

**BUDAPESTI MŰSZAKI FŐISKOLA
KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI FŐISKOLAI KAR
AUTOMATIKA INTÉZET**

Dr. Iváncsyné Csepesz Erzsébet

ELEKTRONIKA

Analóg jelek erősítésének alapfogalmai. Lineáris erősítők.

BUDAPEST, 2002.

1. ANALÓG JELEK ERŐSÍTÉSÉNEK ALAPFOGALMAI

Az erősítők olyan elektronikus áramkörök, amelyek a fogyasztó felé nagyobb teljesítményt képesek leadni, mint amekkorát a meghajtó hálózattól felvesznek. Az erősítők nem energiatermelők, működtetésükhöz tápegységre van szükség. A kimeneten a bemenetihez viszonyított többleteljesítményt a tápegység teljesítményéből alakítják át. A teljesítmény átalakításhoz aktív vezérelt generátor jellegű alkatrészt kell alkalmazni, mint pl. bipoláris tranzisztor, térvezérlésű tranzisztor, stb.

Az erősítők lineáris négyfoglusként tekinthetők, amelyek a bemenet felől passzív elemekkel, a kimeneti oldalon pedig az aktív alkatrész miatt feszültség, vagy áram generátorral helyettesíthetők.

1.1. AZ ERŐSÍTŐK OSZTÁLYOZÁSA

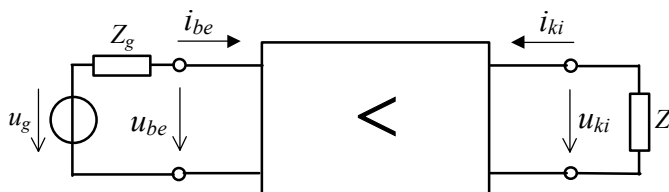
Az erősítőket többféle szempont szerint lehet csoportosítani. Az egyik lehetséges csoportosítás az alábbi:

- a) Kivezérlés szerint:
 - kisjelű vagy lineáris erősítők,
 - nagyjelű vagy teljesítményerősítők.
- b) Felépítés szerint:
 - aszimmetrikus erősítők,
 - szimmetrikus erősítők.
- c) Működési frekvenciatartomány szerint:
 - váltakozófeszültségű (AC) erősítők,
 - egyenfeszültségű (DC) erősítők.

Az erősítők mindig adott lezárásokkal működnek. A lezárás az erősítő kapcsaira csatlakozó hálózat. A bemeneti oldal lezárása a meghajtó hálózat, a jelforrás vagy generátor. Ez a lezárás mindig aktív. A kimeneti oldal lezárása a terhelés, a fogyasztó, ez a lezárás általában passzív.

1.2. ERŐSÍTŐJELLEMZŐK

Az erősítők jellemzésére az üzemi erősítőjellelmzők alkalmazhatók. Az üzemi körülményeket a lezárások, vagyis az u_g feszültségű és Z_g impedanciájú jelforrás és a Z_t impedanciájú terhelés jelenti.



1.1. ábra. Az erősítő lezárásai.

Bemeneti impedancia az erősítő bemenetét jellemző impedancia, amely ugyanakkora teljesítményt vesz fel a jelforrásból, mint az erősítő, Z_t terhelő impedancia mellett.

$$Z_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} [\Omega] \quad (1.1)$$

A bemeneti impedancia értékének nagynak kell lennie, hogy ne terhelje a meghajtó áramkört: $Z_{be} \gg Z_g$.

Kimeneti impedancia az erősítő kimenetét helyettesítő aktív, vezérelt generátor belső impedanciája.

$$Z_{ki} = -\frac{u_{ki\ddot{u}}}{i_{kir}} [\Omega] \quad (1.2)$$

$u_{ki\ddot{u}}$: az erősítő kimeneti kapcsainak üresjárási feszültsége, ilyenkor a Z_t terhelő impedancia végtelen nagy,

i_{kir} : az erősítő kimenetének rövidzárási árama, ilyenkor a Z_t terhelő impedancia nulla.

A negatív előjel a felvett mérőirányok miatt szükséges.

A kimeneti impedancia definíciója nem alkalmas Z_{ki} mérésére, mivel az erősítők kimenete többnyire feszültséggenerátoros jellegű, amely a rövidzáráskor károsodik. Ha az erősítő kimenete nem terhelhető szélsőségesen, akkor két különböző, ismert nagyságú terhelésnél, változatlan bemeneti vezérlés mellett végzett kimeneti feszültség, vagy áram méréssel lehet a kimeneti impedanciát meghatározni.

A terhelésen az erősítőnek legtöbbször feszültséget kell biztosítani, ezért a kimeneti impedanciának lényegesen kisebbnek kell lennie, mint a terhelő impedancia: $Z_{ki} \ll Z_t$.

Erősítésjellemzők a kimeneti és bemeneti jelek hányadosaként írhatók fel, tehát egységnyi bemeneti jel változásához tartozó kimeneti jelváltozás.

Feszültségerősítés: egységnyi bemeneti feszültség változáshoz tartozó kimeneti feszültség változás.

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}}, \quad (1.3)$$

viszonyszám, dimenziója nincs.

Használható a logaritmikus feszültség viszony is, dimenziója a dB (decibel). Mivel a kimeneti és bemeneti feszültség viszony általános esetben komplex, ezért a logaritmikus viszony csak abszolút értékekre definiálható.

$$A_u [dB] = 20 \lg \frac{|u_{ki}|}{|u_{be}|} = 20 \lg |A_u| \quad (1.4)$$

Áramerősítés: egységnyi bemeneti áram változáshoz tartozó kimeneti áram változás.

$$A_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}}, \quad (1.5)$$

viszonyszám, dimenziója nincs.

Erősítő impedancia (transzfer impedancia): egységnyi bemeneti áram változáshoz tartozó kimeneti feszültség változás.

$$A_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} [\Omega]. \quad (1.6)$$

Erősítő admittancia (erősítőmeredekség): egységnyi bemeneti feszültség változáshoz tartozó kimeneti áram változás.

$$A_Y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} [S]. \quad (1.7)$$

Teljesítményerősítés: egységnyi bemeneti teljesítményváltozáshoz tartozó kimeneti teljesítményváltozás.

$$A_P = \frac{P_{ki}}{P_{be}} = |A_u| |A_i|, \quad (1.8)$$

viszonyszám. A teljesítményerősítés is megadható *dB*-ben kifejezve:

$$A_P [dB] = 10 \lg |A_u| |A_i|, \quad (1.8)$$

Az üzemi erősítőjellemzők általános esetben frekvenciafüggő, komplex mennyiségek. Meghatározható azonban egy olyan frekvenciatartomány, ahol ezek a jellemzők valós mennyiségeknek tekinthetők, amire a jellemzők jelölése is utal:

$$A_Z = A_R, \quad A_Y = A_S, \quad Z_{be} = R_{be}, \quad Z_{ki} = R_{ki}.$$

A kimeneti impedancia kivételével bármely erősítőjellemző számítható a bemeneti impedancia, a terhelő impedancia és valamelyik erősítésjellemző, például a legegyszerűbben mérhető feszültségerősítés ismeretében.

Példa: a) Az A_u feszültségerősítés, a Z_{be} bemeneti impedancia és a Z_t terhelő impedancia ismeretében határozza meg az A_i áramerősítési tényező értékét!

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-i_{ki} Z_t}{i_{be} Z_{be}} = -A_i \frac{Z_t}{Z_{be}}, \quad A_i = -A_u \frac{Z_{be}}{Z_t}.$$

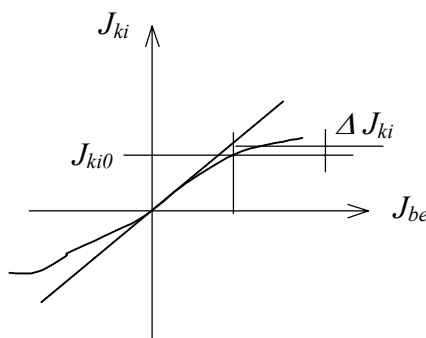
b) Az A_Z erősítő impedancia, a Z_{be} bemeneti impedancia és a Z_t terhelő impedancia ismeretében határozza meg az A_Y erősítő admittancia értékét!

$$A_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{-i_{ki} Z_t}{\frac{u_{be}}{Z_{be}}} = \frac{-i_{ki}}{u_{be}} Z_t Z_{ki} = -A_Y Z_t Z_{be}, \quad A_Y = \frac{-A_Z}{Z_t Z_{be}}.$$

A negatív erősítés fizikailag azt jelenti, hogy a bemeneten lévő, adott irányú változás a kimeneten a bemenetihez viszonyítva ellentétes értelmű változást, fázisfordítást okoz. Az A_u és A_z mindig azonos, az A_i és A_Y velük mindig ellentétes előjelűek.

1.2.1. Az erősítők transzfer karakterisztikája

A *transzfer karakterisztika* az erősítő kimeneti és bemeneti jele közötti kapcsolatot adja meg grafikus formában. Lineáris erősítő esetén a transzfer karakterisztika ideális esetben állandó meredekségű egyenes.



1.2. ábra. Transzfer karakterisztika.

A valóságos erősítő transzfer karakterisztikája eltér az egyenestől, de általában kijelölhető a karakterisztikán egy olyan nyugalmi pont (munkapont), amely környezetében adott jelszint esetén a tényleges karakterisztika egyenes szakasszal helyettesíthető. A valóságos karakterisztika ideálistól való eltérését a linearitási hiba adja meg. A linearitási hiba egyik lehetséges értelmezése a *relatív linearitási hiba*.

$$h = \frac{\Delta J_{ki}}{J_{ki0}} \quad (1.9)$$

A relatív linearitási hiba értékéből következtetni lehet a kimeneti jel alakjának a bemeneti jelalakhoz viszonyított eltérésére, a kimeneti jel torzítására.

A Fourier tétel szerint a periodikus jelek felírhatók különböző amplitúdójú szinuszos és koszinuszos tagok összegeként, amely tagok frekvenciái a periodikus jel frekvenciájának egész számú többszörösei. A periodikus jel frekvenciájával megegyező frekvenciájú összetevő az alapharmonikus, a többszörös frekvenciájú tagok a felharmonikusok.

A bemeneti jel gyakran szinusz alakú, a nemlineáris transzfer karakterisztika miatt a kimeneti jel azonban eltér a szinusztól. A kimeneti jel annál jobban eltér a bemeneti szinuszos jelalaktól, minél több tag, felharmonikus összegéből állítható elő a kimeneti jel függvénye.

$$J_{ki} = J_0 + J_1 \cos \omega t + J_2 \cos 2\omega t + \dots + J_n \cos n\omega t \quad (1.10)$$

A torzítási tényező (klírfaktor) a felharmonikusok teljesítményének és az alapharmonikus teljesítményének arányából vont négyzetgyök. A teljesítmény felírható $P = K \cdot J^2$ formában, ahol K állandó, a J jel pedig feszültség vagy áram lehet, tehát $P = \frac{U^2}{R}$, vagy $P = R \cdot I^2$. Így a torzítási tényező megadható az amplitúdók négyzetösszegeinek felhasználásával is:

$$k = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}{I_1^2}}, \quad (1.11)$$

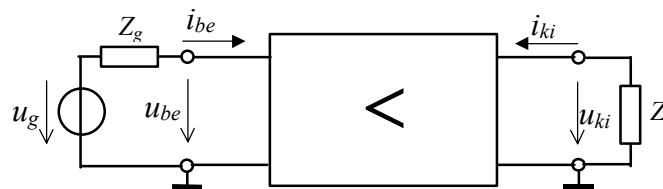
ahol I_1 az alapharmonikus áram amplitúdója, az I_2, I_3, \dots, I_n a felharmonikus áram amplitúdók.

2. LINEÁRIS ERŐSÍTŐK

Lineáris az erősítő, ha a bemeneti és a kimeneti jelek közötti kapcsolat lineáris egyenletrendszerrel leírható. Ez a feltétel általában a jelek egy bizonyos tartományára, a lineáris tartományra teljesül. A lineáris tartományban alkalmazható a szuperpozíció elve.

2.1. ASZIMMETRIKUS ERŐSÍTŐK

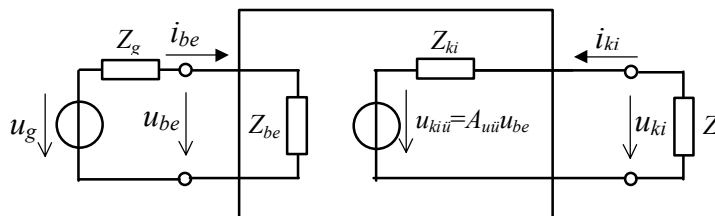
Ha az erősítőt tápláló jelforrás és az erősítő terhelésének egyik pontja egyaránt nulla potenciálon van (földelt), akkor olyan erősítő alkalmazható, amelynek a földelt bemeneti és a szintén földelt kimeneti pontja összeköthető, így az erősítő három különböző kivezetéssel rendelkezik. Ezt az erősítőt *aszimmetrikus erősítőnek* nevezik.



2.1. ábra. Az aszimmetrikus erősítő blokkvázlata.

Az aszimmetrikus erősítők az üzemi erősítőjellemzők segítségével, a belső felépítéstől függetlenül, helyettesítő képpel jellemezhetők. Az erősítő bemenete passzív, a kimenete aktív, így a kimenet vezérelt generátornak tekinthető. A vezérelt generátorok négy lehetséges változata miatt az aszimmetrikus erősítők négyféle helyettesítő képpel modellezhetők.

a) A kimenet helyettesítése feszültségvezérelt feszültséggenerátorral



2.2. ábra. Az aszimmetrikus erősítő üzemi helyettesítő képe feszültségvezérelt feszültséggenerátorral.

Az erősítő üresjárási feszültségerősítése:

$$A_{uü} = \frac{u_{kiü}}{u_{be}}. \quad (2.1)$$

Az erősítő u_{ki} kimeneti feszültsége a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

$$u_{ki} = u_{kiü} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.2)$$

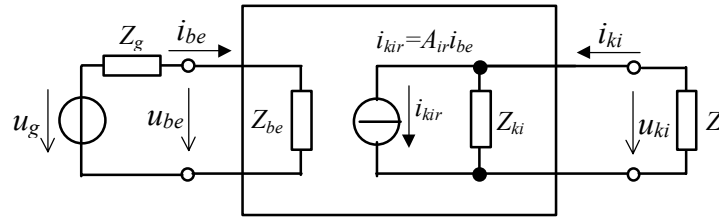
A 2.1 összefüggés alapján $u_{kiü}$ értékét a 2.2 összefüggésbe behelyettesítve:

$$u_{ki} = A_{uü} u_{be} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.3)$$

Az erősítő A_u feszültségerősítése a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{A_{uü} u_{be} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}}{u_{be}} = A_{uü} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.4)$$

b) A kimenet helyettesítése áramvezérelt áramgenerátorral



2.3. ábra. Az aszimmetrikus erősítő üzemi helyettesítő képe áramvezérelt áramgenerátorral.

Az erősítő rövidzárási áramerősítése:

$$A_{ir} = \frac{i_{kir}}{i_{be}}. \quad (2.5)$$

Az erősítő i_{ki} kimeneti árama a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

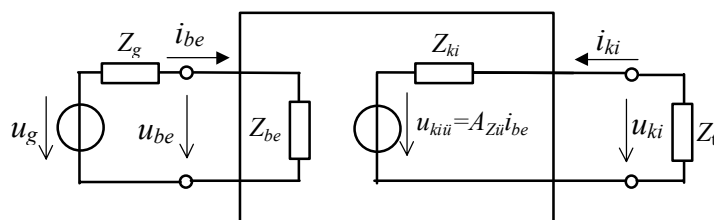
$$i_{ki} = i_{kir} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}, \quad (2.6)$$

$$i_{ki} = A_{ir} i_{be} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.7)$$

Az erősítő A_i áramerősítése a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

$$A_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = \frac{A_{ir} i_{be} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}}{i_{be}} = A_{ir} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.8)$$

c) A kimenet helyettesítése áramvezérelt feszültséggenerátorral



2.4. ábra. Az aszimmetrikus erősítő üzemi helyettesítő képe áramvezérelt feszültséggenerátorral.

Az erősítő üresjárási erősítőimpedanciája:

$$A_{Zü} = \frac{u_{kiü}}{i_{be}}. \quad (2.9)$$

Az erősítő u_{ki} kimeneti feszültsége a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

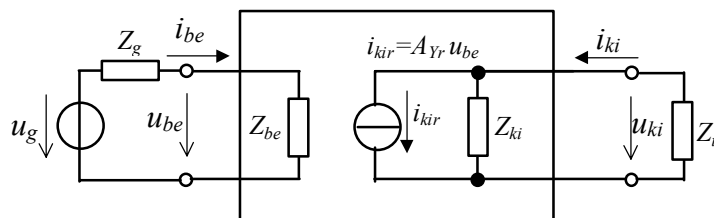
$$u_{ki} = u_{kiü} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}, \quad (2.10)$$

$$u_{ki} = A_{Zü} i_{be} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.11)$$

Az erősítő A_Z erősítő impedanciája a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

$$A_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{A_{Zü} i_{be} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}}{i_{be}} = A_{Zü} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.12)$$

d) A kimenet helyettesítése feszültségvezérelt áramgenerátorral



2.5. ábra. Az aszimmetrikus erősítő üzemi helyettesítő képe feszültségvezérelt áramgenerátorral.

Az erősítő rövidzárási erősítő admittanciája:

$$A_{Yr} = \frac{i_{kir}}{u_{be}}. \quad (2.13)$$

Az erősítő i_{ki} kimeneti árama a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel:

$$i_{ki} = i_{kir} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}, \quad (2.14)$$

$$i_{ki} = A_{Yr} u_{be} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.15)$$

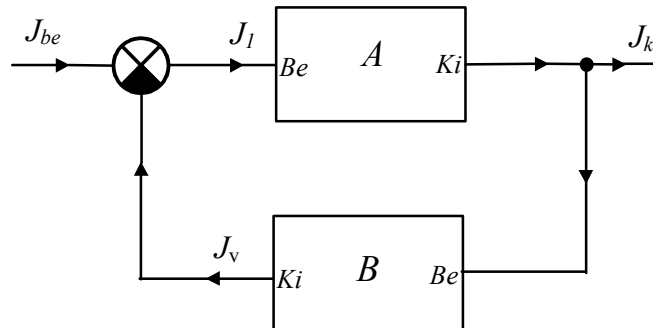
Az erősítő A_Y erősítő admittanciája a helyettesítő kép alapján Z_t terheléssel az

$$A_Y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = \frac{A_{Yr} u_{be} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}}{u_{be}} = A_{Yr} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t} \quad (2.16)$$

összefüggéssel határozható meg.

2.1.1. Az erősítők visszacsatolása

A visszacsatolás elve: az erősítő kimenetéről a kimeneti jellel arányos jelet a bemenetre visszavezetve, majd azt a bemeneti jellel összegezve az erősítők tulajdonságai megváltoztathatók.



2.6. ábra. A visszacsatolt erősítő tömbvázlata.

Pozitív a visszacsatolás, ha az összegzés által a bemeneti jel nagyobb lesz.

Negatív a visszacsatolás, ha az összegzés által a bemeneti jel kisebb lesz.

2.1.1.1. A visszacsatolt erősítő eredő erősítésének meghatározása

A visszacsatolt erősítő tömbvázlata látható a 2.6. ábrán.

Az A -val jelölt tömb a visszacsatolatlan erősítő, üzemi erősítőjellelmzője: A .

A B -vel jelölt tömb a visszacsatoló hálózat, üzemi erősítőjellelmzője: B .

J_{be} a visszacsatolt rendszer bemeneti jele.

J_{ki} a visszacsatolt rendszer kimeneti jele, amely megegyezik a B visszacsatoló hálózat bemeneti jelével is.

J_v a B visszacsatoló hálózat kimeneti jele, a visszacsatolt jel.

A körrel jelölt tömb a különbségképző, amelynek J_{be} és J_v a bemeneti jelei.

J_1 a különbségképző kimeneti jele, amely az A erősítő bemeneti jele is.

$$J_1 = J_{be} - J_v. \quad (2.17)$$

A tömbvázlaton a nyilak a jelhaladás irányát jelzik.

A visszacsatolt jel a visszacsatoló hálózat bemenetére kerülő kimeneti jellel arányos:

$$J_v = BJ_{ki}. \quad (2.18)$$

A kimeneti jel a visszacsatolatlan erősítő bemeneti jelével arányos:

$$J_{ki} = AJ_1. \quad (2.19)$$

A megfelelő helyettesítés és rendezés után a kimeneti jel felírható a

$$J_{ki} = A(J_{be} - J_v) = A(J_{be} - BJ_{ki}) \quad (2.20)$$

alakban.

A visszacsatolt rendszer eredő erősítése:

$$A' = \frac{J_{ki}}{J_{be}} = \frac{A}{1 + AB} \quad (2.21)$$

összefüggéssel adható meg. A visszacsatolás mértékét az erősítőjellel megváltozásának mértéke adja meg:

$$\frac{A'}{A} = 1 + AB. \quad (2.22)$$

Az A erősítő bemenetétől a B erősítő kimenetéig felírt erősítés:

$$\frac{J_v}{J_1} = \frac{BJ_{ki}}{J_1} = \frac{BAJ_1}{J_1} = AB = H. \quad (2.23)$$

A $H = AB$ szorzat a „felnyitott” kör eredő erősítésének a (-1) -szerese, a *hurokerősítés*, vagy másképpen *körerősítés*.

Valós átvitelű hálózatok esetén a hurokerősítés értéke meghatározza a visszacsatolás típusát.

Ha $H > 0$, *negatív* a visszacsatolás, mert a J_{be} és a J_v jel egyező fázisú, a különbségképzés miatt J_{be} jelből levonódik a J_v jel, így J_1 kisebb lesz J_{be} jelnél.

Ha $H < 0$, *pozitív* a visszacsatolás, mert A és B előjele ellentétes, J_1 és J_v ellentétes fázisú, a különbségképzés miatt a J_{be} jelhez hozzáadódik a J_v jel, így J_1 nagyobb lesz J_{be} -nél.

Ha $H = -1$, *önfenntartó gerjedés*, mert J_v a különbségképző után fázisra és amplitúdóra is megegyezik azzal a J_1 jellel, amely őt létrehozta, tehát J_{be} jel nélkül is állandó a kimeneti jel.

Ha $H < -1$, *növekvő amplitúdójú gerjedés*.

2.1.2. A visszacsatolás alaptípusai

Az erősítők jelei áram- vagy feszültségjelek lehetnek, ezért a visszacsatolt jel is áram, vagy feszültség, amely a kimeneti árammal, vagy a kimeneti feszültséggel arányos. Ezek alapján a visszacsatolásnak négy alaptípusa különböztethető meg:

- a kimeneti feszültséggel arányos feszültség visszacsatolás,
- a kimeneti árammal arányos feszültség visszacsatolás,
- a kimeneti feszültséggel arányos áram visszacsatolás,
- a kimeneti árammal arányos áram visszacsatolás.

A visszacsatolt rendszerben a különbségképző általában nem külön elem, mert vagy feszültségek, vagy áramok különbségét kell képezni, amely a kapocspárok soros, vagy párhuzamos kapcsolásával megvalósítható. A visszacsatolás típusának elnevezésében az első tagban a különbségképzést megvalósító kapcsolat szerepel (soros vagy párhuzamos), míg a szóösszetétel másik tagja a kimenetről visszavezetett jel neve (feszültség vagy áram).

A visszacsatolással szemben támasztott követelmények: a visszacsatoló tag lehetőség szerint minél jobban közelítse meg az ideális visszacsatoló tag ismérveit.

Az ideális visszacsatoló tag

- nem terheli az A erősítő kimenetét,
- ideális generátorként működik, az A erősítő bemenete nem terheli a B erősítő kimenetét,
- visszahatásmentes.

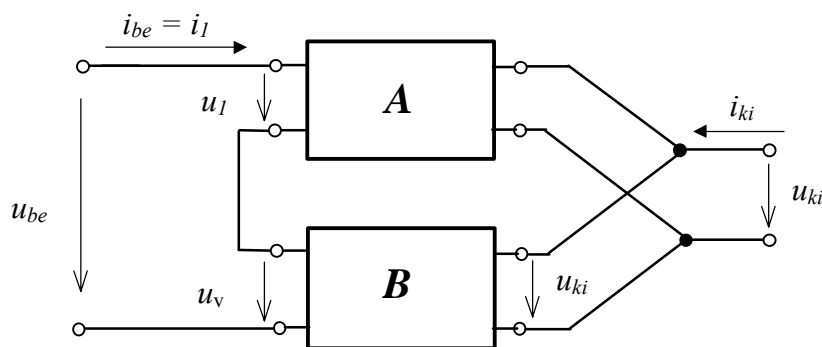
A visszacsatoló hálózat jellemzői:

- $B_u = \frac{u_v}{u_{ki}}$ feszültségátvitel,
- $B_i = \frac{i_v}{i_{ki}}$ áramátvitel,
- $B_Z = \frac{u_v}{i_{ki}}$ átviteli impedancia,
- $B_Y = \frac{i_v}{u_{ki}}$ átviteli admittancia.

a) Soros feszültség visszacsatolás — a kimeneti feszültséggel arányos feszültség visszacsatolás

A kimeneti feszültséggel arányos feszültséget párhuzamos kapcsolással lehet a visszacsatoló tag bemenetére visszavezetni.

A visszacsatolt jel feszültség, ezt kell a bemeneti feszültséggel összegezni a kapcsolók soros kapcsolásával.



2.7. ábra. A soros feszültség visszacsatolás tömbvázlata.

Az A erősítő és a B visszacsatoló tag átviteli jellemzőinek ismeretében meghatározható a rendszer *célszerű hurokerősítése*.

Az A erősítő kimeneti feszültsége az u_l feszültséggel arányos: $u_{ki} = A_u u_l$, így a feszültségerősítése:

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_l}. \quad (2.24)$$

A visszacsatoló hálózat u_v feszültsége a kimeneti feszültséggel arányos: $u_v = B_u u_{ki}$, így a feszültségerősítése:

$$B_u = \frac{u_v}{u_{ki}}. \quad (2.25)$$

A célszerű hurokerősítés:

$$H = A_u B_u. \quad (2.26)$$

A bemeneti feszültségkülönbség képzés miatt a meghajtó generátor csak feszültség generátor lehet, így mindazon erősítésjellemzőkre *hatástalan* a visszacsatolás, amelyekben az i_{be} *bemeneti áram* szerepel. (A soros visszacsatolás nem befolyásolja az erősítő bemeneti áramát: $i_{be} = i_l$.) Ilyen erősítésjellemző az A_i áramerősítés és az A_Z erősítő impedancia:

$$A'_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = A_i, \quad (2.27)$$

$$A'_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = A_Z. \quad (2.28)$$

A soros feszültség visszacsatolás *megváltoztatja a feszültségerősítés és az erősítő admittancia* jellemzőket.

A feszültségerősítés:

$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}}. \quad (2.29)$$

A bemenetre felírt hurokegyenlet alapján:

$$u_{be} = u_l + u_v. \quad (2.30)$$

Behelyettesítve a 2.29 egyenletbe:

$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_l + u_v}. \quad (2.31)$$

Mivel $u_v = B_u u_{ki}$, ezért az egyenlet tovább alakítható:

$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_l + u_v} = \frac{u_{ki}}{u_l + B_u u_{ki}}. \quad (2.32)$$

A kimeneti feszültség $u_{ki} = A_u u_l$, tehát

$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_l + A_u B_u u_l} = \frac{u_{ki}}{u_l (1 + A_u B_u)} = \frac{A_u}{1 + A_u B_u}. \quad (2.33)$$

Az erősítő admittancia változása a visszacsatolás hatására:

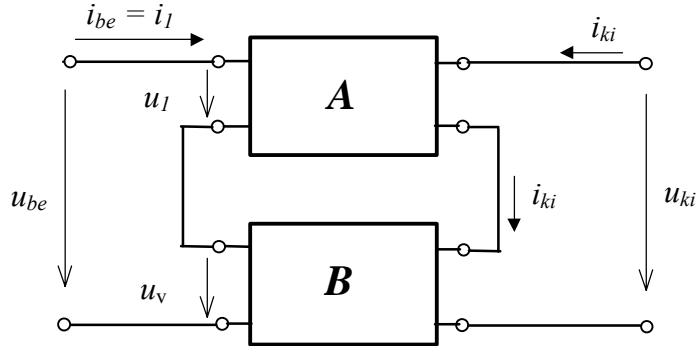
$$A'_y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_{ki}}{u_l + u_v} = \frac{A_y}{1 + A_u B_u}. \quad (2.34)$$

A visszacsatolt rendszer eredő feszültségerősítése a visszacsatolás $(1+H)$ mértékének megfelelően csökken.

b) Soros áramvisszacsatolás — a kimeneti árammal arányos feszültség visszacsatolás

A B visszacsatoló tag bemenetére az i_{ki} kimeneti áramot kell visszavezetni, ez az A erősítő kimenetének és a B erősítő bemenetének soros kapcsolásával valósítható meg.

A visszacsatolt jel ebben az esetben is feszültség, ezt kell a bemeneti feszültséggel összegezni a kapocspárok soros kapcsolásával.



2.8. ábra. A soros áram visszacsatolás tömbvázlata.

Az A erősítő i_{ki} kimeneti árama az u_1 bemeneti feszültséggel arányos: $i_{ki} = A_Y u_1$.

Az A erősítő erősítő admittancia jellemzője:

$$A_Y = \frac{i_{ki}}{u_1}. \quad (2.35)$$

A B visszacsatoló tag u_v visszacsatolt feszültsége az i_{ki} árammal arányos: $u_v = B_Z i_{ki}$.

A B visszacsatoló tag erősítő impedanciája:

$$B_Z = \frac{u_v}{i_{ki}}. \quad (2.36)$$

A visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése:

$$H = A_Y B_Z. \quad (2.37)$$

A bemenet soros kapcsolása miatt csak feszültséggenerátor lehet a meghajtás, tehát mindazon erősítésjellemzőkre *hatástalan* a visszacsatolás, amelyekben az i_{be} bemeneti áram szerepel. Ilyen erősítésjellemző az áramerősítés:

$$A'_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = A_i, \quad (2.38)$$

és az erősítő impedancia:

$$A'_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = A_Z. \quad (2.39)$$

A feszültségerősítés változása a visszacsatolás hatására:

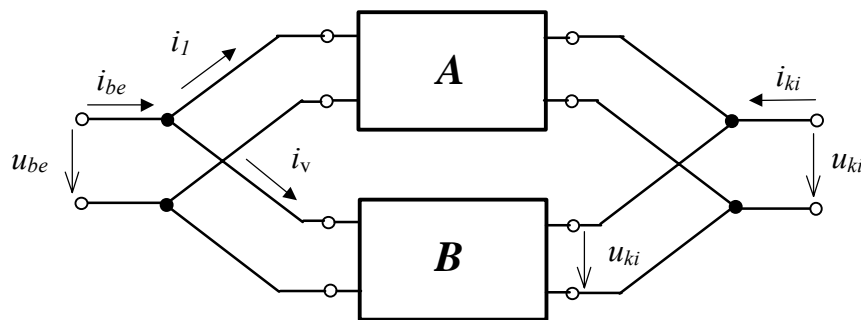
$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_1 + u_v} = \frac{u_{ki}}{u_1 + A_Y B_Z u_1} = \frac{u_{ki}}{u_1 (1 + A_Y B_Z)} = \frac{A_u}{1 + A_Y B_Z}. \quad (2.40)$$

Az erősítő admittancia változása a visszacsatolás hatására:

$$A'_Y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_{ki}}{u_1 + u_v} = \frac{i_{ki}}{u_1 + A_Y B_Z u_1} = \frac{A_Y}{1 + A_Y B_Z}. \quad (2.41)$$

c) Párhuzamos feszültségviszacsatolás — kimeneti feszültséggel arányos áramviszacsatolás

Párhuzamos feszültség visszacsatolás esetén a kimeneti feszültséggel arányos áramot kell a bemenetre visszacsatolni. A B visszacsatoló tag bemenetére az u_{ki} kimeneti feszültséget kell kapcsolni, ez a kimeneti oldalon párhuzamos kapcsolást jelent. A visszacsatolt jel áram, az áramokat csomóponton lehet összegezni, így a bemeneten párhuzamos kapcsolást kell kialakítani.



2.9. ábra. A párhuzamos feszültség visszacsatolás tömbvázlata.

A bemeneti oldalon a csomóponttra felírható egyenlet:

$$i_{be} = i_l + i_v. \quad (2.42)$$

Az A erősítő kimeneti feszültsége az i_l árammal arányos: $u_{ki} = A_z i_l$.

Az A erősítő erősítőimpedanciája:

$$A_z = \frac{u_{ki}}{i_l}. \quad (2.43)$$

A B visszacsatoló tag visszacsatolt árama a kimeneti feszültséggel arányos: $i_v = B_Y u_{ki}$.

A B visszacsatoló tag erősítő admittanciája:

$$B_Y = \frac{i_v}{u_{ki}}. \quad (2.44)$$

A visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése:

$$H = A_z B_Y. \quad (2.45)$$

A bemeneti áramkülönbség képzés miatt a meghajtó generátor csak áramgenerátor lehet, így mindazon erősítésjellemzőkre *hatástalan* a visszacsatolás, amelyekben az u_{be} bemeneti feszültség szerepel. (A párhuzamos visszacsatolás nem befolyásolja az erősítő bemeneti feszültségét: $u_l = u_{be}$.) Ilyen erősítésjellemző a feszültségerősítés és az erősítő admittancia:

$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_u, \quad (2.46)$$

$$A'_Y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = A_Y. \quad (2.47)$$

A visszacsatolás hatására megváltozik az áramerősítés:

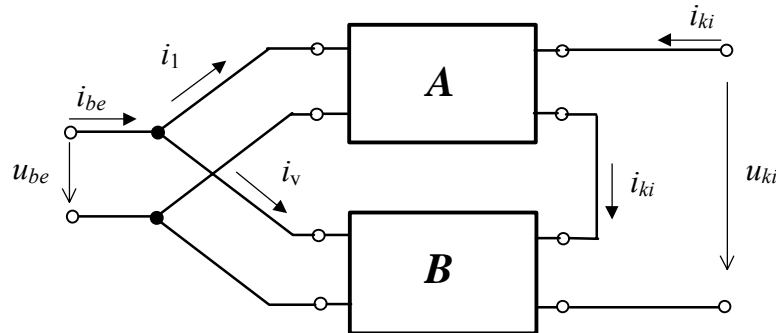
$$A'_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = \frac{i_{ki}}{i_l + i_v} = \frac{i_{ki}}{i_l + A_Z B_Y i_l} = \frac{i_{ki}}{i_l (1 + A_Z B_Y)} = \frac{A_i}{1 + A_Z B_Y}, \quad (2.48)$$

és az erősítő impedancia is:

$$A'_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{u_{ki}}{i_l + i_v} = \frac{u_{ki}}{i_l (1 + A_Z B_Y)} = \frac{A_Z}{1 + A_Z B_Y}. \quad (2.49)$$

e) Párhuzamos áramvisszacsatolás — kimeneti árammal arányos áramvisszacsatolás

Az áramvisszacsatolás miatt a kimeneten soros kapcsolást kell megvalósítani, a visszacsatolt jel áram, így a bemeneti oldalon áramokat kell összegezni a párhuzamos kapcsolással.



2.10. ábra. A párhuzamos áramvisszacsatolás tömbvázlata.

Az A erősítő kimeneti árama az i_l árammal arányos: $i_{ki} = A_i i_l$.

Az A erősítő áramerősítése:

$$A_i = \frac{i_{ki}}{i_l}. \quad (2.50)$$

A B visszacsatoló tag kimenetén az i_v visszacsatolt áram az i_{ki} kimeneti árammal arányos: $i_v = B_i i_{ki}$.

A B visszacsatoló tag áramerősítése:

$$B_i = \frac{i_v}{i_{ki}}. \quad (2.51)$$

A visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése:

$$H = A_i B_i. \quad (2.52)$$

A bemeneti áramkülönbség képzés miatt a meghajtó generátor csak áramgenerátor lehet, így mindazon erősítésjellemzőkre *hatástalan* a visszacsatolás, amelyekben az u_{be} *bemeneti feszültség* szerepel. Nem változik a visszacsatolás hatására a feszültség-erősítés:

$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_u, \quad (2.53)$$

és az erősítő admittancia:

$$A'_Y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = A_Y. \quad (2.54)$$

A visszacsatolás hatására megváltozik az áramerősítés:

$$A'_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = \frac{i_{ki}}{i_1 + i_v} = \frac{i_{ki}}{i_1 + A_i B_i i_1} = \frac{i_{ki}}{i_1 (1 + A_i B_i)} = \frac{A_i}{1 + A_i B_i}, \quad (2.55)$$

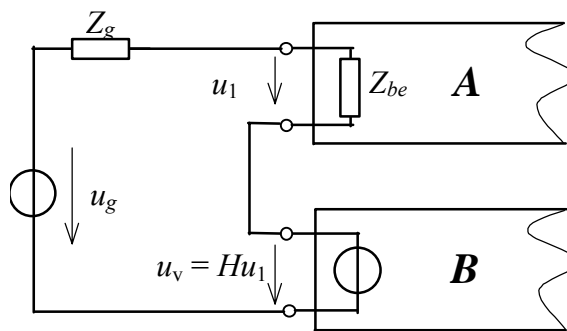
valamint az erősítő impedancia is:

$$A'_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{u_{ki}}{i_1 + i_v} = \frac{u_{ki}}{i_1 (1 + A_i B_i)} = \frac{A_Z}{1 + A_i B_i}. \quad (2.56)$$

2.1.2.1. A visszacsatolt erősítő bemeneti impedanciája

A visszacsatolás minden típusa megváltoztatja a visszacsatolt rendszer eredő bemeneti impedanciáját.

a) *A bemeneti impedancia meghatározása soros visszacsatolásnál*



2.11. ábra. Helyettesítő kép a soros visszacsatolások bemeneti impedanciájának meghatározásához.

A visszacsatolt rendszer eredő bemeneti impedanciája:

$$Z'_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}}. \quad (2.57)$$

A bemeneti feszültség: $u_{be} = u_I + u_v$.

A B erősítő aktív kimenetét feszültséggenerátor modellezi, amelynek feszültsége $u_v = Hu_I$, ahol H a visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése. A bemeneti feszültség $u_{be} = u_I(1 + H)$ alakban is kifejezhető:

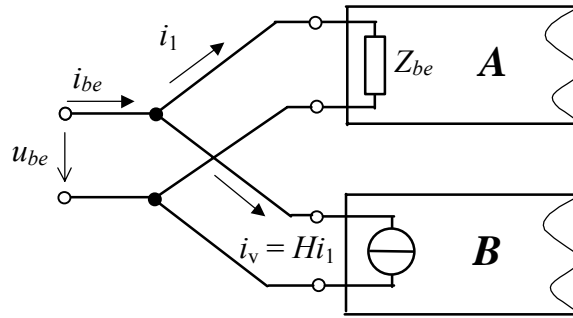
$$Z'_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_I(1 + H)}{i_{be}}. \quad (2.58)$$

A visszacsatolatlan rendszer bemeneti impedanciája: $Z_{be} = \frac{u_I}{i_{be}}$, így a visszacsatolt rendszer eredő bemeneti impedanciája:

$$Z'_{be} = Z_{be}(1 + H) \quad (2.59)$$

összefüggés szerint változik.

b) A bemeneti impedancia meghatározása párhuzamos visszacsatolásnál



2.12. ábra. Helyettesítő kép a párhuzamos visszacsatolások bemeneti impedanciájának meghatározásához.

A visszacsatolt rendszer eredő bemeneti impedanciája:

$$Z'_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}}. \quad (2.60)$$

A bemeneti áram: $i_{be} = i_I + i_v$.

A B erősítő aktív kimenetét áramgenerátor modellezi, amelynek árama: $i_v = Hi_I$, ahol H a visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése. A bemeneti áram $i_{be} = i_I(1 + H)$ alakban is kifejezhető:

$$Z'_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_{be}}{i_I + i_v} = \frac{u_{be}}{i_I(1 + H)}. \quad (2.61)$$

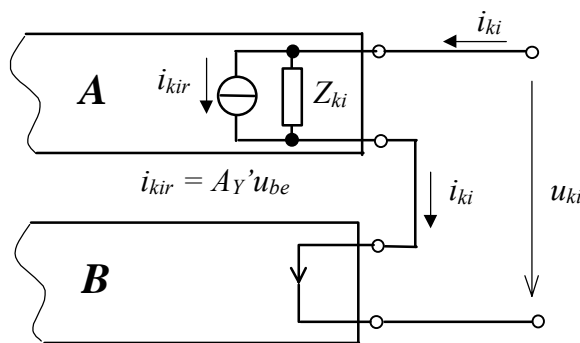
A visszacsatolatlan rendszer bemeneti impedanciája: $Z_{be} = \frac{u_{be}}{i_I}$, így a visszacsatolt rendszer eredő bemeneti impedanciája:

$$Z'_{be} = \frac{Z_{be}}{1 + H}. \quad (2.62)$$

2.1.2.2. A visszacsatolt erősítő kimeneti impedanciája

A visszacsatolás minden típusa megváltoztatja a visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciáját.

a) A kimeneti impedancia meghatározása áramvisszacsatolásnál



2.13. ábra. Helyettesítő kép az áramvisszacsatolás kimeneti impedanciájának meghatározásához.

Áramvisszacsatoláskor a kimeneti áram átfolyik a visszacsatoló tag bemenetén, így ideális esetben a visszacsatoló tag bemeneti impedanciája rövidzárral helyettesíthető.

A visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája:

$$Z'_{ki} = - \frac{u_{ki\ddot{u}}}{i_{kir}} . \quad (2.63)$$

A kimeneti rövidzárási áram kifejezhető a rendszer rövidzárási erősítő admittanciája és a bemeneti feszültség felhasználásával:

$$i_{kir} = A'_{Yr} u_{be} . \quad (2.64)$$

A visszacsatolt rendszer eredő erősítő admittanciája kifejezhető a visszacsatolatlan rendszer erősítő admittanciája és a visszacsatolás célszerű hurokerősítése felhasználásával:

$$A'_{Yr} = \frac{A_{Yr}}{1 + H_r} , \quad (2.65)$$

ahol H_r a rövidzárási célszerű hurokerősítés, így a rövidzárási áram az

$$i_{kir} = \frac{A_{Yr}}{1 + H_r} u_{be} \quad (2.66)$$

alakban is felírható.

Az üresjárási feszültség kifejezhető az

$$u_{ki\ddot{u}} = - A_{Yr} u_{be} Z_{ki} \quad (2.67)$$

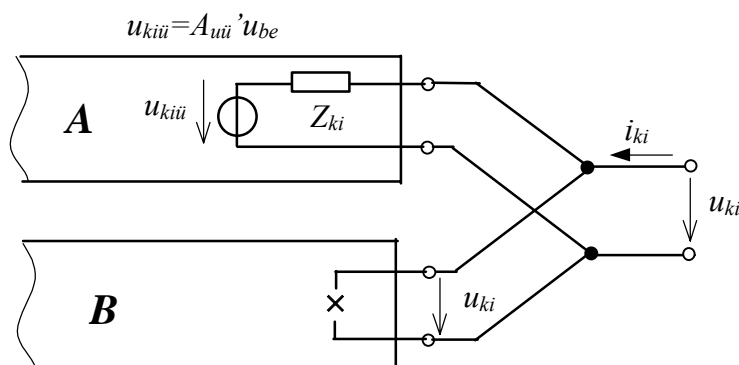
alakban, ahol a visszacsatolatlan erősítőjellel kell számolni, mert az áramvisszacsatolás üresjárásban hatástalan.

A visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája a 2.66 és a 2.64 összefüggések felhasználásával:

$$\mathbf{Z}'_{ki} = -\frac{A_{yr}u_{be}Z_{ki}}{\frac{A_{yr}}{1+H_r}u_{be}} = \mathbf{Z}_{ki}(\mathbf{1} + \mathbf{H}_r), \quad (2.68)$$

tehát áramvisszacsatolás esetén a visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája a rövidzárási hurokerősítés mértékében nagyobb, mint a visszacsatolatlan erősítő kimeneti impedanciája.

b) A kimeneti impedancia meghatározása feszültség visszacsatolásnál



2.14. ábra. Helyettesítő kép a feszültség visszacsatolások kimeneti impedanciájának meghatározásához.

Feszültség visszacsatoláskor a kimeneti feszültség kerül a visszacsatoló tag bemenetére. Ideális esetben a visszacsatoló tag nem terheli az erősítőt, így a bemeneti impedanciája végtelen nagynak tekinthető, szakadással helyettesíthető.

A visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája:

$$\mathbf{Z}'_{ki} = -\frac{u_{kiü}}{i_{kir}}. \quad (2.69)$$

A visszacsatolt rendszer üresjárási feszültsége:

$$u_{kiü} = A'_{uü} u_{be}. \quad (2.70)$$

A visszacsatolt rendszer eredő feszültségerősítése kifejezhető a visszacsatolatlan rendszer feszültségerősítése és a visszacsatolás célszerű üresjárási hurokerősítése felhasználásával:

$$A'_{uü} = \frac{A_{uü}}{1 + H_{ü}}, \quad (2.71)$$

ezért az üresjárási feszültség az

$$u_{ki\bar{u}} = \frac{A_{u\bar{u}}}{1 + H_{\bar{u}}} u_{be} \quad (2.72)$$

alakban is felírható.

Feszültség visszacsatolás esetén a rövidzárási áramra hatástalan a visszacsatolás, ezért a visszacsatolatlan rendszer jellemzőinek alkalmazásával a rövidzárási kimeneti áram

$$i_{kir} = -\frac{A_{u\bar{u}} u_{be}}{Z_{ki}} \quad (2.73)$$

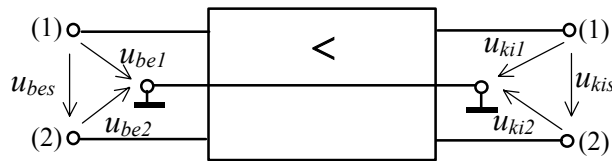
alakú. A visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája a 2.72 és a 2.73 összefüggések felhasználásával:

$$Z'_{ki} = -\frac{\frac{A_{u\bar{u}}}{1 + H_{\bar{u}}} u_{be}}{-\frac{A_{u\bar{u}} u_{be}}{Z_{ki}}} = \frac{Z_{ki}}{1 + H_{\bar{u}}}, \quad (2.74)$$

tehát feszültségvisszacsatolás esetén a visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája az üresjárási hurokerősítés mértékében kisebb, mint a visszacsatolatlan erősítő kimeneti impedanciája.

2.2. SZIMMETRIKUS ERŐSÍTŐK

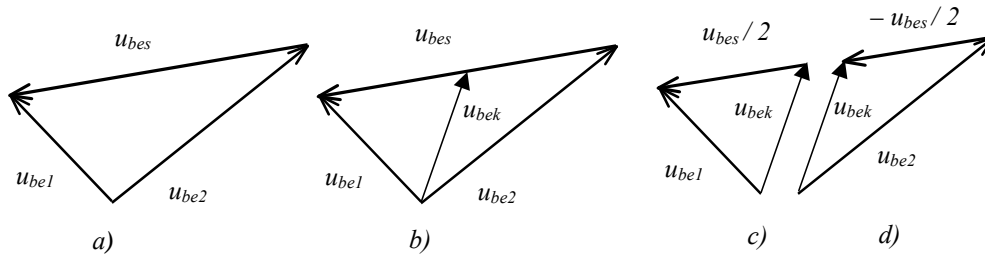
Ha a jelforrás és a terhelés egyik pontja sem földelhető, akkor olyan erősítő alkalmazható, amely négy kivezetéssel rendelkezik. A kivezetéseknek a földponthoz képest szimmetrikus elektromos jellemzőjük van. Ezt az erősítőt szimmetrikus erősítőnek nevezik.



2.15. ábra. A szimmetrikus erősítő tömbvázlata.

A szimmetrikus erősítők vezérlése általában feszültséggenerátoros, és a kimenetük is feszültséggenerátorosnak tekinthető. A szimmetrikus erősítő blokkvázlata látható a 2.15. ábrán. Az (1)-es bemenet a földhöz képest u_{be1} , a (2)-es bemenet a földhöz képest u_{be2} feszültségű. Hasonlóan értelmezhetők az u_{ki1} és az u_{ki2} kimeneti feszültségek is.

A bemenetekre kapcsolt szinuszos feszültségek nagyságra és fázishelyzetre különbözőek lehetnek. A 2.16. ábra szerint ezek a bemeneti feszültségek felbontók szimmetrikus és közös összetevőkre.



2.16. ábra. A szimmetrikus erősítő bemeneti feszültség-összetevői.

A bemenetek között mérhető feszültség az u_{bes} szimmetrikus bemeneti feszültség (2.16.a) ábra):

$$u_{bes} = u_{be1} - u_{be2} . \quad (2.75)$$

Az u_{be1} és u_{be2} bemeneti feszültségek a 2.16.c) és d) ábra szerint az u_{bek} közös összetevő felhasználásával:

$$u_{be1} = \frac{u_{bes}}{2} + u_{bek} , \quad \text{és} \quad (2.76)$$

$$u_{be2} = -\frac{u_{bes}}{2} + u_{bek} . \quad (2.77)$$

Ezek alapján az u_{bek} közös összetevő megadható az:

$$u_{bek} = \frac{u_{be1} + u_{be2}}{2} \quad (2.78)$$

alakban.

A szimmetrikus erősítő kimeneti feszültségei is felbonthatók szimmetrikus és közös összetevőkre. A szimmetrikus kimeneti feszültség:

$$u_{kis} = u_{ki1} - u_{ki2} . \quad (2.79)$$

A közös kimeneti feszültség:

$$u_{kik} = \frac{u_{ki1} + u_{ki2}}{2} . \quad (2.80)$$

Lineáris erősítőt feltételezve a kimeneti és a bemeneti feszültségek között a feszültségerősítés az arányossági tényező. Az erősítő mind a szimmetrikus, mind a közös bemeneti feszültségeket erősíti, ezért a szuperpozíció elvét figyelembe véve a kimeneti feszültségek szimmetrikus és közös összetevői

$$u_{kis} = A_{uss} u_{bes} + A_{usk} u_{bek}, \text{ és} \quad (2.81)$$

$$u_{kik} = A_{uks} u_{bes} + A_{ukk} u_{bek} \quad (2.82)$$

alakúak, ahol az A_{uss} és az A_{uks} az $u_{bek} = 0$ feltétellel jellemezhető szimmetrikus vezérlés esetén határozzák meg a kimeneti feszültség összetevőket:

$$A_{uss} = \frac{u_{kis}}{u_{bes}}, \quad \text{ha} \quad u_{bek} = 0, \quad (2.83)$$

$$A_{uks} = \frac{u_{kik}}{u_{bes}}, \quad \text{ha} \quad u_{bek} = 0. \quad (2.84)$$

Az A_{usk} és az A_{ukk} az $u_{bes} = 0$ feltétellel jellemezhető közös vezérlés esetén határozzák meg a kimeneti feszültség összetevőket:

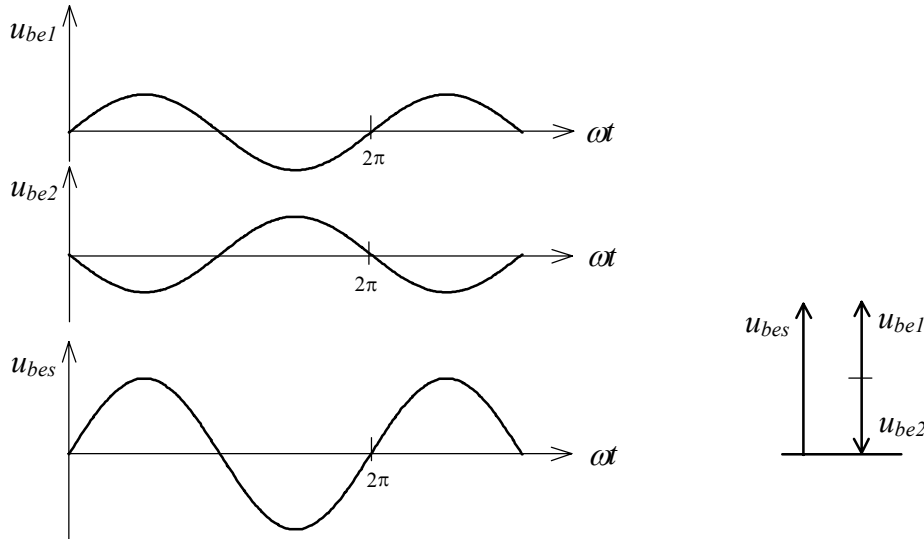
$$A_{usk} = \frac{u_{kis}}{u_{bek}}, \quad \text{ha} \quad u_{bes} = 0, \quad (2.85)$$

$$A_{ukk} = \frac{u_{kik}}{u_{bek}}, \quad \text{ha} \quad u_{bes} = 0. \quad (2.86)$$

A szimmetrikus erősítők vezérlési módjai:

- a) *Szimmetrikus vezérlés*: az erősítő két bemenetét azonos nagyságú, de ellentétes fázishelyzetű feszültségek vezérlik (2.17. ábra),

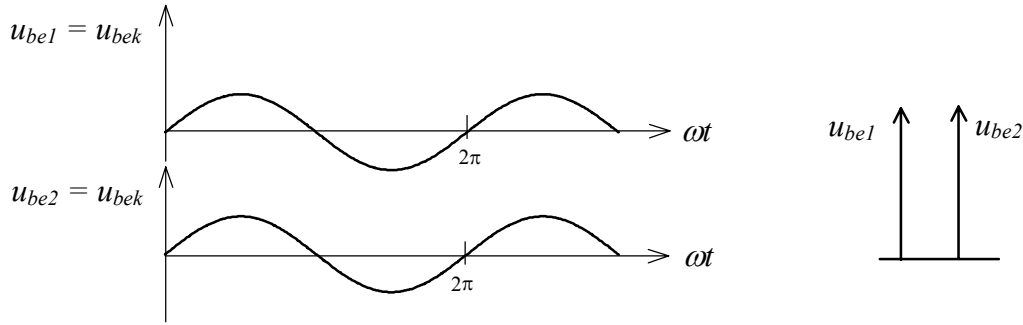
$$u_{be1} = -u_{be2} = \frac{u_{bes}}{2}. \quad (2.87)$$



2.17. ábra. A szimmetrikus erősítő bemeneti feszültségei szimmetrikus vezérlés esetén.

- b) *Közös vezérlés*: az erősítő két bemenetét azonos nagyságú és azonos fázishelyzetű feszültségek vezérlik (2.18. ábra). Ekkor a két bemenet között nem mérhető feszültség:

$$u_{be1} = u_{be2} = u_{bek} \quad (2.88)$$



2.18. ábra. A szimmetrikus erősítő bemeneti feszültségei közös vezérlés esetén.

A szimmetrikus erősítők közös vezérlése nem üzemszerű működése az erősítőnek, ilyen jel általában valamilyen nem kívánt hatás (pl. zajfeszültség) következtében kerül az erősítő bemenetére.

- c) *Általános vezérlés*: a szimmetrikus és a közös vezérlés szuperpozíciója.
- d) *Aszimmetrikus vezérlés*: a szimmetrikus erősítő egyik bemeneti pontja vezérelt, a másik bemenetének feszültsége nulla,

$$u_{be1} = u_{be}, \quad \text{ha} \quad u_{be2} = 0 \quad (2.89)$$

Az erősítőt vezérlő jel ebben az esetben is a két bemenet között mérhető feszültség:

$$u_{bes} = u_{be1} - u_{be2} = u_{be1}. \quad (2.90)$$

Általános követelmény a szimmetrikus erősítővel szemben, hogy csak a földetlenn bemeneti pontok közé jutó feszültséget, tehát a szimmetrikus feszültséget erősítse, a közös feszültség összetevőre vonatkozó erősítése elhanyagolható legyen. Ennek a követelménynek a teljesülését jellemzi a *közös feszültség elnyomási tényező* és a *diszkriminációs tényező*.

A közös feszültség elnyomási tényező:

$$E_{ku} = \frac{A_{us s}}{A_{us k}}. \quad (2.91)$$

A diszkriminációs tényező:

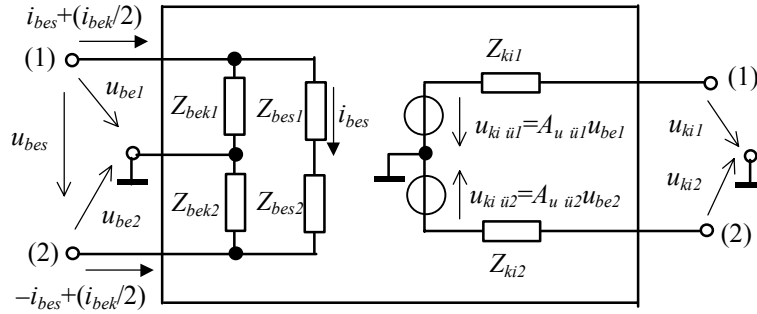
$$D_u = \frac{A_{us s}}{A_{uk k}}. \quad (2.92)$$

A katalógusokban a közös feszültség elnyomási tényezőt a **CMRR** (**C**ommon **M**ode **R**ejection **R**atio) jellel jelölik.

2.2.1. A szimmetrikus erősítők bemeneti és kimeneti impedanciái

A szimmetrikus erősítők üzemi jellemzőinek meghatározására az 1.2. fejezetben megadott definíciók alkalmazhatók.

A szimmetrikus erősítők bemenete passzív áramköri elemekkel helyettesíthető. Az (1) és a (2) jelű bemenetek között a Z_{bes1} és a Z_{bes2} szimmetrikus impedancia, az egyes bemeneti pontok és a föld között a Z_{bek1} és a Z_{bek2} közös impedancia definiálható (2.19. ábra).



2.19. ábra. A szimmetrikus erősítő helyettesítő kapcsolása.

A szimmetrikus bemeneti impedancia az egyik bemenetre:

$$Z_{bes1} = \frac{u_{bes}}{i_{bes}}. \quad (2.93)$$

A közös bemeneti impedancia az egyik bemenet és a föld között:

$$Z_{bek1} = \frac{u_{bek}}{i_{bek}}. \quad (2.94)$$

Szimmetrikus vezérlés esetén az (1) és (2) bemenetek között definiálható Z_{bes} szimmetrikus bemeneti impedancia a szimmetrikus és a közös impedanciák eredője:

$$Z_{bes} = (Z_{bes1} + Z_{bes2}) \times (Z_{bek1} + Z_{bek2}) \quad (2.95)$$

A gyakorlatban megvalósított kapcsolásokban általában a közös impedancia nagyságrenddel nagyobb a szimmetrikus impedanciánál, valamint feltételezve, hogy a szimmetrikus impedancia összetevők egyformák, ezért:

$$Z_{bes} \cong 2Z_{bes1} \cong 2Z_{bes2}. \quad (2.96)$$

Közös vezérlés esetén a közös bemeneti impedancia a

$$Z_{bek} = \frac{Z_{bek1}}{2} = \frac{Z_{bek2}}{2} \quad (2.97)$$

összefüggéssel határozható meg, feltételezve, hogy a közös impedancia összetevők egyformák.

A szimmetrikus erősítő kimenete két feszültségforrással helyettesíthető, mivel csak két aktív elem (pl. két tranzisztor) alkalmazásával valósítható meg az erősítő kapcsolás. Az (1)-es bemenet földhöz viszonyított feszültségváltozása az (1)-es kimenetet vezérli, míg a (2)-es kimenet feszültsége a (2)-es bemenet feszültségével arányos. A kimeneti feszültségek üresjárásra vonatkozó összefüggése:

$$u_{ki\bar{u}1} = A_{u\bar{u}1} u_{be1}, \quad (2.98)$$

$$u_{ki\bar{u}2} = A_{u\bar{u}2} u_{be2}. \quad (2.99)$$

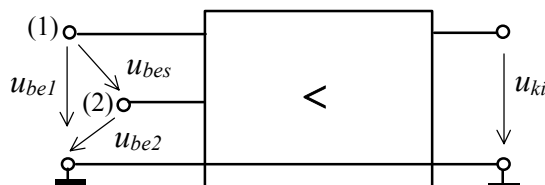
A kimeneti impedanciák:

$$Z_{ki1} = -\frac{u_{ki\bar{u}1}}{i_{kir1}}, \quad (2.100)$$

$$Z_{ki2} = -\frac{u_{ki\bar{u}2}}{i_{kir2}}. \quad (2.101)$$

2.3. Szimmetrikus bemenetű, aszimmetrikus kimenetű erősítők

A szimmetrikus bemenetű és aszimmetrikus kimenetű erősítőknek két földeletlen és egy földelt bemeneti kapcsa van, míg a kimeneti kapcsok közül az egyik földelt (2.20. ábra).



2.20. ábra. A szimmetrikus bemenetű és aszimmetrikus kimenetű erősítő tömbvázlata.

A bemeneti feszültség összetevői:

- az $u_{bes} = u_{be1} - u_{be2}$ szimmetrikus bemeneti feszültség,
- az $u_{bek} = \frac{u_{be1} + u_{be2}}{2}$ közös bemeneti feszültség.

A kimeneti feszültség:

$$u_{kis} = A_{us} u_{bes} + A_{uk} u_{bek} \quad (2.102)$$

alakú. Kíváncsú lenne, hogy az erősítő csak a földeletlen bemeneti kapcsok közötti feszültséget, a szimmetrikus feszültséget erősítse, míg a közös jelre az erősítés elhanyagolható legyen. Ennek jellemzője a közös feszültség elnyomási tényező:

$$E_{ku} = \frac{A_{us}}{A_{uk}}. \quad (2.103)$$

A szimmetrikus bemenetű és aszimmetrikus kimenetű erősítő vezérlési lehetőségei:

- szimmetrikus vezérlés,
- közös vezérlés,
- aszimmetrikus vezérlés.

Aszimmetrikus vezérlés esetén a kimeneti feszültség lényegében a szimmetrikus bemeneti feszültséggel arányos:

$$u_{ki} \cong A_{us} u_{bes}, \quad (2.104)$$

a kimeneti feszültség fázishelyzete a bemeneti feszültséghez képest attól függ, hogy melyik bemenet földelt. Ezért a bemeneti kapcsolók szokásos jelölése:

- + *neminvertáló bemenet*: a bemeneti és a kimeneti feszültség fázishelyzete azonos,
- *invertáló bemenet*: a bemeneti és a kimeneti feszültség fázishelyzete ellentétes.

Tartalomjegyzék

1. Analóg jelek erősítésének alapfogalmai	1
1.1. Az erősítők osztályozása	1
1.2. Erősítőjellemzők	1
1.1.1. Az erősítők transzfer karakterisztikája	4
2. Lineáris erősítők	6
2.1. Aszimmetrikus erősítők	6
2.1.1. Az erősítők visszacsatolása	9
2.1.1.1. A visszacsatolt erősítő eredő erősítésének meghatározása	9
2.1.2. A visszacsatolás alaptípusai	11
2.1.2.1. A visszacsatolt erősítő bemeneti impedanciája	17
2.1.2.2. A visszacsatolt erősítő kimeneti impedanciája	19
2.2. Szimmetrikus erősítők	21
2.2.1. A szimmetrikus erősítők bemeneti és kimeneti impedanciái	25
2.3. Szimmetrikus bemenetű, aszimmetrikus kimenetű erősítők	26