

**ÓBUDAI EGYETEM**  
**KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR**  
**AUTOMATIKA INTÉZET**

**Dr. Iváncsyné Csepesz Erzsébet**

**ELEKTRONIKA**

**1. Analóg jelek erősítésének alapfogalmai.**

**2. Lineáris erősítők.**

**BUDAPEST, 2015.**

## 1. ANALÓG JELEK ERŐSÍTÉSÉNEK ALAPFOGALMAI

Az erősítők olyan elektronikus áramkörök, amelyek a fogyasztó felé nagyobb teljesítményt képesek leadni, mint amekkora a meghajtó hálózathoz felvesznek. Az erősítők nem energiatermelők, működtetésükhöz tápegységre van szükség. A kimeneten a bemenethez 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 négyfókusznak tekinthetők, amelyek a bemenet felől passzív elemmel, a kimeneti oldalon pedig az aktív alkatrész miatt feszültség, vagy áram generátorral helyettesíthetők.

### 1.1. AZ ERŐSÍTŐK OSZTÁLYOZÁSA

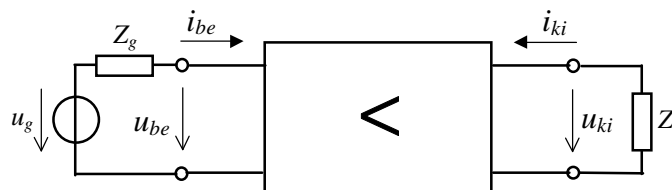
Az erősítőket többféle szempont szerint lehet csoportosítani. Az egyik lehetséges csoportosítás az alábbi:

- 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 erősítőjellelmezők 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 nagyinak kell lennie, hogy ne terhelje a meghajtó áramkört:  $Z_{be} \gg Z_g$ .

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

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

$u_{kiü}$ : 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 biztosítania, 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!

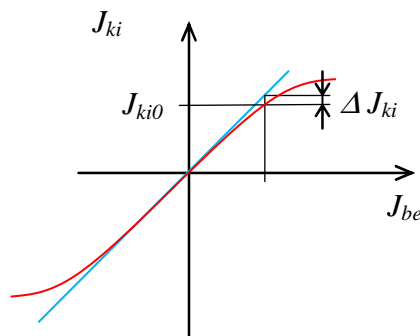
$$A_Z = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{-i_{ki} Z_t}{\frac{u_{be}}{Z_{be}}} = \frac{-i_{ki}}{u_{be}} Z_t Z_{be} = -A_Y Z_t Z_{be}, \quad A_Y = \frac{-A_Z}{Z_t Z_{be}}.$$

A negatív erősítés fizikailag azt jelenti, hogy a bemeneten lévő, adott irányú változás a kimeneten a bemenetihez viszonyítva ellentétes értelmű változást, fázis-

fordítást 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 szinuszostól. 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 teljes harmonikus torzítási tényező 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 teljes harmonikus torzítási tényező megadható az amplitúdók négyzetösszegeinek felhasználásával is:

$$THD_U = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}}, \quad (1.11)$$

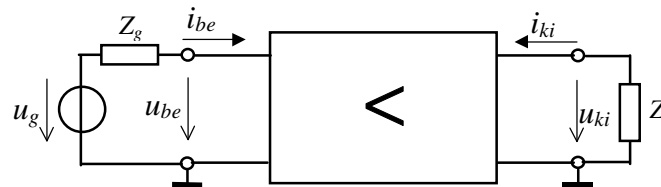
ahol  $U_1$  az alapharmonikus feszültség amplitúdója, az  $U_2, U_3, \dots, U_n$  a felharmonikus feszültség amplitúdók.

## 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

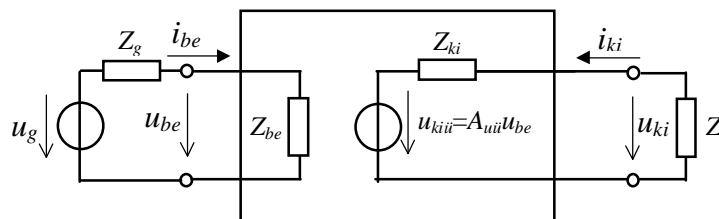
Ha az erősítőt tápláló jelforrás és az erősítő terhelésének egyik pontja egyaránt nulla potenciálon van (földelt), akkor olyan erősítő alkalmazható, amelynek a földelt bemeneti és a szintén földelt kimeneti pontja összeköthető, így az erősítő három különböző kivezetéssel rendelkezik. Ezt az erősítőt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

$$A_{uii} = \frac{u_{kii}}{u_{be}}. \quad (2.1)$$

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

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

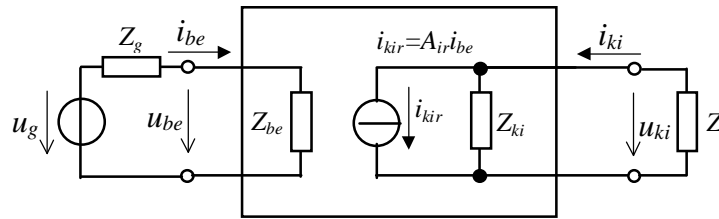
A 2.1 összefüggés alapján  $u_{kii}$  értékét a 2.2 összefüggésbe behelyettesítve:

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

Az erősítő  $A_u$  feszültségerősítése a helyettesítő kép alapján  $Z_t$  terheléssel:

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

### 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:

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

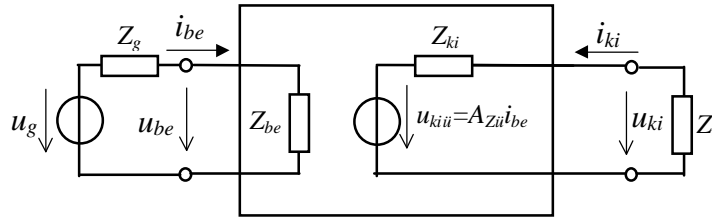
$$i_{ki} = A_{ir} i_{be} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (2.7)$$

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:

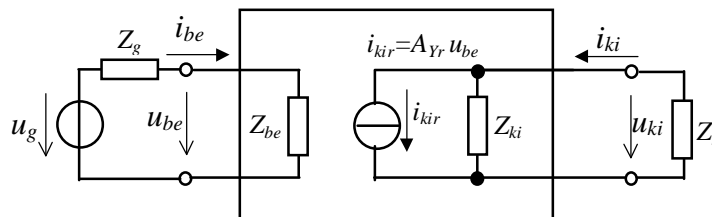
$$u_{ki} = u_{kiü} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}, \quad (2.10)$$

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

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:

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

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

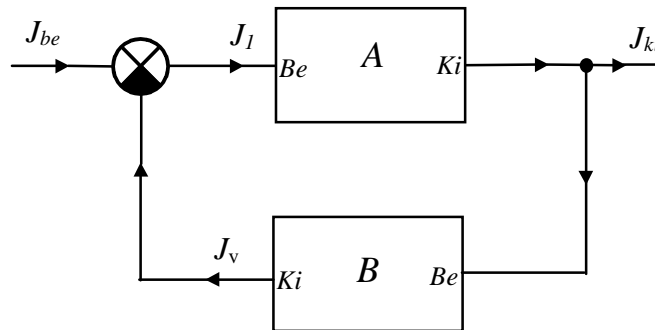
Az erősítő  $A_Y$  erősítő admittanciája a helyettesítő kép alapján  $Z_t$  terheléssel az

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

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 erősítőjellemzője:  $A$ .

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

$J_{be}$  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)* a kimeneti feszültséggel arányos feszültség visszacsatolás
- b)* a kimeneti árammal arányos feszültség visszacsatolás
- c)* a kimeneti feszültséggel arányos áram visszacsatolás
- d)* 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

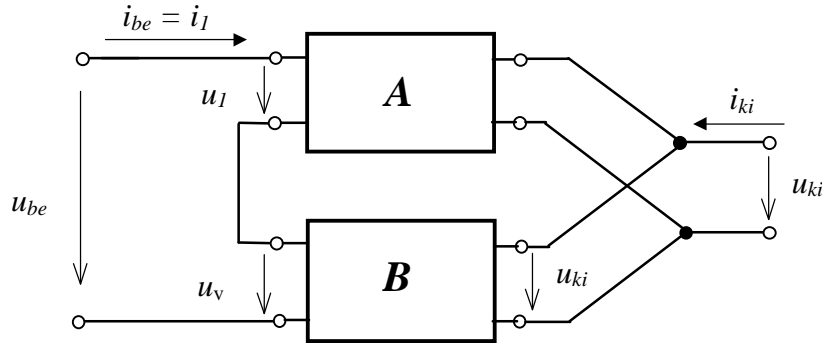
- $B_z = \frac{u_v}{i_{ki}}$  átviteli impedancia

- $B_y = \frac{i_v}{u_{ki}}$  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  $u_I$  feszültséggel arányos:  $u_{ki} = A_u u_I$ , így a feszültségerősítése:

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

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:  $i_{be} = i_I$ .) 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:

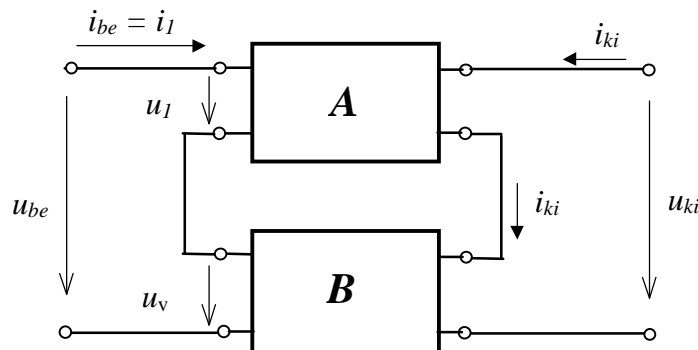
$$A'_y = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_{ki}}{u_l + u_v} = \frac{A_y}{1 + A_u B_u}. \quad (2.34)$$

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

### b) Soros áram visszacsatolás — 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:

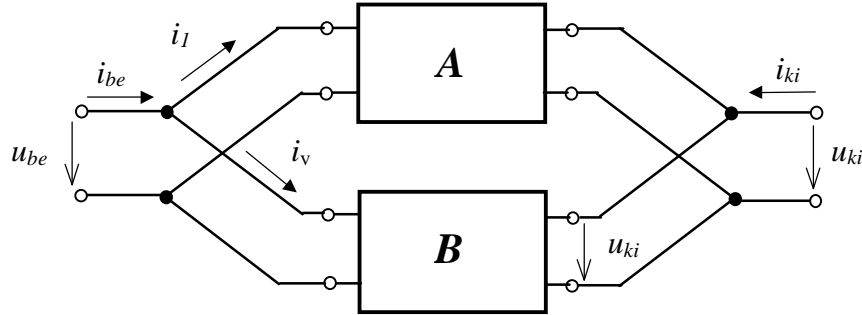
$$A'_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_1 + u_v} = \frac{u_{ki}}{u_1 + A_Y B_Z u_1} = \frac{u_{ki}}{u_1 (1 + A_Y B_Z)} = \frac{A_u}{1 + A_Y B_Z}. \quad (2.40)$$

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 feszültség visszacsatolás — kimeneti feszültséggel arányos áram visszacsatolás

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 csomópontra 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:

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

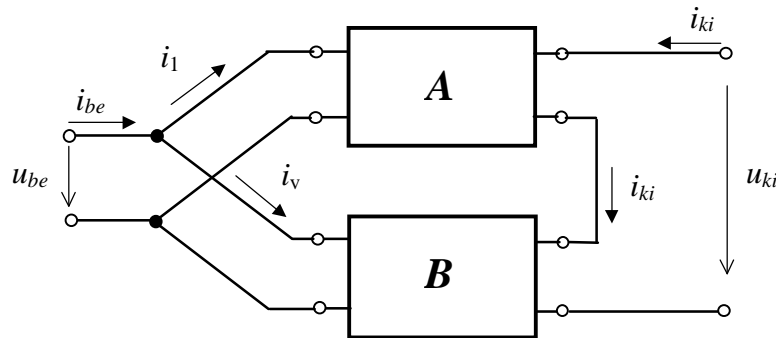
és az erősítő impedancia is:

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



#### d) Párhuzamos áram visszacsatolás — kimeneti árammal arányos áram visszacsatolás

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 áram visszacsatolás tömbvázlata.

Az A erősítő kimeneti árama az  $i_1$  árammal arányos:  $i_{ki} = A_i i_1$ .

Az A erősítő áramerősítése:

$$A_i = \frac{i_{ki}}{i_1}. \quad (2.50)$$

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 feszültségerősítés:

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

és az erősítő admittancia:

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

A visszacsatolás hatására megváltozik az áramerősítés:

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

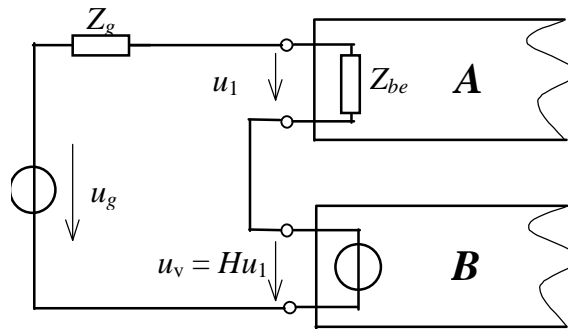
valamint az erősítő impedancia is:

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

### 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:  $u_{be} = u_1 + u_v$ .

A  $B$  erősítő aktív kimenetét feszültséggenerátor modellezi, amelynek feszültsége  $u_v = H u_1$ , ahol  $H$  a visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése. A bemeneti feszültség  $u_{be} = u_1(1 + H)$  alakban is kifejezhető:

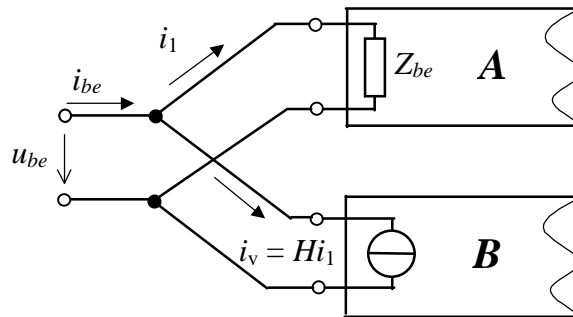
$$Z'_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_1(1 + H)}{i_{be}}. \quad (2.58)$$

A visszacsatolatlan rendszer bemeneti impedanciája:  $Z_{be} = \frac{u_1}{i_{be}}$ , 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:  $i_{be} = i_1 + i_v$ .

A  $B$  erősítő aktív kimenetét áramgenerátor modellezi, amelynek árama:  $i_v = Hi_1$ , ahol  $H$  a visszacsatolt rendszer célszerű hurokerősítése. A bemeneti áram  $i_{be} = i_1(1 + H)$  alakban is kifejezhető:

$$Z'_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_{be}}{i_1 + i_v} = \frac{u_{be}}{i_1(1 + H)}. \quad (2.61)$$

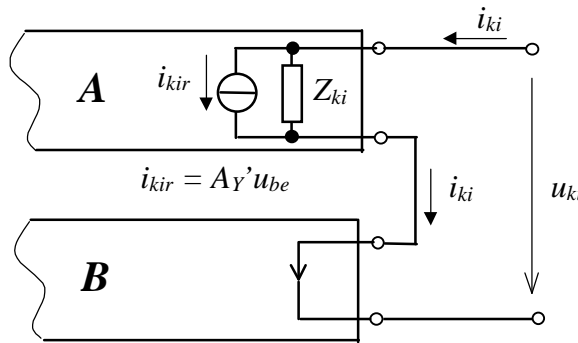
A visszacsatolatlan rendszer bemeneti impedanciája:  $Z_{be} = \frac{u_{be}}{i_1}$ , így a visszacsatolt rendszer eredő bemeneti impedanciája:

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

### 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 áram visszacsatolásnál



2.13. ábra. Helyettesítő kép az áram visszacsatolások 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:

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

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

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

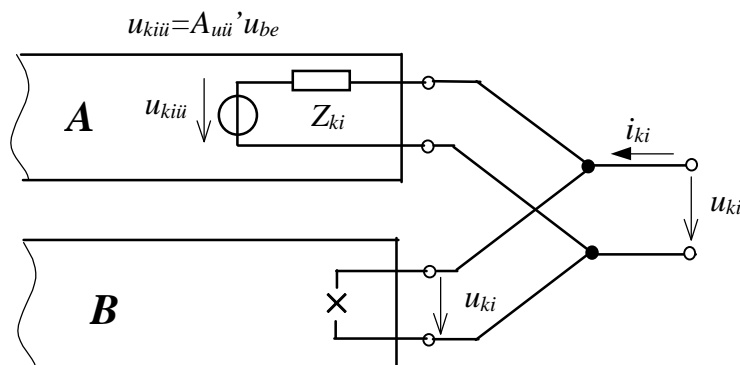
alakban, ahol a visszacsatolatlan erősítőjellemezőkkel kell számolni, mert az áram-visszacsatolás üresjárásban hatástalan.

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

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

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:

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

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

$$u_{kii} = \frac{A_{uii}}{1 + H_{ii}} u_{be} \quad (2.72)$$

alakban is felírható.

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

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

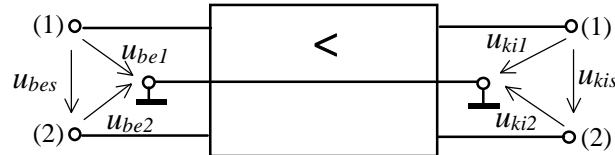
alakú. A visszacsatolt rendszer eredő kimeneti impedanciája a 2.72 és a 2.73 összefüggések felhasználásával:

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

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

## 2.2. SZIMMETRIKUS ERŐSÍTŐK

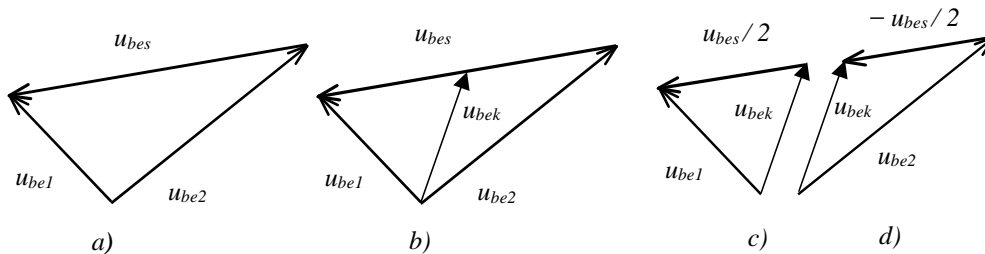
Ha a jelforrás és a terhelés egyik pontja sem földelhető, akkor olyan erősítő alkalmazható, amely négy kivezetéssel rendelkezik. A kivezetéseknek a földponthoz képest szimmetrikus elektromos jellemzőjük van. Ezt az erősítőt szimmetrikus erősítőnek nevezik.



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

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

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

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:

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

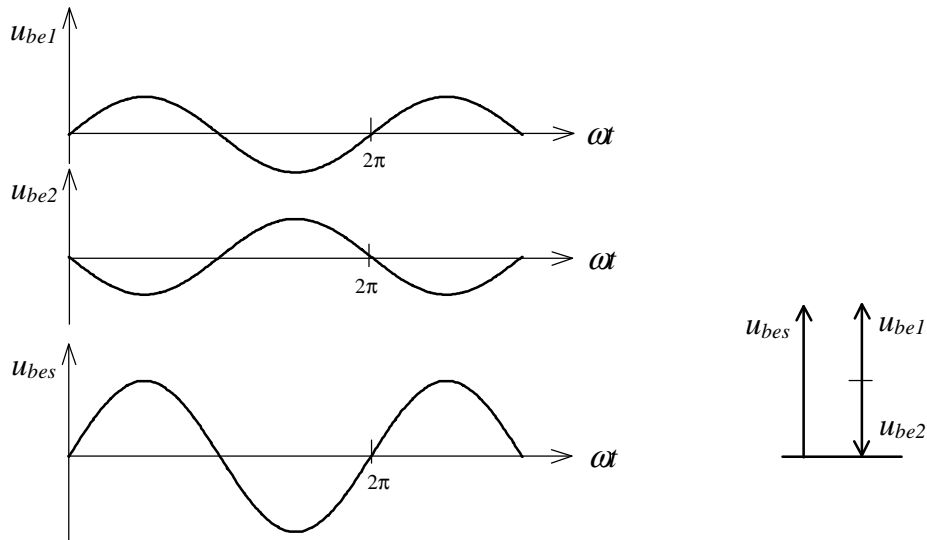
$$A_{ukk} = \frac{u_{kik}}{u_{bek}}, \quad \text{ha} \quad u_{bes} = 0. \quad (2.86)$$

A szimmetrikus erősítők vezérlési módjai:

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

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

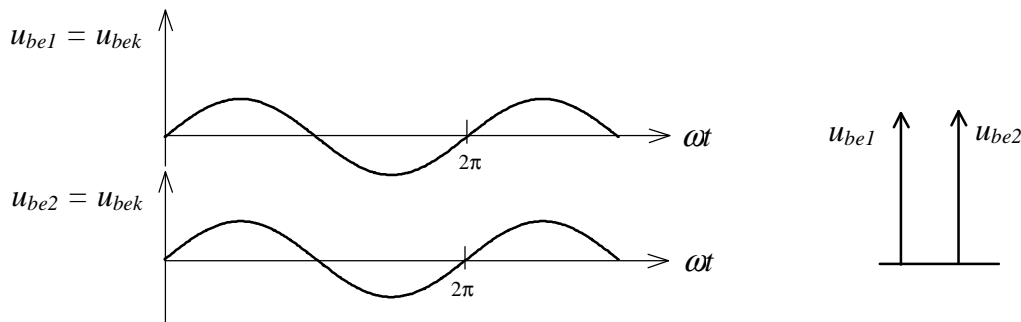




2.17. ábra. A szimmetrikus erősítő bemeneti feszültségei szimmetrikus vezérlés esetén.

- b) Közös vezérlés:** az erősítő két bemenetét azonos nagyságú és azonos fázis-helyzetű 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 földeletlen 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:

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

A diszkriminációs tényező:

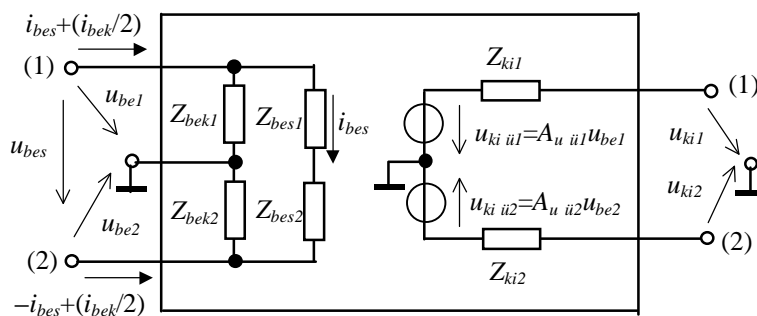
$$D_u = \frac{A_{us}}{A_{uk}}. \quad (2.92)$$

A katalógusokban a közös feszültség elnyomási tényezőt a **CMRR** (**Common Mode Rejection Ratio**) 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:

$$Z_{bek1} = \frac{u_{bek}}{\frac{i_{bek}}{2}}. \quad (2.94)$$

*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:

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

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

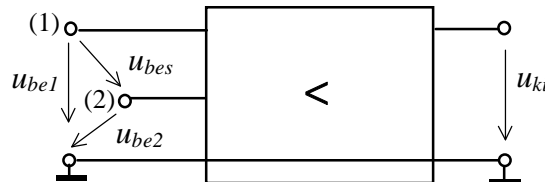
A kimeneti impedanciák:

$$Z_{ki1} = -\frac{u_{ki\ \ddot{u}1}}{i_{ki\ r1}}, \quad (2.100)$$

$$Z_{ki2} = -\frac{u_{ki\ \ddot{u}2}}{i_{ki\ r2}}. \quad (2.101)$$

### 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. Kíváncsatos 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 fázishelyezete a bemeneti feszültséghez képest attól függ, hogy melyik bemenet földelt. Ezért a bemeneti kapcsok szokásos jelölése:

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

## Tartalomjegyzék

<b>1. Analóg jelek erősítésének alapfogalmai</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Az erősítők osztályozása</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Erősítőjellemzők</b>	<b>1</b>
<b>1.2.1. Az erősítők transzfer karakterisztikája</b>	<b>4</b>
<b>2. Lineáris erősítők</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Aszimmetrikus erősítők</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. Az erősítők visszacsatolása</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.1. A visszacsatolt erősítő eredő erősítésének meghatározása</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2. A visszacsatolás alaptípusai</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2.1. A visszacsatolt erősítő bemeneti impedanciája</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2.2. A visszacsatolt erősítő kimeneti impedanciája</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Szimmetrikus erősítők</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1. A szimmetrikus erősítők bemeneti és kimeneti impedanciái</b>	<b>25</b>
<b>2.3. Szimmetrikus bemenetű, aszimmetrikus kimenetű erősítők</b>	<b>27</b>