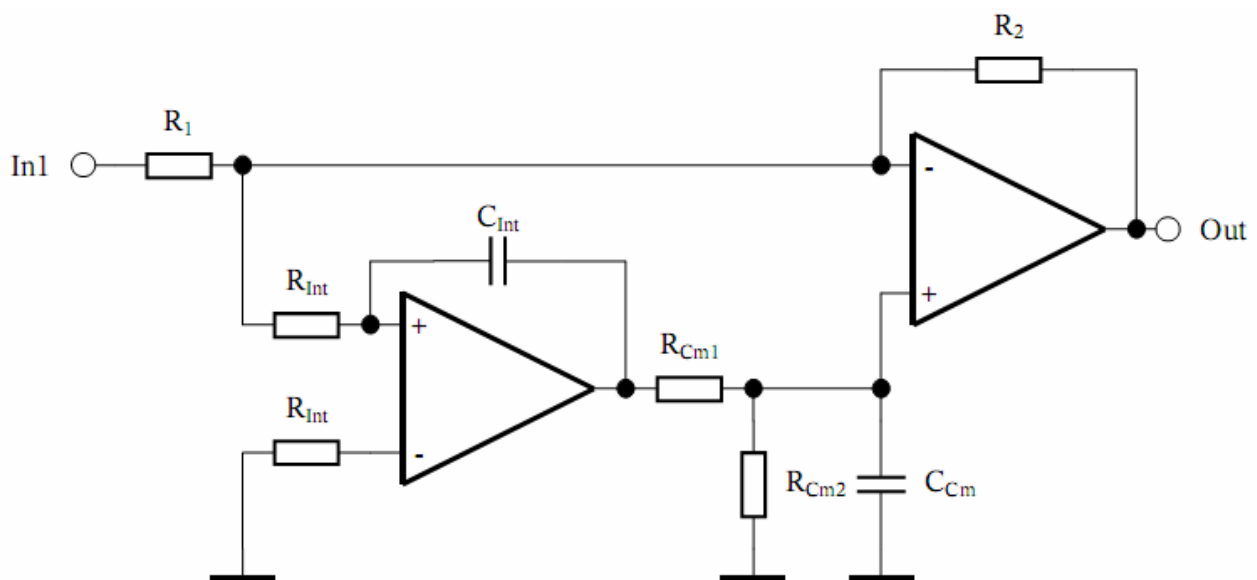
$$U_{ki \max} = U_{cc} - U_{ces}$$

$$U_{ki \min} = U_{ee} + U_{ces}$$

32) Ismertesse a különlegesen kis offset feszültségű műveleti erősítők felépítését, jellemzőit!

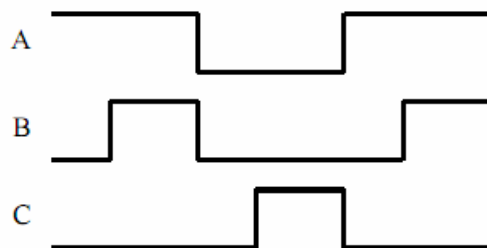
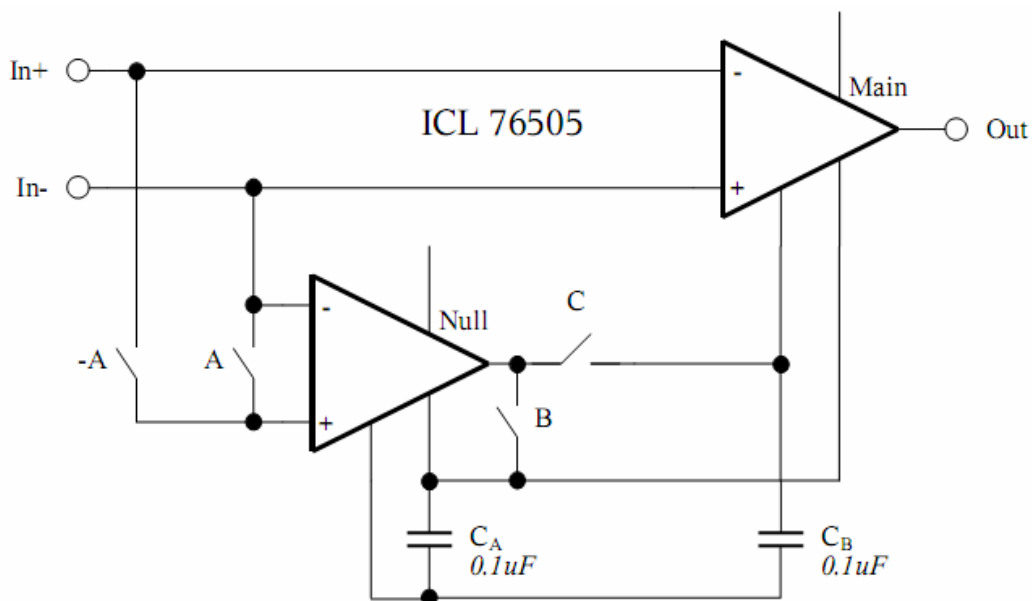
Kis ofsetű ME az integrátorban, gyors ofsetű az invertálóban:

- Integrátor kimenete virtuális földpont a gyors erősítő neminvertáló bemenetén, de valójában a saját ofset feszültségét tesszük a virtuális erősítő helyére.
- Így a teljes áramkör ofsetje az integrátor ofsetjével egyenlő



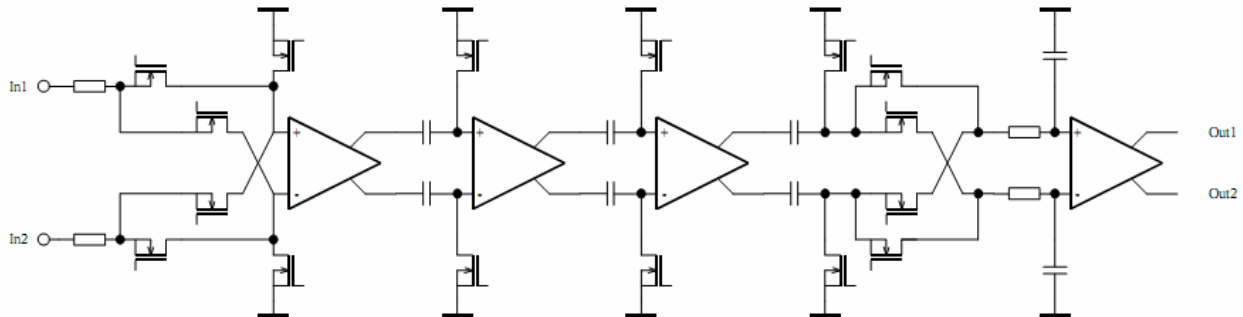
Kapcsolóüzemű kompenzálású, chopper – kompenzált műveleti erősítők

- Főerősítő tisztán analóg, segéd mixed
- A rövidre zárása: a segéderősítő ofsztjét tároljuk el egy kondiban
- A nyitása: a segéderősítő ofsztjét a kondi kompenzálja, így csak a főerősítő ofsztjét mérjük, tároljuk egy másik kondiban, amivel a főerősítő kompenzáljuk.



Kapcsolóüzemű kompenzálású, chopper – kompenzált műveleti erősítők

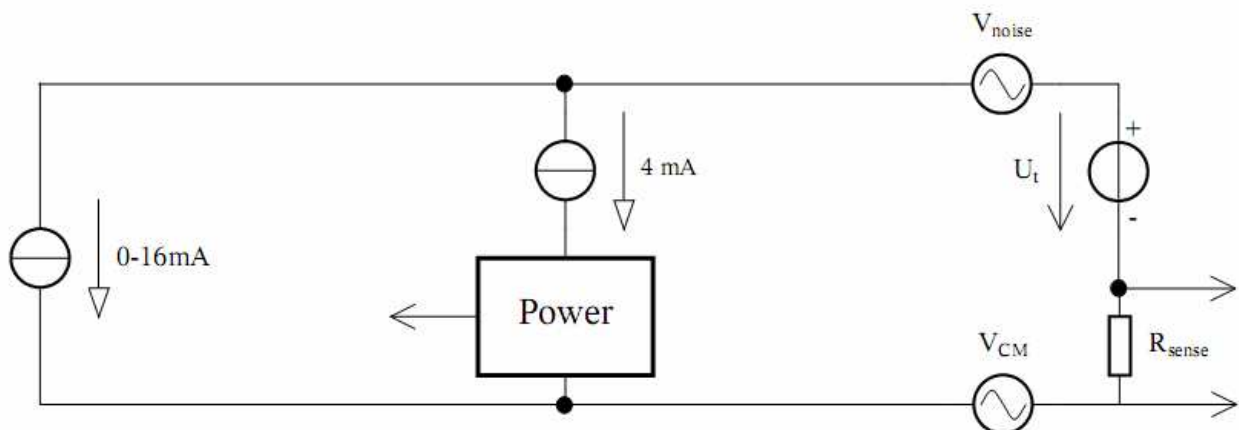
- Periódusonként felcseréli az erősítő bemenetére kötött vezetékeket
- Minden erősítő bemenete földelhető, így a kimenetén az ofszet jelenik meg, amik erre a feszültség szintre töltik a kapacitásokat és kikompenzálják azt
- Ha megszűnik a földelés, az ofszet feszültségű kondik a következő fokozat bemenetén kompenzálják az ofszetet



33) Ismertesse az analóg áram-jelátvitel jellemzőit, (4-20 mA-es áram-távadó működését)!

4-20mA – es áram távadó:

Élőnullás jelátvitel, hogy a szakadás észrevehető legyen.

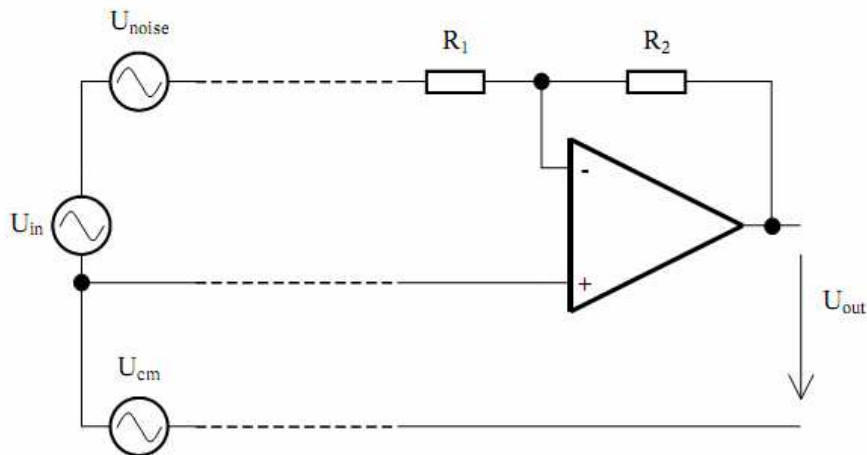


A jeladó által generált áram érzéketlen a vonalon keletkező zajfeszültségekkel szemben. A vevő tápláló tápegységből, és egy áram/feszültség átalakítóból áll.

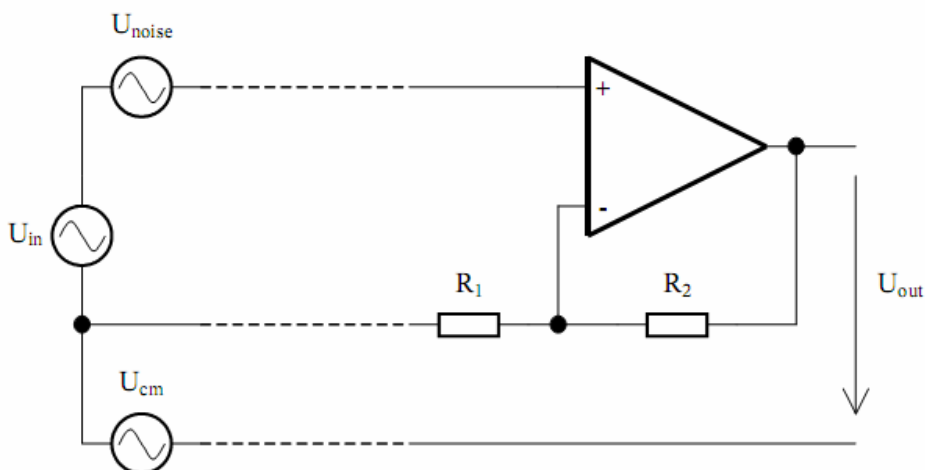
- Szimmetrikus feszültséget a két erősítő átmásolja Rscala ellenállásra
- Rscala U/I konverter
- Q1 és Q2 darlington disszipálni van ott
- Az áramgenerátor áramát Zp-Rep és Zn-Ren párok a tápfesztől függetlenül konstans szinten tartják
- Bekapcsoláskor a két tranyó zárva van – másik Rscala (nagy értékű) biztosítja a nyitófeszít a beinduláshoz

34) Ismertesse az analóg feszültség-jelátvitel jellemzőit, a differencia- (nagy bemeneti közösmódusú-elnyomású) erősítők felépítését, működését!

Feszültségátvitel:



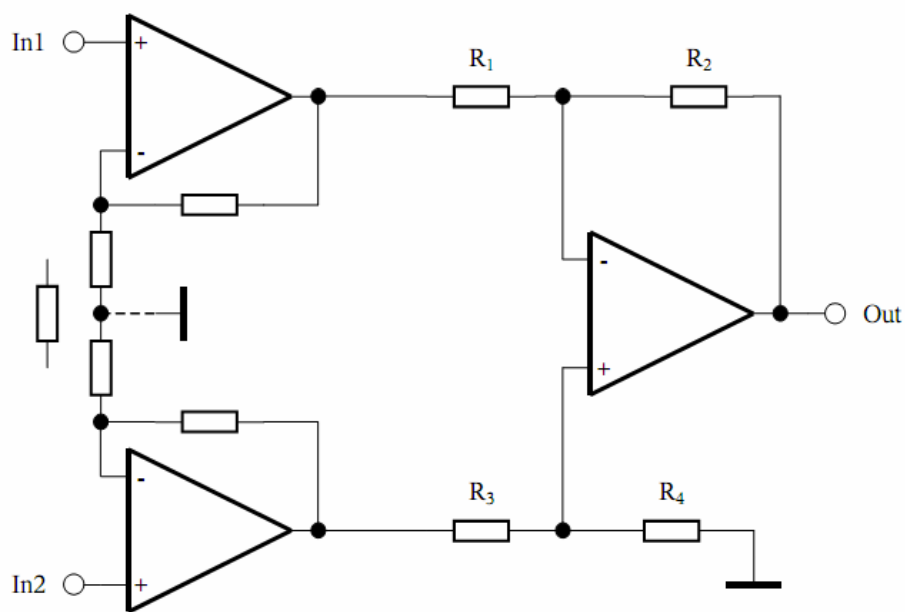
$$U_{out} = -\frac{R_2}{R_1}(U_{in} + U_n) + U_{cm}$$



$$U_{out} = -\frac{R_1 + R_2}{R_1}(U_{in} + U_n) + U_{cm}$$

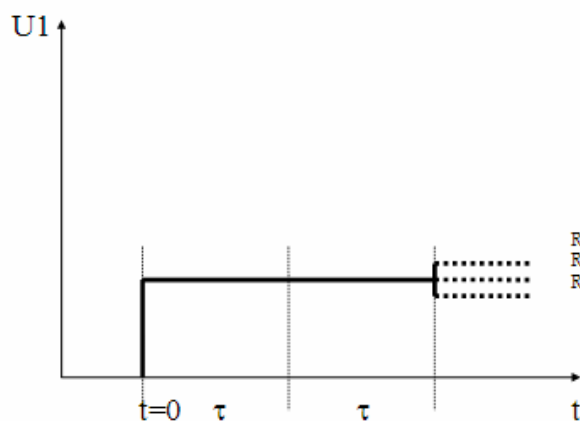
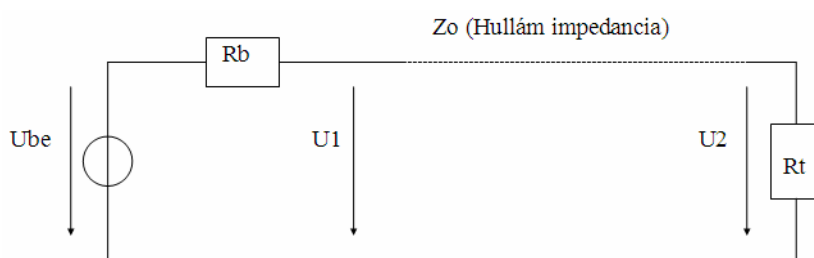
Műszererősítő:

- differősítő bemenetein levő erősítők nagyimpedanciás bemeneten, fázist nem fordítva erősítik a bemenő feszültséget
- a negatív bemenetekre kapcsolt ellenállások középpontja virtuális földpont, egy ellenállással helyettesíthető
- az erősített feszültség a differősítőre jut, amelynek feladata a jó közös módusú elnyomással történő erősítés



35) Ismertesse a digitális feszültség-, és áram-jelátvitel jellemzőit!

Digitális feszültség-jelátvitel:



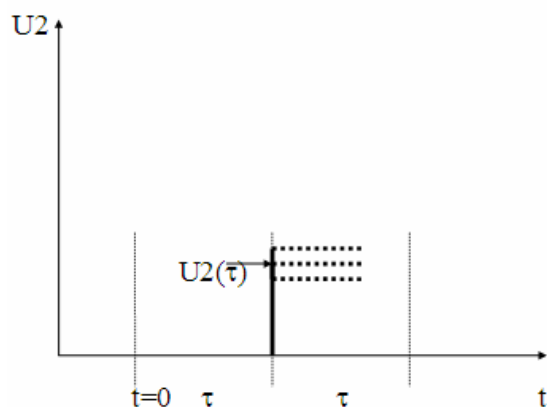
$$r = \frac{R_t - Z_o}{R_t + Z_o}$$

$r \rightarrow$ reflexiós tényező

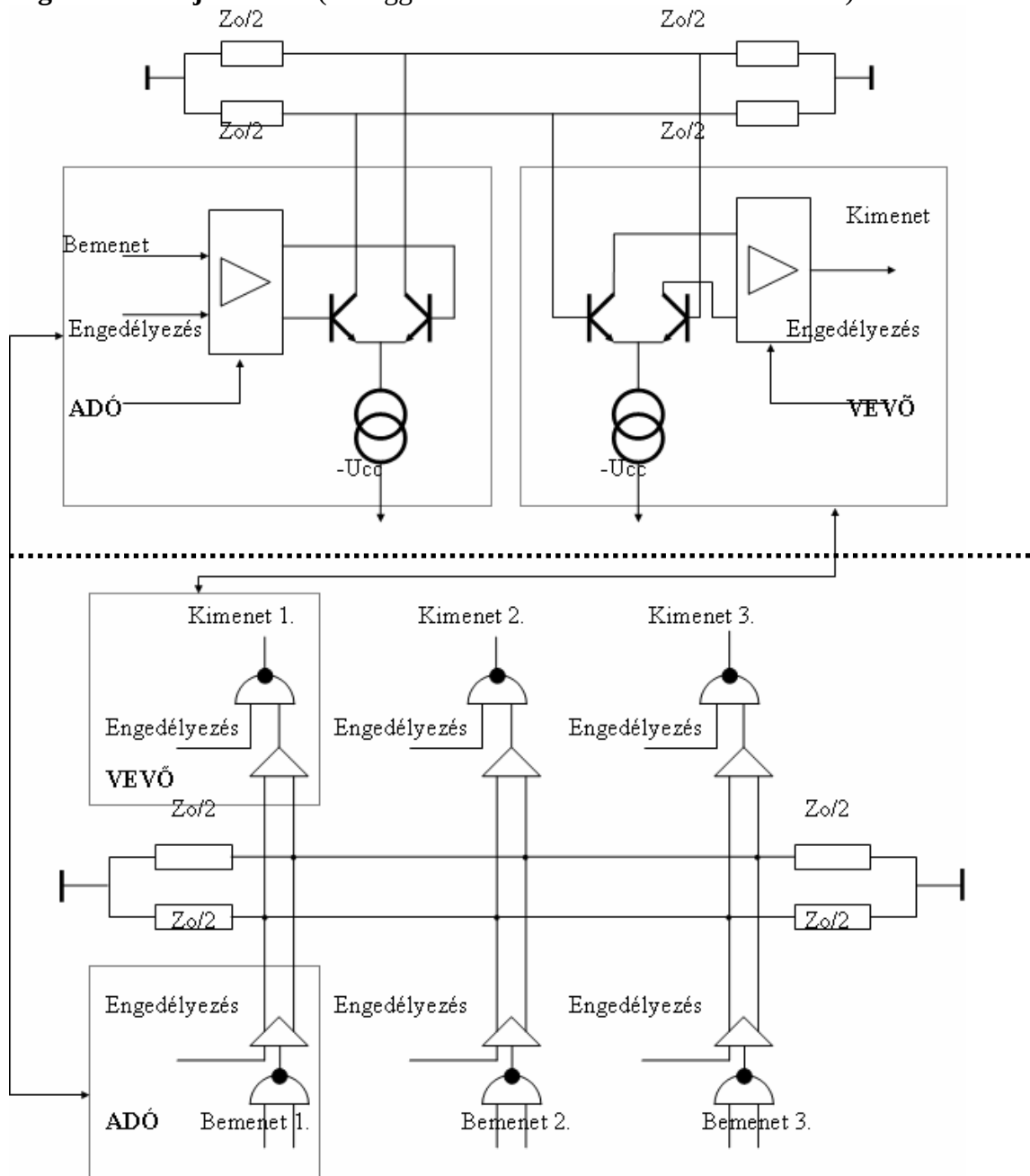
Ha $R_t = Z_o$ akkor nincs reflexió

$$U_1(t=0) = U_{be} \cdot Z_o / (Z_o + R_b)$$

$$U_2(t=\tau) = U_{be} \cdot R_t / (R_t + R_b)$$



Digitális áram-jelátvitel: (a szaggatott vonaltól felelő rész a fontos)

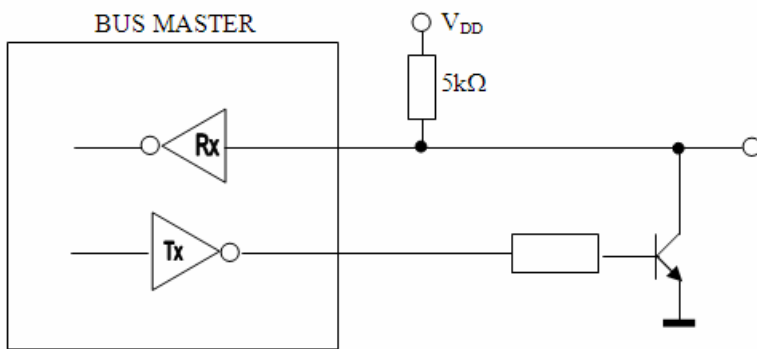


36) Ismertesse a szabványos (digitális) jelátviteli módszerek működési elveit!

1. Dallas egyvezetékes busz:

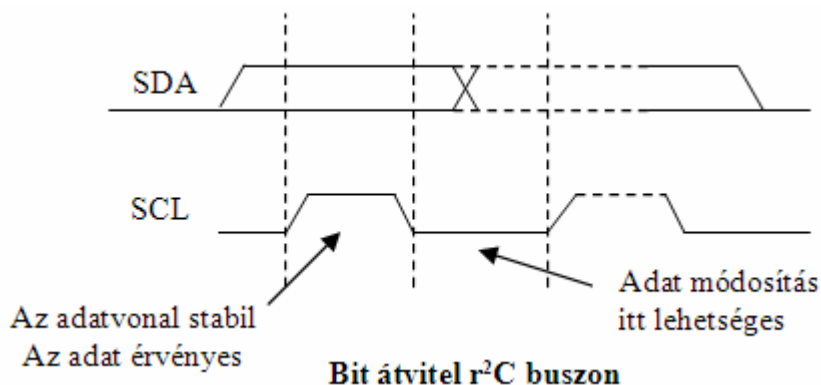
A buszra egy Master és több Slave csatlakozhat. A Slave-eknek egyedi azonosítójuk van, ezáltal a Master meg tudja különböztetni a buszon lévő eltérő típusú Slave-eket. Az egységek a buszra open-collector kialakítású kimeneteikkel csatlakoznak.

Az átvitel fél-duplex módon történik (vagy adás, vagy vétel) diszkrétan meghatározott időrésekben. Az adatátvitelt mindig a Master kezdeményezi egy meghatározott parancsszó küldésével. A parancs és adat bájtok átvitele bitenként történik (ez egy időszelvény), mégpedig úgy, hogy a legkisebb helyiértékű (LSB) bit átvitele történik meg először



2. I²C busz (I²C=IIC=Inter IC)

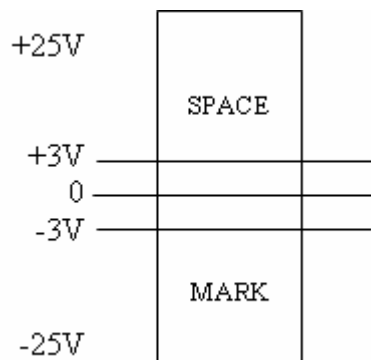
- Csak két buszvezeték szükséges (fél-duplex adatátvitel) a működéséhez, egy soros adatvonal (SDA) és egy soros órajele (SCL), ehhez az órajelet a Master szolgáltatja
- Mindegyik csatlakoztatott eszköz programból címezhető egy egyedi címmel és a köztük fennálló egyszerű master/slave kapcsolat segítségével, a master képes adóként és vevőként is üzemelni
- Valódi több master-es busz ütközésetektálással és arbitrációval az adatvesztés elhárítására, ha két vagy több master egyidejűleg kezdene küldeni
- Soros, 8-bit-es, kétirányú adatforgalom, melynek sebessége normál üzemmódban 100 kbit/s, gyors üzemmódban 400 kbit/s
- A chipbe épített szűrő az adatvonalon lévő zavarokat szűri ki megőrizve ezzel az adatintegritást
- Az egy buszra csatlakoztatható IC-k számát csak a busz kapacitása korlátozza, ami maximum 400 pF lehet.



3. RS-232 busz

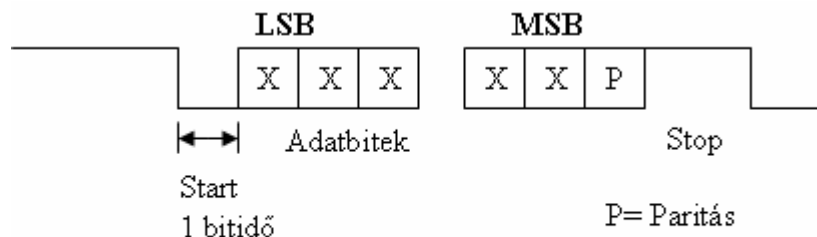
A szabvány szerint 15 m-es távolságot lehet vele áthidalni 20 Kbit/s sebességgel, a gyakorlatban azonban megtalálható a piacon olyan buszmeghajtó áramkör, mely 1 Mbit/s sebességre is képes (Maxim co.). A specifikáció szerint a vonalon lévő +3V-nál nagyobb feszültség bináris 0-t (SPACE), míg a -3V-nál kisebb feszültség bináris 1-et (MARK) jelent (3.1 ábra).

A hat jelvezeték párosával szembe van kapcsolva a két készülék megfelelő csatlakozási pontjain (szimmetrikus felépítés!), mint az ábra is mutatja. Az összeköttetés azzal kezdődik, hogy a DTR és DSR vezetékeken a készülékek kölcsönösen tudatják egymással, hogy be vannak kapcsolva, működésre készen állnak. Az RTS vezetéken fel lehet szólítani a távoli készüléket, hogy kezdjen adást (nyilván ilyenkor a helyi áramkör vételre készül fel). Ha ezek a viszonyok tisztázódtak, akkor el lehet kezdeni az előbb ismertetett soros jelek kiküldését a TXD vezetéken, amelyet a másik készülék RXD bemenetén fogad. Az összekötő vezetékeken meghatározott, kétértékű feszültségszintek fordulnak csak elő. (Az IBM PC - nél ezek plusz vagy mínusz 12 V-ot jelentenek!) Természetesen kapcsolatot lehet kiépíteni a TXD, RXD és GND vezetékek

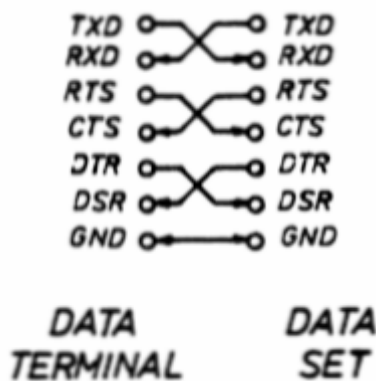


felhasználásával is. Ekkor azonban bizonyos kódkombinációkat fenn kell tartani az adás és vétel átkapcsolására.

3.1. ábra



A soros adatátvitel elve



A rövidítések jelentései:

TXD	Transmitted Data	Továbbított adat
RXD	Received Data	Vett adat
DTR	Data Terminal Ready	Adatterminál kész
DSR	Data Set Ready	Adatkészülék kész
RTS	Request To Send	Adáskérés
CTS	Clear To Send	Adáskérés a másik készüléktől
GND	Ground	Föld

4. HP-IB vagy IEC-625 vagy IEEE-488 busz

- Gyártó független nyitott kommunikációs rendszer
- Eltérő képességű készülékek összekapcsolásának megvalósítása

A kommunikáció üzenetek formájában zajlik:

- Interfész üzenetek: a rendszer működését koordinálják
- Készülékfüggő üzenetek: az összekapcsolt berendezések üzemmódját befolyásolják

Alapvető sajátosságok:

- Kiépíthetőség: maximum 15 készülék, melyek egymástól legfeljebb 20 m-re lehetnek
- Adatátvitel: maximum 1 Mbit/s, az adatkeretek rövidek (10-20 karakter)
- Mechanikai előírások: speciális 25 pólusú csatlakozó
- Villamos előírások: meghajtó és vevőáramköröknek a TTL specifikációt kell teljesíteni

Az összekapcsolt készülékek kommunikációs státusza háromféle lehet:

- Beszélő (talker): egyszerre csak egy beszélő lehet aktív. Beszélő státuszban egy készülék készülékfüggő adatokat továbbíthat a buszon.
- Hallgató (listener): címzett állapotban egy hallgató készülék készülékfüggő üzeneteket vehet.
- Vezérlő: gondoskodik a beszélő és a hallgató címek kiosztásáról.

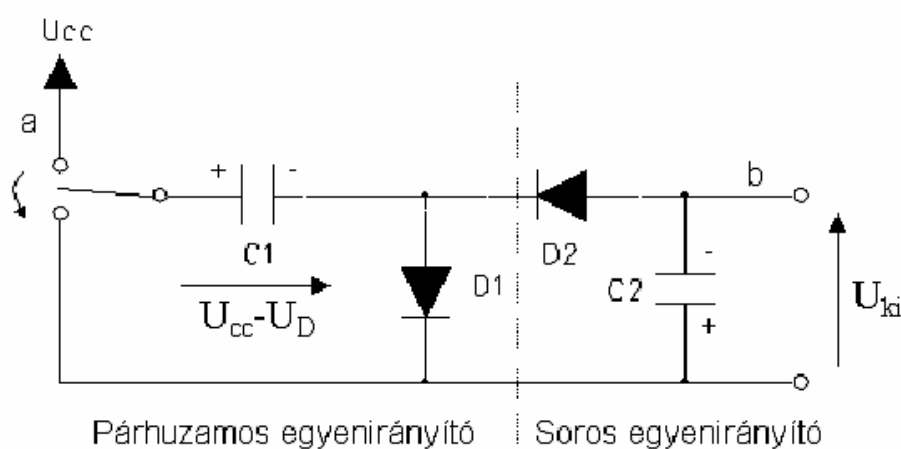
Funcionális előírások:

A buszra kapcsolt rendszer minden elemének funkciójától függően lehet beszélő, illetve hallgató címe, mely őt adott minőségében egyértelműen azonosítja. Közös hallgató címe lehet az azonos információkat igénylő berendezéseknek, de beszélő cím csak egyedi lehet. Általában minden mérési összeállítás tartalmaz egy vezérlő készüléket, amely koordinálja a kommunikációt.

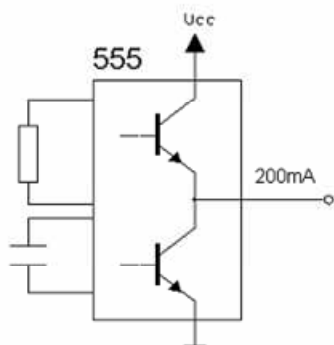
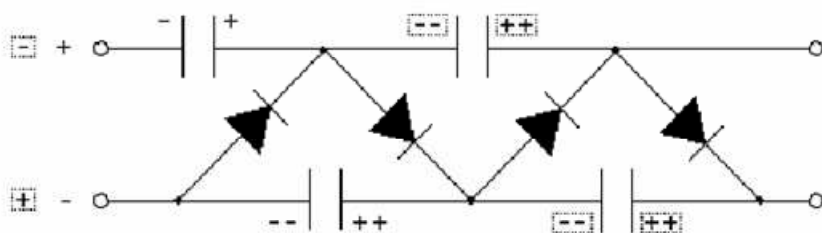
A rendszer felépítése: a rendszer minden készüléke rendelkezik buszillesztő egységgel a buszrendszer felépítése:

- 8 adatvezeték
- 3 vezérlő vezeték
- 5 kiegészítő vezérlő vezeték

37) Ismertesse az induktivitást nem tartalmazó kapcsolóüzemű tápegységek működését!

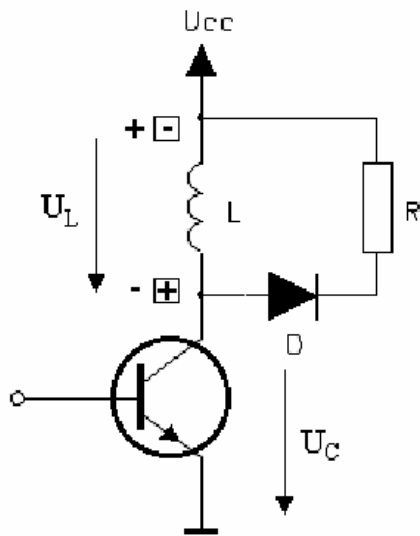


több átkapcsolás után: $U_{ki} = U_{cc} - 2U_D$
 $U_{ab} = U_{cc} + (U_{cc} - 2U_D) = 2U_{cc} - 2U_D$



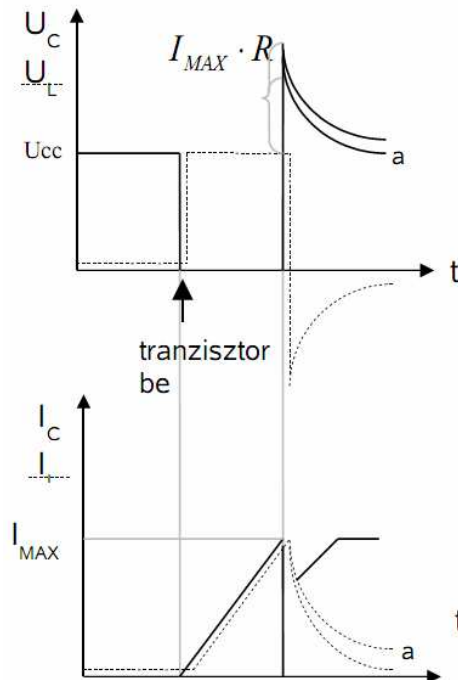
Astabil multivibrátor – kisteljesítményű DC/DC konverter

38) Ismertesse az induktivitással terhelte kapcsolófokozat működését!



$$u = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

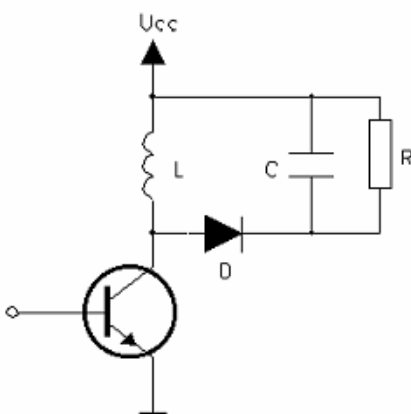
Folytonos vonal: U_C és I_C
Szaggatott vonal: U_L és I_L



- L – nincs áramjel ugrás
- tranzisztor kikapcsolása – nagy $dI/dt \rightarrow$ nagy $U \rightarrow$ védő dióda
- tranzisztor kikapcsolása $\rightarrow$ L generátor
- R $\rightarrow$ Zener dióda : áram lineárisan csökken
- valóságban : U csökken $\rightarrow dI/dt$ csökken $\rightarrow$ meredekség csökken
- R növelése : nagyobb feszültség ugrás, gyorsabb áram lecsengés

39) Ismertesse a záró-, és nyitóüzemű DC/DC konverterek működését!

Záróüzemű DC/DC konverter:



$$W_L = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$$

$$P_{be} = f \cdot W_L$$

$$P_{ki} = \frac{U_{ki}^2}{R}$$

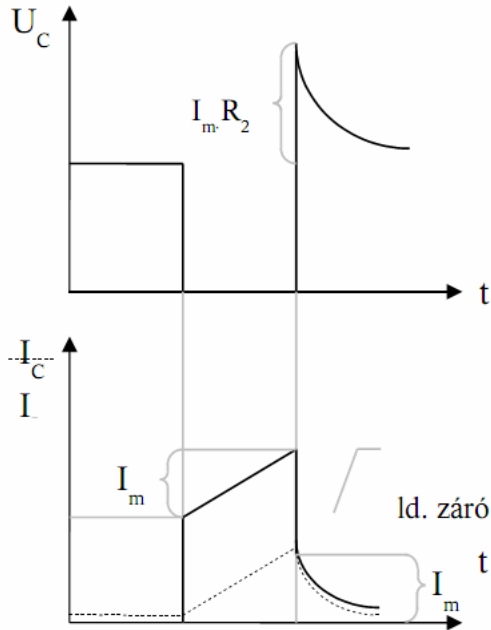
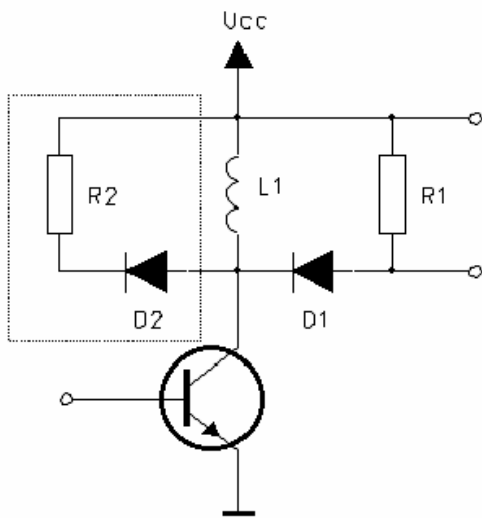
$$\frac{1}{2} f \cdot L \cdot I_{\max}^2 = \frac{U_{ki}^2}{R} \rightarrow U_{ki} = \sqrt{\frac{f \cdot L \cdot R}{2}} \cdot I_{\max}$$

$$U = L \cdot \frac{di}{dt} \rightarrow I_{\max} = \frac{U_{cc}}{L} \cdot t_{be}$$

$$U_{ki} = \sqrt{\frac{f \cdot L \cdot R}{2}} \cdot \frac{U_{cc}}{L} \cdot t_{be} = \sqrt{\frac{R \cdot U_{cc}^2 \cdot T}{2 \cdot L}} \cdot \frac{t_{be}}{T}$$

- U_{ki} a kitöltési tényezővel változtatható
- energia $\rightarrow$ tekercs $\rightarrow$ energia : véges energia vihető át

Nyitóüzemű DC/DC konverter:



- dióda és tranzisztor egyszerre nyit, ezért $I_{cmax} = I_m$ mágnesező árammal
- kikapcsoláskor ellenálláson nem folyi áram, mert a dióda lezár, ez végtelen feszültségugrást jelentene => záró üzemű konverter rész kell

$$I_{Cmax} = I_m + \frac{U_{CC}}{R_1}$$

40) Elektromos konstrukció fázisai, huzaltípusok, huzalozási szintek

Elektromos konstrukció fázisai:

- Analízis:
 - Működés
 - Alkatrészecskék
 - Részegységekre bontás
- Realizálás:
 - Hordozón realizálható részegységek (Nyák, hibrid, MCM..)
 - Hordozón nem realizálható egységek
- Szintézis:
 - Részegységek integrálása, készülékhuzaázás

Huzaltípusok:

- Szigeteletlen (tekerceseléshez)
- Szigetelt
 - Vezetőér: réz, alumínium
 - Szigetelés
 - Hőre lágyuló
 - Hőálló (teflon)
- Vezető ér szerkezete szerint:
 - Egy erű
 - Kevésbé hajlékony, kisebb megbízhatóság
 - Több erű (sodrott)
- Szigetelt erek száma szerint
 - Egyerű kábel

- Koaxiális kábel, BNC csatlakozó
- Többesű kábel
 - Laposkábel (szalagkábel)
 - Hengeres kábel

Készülékhuvalozási szintek:

- Huvalozás célja: alacsonyabb szerelési egységből magasabb szintű szerelési egység
- 1. Szint: Alkatrészek→részegység
 - Nyák lemez
 - Egyedi vezetékek
- 2.szint: Alkatrészek, részegységek→készülék
 - Sinrendszerű szerelésnél hátluhuvalozás:
 - Pontról – pontra (wire wrap)
 - Anyakártya, alaplap →
 - Laposkábel, hengeres kábel
- 3.szint:Alkatrészek, részegységek, készülékek →rendszerek
 - Egyedi vezetékek, koaxiális kábelek
 - Térbeli huvalozás, kábelkorbács
 - Hengeres kábel, készülékcsatlakozók

41)Készülékek szerkezeti konstrukciója, belső elrendezési terv

Készülékek szerkezeti konstrukciója:

- A szerkezeti konstrukció során alakul ki a készülék mechanikai felépítése
- Legfontosabb feladatok
 - Szerkezeti felépítés, mechanikai vázrendszer
 - Doboz és burkolatkialakítás
 - Belső szerelési, elrendezési terv
 - Előlaptervezés, hátlaptervezés (ergonómia)
 - Gépészeti, finommechanikai tervezés
 -

Belső elrendezési terv:

- Részegységek, alkatrészek optimális elhelyezése
 - Villamos, termikus, EMC, biztonságtechnikai szempontból
 - Könnyű szerelhetőség, bonthatóság, hozzáférés
 - Könnyű bemérés
 - Javíthatóság, karbantarthatóság
- Szoros kapcsolat a dobozkialakítással
- Sokféle kivitel - bonyolultság, felhasználási körülmények függvénye

42)Egységes doboz és vázrendszer

- Professzionális termikus, EMC, biztonságtechnikai megoldások
- IEC-48 szabvány,
 - Szélességi alapméret: 19" = 488,5mm
 - Ajánlott magassági alapmodul: 44,45 mm
- Szabványos elemkészlet
- Moduláris felépítés

- Alacsonyabb szintű egységek
 - Magasabb szintűbe illeszthetők
 - Önállóan felhasználhatók
- Szintek
 - Alapegységek
 - Középszintű egységek
 - Építmények
 - Rendszerek

43)A termikus méretezés szükségessége, termikus szimuláció, hőtranszport folyamatok.

Termikus méretezés szükségessége:

- Elektromos alkatrészek (elsősorban a félvezetők) hő termelnek – keletkezett hő kivezetése
- Külső hőhatások elleni védelem

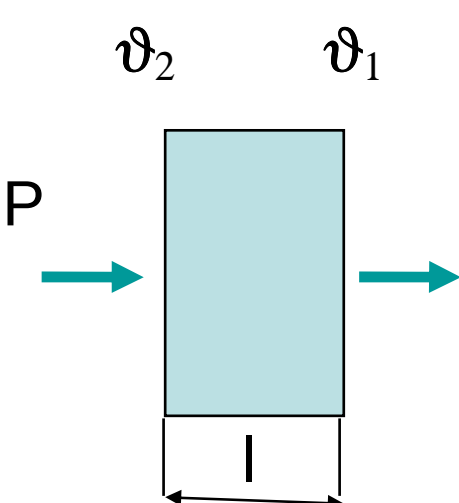
Termikus szimuláció:

- Hőmérséklet eloszlás meghatározása és hőterképszerű megjelenítése.
 - Erős grafikai háttér
 - Kétdimenziós - metszetek
 - Háromdimenziós
 - Háromdimenzió + idő
- Szintek:
 - Alkatrész szint
 - Részegység (nyák lemez) szint
 - Készülékszint
 - Rendszerszint (mérőszoba)

Hőtranszport folyamatok:

- Hővezetés (kondukció) ~ 5..10 %
- Hőszállítás (konvekció)
 - Természetes ~40..50 %
 - Mesterséges ~ 90 %
- Hősugárzás (radiáció)~40..50 %

44)Hővezetés, termikus ohm törvény, termikus interface anyagok



Hővezetés:

- Az anyag belsejében
- Kinetikus energia átadás
- Analógia a villamos vezetéssel
- Főleg az alkatrészekben keletkezett hő környezetbe vezetésében (hűtőborda) játszik szerepet

$$\vartheta_2 > \vartheta_1$$

$$P = \lambda * A * (\vartheta_2 - \vartheta_1) / l$$

P : hőteljesítmény [W]
 λ : hővezetési tényező [W/m.C °]
 A : felület [m²]
 l : hossz [m]
 $(\vartheta_2 - \vartheta_1)$: hőmérsékletkülönbség [C °]

Termikus interface anyagok:

- Folyékony halmazállapotú
- Halmazállapot váltó hővezető anyagok
- Hővezető ragasztó (pl.: hűtőborda felerősítéshez)
- Különböző hővezető, réskitöltő alátétek

45) Hőszállítás alapegyenlete, ventillátorok

$$P = \alpha A (\vartheta_0 - \vartheta_1) = \alpha A \Delta \vartheta \quad \text{Newton féle hőszállítási törvény}$$

P : hőteljesítmény [W]
 α : hőátadási tényező [W/(m²K)]
 A : a hőátadó felület [m²]
 ϑ_0 : a fal hőmérséklete [K]
 ϑ_1 : a közeg hőmérséklete a határrétegen kívül [K]

$$\text{Hőellenállás: } R_{th} = \frac{\vartheta_0 - \vartheta_1}{P} = \frac{1}{\alpha A} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Kényszer konvekció:

- Levegő áramoltatás (ventillátor)
 - alkatrész ventillátor
 - részegység ventillátor
 - készülékventillátor
- Folyadék áramoltatás

Ventilátorteljesítmény meghatározása:

$$P_v = \frac{P v^2}{c_p (\vartheta_0 - \vartheta_M)}$$

P_v : ventilátor teljesítmény [W]
 P : elvonandó hőteljesítmény [W]
 v : a közeg áramlási sebessége [m/s]
 C_p : az áramló közeg fajhője [(Ws)/(kgC°)]
 ϑ_0 : a közeggel érintkező felület hőmérs. [C°]
 ϑ_M : a közeg átlagos hőmérséklete [C°]

Ventilátor típusok:

- Axiális (fan)
- Radiális (blower)

46)Hősugárzás alapegyenlete

Anyagi közvetítő nélkül, elektromágneses hullámok formájában jön létre, egyenes vonalban terjed
A kisugárzott hőteljesítmény az abszolút hőmérséklet 4. hatványával arányos: $P=f(T^4)$

$$P = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) F_{12}$$

- ε : abszorpciós faktor (0..1)
- σ : Stefan – Boltzmann állandó $5,67 \cdot 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$
- A : felület (m^2)
- T_1, T_2 : felületek hőmérséklete (K)
- F_{12} : láthatósági faktor

Hősugárzás alapegyenlete 2:

$$P = h_r A (T_1 - T_2) \quad \text{ahol } h_r \text{ a relatív hősugárzási állandó } (\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}))$$

Termikus ellenállás:

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{P} = \frac{1}{h_r A}$$

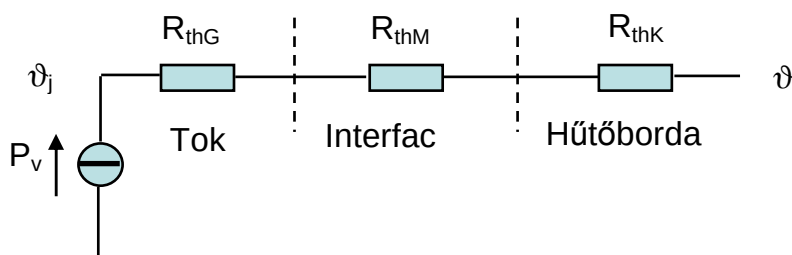
47)Hűtőbordák méretezése, használata. Heat pipe tulajdonságai

Hűtőbordák használata:

- Hőátadó felület térbeli növelése
- Anyag: jó hővezető, könnyen megmunkálható, olcsó - Alumínium
- Alkalmazható az SMT alkatrészekről a telj. félvezetőig

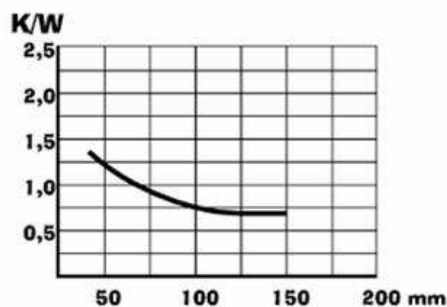
Hűtőbordák méretezése:

- Közelítő számítás, cél a hűtőborda hőellenállásának meghatározása
- A hőellenállás alapján borda profilválasztás, majd a borda hosszának meghatározása



borda hossz
kiválasztása:

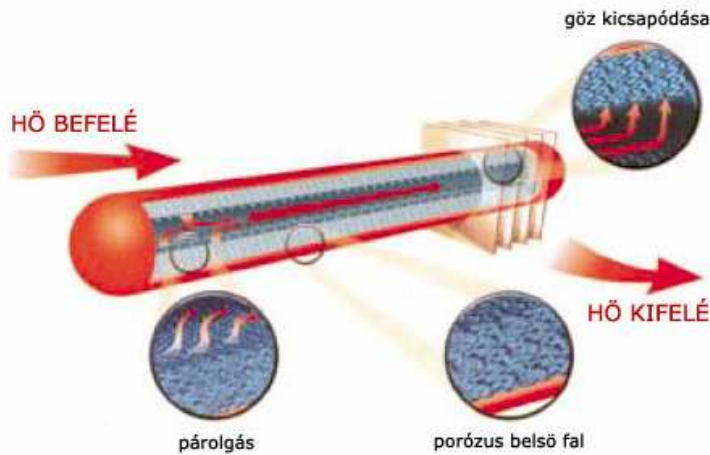
- P_v : a félvezető által termelt hőmennyiség [W]
 ϑ_j : a félvezető réteghőmérséklete [C °]
 ϑ_u : környezeti hőmérséklet [C °]
 ϑ_G : a tok felületének hőmérséklete [C °]
 ϑ_S : a felerősítés hőmérséklete [C °]
 R_{thG} : a tok belső hőellenállása [K/W]
 R_{thM} : az interface hőellenállása [K/W]
 R_{thK} : a hűtőborda hőellenállása [K/W]



A hűtőborda hőellenállásának meghatározása:

$$R_{thK} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_u}{P_v} (R_{thG} + R_{thM})$$

Heat pipe:

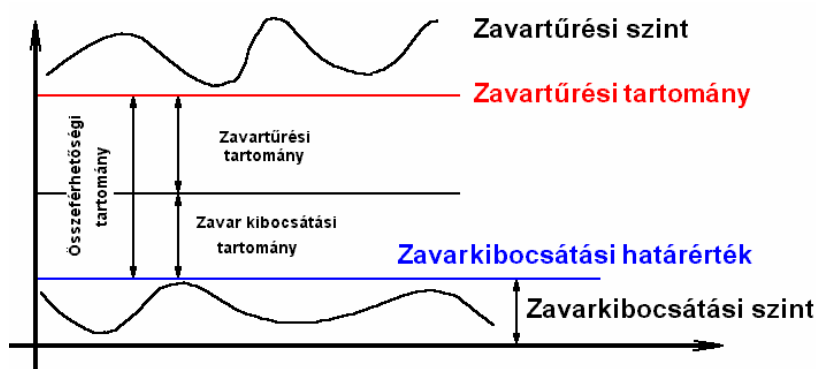


A heat-pipe alapvető feladata a hőenergia elszállítása hidegebb helyekre. Ehhez kihasználja a fázisváltás jelentős energiaigényét és azt a tényt, hogy a gáz a melegebb helyről a hidegebbre áramlik.

A cső melegített részén a folyadék jelentős hőenergiát vesz fel ahhoz, hogy légneművé változzon, majd a cső hidegebb vége felé áramlik. Ott arra a szintre hűl, ahol ismét folyadékká alakul – és leadja az energiát. A folyadék a gravitációnak vagy a cső belső kialakításának köszönhetően (kapilláris hatás kihasználása) ismét lejut a melegebb részbe, ezzel bezárult a kör.

A csövek segítségével a hőeloszlás sokkal egyenletesebb, mint a hagyományos bordás hűtés esetén, a hőellenállás pedig 36 %-kal kisebb.

48) EMC fogalma, EMC szimuláció



Minden készülék egyben gerjesztője, egyben elviselője az elektromágneses zavarkörnyezetnek. Akkor kompatibilis az elektronikus készülék elektromágneses szempontból a környezetével, ha az általa kibocsátott zavar megfelelően kicsi és az immunitása nagy.

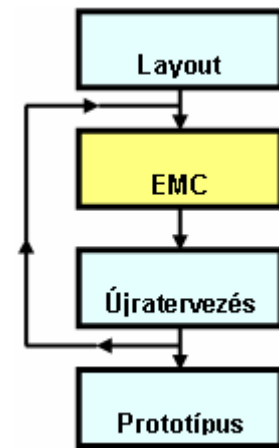
Minden készülékre, készülékcsaládra emissziós és immunitási szinteket határoznak meg a szabványok.

EMC szimuláció:

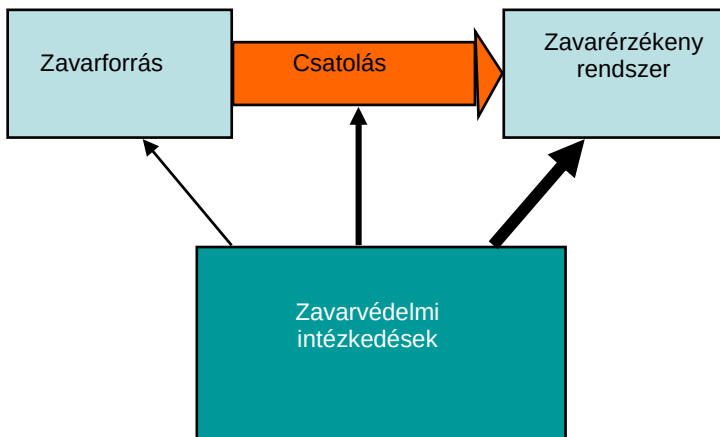
- A elektromágneses zavarvédelmi konstrukció fontos eszköze.
- A tervezési rendszerbe integrálható
- Jelentős matematikai apparátust igényel (idő és frekvenciatartománybeli transzformációk, elektromágneses térszámítások stb)

- Grafikus felület
- A szimulátor programok időbeli fejlődése:
- jel integritás (áthallás) a PCB-n és a kábel csomagban)
- PCB emisszió (két dimenziós)
- Készülék emisszió (három dimenziós)
- PCB érzékenység (két dimenziós)
- Készülék érzékenység (három dimenziós)

EMC szimuláció helye a tervezésben:



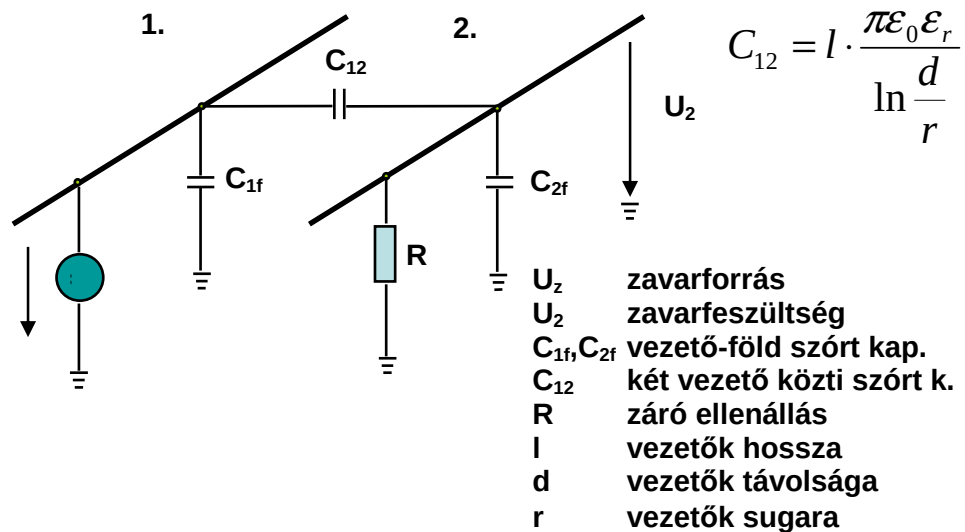
49) Zavarási modell, zavarjel csatolási formák



Csatolási formák:

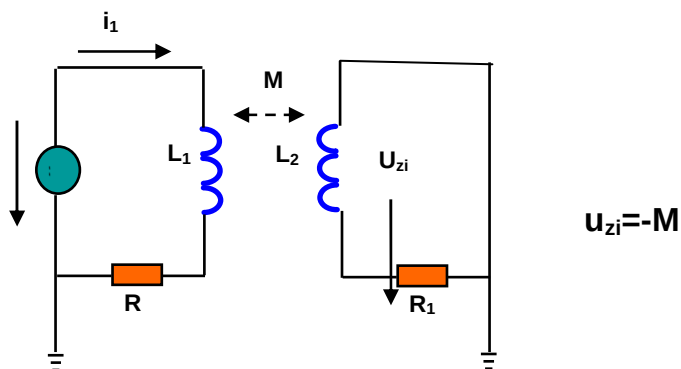
- 1. Galvanikus (vezetett) csatolás** – készülékek és részegységek között
 - A zavarjel galvanikus (fémes) úton jut be a zavarérzékeny készülékbe
 - Galvanikus kapcsolat
 - közös tápellátó rendszer (táp és földvezetékek)
 - jelvezetékek
 - Galvanikus csatolás hatásának csökkentése
 - Felesleges összeköttetések elhagyása
 - csatolóimpedanciák kis értéken tartása (helyes földelés)
 - galvanikus elválasztás (potenciálleválasztás)
- 2. Nem galvanikus csatolás**
 - kapacitív csatolás – részegységek között
 - Nincs közös impedancia
 - Egymás mellett hosszan haladó, egymáshoz közeli vezetékek esetén
 - kábelköteg
 - nyomtatott áramköri lemez
 - Frekvenciafüggés

Kapacitív csatolási modell:



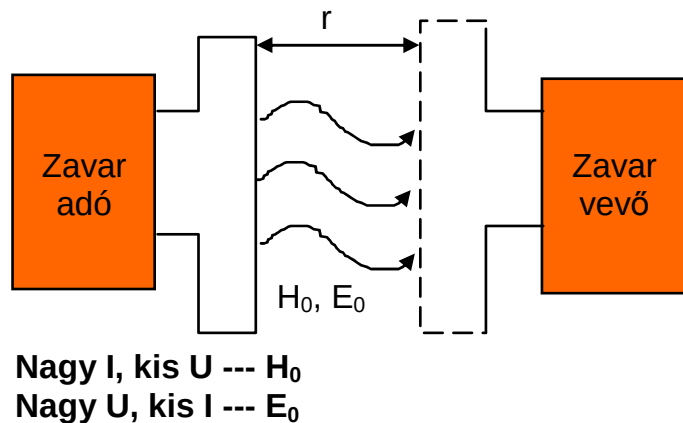
- induktív csatolás – részegységek között
 - Induktív csatolás elleni védekezés
 - M kis értéken tartása:
 - hurok terület csökkentése
 - hurkok közti távolság növelése
 - Induktív árnyékolás
 - Szimmetrizálás (vezetékek sodrása)

Induktív csatolási modell:



- sugárzás útján létrejövő csatolás – készülékek és részegységek között

Sugárzási zavarási modell:



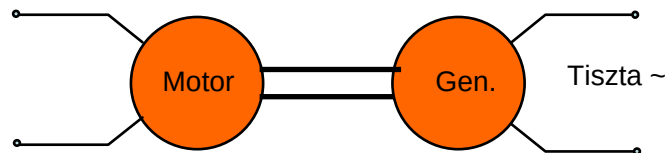
50) Hálózati zavarok és ellenük való védekezés

Hálózati zavarok csoportosítása:

- Periódikus
 - Kisfrekvenciás ($f < 10$ kHz): Félvezetős teljesítményszabályzás, Gépjárművek
 - Nagyfrekvenciás ($f > 10$ kHz): Nagyfrekvenciás generátorok, Kapcsolóüzemű tápegységek, Mikrohullámú eszközök, Rádió, TV
- Tranziens jellegű – gyors, de ritka impulzusok

Hálózati zavarok elleni védekezés:

- Hálózati szűrők
 - Aluláteresztő LC szűrők.
 - L, C értéke függ a készülék belső impedanciájától is
 - Cx szimmetrikus, Cy, L asszimmetrikus zavarok szűrésére
- Félvezető szűrő elemek (varisztor)
 - Különleges, szimmetrikus karakterisztika
 - Gyors működés
 - Párhuzamosan a hálózati feszültséggel
 - Ha $-U_0 < u < U_0$ $R \sim$ végtelen egyébként $R \sim 0$
- Szinkron átalakítók:

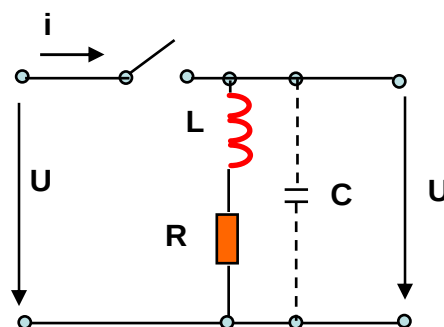


51) Induktív elemek működésekor keletkező zavarok. Félvezetős teljesítményszabályzás során keletkező zavarok.

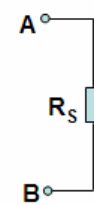
Elektromechanikus elemek működésekor keletkező zavarok:

- Relék, mágneskapcsolók, kapcsolók, nyomógombok működésekor
- Főleg induktív elemek áramának megszakításakor keletkeznek
- Nagy áram megszakítása esetén ismétlődő ívkisülések sorozata is fellép
- Nagy amplitúdó ($\sim$ kV), magas frekvenciataralom ($\sim$ 10 MHz)

Védelem az induktív feszültséglökés ellen:

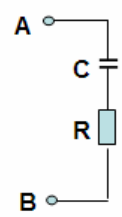
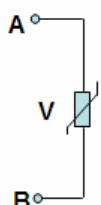


Ohmikus csillapítás



Dióda

Varisztor

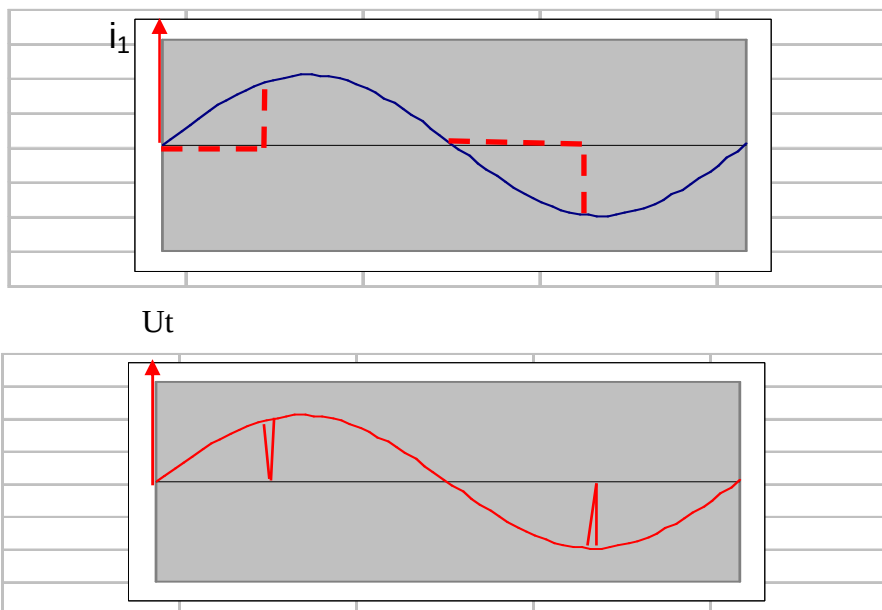


Soros RC tag

Félvezetős teljesítményszabályzás:

- Előnyök
 - folyamatos teljesítményszabályozás
 - a terhelés csak rövid ideig energiamentes
 - veszteségmentes
- Hátrányok
 - torzulás a tápfeszültség hullámformájában
 - jelentős sugárzási zavar

Torzulás a tápfeszültség hullámformájában:



Védekezés a tápfeszültség hullámforma torzulása ellen:

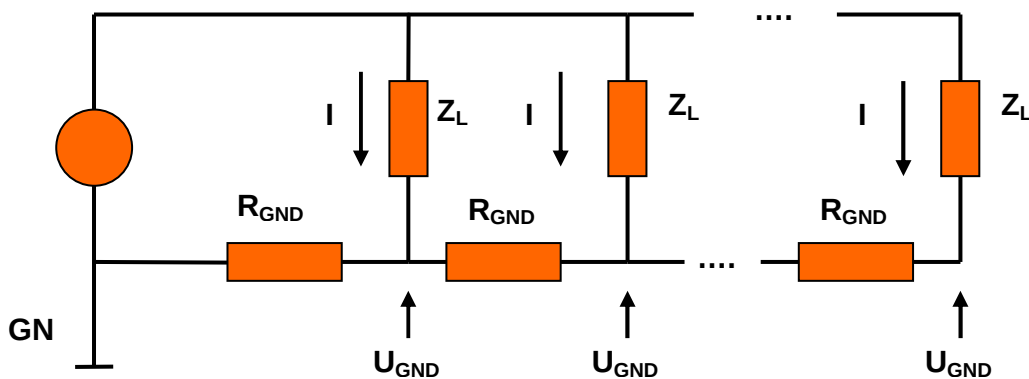
- Periódussorozat szabályozás (burst controll):
 - Egész számú periódus bekapcsolt, egész számú periódus kikapcsolt állapot.
 - Előnyök: nullátmenetnél kapcsolás (élettartam nő), feszültségingadozás kiküszöbölése
 - Hátrányok: nem folyamatos szabályozás, fogyasztó hosszabb ideig nem kap teljesítményt, a hálózat időbeli terhelése változó
- Két feszültség szint között kapcsoló szabályozás:
 - A “kikapcsolt” állapotban is esik feszültség a terhelésen
 - Nullátmenetnél kapcsolás
 - A hálózat időbeli terhelésváltozása az előbbinél kisebb
- Szinkronizált megcsapolás váltás: párhuzamosan bekötött tirisztor párokkal, galvanikusan leválasztva

52)Földelések kialakításának alaptípusai, nyomtatott áramköri lemezek speciális földelési problémái

Földelési rendszer:

- Vonatkoztatási pont: jelvezetékek potenciálját erre vonatkoztatjuk (föld)
- Védőföldelés: készülékház potenciálja a hálózati védőföldre kötve

SÍNRENDSZERŰ (ÖSSZEFÜZÉSES) FÖLDELÉSI MODELL:



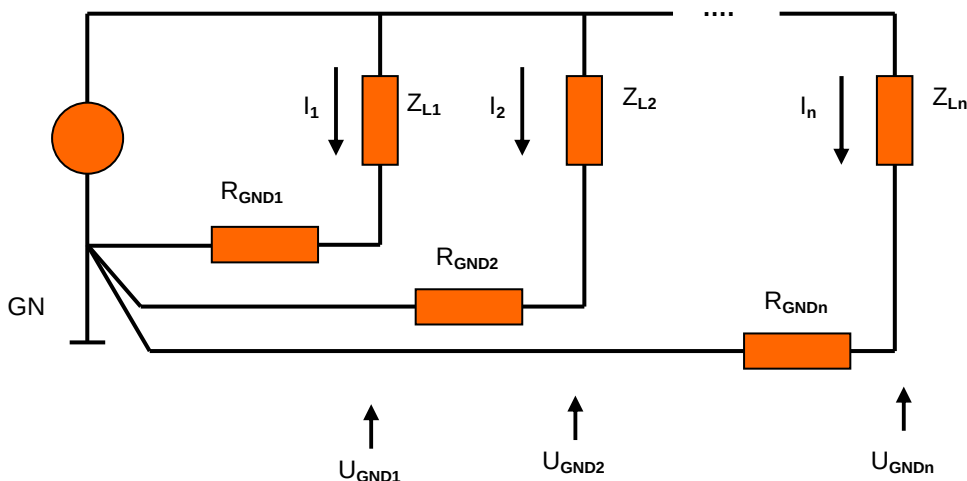
$$U_{GND1} = R_{GND1}(I_1 + I_2 + \dots + I_n)$$

$$U_{GND2} = U_{GND1} + R_{GND2}(I_2 + \dots + I_n)$$

...

$$U_{GNDn} = U_{GNDn-1} + R_{GNDn}I_n$$

Csillagpontoszerű földelési modell:



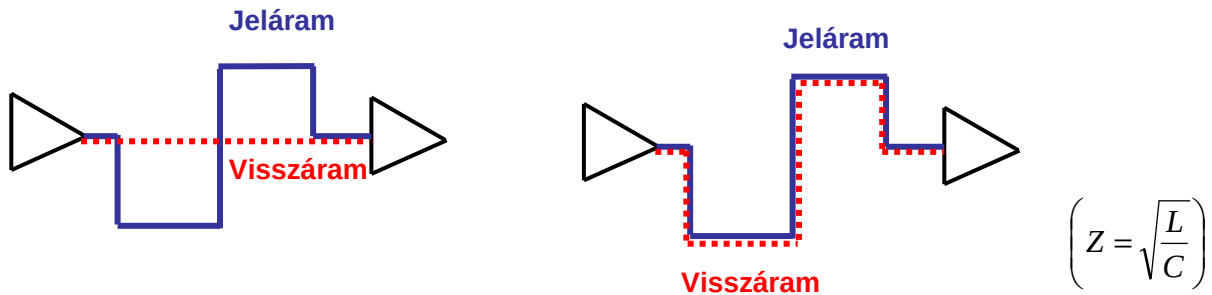
Vonatkozási földelési rendszer kialakítása:

- Nyomatott áramköri lemezekben belül vastag vezetékezés, földelő felület (sínrendszer)
- Részegységek között sodrott vezetékek, tápsinek (sínrendszer, csillagpont)
- Készülékek között tápsinek (szekrényen belül) sodrott vezetékek (csillagpont)

Nyomatott áramköri lemezek speciális földelési megoldásai:

- Különböző teljesítményszintű áramkörök összeföldelése csak egy pontban!!
- Nagyfrekvenciás áramkörök földelése
- Analóg és digitális elektronikát is tartalmazó áramkörök földelése

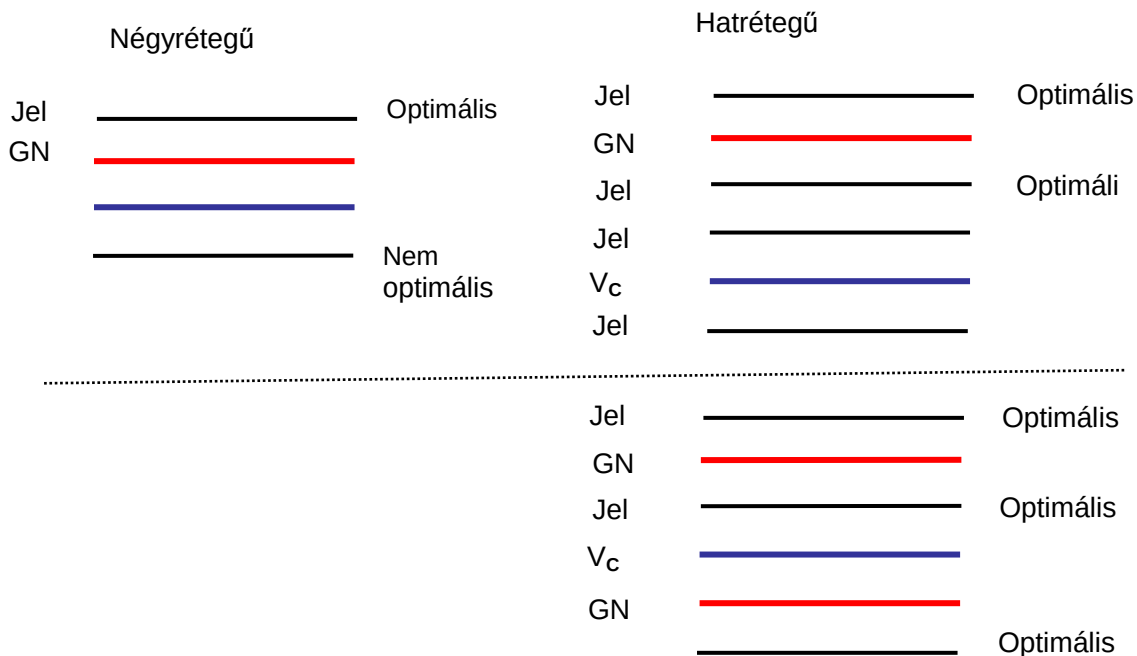
Nagyfrekvenciás áramkörök földelése:



$f < 1 \text{ MHz}$ esetén a visszáram útja a legkisebb ellenállást követi

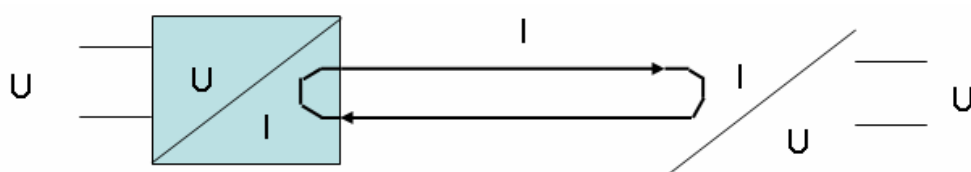
$f \gg 1 \text{ MHz}$ esetén a visszáram útja a legkisebb impedanciát követi

Többrétegű lemezek földelési megoldásai:



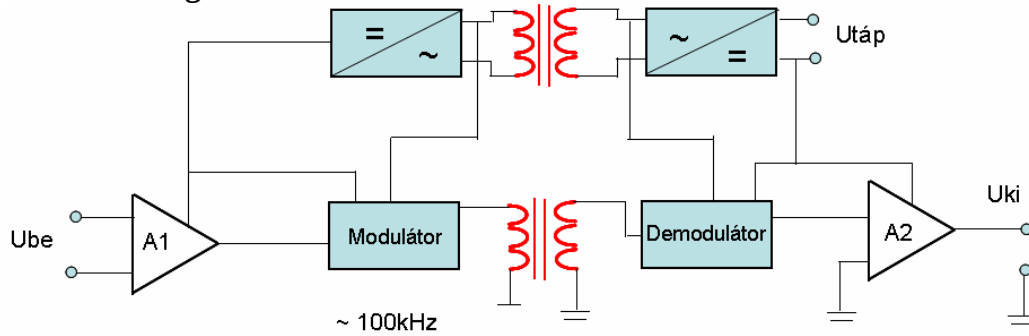
53) Adat és jelvezetékek védelme, leválasztó áramkörök

- Árnyékolás, koaxiális kábel (nagyfrekvencián)
- Sodrás, árnyékolás (szimmetrizálás)
- Szűrés (diszkrét és elosztott paraméterű)
- Vonalmeghajtók alkalmazása
- **Feszültséginformáció helyett áraminformáció (RS 232):**



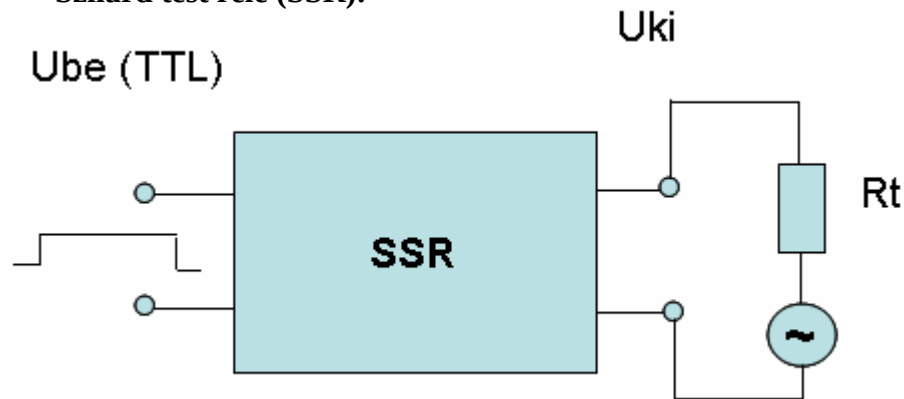
- **Potenciálleválasztás:**

- **Analóg eset: izolációs erősítő:**

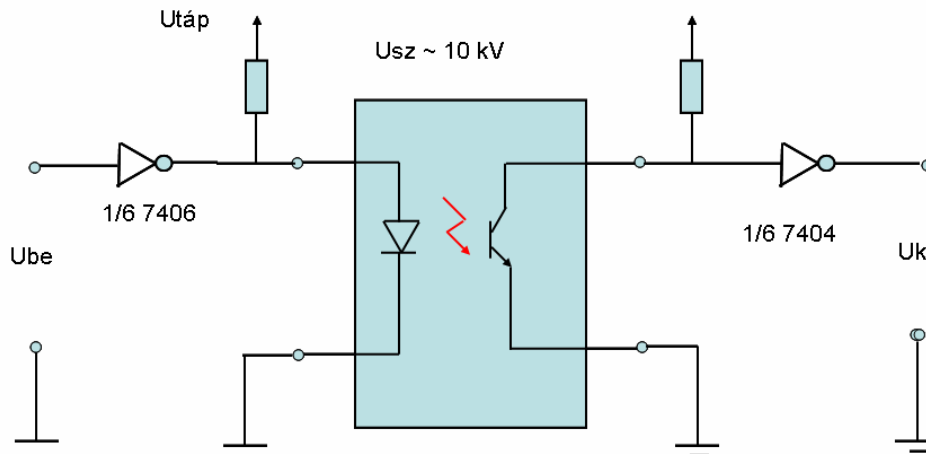


- Digitális eset: elektromechanikus relé

- **Szilárd test relé (SSR):**

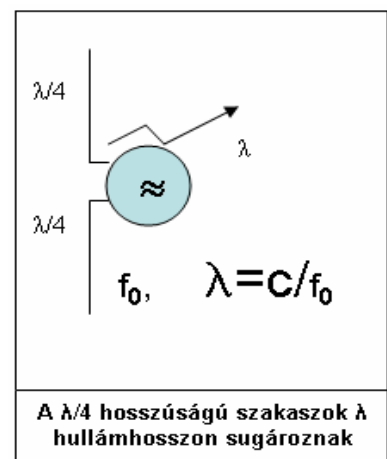


- **Optocsatoló:**



54) Elektromágneses sugárzás, árnyékolás.

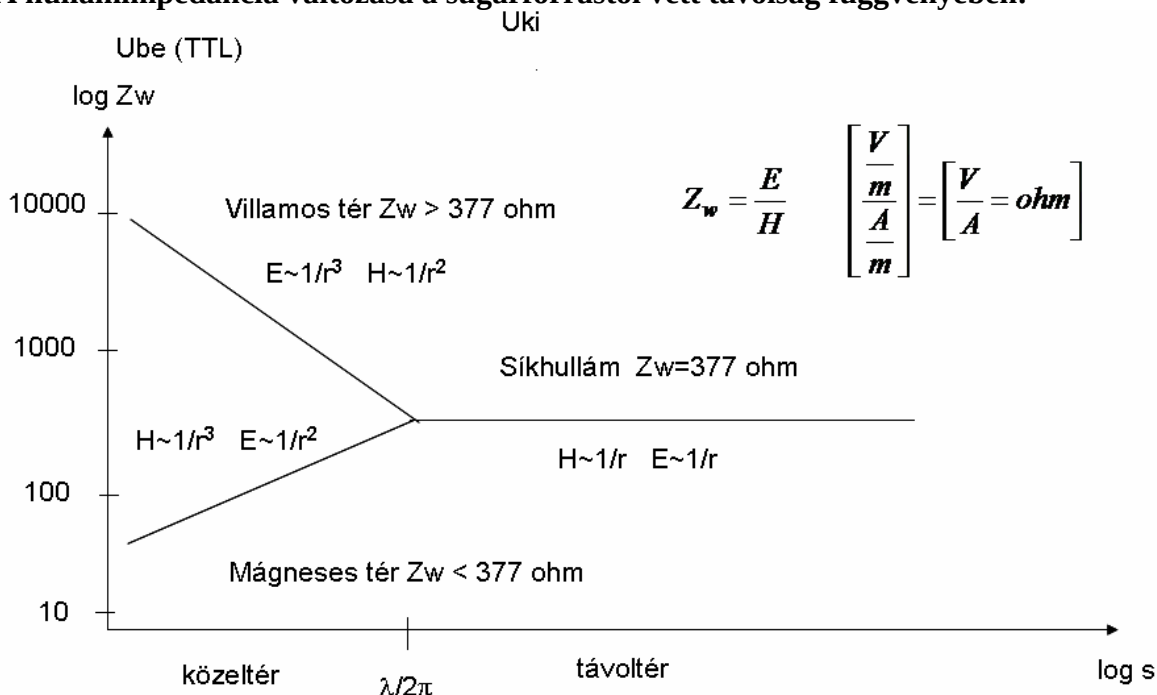
A sugárzásos zavarjel továbbítás fő forrása az elektronikát tartalmazó nyomtatott áramköri lemez. Ha található egy f frekvenciájú generátor és egy $\lambda = c/f$; $\lambda/2$; $\lambda/4$ hosszúságú szakasz, a panel sugározni fog!



Intézkedések a sugárzás csökkentésére

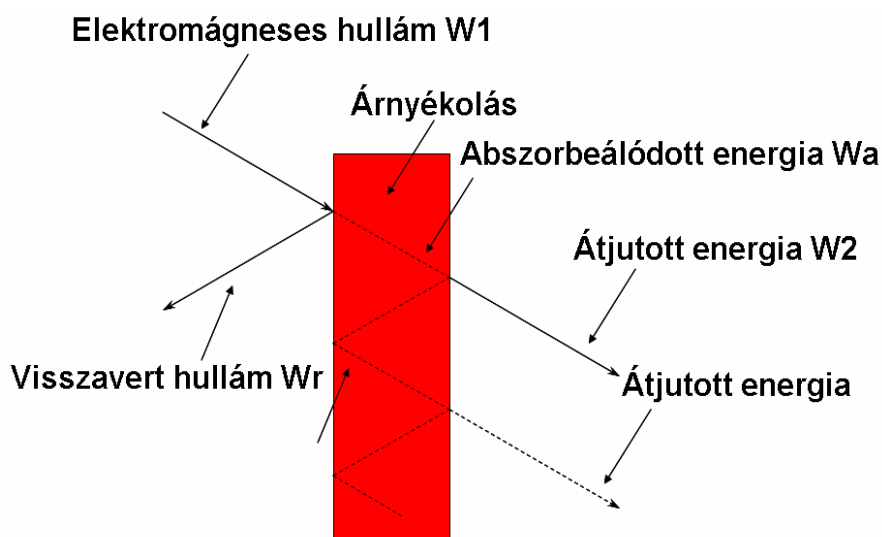
- $\lambda/10$ szabály: a hullámhossz tizedénél ne használjunk hosszabb vezetékvezést. Ez 1 ns felfutóélnél $86/10=8,6$ cm hosszt jelent.
- Az óra vezetékeket olyan rövidre tervezzük, amennyire csak lehetséges
- Minimálisra csökkentjük az összes nagyfrekvenciás jel hurokfelületét
- Biztosítjuk az összes nagyfrekvenciás jel lehető legrövidebb visszatérési útvonalát
- Ne használjunk a szükségesnél gyorsabb logikai áramkör családot

A hullámimpedancia változása a sugárforrástól vett távolság függvényében:



Árnyékolási modell:

- Reflexiós tényező:
 $R = W_r/W_1$ [dB]
 $R = R_e + R_h$
- Abszorpciós tényező:
 $A = W_a/W_1$ [dB]
- Az árnyékolás hatékonysága:
 $S = R_e + R_h + A$
- $S = f(\text{anyag}, f, Z_w)$
- Az egyes tagok frekvenciafüggése:
- $R_e \sim (1/f^3)$
 $R_h \sim (f^{1/2})$
 $A \sim (d, f^2)$



- Kisfrekvenciás mágneses tér esetén: jó mágneses permeabilitású anyag.
- Egyébként: vékony réz, bronz lemez

Árnyékolás alkalmazásai:

- Alkatrészek
- Nyomtatott áramköri lemezek
 - Árnyékoló föld felület
 - A panel egy részének lemezes árnyékolása
 - Árnyékoló ház
 - Kártyák közti árnyékolás
- Fém készülékház önmagában árnyékolás
- Helyiségek árnyékolása.

55) Elektromos tömítések

Tömítések általában:

- Tökéletes árnyékolás - zárt fémdoboz
- Konstrukciós szempontból kivitelezhetetlen
- Készülékdobozon nyílások:
- Tervezett nyílások
 - Ablakok
 - Perforáció a konvekcióhoz
- Nem kívánt nyílások
 - Készülékdoboz részei (előlap, hátlap, alaplapp, fedőlap, rekeszek előlapjai) közti nyílások
 - Kezelőszerveknél, csatlakozóknál, kábel bevezetéseknél kialakuló nyílások
 - Ajtók, ablakok, keretek körül kialakuló nyílások

Tömítések szerepe:

- Mechanikai, klimatikus: por, szennyeződés, vízpára stb. bejutásának megakadályozása
- Villamos: rések megszüntetése, áramvonalak torzulásának megakadályozása
- Ideális tömítés:
 - A tömítőanyag teljesen kitölti a rést (rugalmas tulajdonság)
 - A tömítés anyaga villamos szempontból megegyezik a fém részek anyagával

Tömítések típusai:

- Rugozó fém tömítések (klippek)
 - Fedelelek
 - Oldallapok
 - Előlapok
 - Ajtók
- Fémszita, fémszövet tömítések
- Vezető műanyagok
- Vezető ragasztók

56) Üzembiztonság fogalma. Klímaállóság, túláram védelem.

Üzembiztonság fogalma:

- Életvédelem, balesetvédelem, vagyonvédelem
- Rendeltetésszerű és meghibásodott állapotban sem okozhat kárt, veszélyt
- Az okozott kárért, balesetért a tervező és gyártó a felelős!

- Safety Engineer szakág problémaköre

Üzembiztonsági témakörök:

- Környezeti hatások elleni védelem
 - klimatikus (meteorológiai, kémiai, biológiai)
 - mechanikai igénybevételek
- Túláramvédelem
- Káros sugárzások elleni védelem
- Robanásvédelem
- Érintésvédelem

Technikai klímaterületek:

- Normál szárazföldi (N)
- Hideg (F) $T \sim -40\text{ C}$, zúzmara, kis légnedvesség
- Nedves trópusi (TH) 80%-nál nagyobb légnedvesség, magas hőmérséklet, záporosók, biológiai hatások, korrózió
- Száraz trópusi (TA) erős napsugárzás, magas T, hőmérsékletingadozás, alacsony RH
- Tengeri (M) sós pára, korrózió
- Magaslatti (A) kis légnyomás, alacsony T

Néhány klímaállósági konstrukciós szempont:

- Tokozás, védőburok
- Megfelelő védőbevonat, kondenzáció megakadályozása víztaszító bevonattal
- Klímaálló anyagok, alkatrészek
- Klímaálló csomagolás

A burkolat által nyújtott védettségi fokozatok MSz IEC 529:

IP = Internal Protection IPXY

X Szilárd testek behatolása ellen: 0-6 (0=nem védett)

Y Víz behatolása ellen: 0-8 (8=Tartós vízbemerítés hatásai ellen védett)

Túláramvédelem

- Túláram fogalma:
 - az elektronikus készülékben folyó, még maximálisan megengedett áramerősségnél nagyobb áram
- Létrejöhét:
 - a terhelés megváltozása következtében (túlterhelés)
 - szigetelési, vagy egyéb hiba következtében (zárlat)
- Túláram károsító hatása
 - Villamos paraméterek tartós, esetenként irreverzibilis változása
 - Hirtelen öregedés, megbízhatóság csökkenés
 - Alkatrészek tönkremenetele
 - Vezetékek túlmelegedése, szigetelés tönkremenetele
 - Nyák károsodás, forrasztás meghibásodása

A túláramvédelem eszközei

- Olvadóbiztosítékok MSz 8863
 - Értéksor: 32 mA....6,3 A, 250 V
 - Alkalmazás: készülékek, részegységek védelmére
 - Kiolvadási idő:
 - normál: $2 \cdot I_n$: 2 perc, $10 \cdot I_n$: 40 ms
 - lomha: $2 \cdot I_n$: 30 perc, $10 \cdot I_n$: 100 ms

- Megérintható biztosítóaljzat: 6,3 A terhelés, szigetelt kivitel
- Kismegszakítók:
 - túlterhelésre és zárlatra is használhatók
 - A névleges áramerősségnél nagyobb áram esetén az áramkört megszakítják
 - Termikus (túlterhelésre) és elektromágneses (zárlatra) kioldás
 - Visszakapcsolhatók

57) Rezgések károsító hatása. Rezgésvizsgálatok. Robbanásbiztonság.

Elektronikus készülékekre ható rezgések:

- Szállítás közben minden készülékre.
- Csomagolás: érzékeny részek külön csomagban, rezgéscsökkentő betétek.
- Üzem közben:
 - kényszerelmozdulással - autóba épített készülékek
 - kényszererővel - kiegyenlítettlen forgó ventillátor, lazán összeszorított trafólemez

Rezgések káros hatása

- Szerkezeti anyagok kifáradása
- Mechanikai szerelvények kötéseinek kilazulása
- Forrasztások kiszakadása, forrszemek leválása - csak lyukgalvanizált kivitel!
- Alkatrészek, áramkörök jellemző adatainak ingadozása

Rezgésállóság vizsgálata (MSz 8888/6):

- Szinuszos jellel
- Fázisai
 - kezdő rezonanciakeresés (stroboszkóppal)
 - fárasztás pásztázással
 - befejező rezonanciakeresés
- Pásztázás: f_{min} -- f_{max} -- f_{min} (pl 10-155-10 Hz)
- Pásztázási sebesség: 1 oktáv/perc

Robbanásbiztonság

- Robbanásveszélyes környezetben a készülék ne okozzon robbanást
 - vegyipari üzemek, galván, festőműhely
 - malmok, bányák, raktárak (por)
- Robbanás létrejöttéhez szükséges:
 - robbanásra hajlamos anyag (metán, hidrogén, alkoholgőz, benzingőz stb.)
 - oxigén, vagy levegő
 - gyújtóforrás (szikra)

58) Érintésvédelem, érintésvédelmi osztályok.

A villamos áramütés hatása:

- Az áramütés hatása a szervezetre függ:
 - az átfolyó áram erősségétől

Az átfolyó áram erősségének hatása 500 ms-os átfolyási idő mellett:

- $i < 0,5 \text{ mA}$ a hatás nem érzékelhető
- $0,5 < i < 15 \text{ mA}$ orvosiilag nem káros hatás

- $15 < i < 50 \text{ mA}$ általában nem okoz szívkamra fibrillációt
- $50 \text{ mA} < i$ szívkamra fibrillálás veszélye
- az áramáthaladás idejétől és útvonalától
- a test és ruha, cipő ellenállásától
- a frekvenciától

Érintésvédelmi fokozatok

- **I. osztály: védőföldelés:**

- Üzemi szigetelés + megérintható fémrészek összekötve (pl. készülékház + ajtó) és a hálózati védőföldre kötve (védőeres hálózati kábel, színjelzés: zöld-sárga)
- Hibaáram (pl. hibás szigetelésű feszültség alatti részek megérintésekor) észlelése esetén a védelmi rendszer (kismegszakító) kikapcsol
- Kioldási áram $\sim 10 \text{ mA}$
- Reakcióidő: $\sim 10 \dots 30 \text{ ms}$

- **II. osztály: kettős szigetelés:**

- Két fő szerkezeti változat:
- Szigetelőanyag burkolat: az összes fémrészt burkolja (pl. hajszárító). A külső burkolat egyben a védőszigetelés is.
- Folyamatos fém burkolat, belül mindenhol kettős szigetelés (pl. mosógép)
- A kettős szigetelésű készülékeket nem szabad (nem is lehet) földelni

- **III. osztály: törpefeszültség ($U < 42 \text{ V}$)**

- Érintési feszültség $< 42 \text{ V}$
- Nincs olyan áramköri rész, amely ennél nagyobb feszültségen üzemel. (A megengedett érintési feszültség alkalmazás függő)
- Az emberi testtel közvetlen kapcsolatba kerülő készülékeknél (orvosi, fodrászati, gyermekjátékok) az üzemi fesz. max. 24 V lehet.
- Biztonsági transzformátor MSz 9229