

Tantárgy: ANALÓG ELEKTRONIKA

Tanár: Dr. Burány Nándor

3. félév

Óraszám: 2+2

1

2.3. RÉSZ

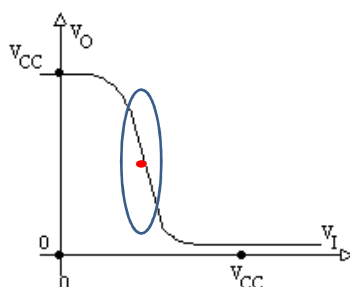
AZ ERŐSÍTŐ ÁRAMKÖRÖK

- A **cél**: a jelek (áram, feszültség, teljesítmény) növelése.
- A feldolgozandó **témák**:
 - az erősítés fogalma
 - az erősítő modellek
 - a visszacsatolt erősítők,
 - a műveleti erősítők,
 - áramkörök műveleti erősítőkkal,
 - a közös emitterű erősítő,
 - a közös kollektorú kapcsolás,
 - a közös bázisú kapcsolás,
 - a tranzisztoros differenciálerősítő,
 - áramforrások, aktív terhelések, áramtükörök,
 - a műveleti erősítők belső felépítése és valós paraméterei.

<http://sound.westhost.com/amp-basics.htm>
http://www.electronicstutorials.ws/amplifier/amp_1.html

2.3.0.a HOGYAN ÉPÍTHETŐ ERŐSÍTŐ?

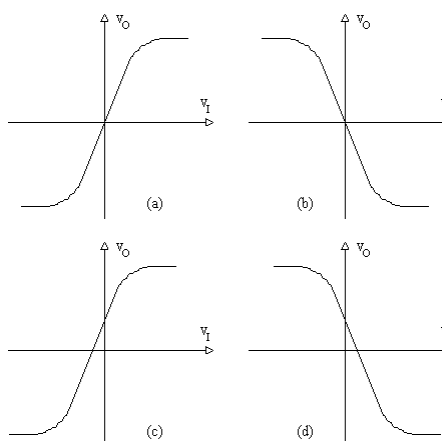
- **Módszer:** meredek átviteli jelleggörbét kell létrehozni – így kaphatunk erőteljes választ a bementi jel változására.
- A logikai áramkörök jelleggörbéjének központi része is ilyen jellegű – azt ott mellőztük.
- **Feladatok** az erősítők építésénél:
 - a jelleggörbe létrehozása,
 - a munkapont beállítása, stabilizálása.



3

2.3.0.b ERŐSÍTŐ JELLEGGÖRBÉK

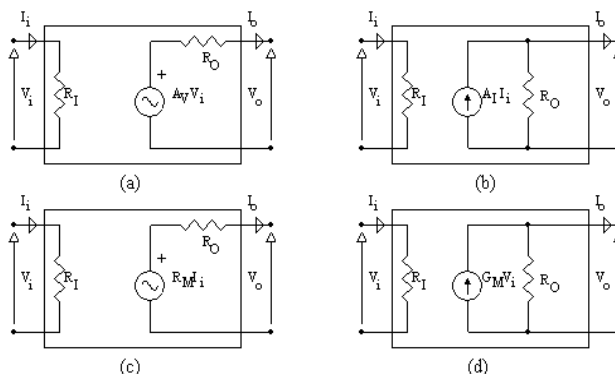
- A $V_O = k \cdot V_I$ alakú viselkedés volna az **ideális**.
- A megvalósítható erősítőknél a jelleggörbe bizonyos bemeneti értékeken túl **ellaposodik**. Az ok: a tranzisztorok lezárnak vagy telítésbe mennek.
- Az erősítők felosztása a jelleggörbék szerint:
 - átmegy-e a jelleggörbe a koordináta rendszer kezdőpontján (ofszet nélküli vagy ofszettel rendelkező erősítők)
 - emelkedő (neminvertáló) és eső (invertáló) jelleggörbe.



4

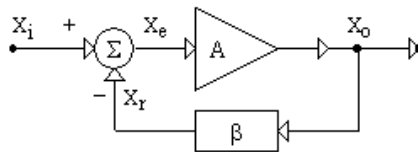
2.3.1. ERŐSÍTŐ MODELLEK

- Minden lineáris erősítő egyértelműen leírható három paraméterrel:
 - erősítés (A), https://en.wikipedia.org/wiki/Dependent_source
 - bemeneti ellenállás (R_i),
 - kimeneti ellenállás (R_o).
- Az erősítés négy módon definiálható:
 - feszítéserősítés:
 - $A_v = V_o / V_i$
 - áramerősítés:
 - $A_i = I_o / I_i$
 - átviteli ellenállás:
 - $R_M = V_o / I_i$
 - átviteli vezetőképesség:
 - $G_M = I_o / V_i$
- A besorolást a bemeneti ell. és a forrás ellenállásának viszonya, valamint a kimeneti ellenállás és a fogyasztó ellenállásának viszonya alapján történik. 5



2.3.2.a A VISSZACSATOLT ERŐSÍTŐK - ALAPOK

- Visszacsatolás: a kimeneti jelet kombináljuk a bemeneti jellel.
- Cél: az erősítő paramétereinek javítása.
- Tömbvázlat:



- Az egyenletek:

$$X_o = A X_e \quad X_e = X_i - X_r \quad X_r = \beta X_o$$

https://en.wikipedia.org/wiki/Negative_feedback_amplifier

- A végeredmény:

$$X_o = \frac{A}{1 + \beta A} X_i \quad A_r = \frac{A}{1 + \beta A}$$

6

2.3.2.b A VISSZACSATOLT ERŐSÍTŐK – TÍPUSOK

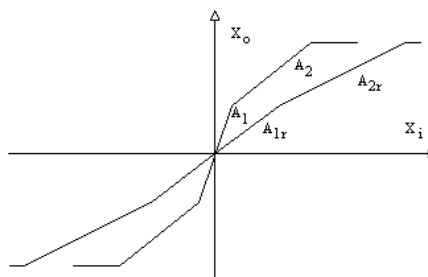
- Visszacsatolás típusai:
 - **negatív** (a visszacsatolt jel csökkenti a bemeneti jelet – erősítőknél, szabályozóköroknél stb. alkalmazzák), csökken az eredő erősítés ($A_r < A$). Újabb erősítő fokozattal ez könnyen pótolható.
 - **pozitív** (a visszacsatolt jel növeli a bemeneti jelet – oszcillátoroknál, komparátoroknál stb. alkalmazzák), növekszik az eredő erősítés ($A_r > A$), esetleg végtelen lesz.

7

2.3.2.c A VISSZACSATOLT ERŐSÍTŐK – A NEGATÍV VISSZACSATOLÁS JELLEMZŐI

- A_r kevésbé érzékeny az alaperősítő paramétereinek változásaira.
- Linearizálódik az átviteli jelleggörbe:
- Szélesedik az átviteli frekvenciatartomány.
- Javul a bemeneti és a kimeneti ellenállás.

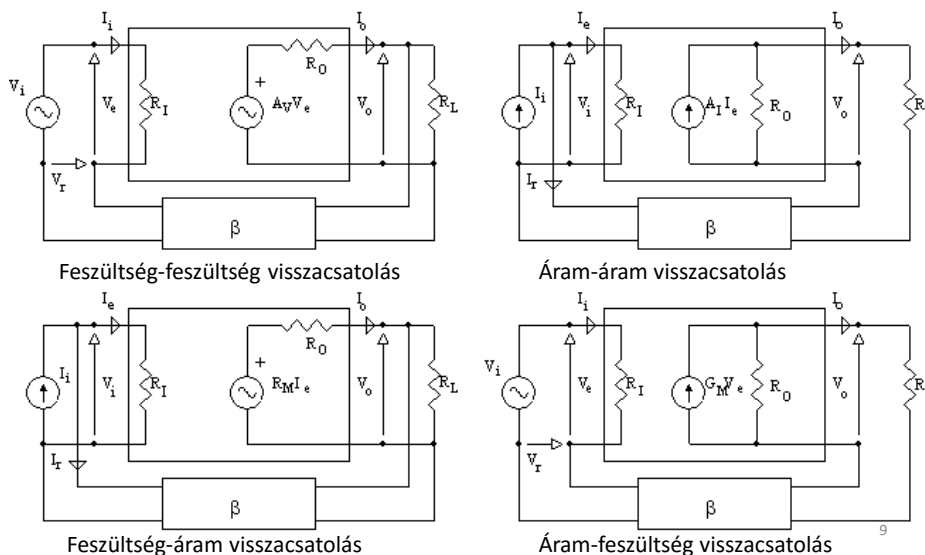
$$\frac{dA_r}{A_r} = \frac{1}{1 + \beta A} \frac{dA}{A}$$



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/feedn.html>

8

2.3.2.d A VISSZACSATOLT ERŐSÍTŐK - A VISSZACSATOLÁS BEKÖTÉSÉNEK MÓDJAI AZ ERŐSÍTŐRE ALKALMAZOTT MODELLTŐL FÜGGŐEN

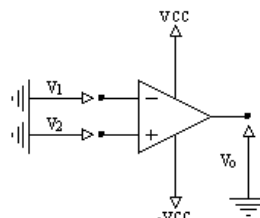


2.3.2.a A MŰVELETI ERŐSÍTŐK - ALAPOK

- Ideális feszültségerősítő: nagy erősítés, nagy bementi ellenállás, kis kimeneti ellenállás.
- Egy-két tranzisztorral nem lehet ilyen ideális erősítőt megvalósítani.
- Gyártanak integrált erősítőket ilyen jellemzőkkel – ezek a műveleti erősítők.

2.3.2.b A MŰVELETI ERŐSÍTŐK - LEÍRÁS

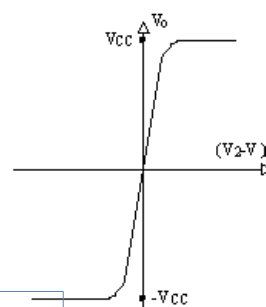
- Rajzjel (differenciális bemenet, kétoldalas táplálás, egyoldalas kimenet):



- Átviteli jelleggörbe:

$$V_O = A(V_2 - V_1)$$

- $A \sim 10^5$, $R_i \sim G\Omega$ vagy $T\Omega$, $R_o \sim \Omega$ vagy 10Ω .



<http://www.ti.com/lit/an/sboa092a/sboa092a.pdf>

http://web.mit.edu/6.101/www/reference/op_amps_everyone.pdf

11

2.3.4. ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL - ALAPOK

- A műveleti erősítőket rendszerint (negatív) visszacsatolással alkalmazzák.
- A túl nagy erősítésre nincs szükség, meg gondokat is okozna (telítés, torzítás, beoszcillálás...)
- Nagy erősítés $\rightarrow$ erős visszacsatolás $\rightarrow$ stabil paraméterek.

http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-071j-introduction-to-electronics-signals-and-measurement-spring-2006/lecture-notes/23_op_amps2.pdf

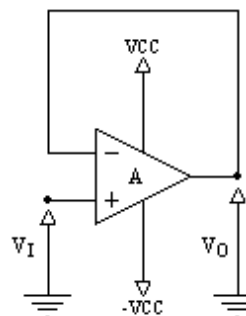
12

2.3.4.a ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – A FESZÜLTSGKÖVETŐ

- A teljes kimeneti jelet visszacsatoljuk az invertáló bemenetre.
- Egyenletek:

$$V_I = V_+ = V_-$$

$$V_O = V_I$$
- Tulajdonságok:
 - egységnyi erősítés,
 - nagy bemeneti ellenállás,
 - kis kimeneti ellenállás.
- Alkalmazás: elválasztó fokozatként.



<http://www.ti.com/lit/an/sboa092a/sboa092a.pdf>

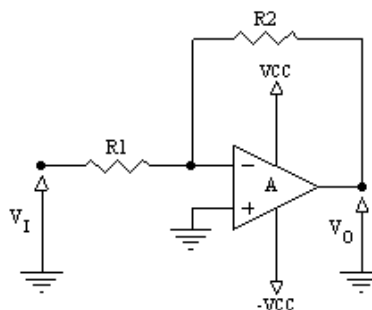
13

2.3.4.b ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – AZ INVERTÁLÓ ERŐSÍTŐ

- Precízen megadható erősítésű invertáló erősítő.
- Áramvezérelt feszültségerősítőnek tekinthető.
- Egyenletek:

$$I_{R1} = \frac{V_I}{R_1} \quad V_O = V_I - R_2 I_{R2}$$

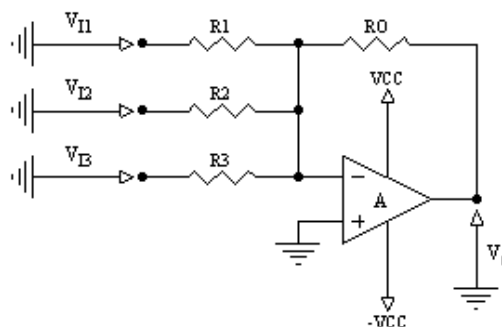
$$A_r = \frac{V_O}{V_I} = -\frac{R_2}{R_1}$$
- Két ellenállás aránya határozza meg az erősítést.



14

2.3.4.c ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – AZ ÖSSZEGZŐ ERŐSÍTŐ

- Az invertáló erősítő kiterjesztése több bemenet esetére.
- A $V_- = V_+ = 0$ feltételből indulunk ki.
- A kimeneti feszültség képlete a következő lesz:



$$V_O = -\frac{R_O}{R_1}V_{I1} - \frac{R_O}{R_2}V_{I2} - \frac{R_O}{R_3}V_{I3}$$

15

2.3.4.d ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – A NEMINVERTÁLÓ ERŐSÍTŐ

- A kiinduló feltétel:
 $V_I = V_+ = V_-$
- Innen az R1 ellenállás árama:

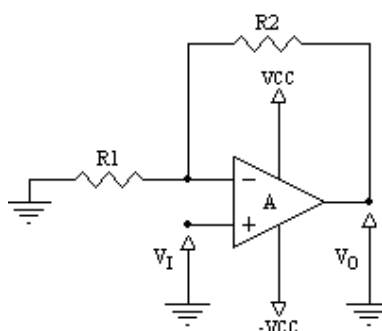
$$I_{R1} = \frac{V_I}{R_1}$$

- A kimeneti feszültség :

$$V_O = V_I + R_2 I_{R1} = V_I + \frac{V_I}{R_1} R_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_I,$$

- Az eredő erősítés:

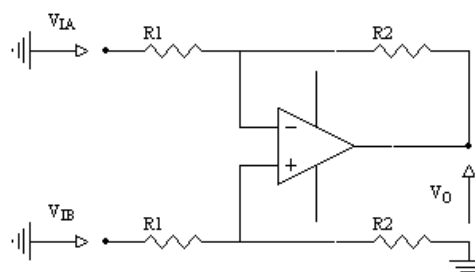
$$A_r = \frac{V_O}{V_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



16

2.3.4.e ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – A KÜLÖNBSEGERŐSÍTŐ

- A jelforrás egyik vége sincs földelve – két pont közötti feszültséget kell erősíteni.
- A kimeneti jel számításához a szuperpozíció tételét alkalmazzuk.
- Vannak bonyolultabb és jobb megoldások erre a célra.



$$V_{OA} = -\frac{R_2}{R_1} V_{IA}$$

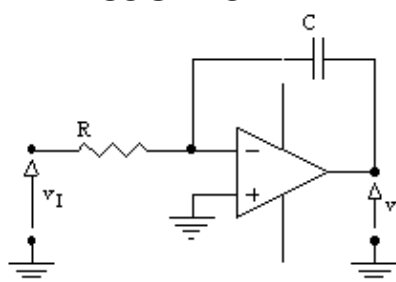
$$V_{OB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{IB} = \frac{R_2}{R_1} V_{IB}$$

$$V_O = (V_{IB} - V_{IA}) \frac{R_2}{R_1}$$

17

2.3.4.f ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – AZ INTEGRÁLÓ KAPCSOLÁS

- A jel idő szerinti integrálját állítja elő.
- A kiinduló feltétel: $V_- = V_+ = 0$.
- Az ellenállás árama egyenlő a kondenzátor áramával.
- Mivel $v_O = v_I - v_C$ következik:



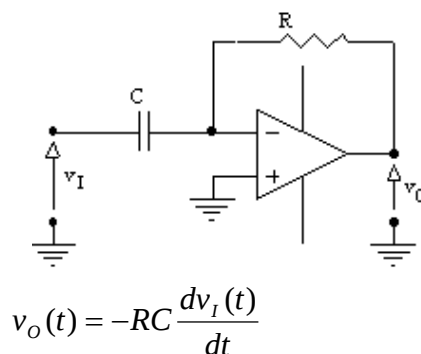
$$i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt}$$

$$v_O(t) = -\frac{1}{RC} \int v_I(t) dt$$

18

2.3.4.g ÁRAMKÖRÖK MŰVELETI ERŐSÍTŐKKEL – A DIFFERENCIÁLÓ KAPCSOLÁS

- Felcseréljük az ellenállást és a kondenzátort.
- Hasonló levezetés, mint az integráló kapcsolásnál.
- A kimeneti feszültség képlete (deriválás):
- Ez az áramkör nagyon zavarérzékeny és hajlamos a beoszillálásra.



19

2.3.5.a A KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ – BEVEZETŐ AZ ERŐSÍTŐK SZERKESZTÉSÉBE

Már **egy aktív alkatrész** is jelentős erősítés érhető el, ha sikeresen megoldjuk a következő feladatokat:

- Létre kell hozni a kapcsolást, amelynél az átviteli **jelleggörbe** egy szakasza **kellő meredekségű**.
- Az aktív alkatrészt úgy kell **előfeszíteni** (polarizálni), hogy a kapcsolás a jelleggörbe meredek részén dolgozzon.
- A kimeneti és bemeneti **jelet** úgy kell ki- illetve **becsatolni**, hogy a fogyasztó és a jelforrás jelenléte ne változtasson a beállított előfeszítésen (csak maga a jel!).

20

2.3.5.b A KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ – EGYSZERŰ ERŐSÍTŐK ELEMEI

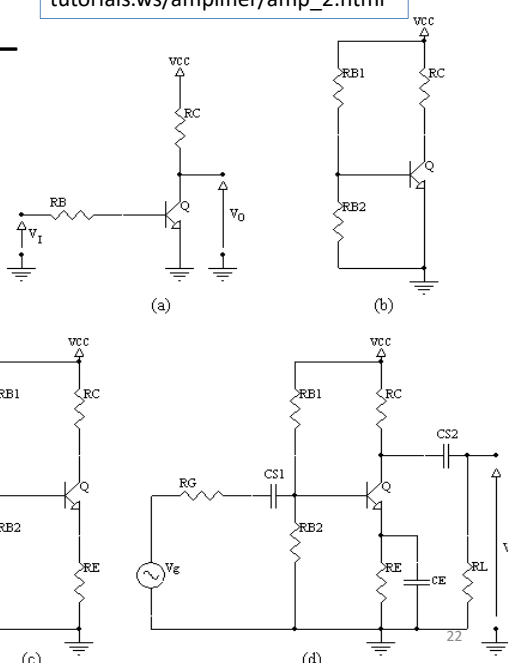
- Az **aktív alkatrész** lehet: bipoláris tranzisztor, **JFET**, **MOSFET**, ritkán **IGBT** – megfelelő vezérlőjellel ezeknek az alkatrészeknek az árama/feszültsége folyamatosan változtatható.
- **Tirisztor nem alkalmas** erősítő építésére a bistabil viselkedés miatt.
- Rendszerint az aktív alkatrész **egyik kivezetése közös** a bemenő és a kimenő áramkör számára: ez szerint kapják az egyes kapcsolások a nevüket (közös emitterű fokozat, közös kollektorú fokozat, közös bázisú fokozat...).
- Az aktív alkatrészek mellett főleg ellenállásokat használunk. Szükség szerint építünk be kondenzátort, ritkán tekercset (főleg rádiótechnikában).

21

2.3.5.c A KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ – FELÉPÍTÉS

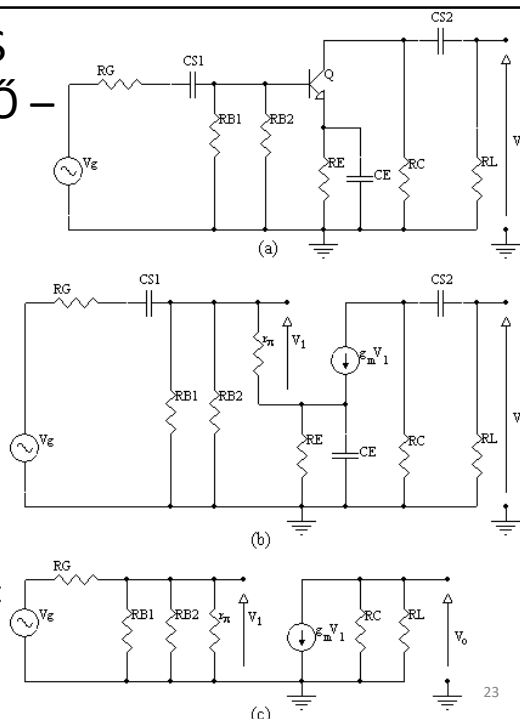
http://www.electronicstutorials.ws/amplifier/amp_2.html

- A közös emitterű erősítő a bipoláris tranzisztoros **logikai inverter**-kapcsolásból (a) vezethető le.
- Előfeszítéshez R_{B1} és R_{B2} és tápfeszültség kell (b).
- Munkapont stabilizálás R_E -vel történik (c).
- V_g és R_L csatolása kondenzátorokon keresztül (d) – R_C felüláteresztő. C_E csökkenti R_E hatását az erősítésre.



2.3.5.d A KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ – ELEMZÉS

- Az A_v , A_f , R_i , R_o paraméterek meghatározása.
- Az egyenfeszültségű forrást kikapcsoljuk ($V_{CC}=0$) (a).
- A tranzisztort a hibrid- π modellel helyettesítjük (b).
- A kondenzátorok impedanciáját elhanyagoljuk (c) – itt lett az emitter a közös kivezetés a bemenet és a kimenet számára.



2.3.5.e A KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ – JELLEMZŐK

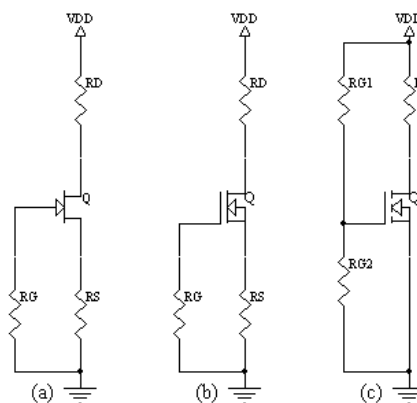
- A modellezés során kapott áramkört hagyományos áramkör-elemzési módszerekkel elemezzük – kiszámítjuk az erősítést, a bemeneti és a kimeneti ellenállást.
- A várható eredmények:
 - $A_v=10...100$,
 - $A_f=10...100$,
 - $R_i=1k\Omega...10k\Omega$,
 - $R_o=1k\Omega...10k\Omega$.
- Viszonylag nagy áramerősítés és feszültségerősítés kapható.
- A bemeneti és a kimeneti ellenállás mérsékeltek.

<http://www-ferp.ucsd.edu/najmabadi/CLASS/ECE60L/02-S/NOTES/BJT3.pdf>

24

2.3.5.f A KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ – HASONLÓ KAPCSOLÁSOK JFET-TEL ÉS MOSFET-TEL

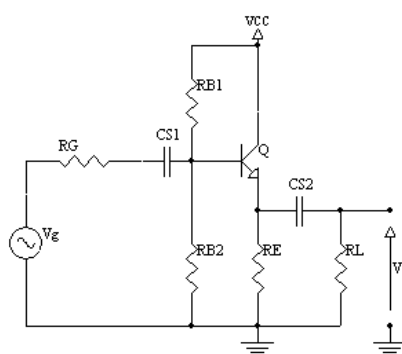
- Itt a source lesz a közös kivezetés – ekkor kapunk hasonló eredményeket.
- Különböző módokon kell megoldani ezeknek az alkatrészeknek az előfeszítését:
 - JFET (a),
 - beépített csatornás MOSFET (b),
 - indukált csatornás MOSFET (c).
- A feszültségerősítés hasonló szinten van. Mivel nincs gate áram, az áramerősítés és a bemeneti ellenállás nagyon nagyok.



25

2.3.6.a A KÖZÖS KOLLEKTORŰ ERŐSÍTŐ - FELÉPÍTÉS

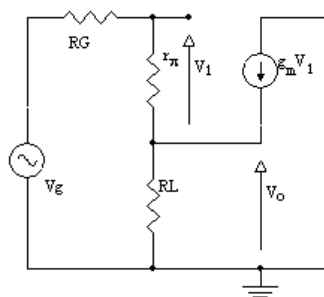
- Szintén a tranzisztoros logikai inverterből indulunk ki.
- Nem használunk kollektor-ellenállást.
- A kimeneti jelet az emitterről vesszük le.
- Nem minden esetben használunk csatoló kondenzátorokat – az emitterellenállás lehet maga a fogyasztó.



26

2.3.6.b A KÖZÖS KOLLEKTORÚ ERŐSÍTŐ – ELEMZÉS ÉS JELLEMZŐK

- Ugyanazok a lépések a modellezésnél, mint az előző kapcsolásnál.
- A kollektor lesz a közös kivezetés a modellezés végén.
- A várható eredmények:
 - $A_v \approx 1$,
 - $A_f = 10 \dots 100$,
 - $R_i = 10\text{k}\Omega \dots 100\text{k}\Omega$,
 - $R_o = 10\Omega \dots 100\Omega$.
- Elválasztó fokozatnak alkalmas.

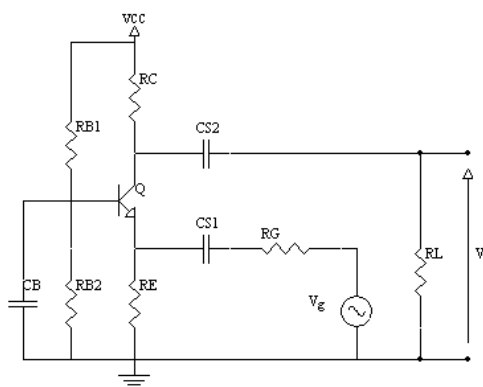


- Hasonló erősítők építhetők JFET-tel vagy MOSFET-tel (közös drain-ű erősítők).
- Ezeknél még nagyobb lesz a bemeneti ellenállás és az áramerősítés.

27

2.3.7.a A KÖZÖS BÁZISÚ ERŐSÍTŐ - FELÉPÍTÉS

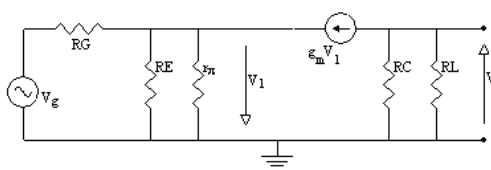
- Szintén a tranzisztoros logikai inverterből indulunk ki.
- A bemeneti jelet az emitterre vezetjük.
- A kimenetet a kollektorról vesszük le.



28

2.3.7.b A KÖZÖS BÁZISÚ KAPCSOLÁS – ELEMZÉS ÉS JELLEMZŐK

- Ugyanazok a lépések a modellezésnél, mint az előző kapcsolásnál.
- A bázis lesz a közös kivezetés a modellezés végén (C_B -nek köszönhetően).
- A várható eredmények:
 - $A_V = 10 \dots 100$,
 - $A_f \approx 1$,
 - $R_i = 10 \Omega \dots 100 \Omega$,
 - $R_o = 1 k\Omega \dots 10 k\Omega$.
- Hasonló erősítő építhető JFET-tel vagy MOSFET-tel.

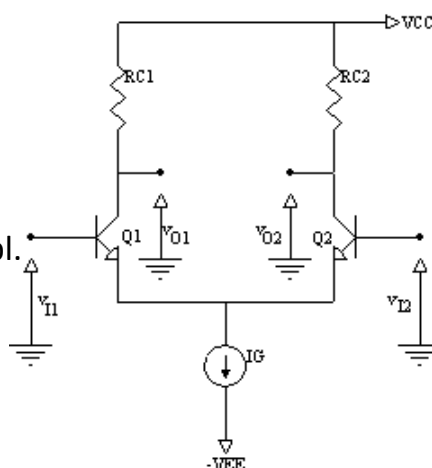


2.3.8.a A TRANZISZTOROS DIFFERENCIÁLERŐSÍTŐ - BEVEZETŐ

- Az egytranzisztoros erősítők általában nem csatolhatók közvetlenül sem egymás között sem a jelforrással, sem a terheléssel a nagy ofszet miatt.
- Sok esetben ez nem gond (pl. audiótechnika, rádiótechnika...).
- Más esetekben (pl. mérés technika, alacsonyfrekvenciás- és egyenfeszültségű jelek feldolgozása) az ofszetet ki kell küszöbölni és lehetővé kell tenni az erősítők közvetlen csatolását.
- A differenciálerősítő alkalmas ilyen felhasználásra.

2.3.8.b A TRANZISZTOROS DIFFERENCIÁLÉRŐSÍTŐ - FELÉPÍTÉS

- Két tranzisztorral és egy áramforrással építhető.
- Szimmetrikus kapcsolás, a tranzisztorok paraméterei is megközelítőleg azonosak.
- Két bemenet. Nem kötelező mindkettőt használni (egyik pl. leföldelhető). Rendszerint a két bázisfeszültség különbségét tekintjük a bemenő jelnek.
- Kimenetnek a kollektorfeszültségeket vagy azok különbségét tekinthetjük.

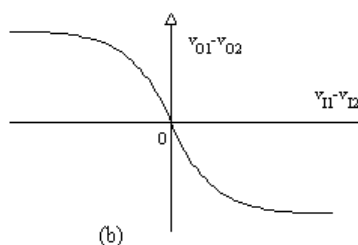
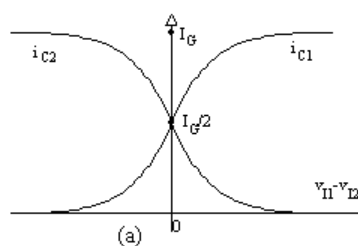


https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_amplifier

31

2.3.8.c A TRANZISZTOROS DIFFERENCIÁLÉRŐSÍTŐ - JELLEGGÖRBÉK

- Ha $v_{I1} = v_{I2}$ (a konkrét értékek széles tartományban változhatnak), az áramkör egyensúlyban van: a kollektoráramok egyenlőek, a kollektorok között nincs feszültségkülönbség.
- $v_{I1} - v_{I2} \neq 0$ esetén az egyensúly megbomlik. Az áramok összege továbbra is egyenlő az áramgenerátor áramával, de mind nagyobb különbség lesz közöttük (a).
- Feszültségkülönbség is jelentkezik a kimeneten (b).



32

2.3.8.d A TRANZISZTOROS DIFFERENCIÁLÉRŐSÍTŐ - ELEMZÉS

- A jelleggörbék központi része alkalmas erősítés megvalósítására (lineáris, meredek szakasz).
- A tranzisztorokat a hibrid- π modellel kell helyettesíteni.
- Kiszámíthatók az A_v , A_p , R_p , R_o paraméterek.
- Hasonló eredményeket kapunk, mint a közös emitterű fokozatnál.

33

2.3.8.e A TRANZISZTOROS DIFFERENCIÁLÉRŐSÍTŐ - JELLEMZŐK

- Kétféle feszültségerősítést szoktak definiálni:

- a különbségerősítés: $A_{vd} = \frac{v_{O2} - v_{O1}}{v_{I2} - v_{I1}},$

- a közös jelű erősítés: $A_{vc} = \frac{v_{O1} + v_{O2}}{v_{I1} + v_{I2}}.$

- Rendszerint $A_{vd} \gg 1$, $A_{vc} \ll 1$.
- A két érték aránya a CMRR – common mode rejection ratio – közös jel-elnyomás:

$$CMRR = \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \quad \text{vagy} \quad CMRR[dB] = 20 \log_{10} \frac{A_{vd}}{A_{vc}}.$$

- JFET és MOSFET is használható differenciálerősítő építésére.

34

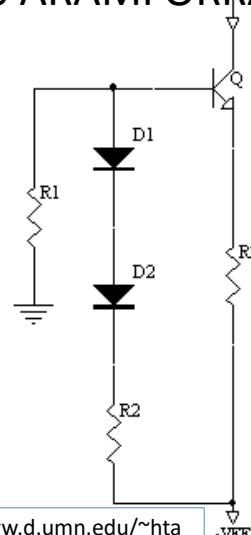
2.3.9.a ÁRAMFORRÁSOK, AKTÍV TERHELÉSEK, ÁRAMTÜKRÖK – BEVEZETŐ

- Tranzisztorok **előfeszítése feszültségforrásokkal és ellenállásokkal** – az egyszerű, diszkrét áramkörökben jellemző.
- **Áramforrások, aktív terhelések, áramtükrök** – analóg **integrált áramkörökben** ezekkel az eszközökkel végzik az előfeszítést – jobb eredményeket érnek el, jobban alkalmazkodik az integrálási lehetőségekhez.

35

2.3.9.b ÁRAMFORRÁSOK, AKTÍV TERHELÉSEK, ÁRAMTÜKRÖK – TRANZISZTOROS ÁRAMFORRÁS

- Az R_1 , D_1 , D_2 , R_2 osztó konstans feszültséget juttat a bázisra.
- Mivel $V_{BE} \approx \text{const.}$, az R_3 ellenállás feszültsége és árama is nagyjából állandó lesz.
- Mivel $\beta \gg 1$, $I_G = I_C \approx I_E$.
- A diódák a hőérzékenységet csökkentik.
- A tranzisztornak aktív üzemben kell működnie. Ennek feltétele, hogy $V_C > V_B$.
- Ellenkező irányú áramforrást PNP tranzisztorral és a tápfeszültség megfordításával kapunk.

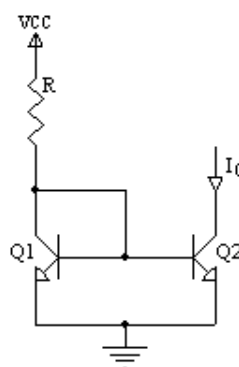


http://www.d.umn.edu/~htang/ECE5211_doc_files/ECE5211_files/Chapter3.pdf

36

2.3.9.c ÁRAMFORRÁSOK, AKTÍV TERHELÉSEK, ÁRAMTÜKRÖK – TRANZISZTOROS ÁRAMTÜKRÖR

- Az integrált technikában állandó áramú áramforrásnak jobban megfelel az áramtükrö.
- Q_1 kollektorárama állandó, ha V_{CC} és R állandó.
- Q_2 kollektorárama hasonló értékű lesz, mert megegyeznek a V_{BE} feszültségek.
- Diszkrét technikában ez a kapcsolás nem működik jól, mert eltérnek a bázis-emitter átmenetek hőmérsékletei.
- Q_2 -vel párhuzamosan kötve több másik tranzisztort (csak a bázisokat és az emittereket kötjük össze), több kimenetű áramforrást kaphatunk.
- Ellenkező irányú áramforrást itt is PNP tranzisztorokkal és a tápfeszültség megfordításával kapunk.

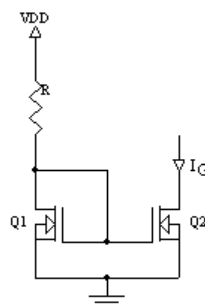
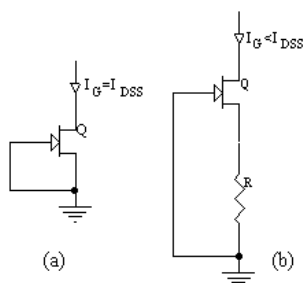


https://en.wikipedia.org/wiki/Current_mirror

37

2.3.9.d ÁRAMFORRÁSOK, AKTÍV TERHELÉSEK, ÁRAMTÜKRÖK – ÁRAMFORRÁSOK JFET-TEL ÉS MOSFET-TEL

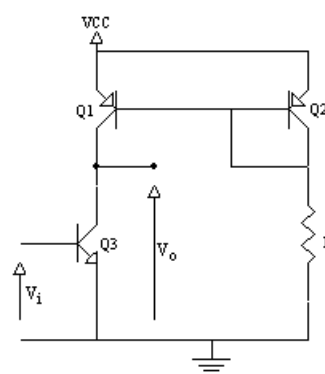
- Telítési tartományban a JFET drain árama nagyjából állandó. Ha $V_{GS}=0$, $I_D=I_{DSS}$ (a). Source ellenállással I_D szabályozható (b).
- A MOSFET-es áramtükröknél a V_{GS} feszültségek egyenlősége biztosítja a vezérlőáram és a kimenő áram megközelítő egyezését.



38

2.3.9.e ÁRAMFORRÁSOK, AKTÍV TERHELÉSEK, ÁRAMTÜKRÖK – KÖZÖS EMITTERŰ ERŐSÍTŐ ÁRAMTÜKÖR-TERHELÉSSEL

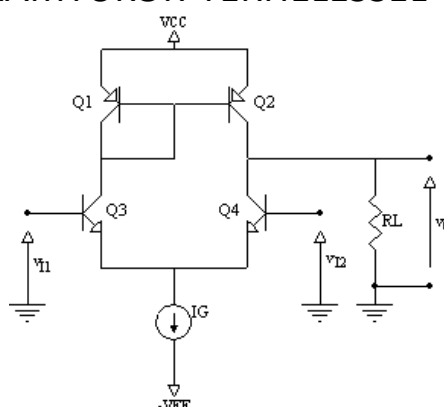
- Közös emitterű erősítő áramtükrös terheléssel (PNP kivitel).
- Az elérhető terhelési ellenállás itt több száz $k\Omega$.
- A fokozat feszültségerősítése egy-két nagyságrenddel is nagyobb lehet, mint a közönséges közös emitterű fokozaté (ellenállás terheléssel).



39

2.3.9.f ÁRAMFORRÁSOK, AKTÍV TERHELÉSEK, ÁRAMTÜKRÖK – DIFFERENCIÁL ERŐSÍTŐ ÁRAMTÜKÖR-TERHELÉSSEL

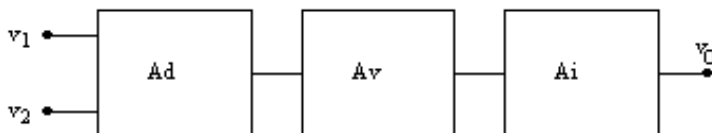
- Nem külön-külön áramforrásokkal terheltük az egyes kollektorokat.
- Q_1 kollektora az áramtükör vezérlőbemenetére csatlakozik, Q_2 kollektora pedig az áramtükör kimenetére.
- Az I_{C1} kollektoráram változása átképződik az áramtükör kimenetére és ott összeadódik az I_{C2} változásával.
- A kollektoráramok változásának a kétszerese jelenik meg a kimeneten (kétszeres erősítés).
- A kimenet nem differenciális formában adódik, hanem egy földpontra kötött fogyasztón (R_L) mérhető.



40

2.3.10.a A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI - TÖMBVÁZLAT

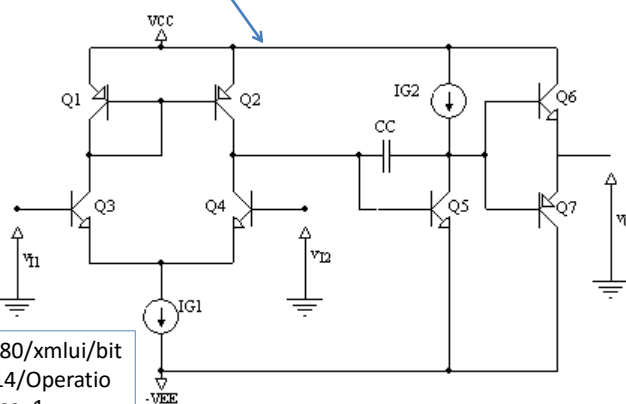
- Megközelítőleg ideális feszültségerősítőnek tekinthető.
- Ezt a viselkedést rendszerint három fokozat összekapcsolásával biztosítják:
 - differenciál erősítő a bemeneten,
 - feszültségerősítő a középső részben,
 - áramerősítő (elválasztó fokozat) a kimeneten.



41

2.3.10.b A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – ELVI RAJZ

- Bipoláris technikában megvalósított műveleti erősítő egyszerűsített kapcsolási rajza.
- JFET-tel és MOSFET-tel is építenek hasonló kapcsolásokat.
- Vannak hibrid megoldások is.



42

<http://repositorio.ub.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5914/Operational%20Amplifiers2.pdf?sequence=1>

2.3.10.c A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – JELLEMZŐ PARAMÉTER-ÉRTÉKEK

- Feszültségerősítés: $\sim 10^5 \dots 10^6$. Kisebb rész ered a bemeneti differenciálerősítőtől, nagyobbik rész a feszültségerősítőtől.
- Bemeneti ellenállás: $\sim G\Omega \dots T\Omega$. Egy közönséges differenciálerősítő bemeneti ellenállása kisebb. Ilyen nagy értéket különleges technikákkal érnek el (kis I_{G1} , nagy erősítésű tranzisztorok, bázisáram kompenzálás, JFET vagy MOSFET alkalmazása).
- A kimeneti ellenállás kis értékét közös kollektorú erősítő biztosítja.

43

2.3.10.d A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – TÁPLÁLÁS

- A műveleti erősítők nagy részét kétoldalas táplálásra tervezték, pl. $\pm 15V$ -ra.
- A bemeneti és a kimeneti jelek rendszerint csak ennél 1-2V-tal szűkebb tartományban mozoghatnak.
- A teljes tápfeszültség-tartomány hasznosítása csak CMOS kimeneti fokozattal elképzelhető (közös source-ú erősítővel).
- Vannak egyoldalas táplálásra tervezett erősítők (föld és V_{CC}).
- Ezeknél megoldják, hogy a bemeneti jel, legalább egyik irányban, egészen a tápfeszültségig, vagy azon kissé túl is változhat.
- Ez a lehetőség a hibaerősítők (gyakori alkalmazás) tervezését könnyíti meg.

44

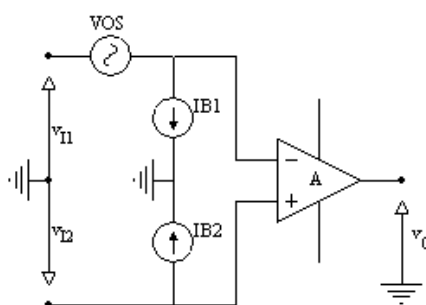
2.3.10.e A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – OFSZET

- Az átviteli jelleggörbe nem halad át pontosan a V_I - V_O koordináta rendszer kezdőpontján.
- A hasznos jel mellett szükséges lehet egy kis egyenfeszültség bekötése is, hogy a kimenet pontosan nullán legyen, amikor a jel nullán van. Ez a kis feszültség az ofszet (V_{os}).
- A jellemző ofszetfeszültség-érték $1-2mV$.
- Léteznek precíziós erősítők, amelyeknél az ofszetfeszültség $10 \mu V$ nagyságrendű.
- Ha nem teszünk semmit a bemeneti ofszet ellen, akkor a kimeneten eltolódás jelentkezik, rendszerint nagyobb, mint a bemeneti ofszet.

45

2.3.10.f A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – MODELL AZ OFSZET-KOMPENZÁLÁSHOZ

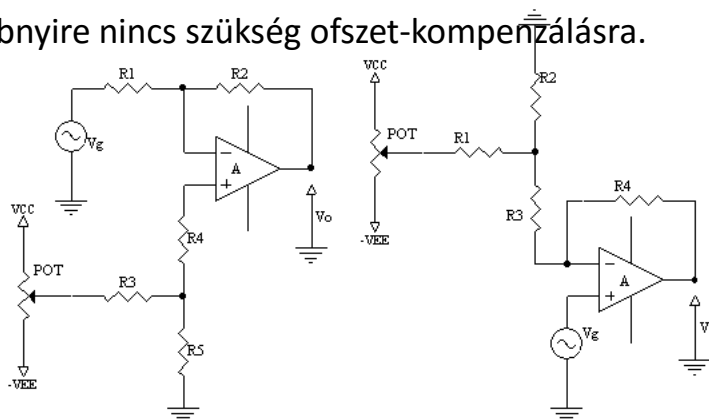
- Ha a műveleti erősítőnek külön kivezetései vannak az ofszet kompenzálására, a gyártói utasítás szerint kell végezni az ofszet kompenzálását.
- Gyakran egyidejűleg kompenzáljuk az ofszetfeszültség és a bemeneti áramok hatását.



<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-09/Edch%201%20op%20amps.pdf>

2.3.10.g A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – OFSZET-KOMPENZÁLÓ ÁRAMKÖRÖK

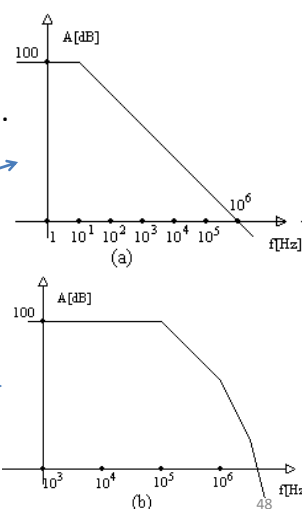
- Megfelelő feszültségosztóval kis egyenfeszültséget hozunk létre. Potencióméterrel állítjuk.
- Többnyire nincs szükség ofszet-kompenzálásra.



47

2.3.10.h A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – FREKVENCIAFÜGGÉS

- Csak alacsony frekvencián érvényes a rendkívül nagy erősítés.
- A frekvencia emelésével az erősítés fokozatosan csökken (rendszerint 20dB/dec).
- Az ok: a tranzisztorok parazita kapacitásai.
- Két kategória:
 - belső (gyári) frekvenciakompenzációval megépített műveleti erősítő – kapacitív visszacsatolás a feszültségerősítő fokozatra,
 - nem kompenzált erősítő.
- A belsőleg kompenzált erősítők a népszerűbbek: könnyebb az alkalmazásuk, nem szoktak beoszillálni.



2.3.10.i A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE ÉS VALÓS PARAMÉTEREI – SLEW RATE

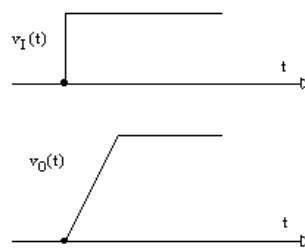
- A frekvencia-kompenzálás következtében a feszültségerősítő integráló fokozatként működik.

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{I_I}{C_C},$$

ahol:

- I_I - a feszültségerősítő bemeneti árama.
- C_C - a kompenzáló kondenzátor kapacitása.
- Mivel $|I_I| \leq |I_G|$, a kimeneti feszültségjel maximális változási sebessége:

$$\left(\frac{dv_o}{dt} \right)_{\max} = \frac{I_G}{C_C}.$$



49

Vége a 2.3. résznek

(AZ ERŐSÍTŐ ÁRAMKÖRÖK)

50