



Hegyesi László

Műveleti erősítők

NSZFI
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

Elektronikai áramkörök tervezése, dokumentálása

A követelménymodul száma: 0917-06 A tartomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-013-50

MŰVELETI ERŐSÍTŐK

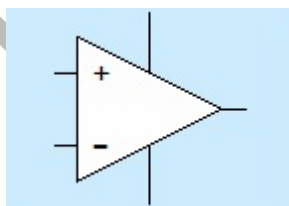
ESETFELVETÉS–MUNKAHELYZET

Munkahelyén gyakorlatra hallgatók érkeznek. Munkahelyi vezetőjétől azt a feladatot kapta, hogy ismertesse meg velük a későbbiekben alkalmazandó műveleti erősítőket, azok egyszerűbb alkalmazásait, alapkapsolásait.

MŰVELETI ERŐSÍTŐK JELÖLÉSE, FELÉPÍTÉSE, KIVITELE

1. A műveleti erősítők tulajdonságai:

Ön már az eddigi feladatai során a kapcsolási rajzok tanulmányozásakor minden bizonnyal találkozott ezzel a rajzszimbólummal:



1.ábra A műveleti erősítő rajzjele

A vizsgált kapcsolat esetén valószínűleg csatlakoztak még ehhez a rajzjelhez más áramköri elemek is. De mit is takar ez a rajzjel, milyen áramköri elemet jelölnek így?

Az áramkör, amelyet a fenti rajzzel jelölnek, a műveleti erősítő.

A műveleti erősítő is, mint minden erősítő áramkör teljesítményt erősít. (Ez megvalósulhat áram- vagy feszültségerősítéssel, az esetek egy részében mindkettővel egyszerre.) A műveleti erősítők működését és alkalmazását alapvetően a külső áramköri – visszacsatoló – elemek határozzák meg, azaz az dönti el az adott kapcsolat jellemzőit, hogy milyen külső elemeket és hogyan kapcsoltunk a műveleti erősítőkhöz.

A műveleti erősítők a kapcsolásokban csak rajzjelükkel szerepelnek, az adott kapcsolás szempontjából az, hogy milyen elemekből épül fel nem jelent lényeges információt a felhasználó számára.

A műveleti erősítők, mint áramköri elemek (alkatrészek) napjainkban integrált áramköri kivitelben kerülnek forgalomba. Az adott integrált áramkört egy kis (néhány mm² felületű) Si lapkán alakítják ki, ezzel a technológiával a félvezetőlapkán megvalósíthatók npn és pnp tranzisztorok, JFET-ek, MOSFET-ek, diódák, kis értékű kondenzátorok és ellenállások.

Talán kissé szokatlan ez az elnevezés. Miért hívnak egy erősítőt így? Nos a műveleti erősítők kezdeti felhasználásakor (az 1940-es évek közepén), ezen fogalom alatt olyan egyenfeszültségű (DC) erősítőt értettek, amelyek az analóg számítógépek működése során (a visszacsatoló elemek által) meghatározott műveleteket voltak képesek elvégezni: pl. összeadás, szorzást, integrálást. Napjainkra ezek a felhasználások már elvesztették ilyen formában a jelentőségüket, az elnevezés azonban maradt.

Ami a történelemből általában kimarad...

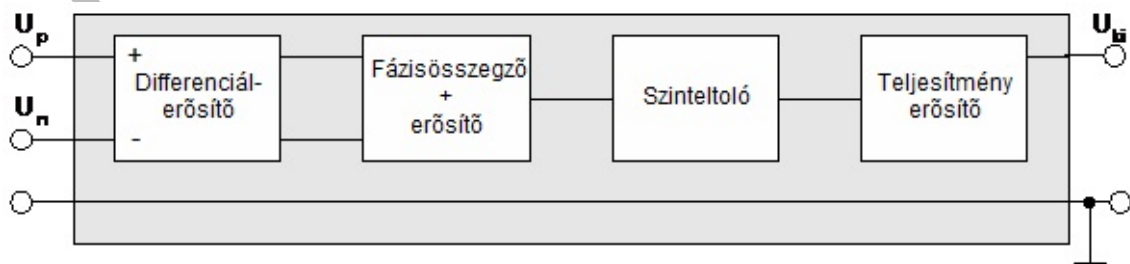
A technika a XX. században rohamosan fejlődött. A De Forest által 1906-ban feltalált háromelektrodás (elektron)cső tette lehetővé a (villamos) jelek erősítését és a feszültségszabályzást, ami az elektronika alapját képezi. A félvezető eszközök – tranzisztorok – az 1950-es években kerültek piacra. Kilby a Texas Instrumentnél 1958-ban kifejlesztette az első két integrált áramkört, amivel egy új korszak kezdődött az elektronikában. 1962-63-ban már megjelentek az első lineáris integrált áramkörök (a Fraichild μA 702, vagy a Texas SN521 típusszámú integrált áramkörei), de a tömeges felhasználás még jó néhány évig várat magára. Az 1980-as évek végére azonban már elképzelhetetlen korszerű eszköz – berendezés integrált áramkör (az adott felhasználás esetén műveleti erősítő) nélkül.

2. A műveleti erősítők felépítése

A műveleti erősítő egy nagy erősítéssel rendelkező differenciális bemenetű egyenfeszültségű erősítő, ahol a fokozatok közvetlen csatolásúak

Kéttelipes táplálást igényel, ami azt jelenti, hogy a vonatkoztatási ponthoz képest – általában – azonos nagyságú pozitív és negatív tápfeszültséget kell biztosítani a megfelelő energiaellátáshoz.

Mi is ezeknek a fokozatoknak a szerepe a működésben?



2.ábra A műveleti erősítő felépítése

Az erősítő bemeneti fokozata egy differenciál erősítő, amely biztosítja a nagy bemeneti ellenállást, és a szimmetrikus vezérelhetőséget. A két bemenet elnevezése invertáló- (- jel) és nem invertáló (+ jel) bement, amely arra utal, hogy a kimeneti- és a bemeneti jel milyen fázisviszonyban van egymással. (Az invertáló bemenet és a kimenet között 180° , a nem invertáló bemenet és a kimenet között 0° a fázistolás.)

A következő fokozat egy fázisösszegző és erősítő áramkör, amelynek szerepe, hogy a szimmetrikus (földfüggetlen) bemenetei feszültségváltozást aszimmetrikus (földfüggő) kimeneti feszültséggé alakítani.

Ezt követi egy szinteltoló fokozat (ebből esetenként több is lehet), amely egy olyan feszültséglépcsőt hoz létre, hogy a kimeneti pont feszültsége egy adott értékre (0V) – ra „álljon be”.

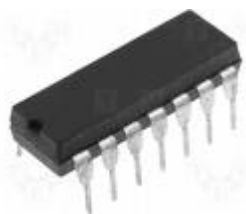
Az utolsó – kimeneti – fokozat egy teljesítményerősítő, amely a terhelés számára a bemeneti válaszjelre adott (a kapcsolástól függő) kimeneti jelet szolgáltatja. Feladata a kis kimeneti ellenállás mellett a nagy és – az ezek nagy többségében – szimmetrikus, kis torzítású kimeneti jel biztosítása.

3. . A műveleti erősítők kivitele:

Az előzőekben már volt szó róla, hogy ezek a műveleti erősítők szinte kivétel nélkül integrált kivitelűek, így megjelenésükben az itt használatos tokozásokkal lehet találkozni.

Régebben a hagyományos nyomtatott áramköri technológiához illeszkedő kétsoros tokozás forma a volt a leginkább alkalmazott kivitel, amelynek elnevezése az angol megfelelőből (dual – in line package) kialakított mozaikszó a DIP Itt az áramkör kivezetései két sorban, a tok síkjára merőlegesen helyezkednek el. Napjainkban egyre inkább elterjedt a felületszerelt technológiához kialakított SMD kivitel.

A leggyakoribb lábszámok: 8,14, esetleg 16, 18, 24, 28.



4.ábra DIL tokozás



5. ábra Mini_DIP kivitel

A DIP tokozásnál az egy sorban levő lábkivezetések közötti távolság 2,54mm (1 raszter), a két kivezetés – sor közötti távolság is szabványos érték, a fenti lábszámok esetén a leggyakrabban használt kivitel esetén 7,62mm (3 raszter).

A tok anyaga legtöbbször fekete színezésű műanyag, amelyre a műveleti erősítő típusát fehér festékekkel viszik fel a gyártás során. A műanyag kivitel az olcsó előállítási költségek miatt terjedt el. (Ha szigorúbb környezeti és klímaállósági követelményeknek kell megfelelnie az áramkörnek, akkor a tok anyagaként porcelánt alkalmaznak.)

Napjainkban egyre inkább elterjedtek a felületszerelt – SMD – technikához illeszkedő kivitelű integrált áramkörök, ahol az áramkör két oldalán, vagy a tokon körben helyezkednek el a kivezetések, amelyek egymástól való távolsága a miniatürizálástól függően csökkenhet is. (Az eddigi rasztértávolságtól – 2,54mm – eltérően annak felére, negyedére.)

Jogosan merülhet fel azonban a kérdés, hogy miért van szükség ennyi kivezetésre (8, 14, 16, 24, 28)? Hiszen a rajzjelen – azon a háromszögön – csak öt kivezetés volt.

Az egyik válasz , hogy egy tokon belül elhelyezkedhet egyszerre több műveleti erősítő is, így használva ki jobban a helyet olyan áramkörök esetén, ahol több erősítő áramkörre lenne szükség.

Mint az alábbi ábrán is látható egy tokon belül lehet egy, két , vagy négy műveleti erősítő is. Ilyenkor az adott áramkörök azonosak, és általában közös a tápfeszültség kivezetésük is.

És végül egy feladat:

Keressen fel egy könyvtárat, illetve egy internetes honlapot és másolja ki egy katalógus-kivonatból néhány műveleti erősítő katalóguslapját.

Javasolom, hogy a TL071 vagy μ A741 és az LM324 típusszámú műveleti erősítőket válassza. Az alábbi erősítők katalóguslapjait megvizsgálva jegyezze fel magának, hogy az eddig tanultak alapján miben különböznek egymástól ezek az áramkörök.

TL071 vagy μ A741; TL072 vagy TL082; TL074 vagy TL084; LM 324

4. Az integrált műveleti erősítők jellemzői:

Mostanra már Ön is megismerte az integrált műveleti erősítők rajzjelét, felismeri valószínűleg magát az alkatrészt egy nyomtatott áramkörü lapon. De a kiválasztáshoz, a felhasználáshoz, az esetleges javításokhoz, szervizeléshez szükség van még további információkra is.

A gyártók által megadott adatokat alkatrész-katalógusokban találhatjuk meg, amelyek leggyakrabban a következő jellemzőket tartalmazzák a műveleti erősítőkre vonatkozóan:

típusjelölés – ez utalhat a felhasználás lehetőségeire is esetenként. Általában a gyártótól független jellemző.

gyártó(k)

tokozás(ok) – milyen kivitelben készülnek. (Gondoljon az előző fejezetben megismertekre!)

általános jellemzés, felhasználás – milyen célokra használható fel az áramkör

tápfeszültségtartomány $-\pm U_t$, a szimmetrikus tápfeszültség minimális és maximális értéke

tápáramfelvétel – I_t , az energiaforrásból (tápegységből, telepből, stb.) felvett, a működéshez szükséges áram értéke vezérlés nélküli, terheletlen állapot esetén (Ez utóbbi két fogalom azt jelenti, hogy az áramkör kimeneti feszültsége nulla, és a kimeneti kapcsok között nincs terhelés.)

nyugalmi teljesítményfelvétel – P_o , az energiaforrásból felvett teljesítmény

maximális teljesítménydisszipáció – P_{Dmax} , vezérelt állapotban az áramkörön disszipálható (össz)teljesítmény

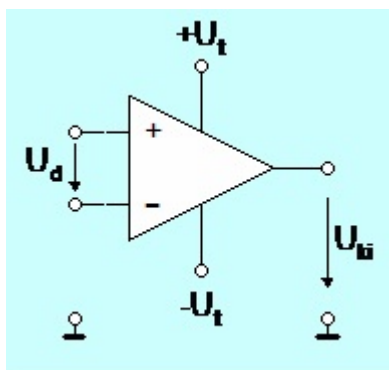
üzemi hőmérséklettartomány T_u – azon hőmérséklettartomány, amelyen belül a gyártó által megadott paraméterek garantáltak

bemeneti munkaponti áram (input bias current) – I_B , a bemeneti fokozat – differenciálerősítő – munkaponti bázisáramainak számtani közepe

bemeneti ellenállás (input inpedance) – R_i , a szimmetrikus bemeneti áram és feszültség hányadosa (lsd. négypolus jellemzők)

kimeneti ellenállás (output inpedance) – R_o , az üresjárási kimeneti feszültség és a rövidzárási kimeneti áram hányadosa (lsd. négypolus jellemzők)

feszültségerősítés – A_u ,nyílthurkú feszültségerősítés, ami az üresjárásban, szimmetrikus bemeneti jellel mért, visszacsatolás nélküli erősítés



6.ábra Nyílthurkú feszültség erősítés

közös módosú feszültség erősítés – A_{uk} , amikor mindkét bemenetet ugyan az a jel vezérli, közös módosú vezérlésről beszélünk, és az ilyenkor fellépő erősítés a közös módosú erősítés

közös módosú feszültség elnyomási tényező (CMRR) (common mode rejection ratio) – G , a nyílthurkú differenciális-, és a közös módosú erősítés hányadosa: G

bemeneti közösmódosú feszültségtartomány – $U_{k\ max}$, a közös módosú feszültség legnagyobb pozitív és negatív értéke

bemeneti differenciális feszültségtartomány – $U_{D\ max}$, az a maximális bemeneti feszültség érték, amit az erősítő még tartós károsodás nélkül elvisel

maximális kimeneti feszültség – $U_{O\ max}$, adott terhelés esetén a maximális kimeneti feszültség értéke

maximális kimeneti áram – $I_{O\ max}$, az a maximális áramérték, amivel az erősítő áramkört terhelni szabad

sávszélesség – f_o , az a frekvencia, ahol a nyílthurkú erősítés értéke 3dB-el lecsökken

az egységnyi erősítés határfrekvenciája – f_1 , az a frekvenciaérték, amelynél a nyílthurkú feszültség erősítés egységnyire csökken

maximális jelváltozási sebesség (slew – rate) – S , a kimeneti feszültség maximális jelváltozási sebessége

$$S = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta t} \left[\frac{V}{\mu s} \right]$$

Ebből a sokféle adatból az egyszerű felhasználó általában csak keveset használ

A műveleti erősítőkkel végzett számítások esetén használhatjuk az ideális műveleti erősítő modelljét, amelyet a gyártók a gyakorlatban egyre inkább igyekeznek megközelíteni

Az ideális műveleti erősítőt a következő adatok jellemzik:

nyílthurkú feszültségerősítés $A_u = \infty$

bemeneti ellenállás $R_{be} = \infty$

kimeneti ellenállás $R_{ki} = 0$

működési frekvenciatartomány $0\text{Hz} \leq f \leq \infty$

közös módusú elnyomás $G = \infty$

bemeneti áramok $I_p = I_n = 0$

Ezeket az értékeket a mai korszerű áramkörökkel – amelyeket valóságos műveleti erősítőknek – neveznek valóban jól meg is lehet közelíteni.

5. Miért is jó ez az eszköz nekünk?

Most van egy eszközünk, amelynek nagyon jó tulajdonságai vannak.

Végtelen nagy az erősítése, vagyis a bemenetére kerülő nagyon kis értékű jelet is felerősíti végtelen nagyra. Természetesen a kimeneti jel nagyságának mindenképpen korlátot fog szabni a tápfeszültség értéke.

Nagy a bemeneti ellenállása, ezért nem terheli az őt meghajtó fokozatot (a generátort). Ez a mai technológiák és felhasznált áramkörök esetén nem is igazán jelent gondot.

A kimeneti ellenállás kicsi, közel nulla. Nagyon jól meg tudja hajtani a következő fokozatot, hiszen ez a kimenet feszültséggenerátorként viselkedik.

Úgy is felfoghatjuk, hogy nem csak egy erősítőnk van, hanem egyben ezt az eszközt – ha szükséges – felhasználhatjuk "impedancia transzformátorként" is.

Egy dologgal vagyunk most még bajban, a frekvencia átvittel. Hiszen azt várnánk el az eszköztől, hogy az átvitele lineáris legyen a frekvenciatartományon belül, de mivel az eszköz egyenfeszültségű erősítő, ezért a frekvencia átvitelét visszacsatolás alkalmazásával tudjuk beállítani (bizonyos határon belül).

6. Hogyan használjuk ki az eszközünk tulajdonságait?

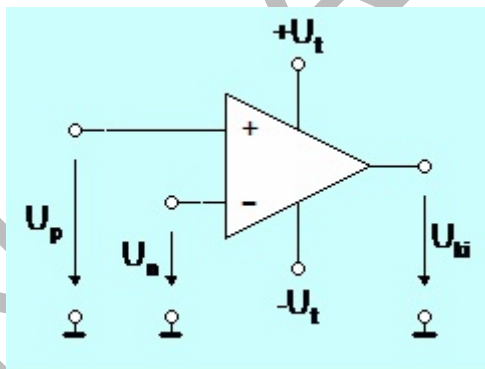
Az előző fejezetekben megismerhettük a műveleti erősítők jellemzőit, és azt, hogy miért előnyös felhasználásuk. De nyílthurkú erősítőként feszültségerősítésre (itt most a váltakozó jelek erősítése is értendő ez alatt) nem tudjuk felhasználni, hiszen a végtelen nagy erősítés miatt – a valós alkatrészeken ez általában: $A_u > 10^6$ nagyságrendű – a kimeneti jel torzul. Ez a jeltorzulás abból adódik, hogy a kimeneti feszültség nagyságát a tápfeszültség értéke korlátozza (kivezérelhetőség).

Ugyanakkor jól használható a nyílthurkú erősítő analóg feszültség szintek összehasonlítására, vagyis komparátor áramkörként.

A nagy erősítés következtében a komparátor kimenete minden esetben telítésbe vezérlődik, vagyis a kimeneti feszültség csak két értéket vesz fel, amely a tápfeszültség két szélső értékével egyezik meg. Az, hogy a kimeneti feszültség, melyik feszültségértékkel lesz megegyező a bemeneti feszültségek polaritásától, függ.

A fentiekből is látható, hogy egy nyílthurkú műveleti erősítő felhasználásával két jel (feszültség) közötti reláció meghatározható.

$U_{ki} = +U_t$, ha $U_p > U_n$



7.ábra Műveleti erősítővel kialakított komparátor áramkör

A komparátor áramköröket természetesen nem csak feszültségek összehasonlítására lehet felhasználni.

Ezek az áramkörök felhasználhatók:

- hiszterézises komparátorokként
- logikai kapuáramkörökben
- jelgenerátorként
- monostabil billenőkörként

Az összehasonlítás (komparálás) feladatára általában nem műveleti erősítőket használnak, hanem a gyártók elemkészletükben kifejlesztettek komparátor áramköröket. Kivitelükben és tulajdonságaikban általában megegyeznek a műveleti erősítőkkel, azonban egy lényeges jellemzőjükben eltérnek egymástól, ez pedig a jelváltozási sebesség, a slew – rate.

A komparátorok jelváltozási sebessége jóval nagyobb mint a műveleti erősítőké, ugyanakkor erősítésük általában kisebb. A többi jellemzőjükben nem számottevő az eltérés.

Általában: műveleti erősítőt felhasználhatunk komparátorként, visszafelé ez általában nem igaz.

7. A visszacsatolás hatása a műveleti erősítőkre

A nyílthurkú műveleti erősítő mint láthattuk, nem alkalmas feszültségerősítésre, mert a túl nagy erősítés miatt a kimeneti feszültség csak két értéket vehet fel. Ahhoz, hogy feszültségerősítésre tudjuk használni, visszacsatolást kell alkalmazni.

Visszacsatolásról beszélhetünk akkor, ha a vezérlőjelet nem csak a bementi jel, hanem ennek és a kimenetről a bemenetre teljesen vagy részben visszavezetett kimeneti jel összege adja.

A visszacsatolás általában egy külső visszacsatoló hálózat segítségével valósítható meg, amely a visszacsatoló elemek tulajdonságai alapján lehet:

- lineáris
- nemlineáris
- frekvenciafüggetlen
- frekvenciafüggő visszacsatolás.

Ha a kimeneti jel – illetve ennek egy része – a bemeneti jelhez

- hozzáadódik pozitív –,
- ha kivonódik negatív visszacsatolásról beszélhetünk.

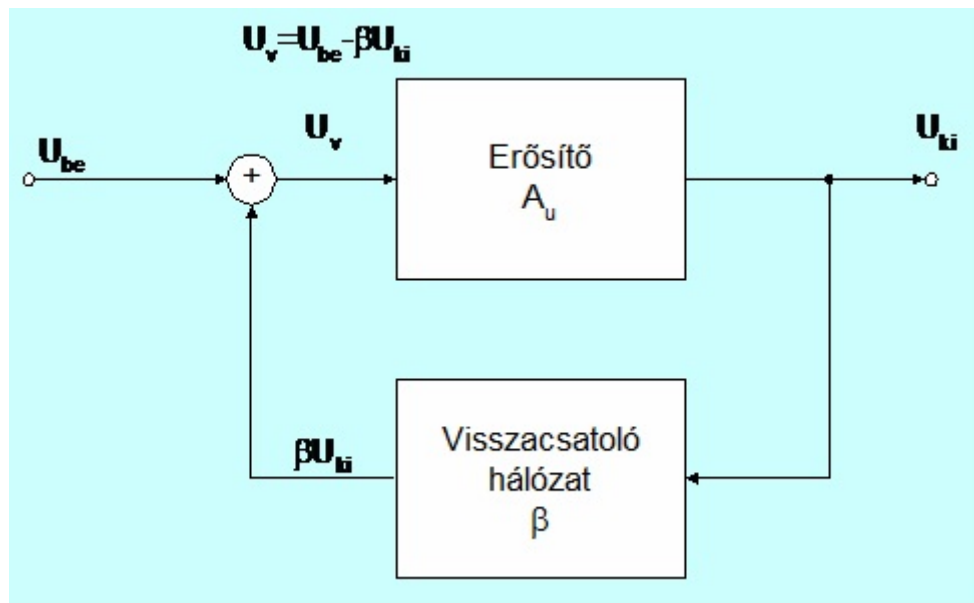
Erősítő kapcsolások esetén csak a negatív visszacsatolásnak van jelentősége.

Az ismeretei felelevenítésére röviden foglaljuk össze, azokat a legfontosabb jellemzőket, amelyekre az alkalmazandó negatív visszacsatolás hatással van.

Ezek a jellemzők:

- az erősítés (visszacsatolt) A_{uv}
- a bemeneti ellenállás r_{bev}
- a kimeneti ellenállás r_{kiv}
- a sávszélesség B – átviteli karakterisztika

A visszacsatolás vizsgálatához használjuk a következő tömbvázlatot:



8.ábra Visszacsatolás

A használt jelölések:

U_{be} – bemeneti feszültség

U_{ki} – kimeneti feszültség

U_v – vezérlő feszültség

β – visszacsatolási tényező

A_u – a visszacsatolás nélküli erősítő erősítése

A_{uv} – a visszacsatolt erősítő erősítése

Az erősítő áramkört – ami esetünkben a műveleti erősítő – az U_v feszültség vezérli. Ez a feszültség kerül felerősítve A_u – szorozva a kimenetre.

A kimeneti feszültség értéke:

$$U_{ki} = A_u \cdot U_v = A_u \cdot (U_{be} - \beta \cdot U_{ki})$$

A visszacsatolt erősítő erősítése a fenti összefüggés alapján:

$$A_{uv} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{A_u}{1 + \beta A_u}$$

Mivel az esetek nagy részében feltételezhető, hogy $\beta \cdot A_u \gg 1$, ezért a fenti összefüggés a következő közelítéssel is megadható:

$$A_{uv} = \frac{1}{\beta}$$

Az fentiek alapján megállapítható, hogy a kapcsolás erősítését csak a külső visszacsatoló hálózat határozza meg, és nagysága nem függ a műveleti erősítőtől.

A visszacsatoló hálózatot egy adat jellemzi a leggyakrabban, a visszacsatolási tényező (β). Ez a visszacsatoló hálózat átviteli függvényének tekinthető (amely tulajdonképpen szintén erősítést határoz meg). Értéke passzív visszacsatoló elemek esetén $\beta \leq 1$.

A legegyszerűbb visszacsatoló hálózat egy feszültségosztó lehet. Az osztó állhat frekvenciafüggő, illetve frekvencia független elemekből is.

Ebben az esetben a kapcsolás lineáris erősítő kapcsolásként viselkedik, mert erősítését kizárólag a visszacsatoló hálózat, illetve annak elemei határozzák meg.

A feszültségerősítés a negatív visszacsatolás következményeként – mint az előzőekben is láthattuk – a nyílthurkú erősítéshez képest lecsökken. Nagysága csak a külső visszacsatoló elemektől függ, nagyon jól „kézben tartható”.

A visszacsatoló elem meghatározza a kapcsolás jellemzőit...

Már a bevezetőben szó volt arról, hogy az eszköz elnevezése is arra utal, hogy milyen műveletet képes elvégezni. Ez, mint az előzőekben láthattuk, csak a visszacsatoló hálózattól, illetve a visszacsatoló hálózatban alkalmazott elemektől függ.

A műveleti erősítőket így az elektronika minden területén fel lehet használni, esetenként kiegészítő áramkörök alkalmazásával. Megtalálhatjuk ezeket az áramköri elemeket egyenáramú hálózatokban, erősítőkben, jelformáló áramkörökben, analóg és impulzustechnikai alkalmazásokban. Felhasználható jelek összehasonlítására (már volt szó a komparátorokról), és az összehasonlítás eredményét felhasználó beavatkozó, szabályzó áramkörökben is alkalmazzák.

Az alkalmazott negatív visszacsatolás hatása az erősítőjellemzőkre:

A bemeneti ellenállást

a soros negatív visszacsatolás növeli,

a párhuzamos visszacsatolás csökkenti.

A kimeneti ellenállást

a negatív feszültség-visszacsatolás csökkenti,

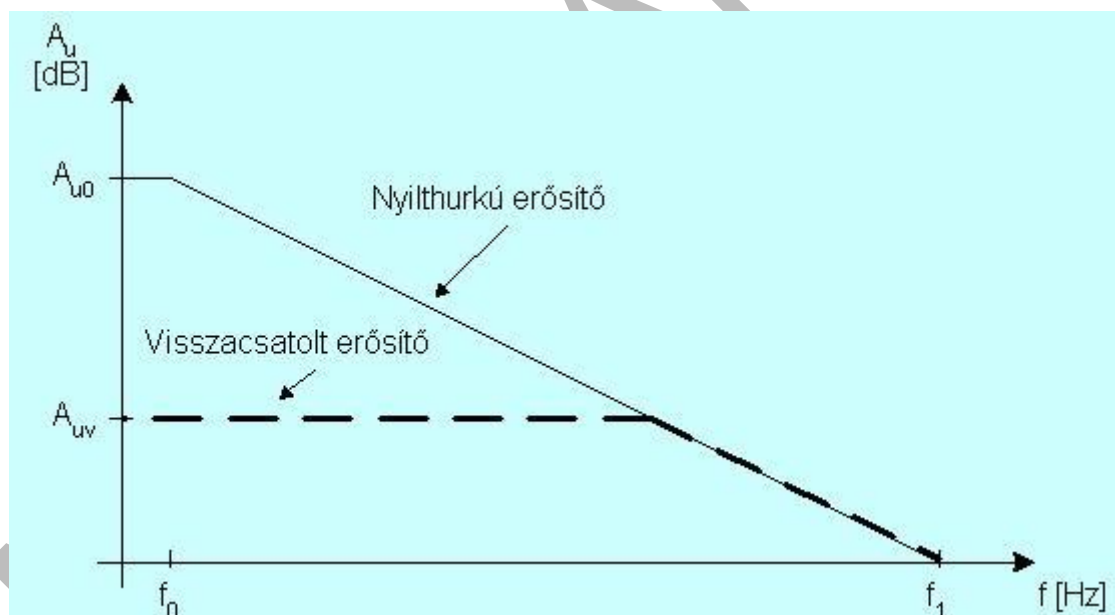
a negatív áram-visszacsatolás növeli.

Az átviteli karakterisztika – a sávszélesség megváltozása

Az előzőekben már megállapítottuk, hogy a műveleti erősítők nagy erősítéssel rendelkező egyenfeszültségű erősítő. Ez azt is jelenti hogy a működési frekvenciatartomány – a sávszélesség – igen kicsi.

Ha negatív visszacsatolást alkalmazunk, a visszacsatolt erősítő sávszélessége megnövekszik, bár ezért az erősítés csökkenésével „fizetünk”.

A negatív visszacsatolás hatására az erősítő átviteli karakterisztikája az ábrán látható módon alakul.



9.ábra Átviteli karakterisztika

Bizonyos esetekben az adott kapcsolásokban és erősítő típusoknál alkalmazható (illetve alkalmazott) még a frekvenciakompenzálás módszere is, amelynek megvalósítási lehetőségét a gyártók a katalógusokban ismertetik.

8. Műveleti erősítő alapkapsolások:

Ebben a fejezetben áttekintjük a legfontosabb műveleti erősítő alapkapsolásokat, amelyek aztán az összetettebb hálózatok „építőelemei” lehetnek.

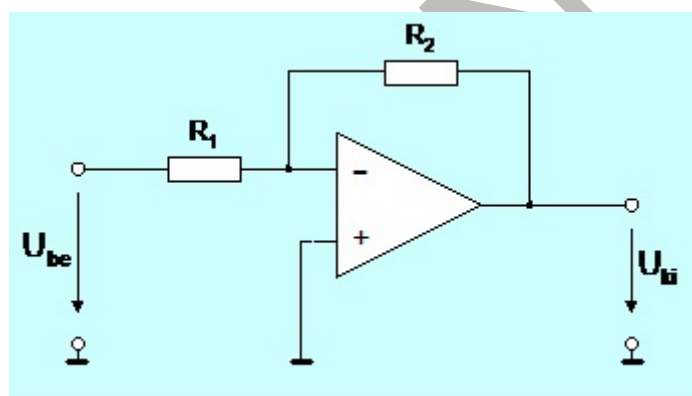
A kapsolás jellemzőinek meghatározásánál feltételezhetjük, hogy a napjainkban használatos erősítő áramkörök paraméterei nagyon jól megközelítik az ideális eszközt.

A műveleti erősítővel felépített erősítő alapkapsolások kétféle visszacsatolási móddal valósíthatók meg alapvetően.

8.1. Invertáló (fázisfordító) erősítő:

Az invertáló erősítő egy soros ellenállással kiegészített párhuzamos – feszültség–visszacsatolással kialakított hálózat.

Az invertáló elnevezés arra utal, hogy a kimeneti és a bemeneti feszültség ellentétes fázisú ($\rho = 180^\circ$).



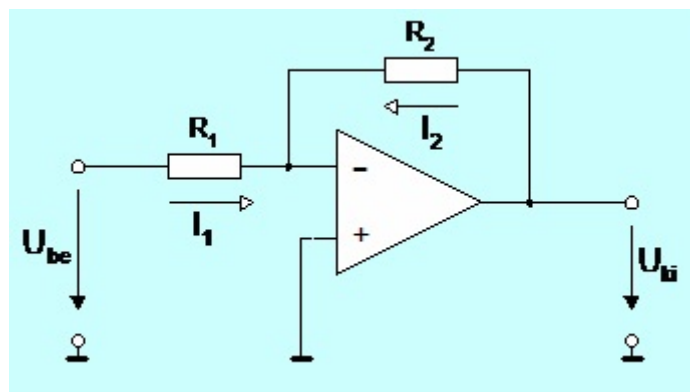
10.ábra Invertáló alapkapsolás

A kapsolási rajzon – mint általában – a tápfeszültség kivezetései nem lettek feltüntetve, mert a működés megértéséhez nem szükséges, és a rajzot nehezebben áttekinthetővé teszi.

A visszacsatolás során a műveleti erősítő bemenetére párhuzamosan a kimeneti feszültséggel arányos áramot csatolunk vissza. Ez az áram összegződik az R_1 – es ellenálláson folyó (bemeneti) árammal.

A két áramösszegző pontja az invertáló bemenet. Ez a pont ideális műveleti erősítő esetén végtelen ellenállásúnak tekinthető, így erre áram nem folyik. A csomópontra felírható (csomóponti) egyenlet alapján a két ellenálláson átfolyó áram összege 0.

Berajzolva kapsolási rajzba az áramokat, a csomóponti egyenlet:



11. ábra Invertáló alapkapsolás jellemzőinek meghatározása

$$I_1 + I_2 = 0$$

$$\frac{U_{be}}{R_1} + \frac{U_{ki}}{R_2} = 0$$

átrendezve az egyenletet kifejezhetjük A_{uv} -t

A kapcsolás feszültségerősítése:

$$A_{uv} = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

A kapcsolás bemeneti ellenállása:

Ha feltételezzük, hogy az erősítő bemeneti ellenállása végtelen nagy, és a bemenetén nem folyik áram,

$$R_{bev} = R_1$$

A kapcsolás kimeneti ellenállása:

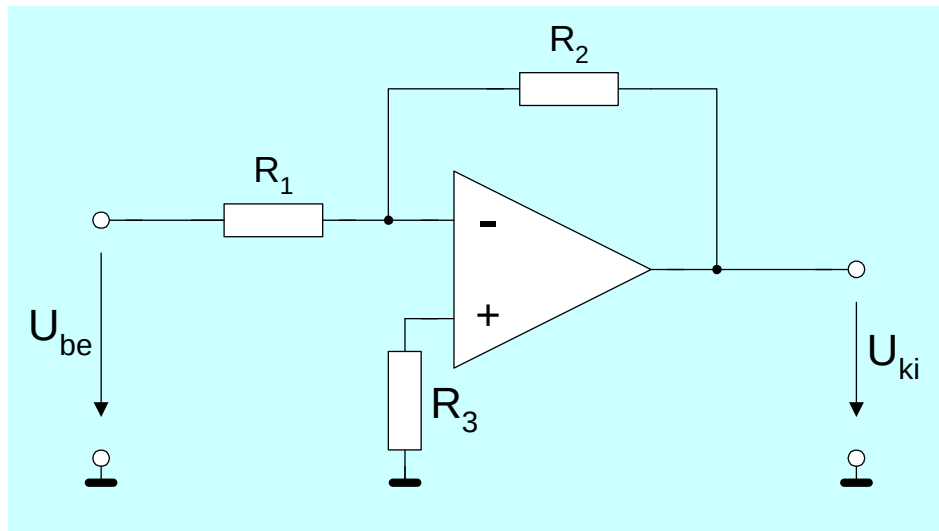
A negatív visszacsatolás hatására a kimeneti ellenállás lecsökken. (Érdemes elgondolkodni azon azonban, hogy az ideális műveleti erősítő kimeneti ellenállása 0...)

$$R_{kiv} = R_{ki} \cdot \frac{A_{uv}}{A_{u0}}$$

A bemeneti nyugalmi áram biztosítása:

A bemeneti nyugalmi áram hatása megszüntethető, ha a műveleti erősítő mindkét bemenetére ugyan olyan értékű ellenállás csatlakozik.

Ezért a kapcsolást kiegészítjük még egy ellenállással, amelynek értéke (maradva) az eddig használt jelöléseknél:



12.ábra A kompenzáló ellenállás alkalmazása

$$R_3 = R_1 \times R_2$$

Példa:

A feladat:

Az fenti ábrán (12.ábra) egy invertáló erősítő kapcsolás látható.

Határozzuk meg:

a feszültségerősítés nagyságát

a ki és bemeneti feszültség fázisviszonyát

a fokozat bemeneti ellenállását

és az R₃-as ellenállás értékét!

Az adatok: R₁=10kΩ

R₂=120kΩ

A megoldás:

Az invertáló (fázisfordító) erősítő erősítése:

$$A_u = -\frac{U_{ki}}{U_{be}}, \text{ vagyis az értékeket behelyettesítve:}$$

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{120\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = -12$$

Mivel az erősítő fázist fordít, vagyis U_{ki} ellentétes fázisú, mint U_{be} , ezért a kapcsolás fázisforgatása $\rho = 180^\circ$.

A fokozat bemeneti ellenállása:

$$R_{be} = R_1,$$

behelyettesítve az R_1 ellenállás értékét:

$$R_{be} = 10\text{k}\Omega$$

Az R_3 -as ellenállás a bemeneti nyugalmi munkaponti áram beállítását szolgálja, és értéke az $U_{ki} = 0$ feltételből következik:

$$R_3 = R_1 \times R_2$$

Az értékeket behelyettesítve:

$$R_3 = 10\text{k}\Omega \times 120\text{k}\Omega = 9,23\text{k}\Omega$$

Általában egy invertáló erősítővel kapcsolatos számításánál a felhasználónak nincs több feladata. Egy kissé többet akkor kell számolni majd, ha a kapcsolást váltakozó áramú erősítőként kerül felhasználásra – természetesen a megfelelő kiegészítésekkel.

8.2. Nem invertáló (fázist nem fordító) erősítő:

A nem invertáló erősítő egy soros feszültség-visszacsatolással kialakított hálózat.

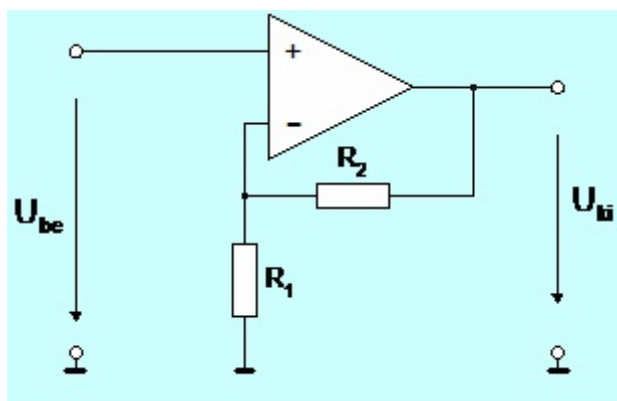
A nem invertáló elnevezés arra utal, hogy a kimeneti és a bemeneti feszültség azonos fázisú ($\rho = 0^\circ$).

A kapcsolatban a kimeneti feszültséggel arányos feszültséget csatolunk vissza sorosan a bemenetre. A visszacsatolt feszültség a bemeneti feszültséggel megegyező fázisú, ezért annak hatását csökkenti.

A visszacsatoló hálózat egy ellenállásokból (R_1 , R_2) álló feszültségosztó.

A visszacsatoló hálózat mint azt már megállapítottuk most egy feszültségosztó, amelynek átviteli függvényét meg tudjuk határozni:

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



13.ábra Nem invertáló alapkapcsolás

Felhasználva az előzőekben tett megállapításunkat, amely a visszacsatolt műveleti erősítő erősítésére vonatkozott:

$$A_u = \frac{1}{\beta}$$

A kapcsolás feszültségerősítése:

$$A_{uv} = \frac{1}{\beta} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

A kapcsolás bemeneti ellenállása:

A bemenet most közvetlenül a nem invertáló bemenetre csatlakozik. Ha feltételezzük, hogy az erősítő bemeneti ellenállása végtelen nagy, és a bemenetén nem folyik áram,

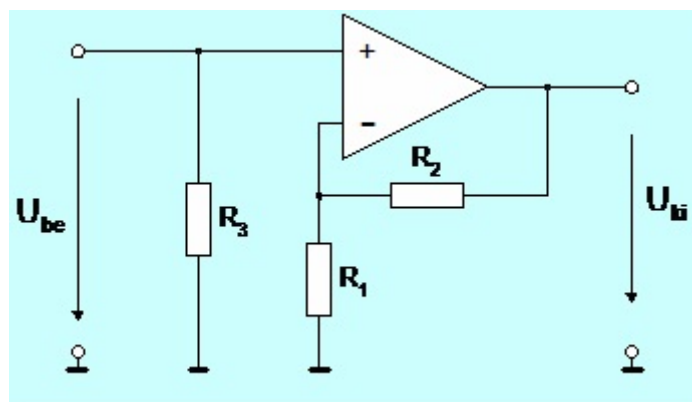
$$R_{bev} = \infty$$

A kapcsolás kimeneti ellenállása:

A negatív visszacsatolás hatására a kimeneti ellenállás lecsökken.

$$R_{kiv} = R_{ki} \cdot \frac{A_{uv}}{A_{u0}}$$

Ennél a kapcsolásnál is gondoskodnunk a munkapont beállításról. A bemeneti nyugalmi áram beállítása itt is egy ellenállás segítségével történik, a célja ugyan az, mint az invertáló kapcsolásnál..



14. ábra Bemeneti áram kompenzálása

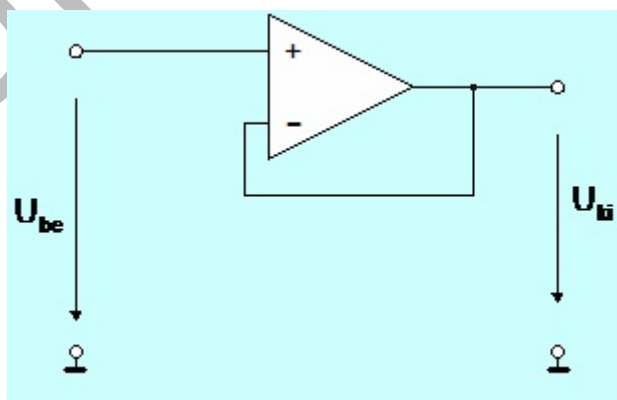
Az R3 - as ellenállás biztosítja azt, hogy a nyugalmi áram ugyan akkora feszültséget ejtsen mindkét bemeneten. Nagysága:

$$R_3 = R_1 \times R_2$$

Azzal azonban, hogy ezt az ellenállást a munkapontbeállítás miatt a kapcsolásban elhelyeztük, a fokozat bemeneti ellenállása megváltozott, hiszen a bemeneti feszültség most ezen az ellenálláson fog esni. Ezért :

$$R_{be} = R_3$$

8.3 Feszültségkövető kapcsolás:



15. ábra Követő erősítő

Talán a kapcsolás nem is „érdemelve” külön alfejezetet, hiszen ez a nem invertáló erősítő speciális esete.

Most –a nem invertáló erősítőnél használt jelölésekkel – $R_2 = 0$, és $R_1 = \infty$. Vagyis a kapcsolás feszültségerősítése egységnyi.

$$A_{uv} = 1$$

A fokozat bemeneti ellenállása:

$$R_{be} = \infty$$

A kimeneti ellenállása elenyészően kicsinek tekinthető (lsd. a nem invertáló erősítő kimeneti ellenállása).

A feszültségkövető kapcsolást elválasztó – illesztő fokozatként szokták felhasználni, hiszen a bemeneti jelet nagy impedanciával fogadja, a kimenetén a bemeneti jel kis impedancián jelenik meg (impedancia illesztés).

TANULÁSI RÁNYÍTÓ

A témakörhöz tartozó ismeretek gyakorlati alkalmazásához szükség az alábbi készségek fejlesztése:

Írott szakmai szöveg megértése

A témakörhöz tartozó ismeretek gyakorlati alkalmazásához szükség az alábbi személyes (Sze), társas (Tá), módszer (Mó) kompetenciák fejlesztéséhez:

Gyakorlatias feladatértelmezés (Mó)

Javasolt tanulói tevékenységforma az ismeretek feldolgozásához:

Az írott szakmai szöveg feldolgozása után az önellenőrző kérdések megválaszolása, a feladatok megoldása, internetről katalóguslapok letöltése.

FELADATOK:

Az útmutató alapos tanulmányozása után válaszoljon az alábbi kérdésekre!

1. Jellemezze az ideális műveleti erősítő (nyílthurkú) feszültségerősítését és bemeneti ellenállását!
2. Milyen fokozatokból épül fel a műveleti erősítő?
3. Melyek a műveleti erősítő legfontosabb jellemzői?
4. Mi korlátozza a műveleti erősítő kivezérelhetőségét?
5. Mire használható visszacsatolás nélkül a műveleti erősítő?
6. Milyen visszacsatolásokat különböztethetünk meg?

7. Rajzolja meg a műveleti erősítők negatív visszacsatolással megvalósított alapkapcsolásait, és határozza meg a feszültségerősítés értékét a kapcsolásoknál!
8. Hogyan változik meg a műveleti erősítő átviteli karakterisztikája a negatív visszacsatolás hatására?
9. A követő erősítő melyik visszacsatolási lehetőség speciális esete? Miért? Milyen célokra használható fel ez a kapcsolás?

MUNKANYAG

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Végezze el az ideális műveleti erősítővel felépített nem invertáló erősítő kapcsolás esetén a következő feladatokat:

- Készítse el a kapcsolási rajzot! (A kapcsolás tartalmazza a nyugalmi munkaponti áram beállítására szolgáló kompenzáló ellenállást is.
- Határozza meg a kapcsolás ellenállásainak (R_1 , R_2 , R_3) értékét!
- Milyen nagyságú jel jelenik meg a kimeneten?

Adatok: $A_{uv} = 50$, $R_{be} = 20\text{k}\Omega$, $U_{be} = 30\text{mV}$

A kapcsolás tartalmazza a nyugalmi munkaponti áram beállítására szolgáló kompenzáló ellenállást is.

$R_1 =$ _____

$R_2 =$ _____

$R_3 =$ _____

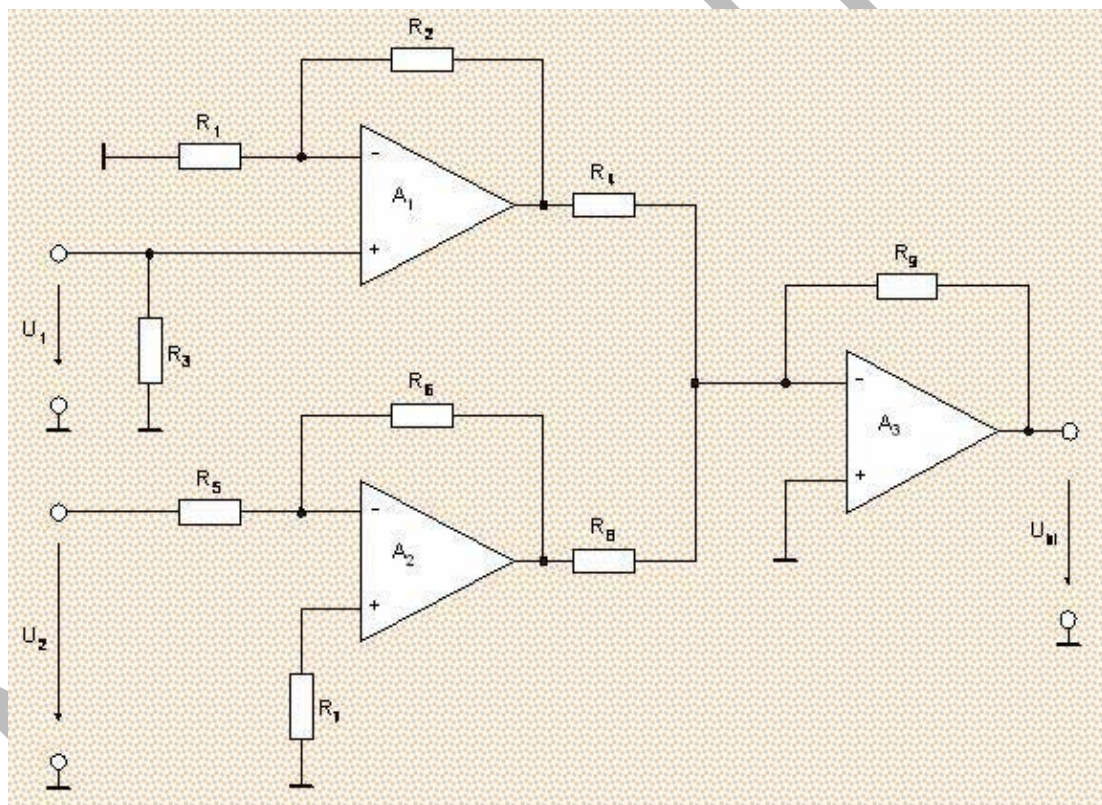
$U_{ki} =$ _____

2. feladat

Próbáljon meg felsorolni az eddigi tapasztalatai alapján néhány esetet, amikor „jól jött volna” egy követő erősítő, mint impedancia – illesztő fokozat!

3. feladat

Milyen alapkioscsolások szerepelnek az alábbi ábrán?



Az A_1 erősítővel felépített kapcsolás: _____

Az A_2 erősítővel felépített kapcsolás: _____

Az A_3 erősítővel felépített kapcsolás: _____

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A kapcsolás rajza megegyezik a .ábrával

$$R1 = 20\text{k}\Omega$$

$$R2 = 980\text{k}\Omega$$

$$R3 \approx 20\text{k}\Omega$$

$$U_{ki} = 1,5\text{V}$$

2. feladat

- Bemeneti fokozatként előerősítő kapcsolásokban
- Ideális feszültséggenerátor modellezésére
- Impedancia illesztő fokozatként
- Kimeneti meghajtó fokozatként analóg áramkörök esetén

3. feladat

A1 - nem invertáló erősítő

A2 - invertáló erősítő

A3 - fázisfordító összegző erősítő

IRODALOMJEGYZÉK

AJÁNLOTT IRODALOM

- U. Tietze –Ch. Scenk: Analóg és digitális áramkörök

Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.

- Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök

Generál Press Kiadó, Budapest

MUNKANYAG

A(z) 0917-06 modul 013-as szakmai tankönyvi tartalomeleme
felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 523 01 0000 00 00	Elektronikai technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
20 óra

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1–2008–0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210–1065, Fax: (1) 210–1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató