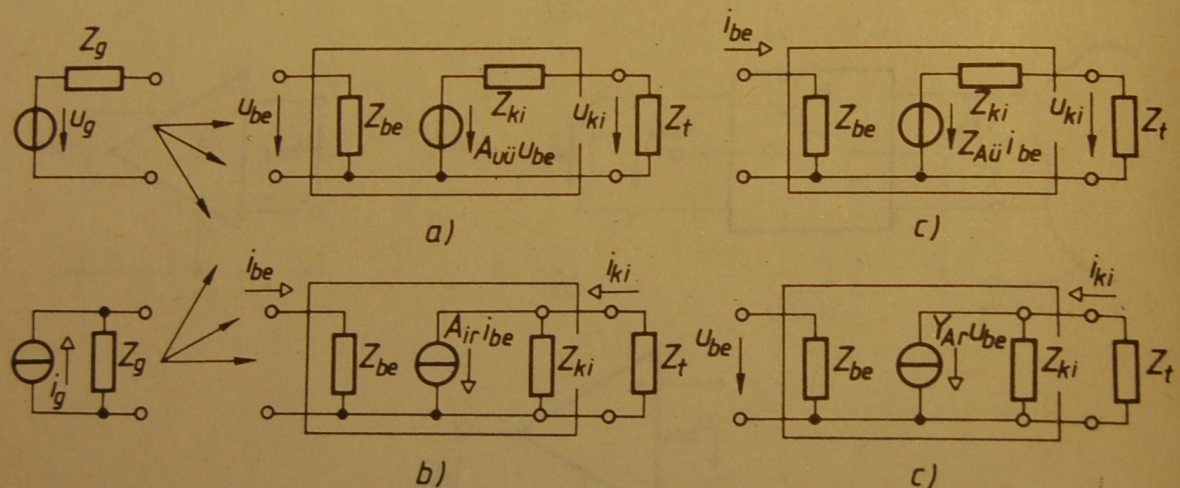


szimmetrikusan (1.1.b ábra:  $u_{ki,s}$ ), vagy egy földetlen és egy földelt kimeneti kapocs között aszimmetrikusan (1.1.c ábra:  $u_{ki}$ ).

Mind aszimmetrikus, mind szimmetrikus erősítő esetén akkor beszélünk *lineáris erősítőről*, ha a bemeneti és kimeneti kapcsokon mérhető feszültségek és áramok közötti kapcsolat lineáris egyenlettel, illetve egyenletrendszerrel írható le. Ez a feltétel a bemeneti és kimeneti feszültségek és áramok meghatározott tartományára igaz (linearitási tartomány). A linearitási tartományban alkalmazhatjuk a szuperpozíció elvét.

## 1.1 Aszimmetrikus (hárompólusú) erősítők

Az aszimmetrikus erősítőt – belső felépítésétől függetlenül – az 1.2 ábrán látható valamelyik helyettesítő képpel és üzemi paramétereivel jellemezzük.



1.2 ábra

Aszimmetrikus erősítők helyettesítő képei

A négy-pólusként felrajzolt hárompólusú erősítő felfogható speciális, átmenő vezetékkel rendelkező kétkapunak is, így jellemezhető volna kétkapu paraméterekkel. Ehelyett az üzemi paraméterekkel történő jellemzés terjedt el a gyakorlatban, mert ezeknek mérésel történő meghatározása egyszerűbb. Üzemi paraméternek nevezzük az illesztési jellemzőket (a bemeneti és kimeneti impedanciát), valamint az erősítés-, ill. átviteli (transzfer) jellemzőket.

Az üzemi paraméterek fontos tulajdonsága, hogy értékük – különösen visszacsatolt erősítők esetén – függ az erősítő bemeneti és kimeneti lezárásától, tehát  $Z_g$ -től és  $Z_t$ -től. Ezért meg kell adni, hogy az erősítőt jellemző üzemi paraméterek milyen lezárásokhoz tartoznak.



Az üzemi paraméterek definícióját és mértékegységét az 1.1 táblázat foglalja össze.

1.1 táblázat

Lineáris erősítők üzemi paraméterei

Az üzemi paraméterek				
megnevezése	jele	definíciója	dimenziója	jele a frekvenciafüggetlen tartományban
Bemeneti impedancia	$Z_{be}$	$\frac{u_{be}}{i_{be}}$	ohm	$R_{be}$
Kimeneti impedancia	$Z_{ki}$	$-\frac{u_{ki\bar{u}}}{i_{kir}}$	ohm	$R_{ki}$
Feszültségerősítés	$A_u$	$\frac{u_{ki}}{u_{be}}$	–	$A_{u0}$
Áramerősítés	$A_i$	$\frac{i_{ki}}{i_{be}}$	–	$A_{i0}$
Átviteli admittancia	$Y_A$	$\frac{i_{ki}}{u_{be}}$	S	$G_A$
Átviteli impedancia	$Z_A$	$\frac{u_{ki}}{i_{be}}$	ohm	$R_A$
Teljesítményerősítés	$A_p$	$-\frac{u_{ki}i_{ki}}{u_{be}i_{be}}$	–	$A_{p0}$

**Megjegyzések:**

- A  $Z_{ki}$  és  $A_p$  definíciójában a negatív előjel a választott passzív mérőirányrendszer következménye.
- A  $Z_{ki}$  definíciójában  $u_{ki\bar{u}}$  az üresjárásban ( $Z_t = \infty$ ) mérhető kimeneti feszültséget,  $i_{kir}$  a rövidzárási ( $Z_t = 0$ ) kimeneti áramot jelöli. E mennyiségek mérésekor feltételezzük, hogy a meghajtó generátor forrásjele változatlan. Ha az erősítő kimenete nem terhelhető szélsőségesen, akkor két különböző, ismert nagyságú terhelésnél, változatlan meghajtás mellett végzett kimeneti feszültség (vagy áram) méréssel lehet a kimeneti impedanciát meghatározni.
- Minthogy a bemeneti jelek között  $Z_{be}$ , a kimeneti jelek között pedig  $Z_t$  egyértelmű kapcsolatot teremt:

$$Z_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} \quad \text{és} \quad Z_t = -\frac{u_{ki}}{i_{ki}}, \quad (1.1)$$



ezekon kívül elég egyetlen erősítésjellemezőt ismernünk, a többi e három adatból már kiszámítható:

$$A_u = -\frac{Z_t}{Z_{be}} A_i = -Z_t Y_A = \frac{1}{Z_{be}} Z_A. \quad (1.2)$$

Az erősítő kimenetét helyettesítő aktív kétpólus (lásd 1.2 ábra) vezérelt generátorának forrásfeszültsége, illetve forrásárama az erősítő kimeneti üresjárásifeszültségével, illetve rövidzárási áramával egyezik meg. E különleges terheléseknél mérhető erősítésjellemezőkre külön jelölést vezetünk be (az üresjárásra „ü”, a rövidzárársra „r” index utal):

$$\begin{aligned} A_{u\ddot{u}} &= \frac{u_{ki\ddot{u}}}{u_{be}}, & Z_{A\ddot{u}} &= \frac{u_{ki\ddot{u}}}{i_{be}}, & A_{i\ddot{u}} &= Y_{A\ddot{u}} = 0, \\ A_{i_r} &= \frac{i_{ki_r}}{i_{be}}, & Y_{A_r} &= \frac{i_{ki_r}}{u_{be}}, & A_{u_r} &= Z_{A_r} = 0. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Valamely üzemi lezárásra vonatkozó erősítésjellemező kifejezhető az üresjárásifeszültség, illetve a rövidzárási erősítésjellemezőkkel. Például:

$$A_u = A_{u\ddot{u}} \frac{Z_t}{Z_{ki} + Z_t}, \quad \text{vagy} \quad Y_A = Y_{A_r} \frac{Z_{ki}}{Z_{ki} + Z_t}. \quad (1.4)$$

Bár minden lineáris aszimmetrikus erősítő modellezhető az 1.2 ábra bármelyik helyettesítő képével, a gyakorlatban attól függően célszerű a helyettesítő képek közül választani, hogy melyik modell áll közelebb az erősítőtől elvárt ideális viselkedéshez. Az erősítőtől ugyanis gyakran azt várjuk el, hogy tulajdonságai az ideális vezérelt jelforrások valamelyikének tulajdonságait közelítsék.

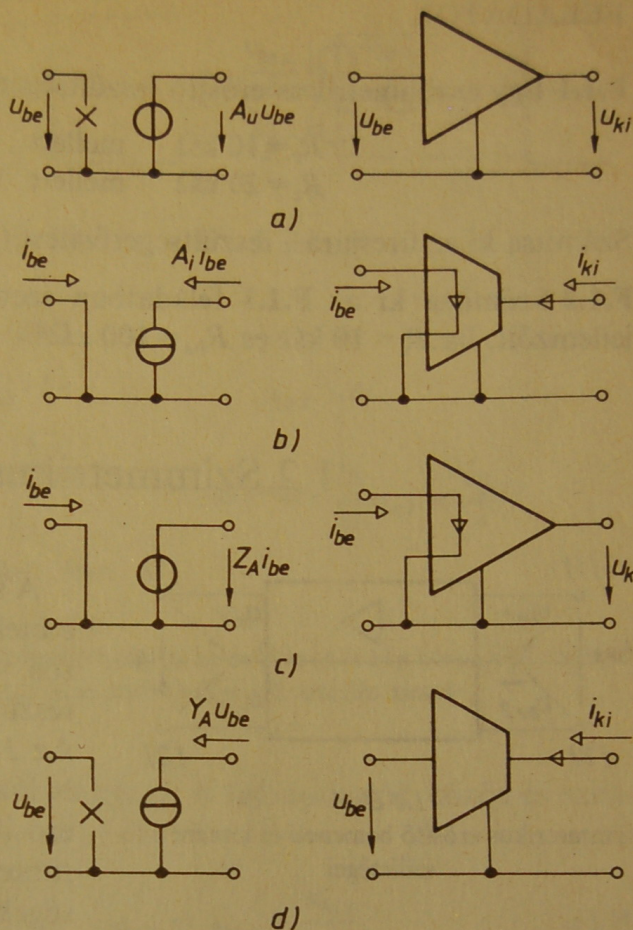
A gyakorlatban legelterjedtebb a *feszültség-erősítő*, amelytől az ideális feszültségvezérelt feszültségforrás tulajdonságait várjuk el ( $Z_{be} = \infty$ ,  $Z_{ki} = 0$ ). Így ez az erősítő a jelforrás üresjárásifeszültségét erősíti, és a terhelőimpedanciától független feszültség-erősítéssel erősített feszültség kerül a terhelésre. Az ideális feszültség-erősítő helyettesítőképe és jelképi jelölése az 1.3.a ábrán látható. Mivel az ideális tulajdonságok csak megközelíthetők, a valódi feszültség-erősítő modellezésére az 1.2.a ábra helyettesítőképét használjuk.

Az *áramerősítő* ideális esetben áramvezérelt áramforrás ( $Z_{be} = 0$ ;  $Z_{ki} = \infty$ ; 1.3.b ábra), az áramvezérelt feszültségforrás elterjedt elnevezése *áram-feszültség átalakító-erősítő* (áram-feszültség konverter, de nevezik transzimpedancia-erősítőnek is), míg a feszültségvezérelt áramforrás a *feszültség-áram átalakító-erősítő* (feszültség-áram konverter, transzkonduktancia-erősítő). Ez utóbbi két erősítő típus ideális helyettesítő képe és egy lehetséges jelképi jelölése az 1.3.c. ill. 1.3.d ábrán látható. A valódi áramerősítő modellezésére az 1.2.b, az áram-fe-



1.3 ábra

Az aszimmetrikus feszültségerősítő (a), áramerősítő (b), áram-feszültség átalakító erősítő (c) és feszültség-áram átalakító erősítő (d) ideális helyettesítő képe és jelképi jele



szültség átalakító modellezésére az 1.2.c, míg a feszültség-áram átalakító nem-ideális tulajdonságainak leírására az 1.2.d ábra szerinti helyettesítő kép szolgál.

Az erősítők paraméterei többnyire frekvenciafüggő komplex mennyiségek. Az erősítőket úgy alakítjuk ki, hogy legyen olyan frekvenciatartomány, amelyen belül az üzemi paraméterek valósnak tekinthetők. Ezt a tartományt az erősítő *frekvenciafüggetlen tartományának* nevezzük, és az üzemi paramétereket – e tartománybeli valós jellegükre utalva – többnyire másképpen jelöljük, mint általánosságban (lásd 1.1. táblázat).

A valós erősítésjellemezők mérőszáma pozitív és negatív is lehet. Ha az erősítő bemeneti és kimeneti feszültségei megfelelnek a passzív mérőirányrendszernek, akkor *fázist nem fordító* (nem invertáló) erősítőről beszélünk. Ha csak az egyik feszültség felel meg a mérőiránynak, míg a másik azzal ellentétes, *fázisfordító* (invertáló) az erősítő. Fázist nem fordító erősítőnél  $A_{u0}$  és  $R_A$  mérőszáma pozitív,  $A_{i0}$  és  $G_A$  mérőszáma negatív. Fázisfordító erősítőnél az előjelek felcserélődnek.



## FELADATOK

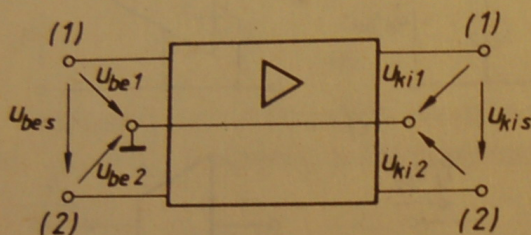
**F.1.1** Egy aszimmetrikus erősítő feszültségerősítése

$$\begin{aligned} R_t = 10 \text{ k}\Omega & \quad \text{mellett} \quad A_{u0} = -55, \\ R_t = 20 \text{ k}\Omega & \quad \text{mellett} \quad A_{u0} = -75. \end{aligned}$$

Számítsa ki az üresjárású feszültségerősítést ( $A_{ui}$ ) és a kimeneti ellenállást ( $R_{ki}$ )!

**F.1.2** Számítsa ki az **F.1.1** feladatban szereplő erősítő  $A_{i0}$ ,  $G_A$ ,  $R_A$  és  $A_{p0}$  jellemzőit, ha  $R_t = 10 \text{ k}\Omega$  és  $R_{be} = 100 \text{ k}\Omega$ !

## 1.2 Szimmetrikus erősítők



1.4 ábra

Szimmetrikus erősítő bemeneti és kimeneti feszültségei

A szimmetrikus erősítők a gyakorlati esetek többségében feszültséggenerátoros vezérlést kapnak és kimenetük is feszültséggenerátorosnak tekinthető. Az 1.4 ábrán – a meghajtó és a terhelő hálózatot mellőzve – egy szimmetrikus erősítő tömbvázlatát rajzoltuk meg, felüntetve a bemeneti és kimeneti feszültségeket.

Általános esetben az  $u_{be1}$  és  $u_{be2}$  bemeneti feszültség tetszőleges nagyságú és fázishelyzetű. Az 1.5.a ábrán egy lehetséges  $u_{be1}$ ,  $u_{be2}$  kombináció vektorábrája látható. Az  $u_{be1}$  és  $u_{be2}$  feszültségvektorok két-két összetevő eredőjeként foghatók fel. Mindkét bemeneti feszültségben azonos nagyságú és fázishelyzetű az

$$u_{bek} = \frac{u_{be1} + u_{be2}}{2} \quad (1.5)$$

egyenlettel definiált közös összetevő, és azonos nagyságú, de ellentétes fázishelyzetű az

$$u_{bes} = u_{be1} - u_{be2} \quad (1.6)$$

definíciójú szimmetrikus bemeneti jel megfelezésével nyert összetevő:

$$u_{be1} = u_{bek} + \frac{u_{bes}}{2}, \quad u_{be2} = u_{bek} - \frac{u_{bes}}{2}. \quad (1.7)$$

Az 1.5.b ábra is ezt a jelfelbontást érzékelteti.



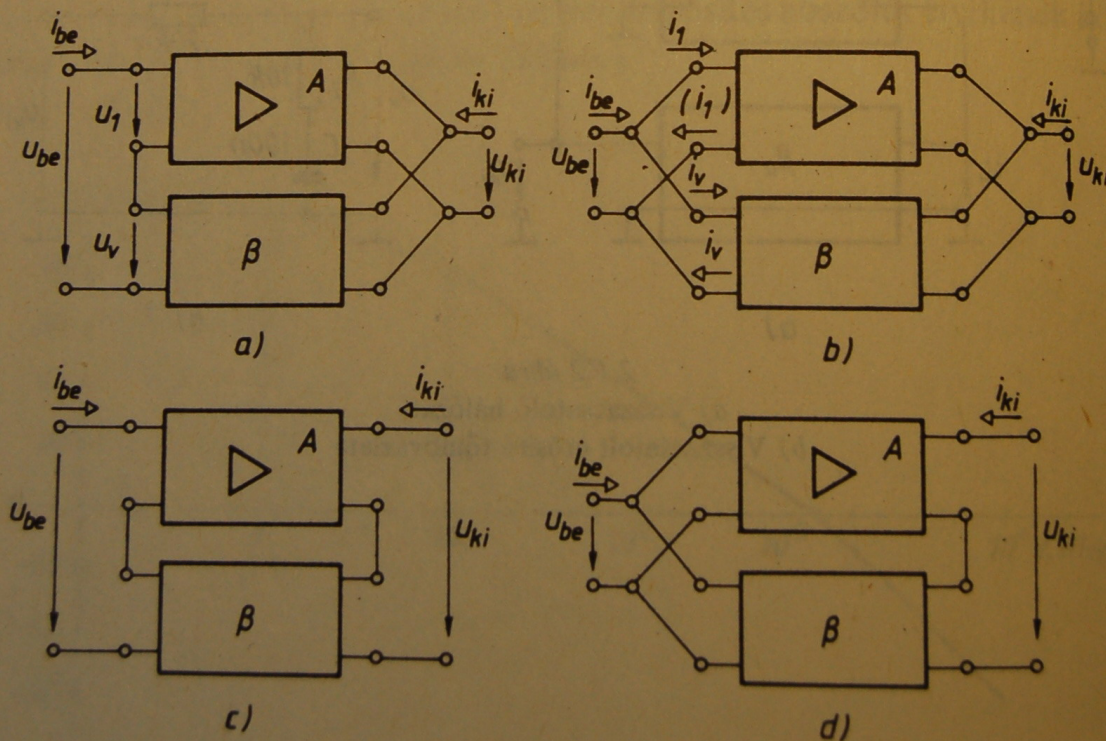
## 2.4 Aszimmetrikus erősítők visszacsatolásának négy alapesete

Az aszimmetrikus erősítő és a visszacsatoló négy pólus összekapcsolására négy lehetőség van (2.21 ábra). Az egyes lehetőségek megnevezésére két-két szót használunk. Az első szó az erősítő bemenete felőli összekapcsolási módra utal, amely soros vagy párhuzamos lehet. A második szó azt fejezi ki, hogy a visszacsatoló tag által az erősítő bemenetére visszavezetett jel az erősítő kimeneti feszültségével vagy áramával arányos-e. Összevetve a 2.21 ábrát a 2.1 ábrával, úgy tűnhet, hogy a 2.21 ábra kapcsolásaiból hiányzik a különbségképző. Bár különálló különbségképző valóban nincs, a négy pólusoknak az erősítő bemenete felőli összekapcsolása ellátja a különbségképző funkcióját. Vegyük például a 2.21.a ábrán bemutatott soros visszacsatolást! A  $\beta$  visszacsatoló tag az erősítő kimeneti jelével (itt feszültség) arányos  $u_v$  jelet csatol vissza a bemenetre. Az erősítőt vezérlő  $u_1$  feszültség az  $u_{be}$  bemeneti feszültségből és a visszacsatolt feszültségből Kirchhoff huroktörvénye alapján számítható ki:

$$u_1 = u_{be} - u_v. \quad (2.36)$$

Ha a 2.21.b ábra szerinti párhuzamos visszacsatolást vesszük, és akármelyik közösített bemeneti pontra felírjuk Kirchhoff csomóponti törvényét:

$$i_1 = i_{be} - i_v, \quad (2.37)$$



2.21 ábra

Aszimmetrikus erősítők visszacsatolásának alapesetei



azt kapjuk, hogy az erősítőt vezérlő  $i_1$  áram az  $i_{be}$  bemeneti áram és az erősítő kimeneti jelével (itt feszültség) arányos visszacsatolt áram ( $i_v$ ) különbségeként adódik.

Mint látjuk, soros visszacsatolással feszültségek (és csak feszültségek), párhuzamos visszacsatolással pedig áramok (és csakis áramok) különbségét képezhetjük. Ebből az következik, hogy a soros visszacsatolás csak azokra az erősítésjellemzőkre lehet hatással, amelyeket a bemeneti feszültségre vonatkoztatva definiálunk ( $A_u$  és  $Y_A$ ), és a párhuzamos visszacsatolás csak a bemeneti áramra vonatkoztatással definiált erősítésjellemzőkre ( $A_i$  és  $Z_A$ ) gyakorolhat hatást.

A visszacsatoló tagot illetően – első közelítésben – a következő feltételezésekkel élünk:

1. nem terheli az erősítő kimenetét,
2. a visszacsatolt jelet ideális generátorként szolgáltatja,
3. visszahatásmentes.

A felsorolt feltételeknek eleget tevő visszacsatoló tagot *ideálisnak* nevezzük.

Az erősítő és a visszacsatoló tag összekapcsolási módjából egyértelműen következik, hogy a visszacsatolás vizsgálatakor az erősítő és a visszacsatoló tag melyik átviteli jellemzőjét célszerű számításba venni. A 2.22 ábrán újra felrajzoltuk a visszacsatolás négy alapesetét, feltüntetve az alkalmazandó átviteli jellemzőket. A visszacsatoló tag átviteli jellemzői a következőképpen értelmezhetők:

$$\beta_u = \frac{u_v}{u_{ki}} \text{ a visszacsatoló tag feszültségátvitele,}$$

$$Y_\beta = \frac{i_v}{u_{ki}} \text{ a visszacsatoló tag transzfer admittanciája,}$$

$$Z_\beta = \frac{u_v}{i_{ki}} \text{ a visszacsatoló tag transzfer impedanciája és}$$

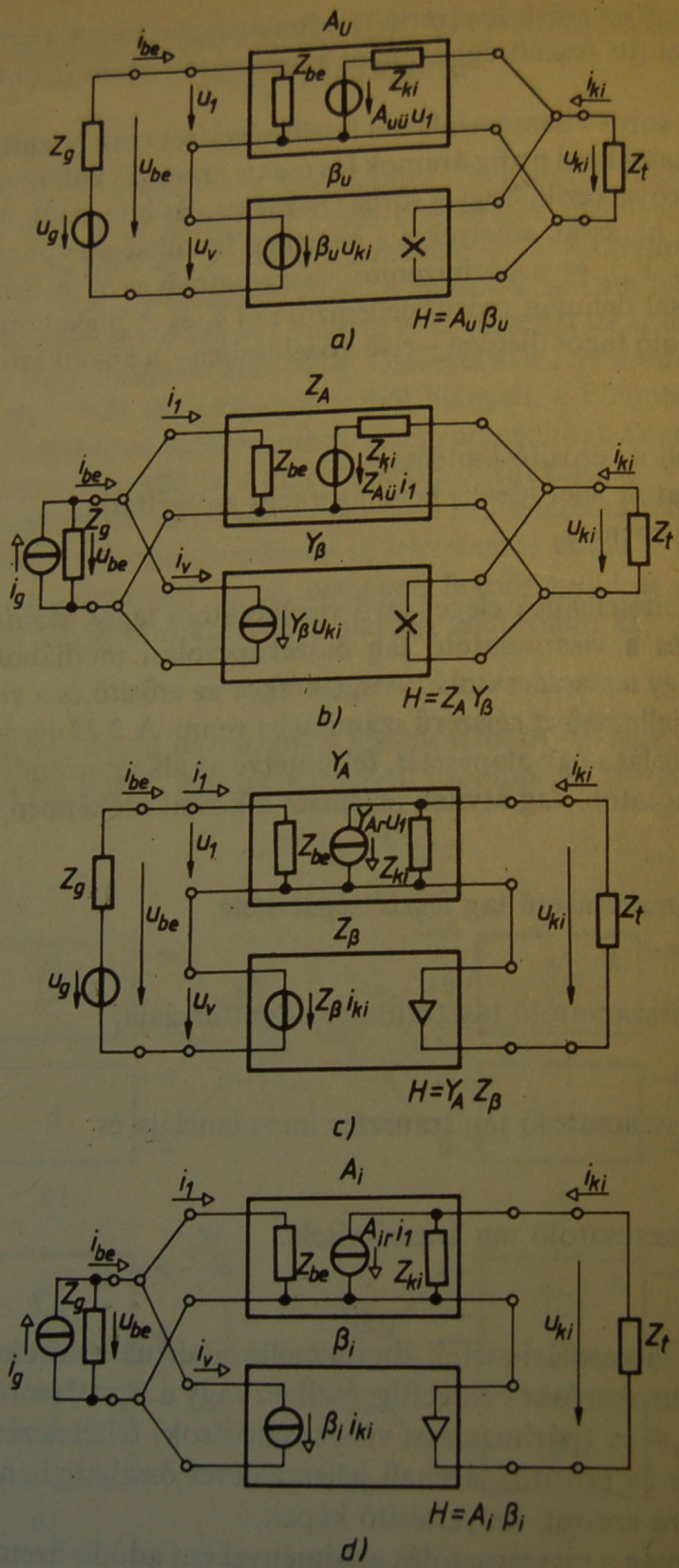
$$\beta_i = \frac{i_v}{i_{ki}} \text{ a visszacsatoló tag áramátvitele.}$$

Az egyes visszacsatolási esetek ábrája mellé odaírtuk a hurokerősítés aktuális kifejezését. A hurokerősítés összefüggéseiben vagy a  $Z_g = 0$  (soros visszacsatolások), vagy a  $Z_g = \infty$  (párhuzamos visszacsatolások) feltételezéssel éltünk.

A 2.22 ábrán az erősítők átviteli jellemzőjével összhangban feltüntettük az erősítők 1.2 ábra szerinti helyettesítő képeit.

Határozzuk meg a visszacsatolás eredményeként adódó üzemi paramétereiket (ezeket a visszacsatolás nélküli paramétereiktől \*-gal különböztetjük meg)!





2.22 ábra  
Visszacsatolások ideális visszacsatoló taggal



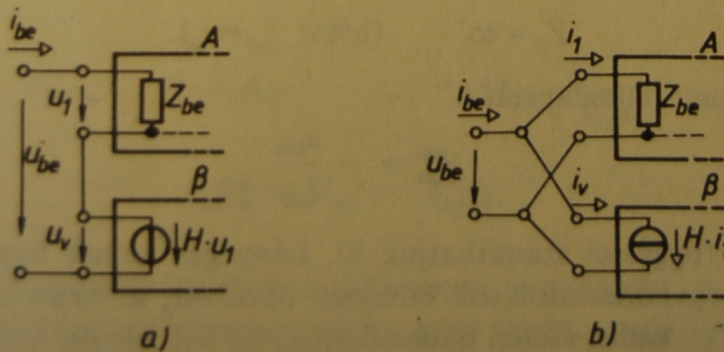
Visszacsatolt erősítők eredő üzemi paramétereinek számítása ideális visszacsatoló tag esetén

	SF	PF	SÁ	PÁ
$H$	$\beta_u A_u$	$Y_\beta Z_A$	$Z_\beta Y_A$	$\beta_i A_i$
$A_u^*$	$\frac{A_u}{1+H}$	$A_u$	$\frac{A_u}{1+H}$	$A_u$
$Y_A^*$	$\frac{Y_A}{1+H}$	$Y_A$	$\frac{Y_A}{1+H}$	$Y_A$
$Z_A^*$	$Z_A$	$\frac{Z_A}{1+H}$	$Z_A$	$\frac{Z_A}{1+H}$
$A_i^*$	$A_i$	$\frac{A_i}{1+H}$	$A_i$	$\frac{A_i}{1+H}$
$Z_{be}^*$	$Z_{be}(1+H)$	$\frac{Z_{be}}{1+H}$	$Z_{be}(1+H)$	$\frac{Z_{be}}{1+H}$
$Z_{ki}^*$	$\frac{Z_{ki}}{1 + \frac{Z_{be}}{Z_g + Z_{be}} A_{ui} \beta_u}$	$\frac{Z_{ki}}{1 + \frac{Z_g}{Z_g + Z_{be}} Z_{Au} Y_\beta}$	$Z_{ki} \left( 1 + \frac{Z_{be}}{Z_g + Z_{be}} Y_{Ar} Z_\beta \right)$	$Z_{ki} \left( 1 + \frac{Z_g}{Z_g + Z_{be}} A_{ir} \beta_i \right)$

A visszacsatolt erősítő *eredő átviteli jellemzőit* a (2.4) összefüggés segítségével írhatjuk fel (2.2 táblázat).

Az *eredő bemeneti és kimeneti impedancia* felírásához további megfontolásokra van szükség.

Az *eredő bemeneti impedancia* meghatározásakor is két csoportra oszthatjuk a négy alapesetet: soros és párhuzamos visszacsatolásokra. A 2.23 ábrán csak az erősítő bemeneti oldala felőli kapcsolási részletet tüntettük fel: az *a* ábrán soros, a *b* ábrán párhuzamos visszacsatolás esetén.



2.23 ábra

A bemeneti impedancia meghatározása  
a) soros, b) párhuzamos visszacsatolás esetén



Soros visszacsatolás (2.23.a ábra) esetén a bemeneti körre felírt hurokegyenlet:

$$u_{be} = u_1 + u_v = u_1 + Hu_1 = (1 + H)u_1.$$

Mint hogy  $u_1 = Z_{be}i_{be}$ , az eredő bemeneti impedancia:

$$Z_{be}^* = \frac{u_{be}}{i_{be}} = Z_{be}(1 + H). \quad (2.38)$$

Ebből az összefüggésből megállapítható, hogy soros visszacsatolás alkalmazásakor a bemeneti impedancia megnő, a növekedést a visszacsatolás mértéke  $(1 + H)$ , mint szorzótényező szabja meg.

Párhuzamos visszacsatolás (2.22.b ábra) esetén az egyik bemeneti kapcsolásra felírt csomóponti egyenlet:

$$i_{be} = i_1 + i_v = i_1 + Hi_1 = (1 + H)i_1. \quad (2.39)$$

Mint hogy most  $u_{be} = Z_{be}i_1$ , az eredő bemeneti impedancia:

$$Z_{be}^* = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{Z_{be}}{1 + H}. \quad (2.40)$$

Tehát párhuzamos visszacsatolás alkalmazásakor a bemeneti impedancia lecsökken: a csökkenés arányát a visszacsatolás mértéke határozza meg.

A kapott eredményekkel összhangban töltöttük ki a 2.2 táblázat  $Z_{be}^*$  sorát.

Az eredő kimeneti impedanciára levezethető összefüggések általános esetben a meghajtó generátor  $Z_g$  belső impedanciáját explicit módon tartalmazzák. Először mégis olyan egyszerűsítő feltevésekhez folyamodunk, amelyekkel  $Z_g$  az összefüggésekből kirekeszthető, és az általános esetet csak ezt követően tárgyaljuk. Az egyszerűsítő feltevések soros visszacsatolásokra:

$$Z_g = 0 \quad (\text{tehát } u_{be} = u_g), \quad (2.41)$$

párhuzamos visszacsatolásokra:

$$Z_g = \infty \quad (\text{tehát } i_{be} = i_g). \quad (2.42)$$

Az eredő kimeneti impedanciát a

$$Z_{ki}^* = - \frac{u_{ki\bar{u}}}{i_{kir}}$$

definíciós összefüggéssel számíthatjuk ki. Lényeges annak figyelembe vétele, hogy a feszültségvisszacsatolások kimeneti rövidzár, az áramvisszacsatolások pedig kimeneti szakadás esetén hatástalanok. Ez azt jelenti, hogy a 2.22.a és b ábra szerinti esetekben  $i_{kir}$  meghatározásakor, a c és d ábra szerinti esetekben pedig  $u_{ki\bar{u}}$  meghatározásakor úgy számolhatunk, mintha visszacsatolás nem is volna.



Vizsgáljuk meg külön-külön a négy visszacsatolási alapesetet!  
*Soros feszültségvisszacsatolásnál (2.22.a ábra):*

$$i_{ki r} = -\frac{A_{u\bar{u}} u_{be}}{Z_{ki}}, \quad u_{ki\bar{u}} = A_{u\bar{u}}^* u_{be} = \frac{A_{u\bar{u}}}{1 + A_{u\bar{u}} \beta_u} u_{be}.$$

Beírva ezeket a definíciós összefüggésbe:

$$Z_{ki}^* = \frac{Z_{ki}}{1 + A_{u\bar{u}} \beta_u}. \quad (2.43)$$

*Párhuzamos feszültségvisszacsatolásnál (2.22.b ábra).*

$$i_{ki r} = -\frac{Z_{A\bar{u}} i_{be}}{Z_{ki}}, \quad u_{ki\bar{u}} = Z_{A\bar{u}}^* i_{be} = \frac{Z_{A\bar{u}}}{1 + Z_{A\bar{u}} Y_\beta} i_{be}.$$

Tehát

$$Z_{ki}^* = \frac{Z_{ki}}{1 + Z_{A\bar{u}} Y_\beta}. \quad (2.44)$$

Megállapítható, hogy feszültségvisszacsatolás hatására a kimeneti impedancia lecsökken, a csökkenés arányát az erősítő üresjárású átviteli jellemzőjével képzett visszacsatolási mérték határozza meg.

*Soros áramvisszacsatolásnál (2.22.c ábra).*

$$u_{ki\bar{u}} = -Y_{Ar} Z_{ki} u_{be}, \quad i_{ki r} = Y_{Ar}^* u_{be} = \frac{Y_{Ar}}{1 + Y_{Ar} Z_\beta} u_{be}.$$

Tehát

$$Z_{ki}^* = Z_{ki} (1 + Y_{Ar} Z_\beta). \quad (2.45)$$

*Párhuzamos áramvisszacsatolásnál (2.22.d ábra).*

$$u_{ki\bar{u}} = -A_{i r} Z_{ki} i_{be}, \quad i_{ki r} = A_{i r}^* \frac{A_{i r}}{1 + A_{i r} \beta_i} i_{be}.$$

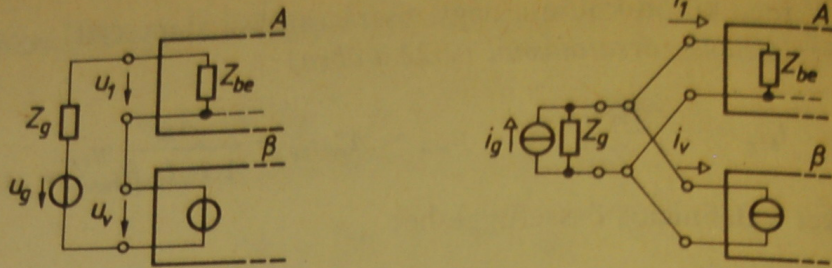
Tehát

$$Z_{ki}^* = Z_{ki} (1 + A_{i r} \beta_i). \quad (2.46)$$

Áramvisszacsatolás hatására megnő a kimeneti impedancia. A növekedést az erősítő rövidzárási átviteli jellemzőjével képzett visszacsatolási mérték határozza meg.

Vizsgáljuk most meg az általános esetet, amikor a meghajtó generátor belső impedanciáját illetően semmiféle megkötést sem teszünk ( $Z_g$  tetszőleges)! Nyil-





2.24 ábra

A vezérlő generátor belső impedanciájának hatása

vánvaló, hogy  $Z_g$  megjelenése a bemeneti körben – akár soros (2.24.a ábra), akár párhuzamos (2.24.b ábra) visszacsatolás esetén – megváltoztatja a hurokerősítést.

Soros visszacsatolásnál a fellépő feszültségosztás miatt

$$\frac{Z_{be}}{Z_g + Z_{be}},$$

párhuzamos visszacsatolásnál a fellépő áramosztás miatt

$$\frac{Z_g}{Z_g + Z_{be}}$$

szorzótényezővel kell módosítani az erősítő üresjárási, ill. rövidzárási átviteli jellemzőjével számított hurokerősítést.

A 2.2 táblázat  $Z_{ki}^*$  sorában már az így módosított hurokerősítésekkel szerepelnek a végeredmények.

A 2.2 táblázatban összefoglalt eredmények szigorúan véve csak ideális visszacsatoló tag esetén alkalmazhatók az eredő jellemzők kiszámítására. A gyakorlatban mégis igen sokszor számolunk ezekkel az összefüggésekkel akkor is, ha *nem ideális visszacsatoló taggal* van dolgunk, mert a gyakorlati esetek zömében az ebből eredő számítási hiba megengedhető. Felmerülnek olyan visszacsatolási problémák is, amelyek megoldására a 2.2 táblázat összefüggéseit közvetlenül nem alkalmazhatjuk éppen amiatt, hogy megengedhetetlenül nagy számítási hibát követnénk el (az ilyen esetek felismerése némi jártasságot igényel a visszacsatolások számításában). Ezekben az esetekben a következő lehetőségek között választhatunk.

1. A visszacsatolt rendszert lineáris hálózatként kezelve felírunk kellő számú hurok- és csomóponti egyenletet, majd az így kapott egyenletrendszer megoldásával számítjuk ki a keresett hálózatjellemzőket (üzemi paramétereket). E módszer algoritmizált változatain alapulnak a különféle számítógépes hálózatanalizáló programok is, amelyeket szintén alkalmazhatunk.



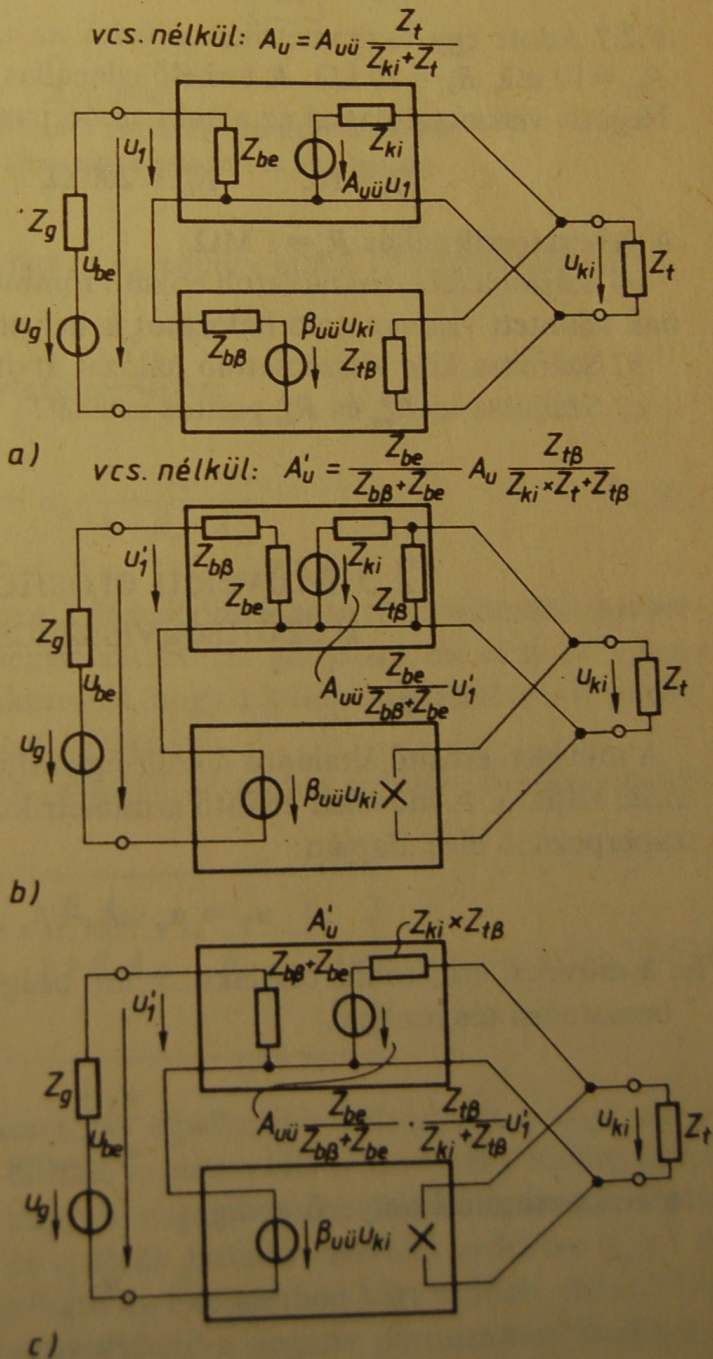
2. Az üzemi jellemzőkről áttérünk kétkapu-paraméterekre. Ekkor az erősítő és a visszacsatoló hálózat paramétereiből először a visszacsatolt rendszer eredő kétkapu-paramétereit számítjuk ki, majd ezekből a keresett eredő üzemi jellemzőket.

3. A visszacsatolt hálózaton olyan azonos átalakításokat hajtunk végre, amelyek eredményeképpen az átalakított hálózatra alkalmazhatjuk az ideális visszacsatoló tagra levezetett összefüggéseket.

Most ezt a legutóbbi módszert mutatjuk be a soros feszültségvisszacsatolás példáján (2.25 ábra). A nem ideális visszacsatoló tag visszahatását itt is elhanyagoljuk, de figyelembe vesszük az erősítő kimenetére gyakorolt terhelő hatását ( $Z_{t\beta}$ ) és a visszacsatolt jelet szolgáltató generátor véges belső impedanciáját ( $Z_{b\beta}$ ).

A 2.25 ábra azt szemlélteti, hogy a példaként felhozott soros feszültségvisszacsatolás esetén milyen azonos áramköri átalakításokkal juthatunk el olyan kapcsoláshoz, amelyre már értelemszerűen alkalmazhatók az ideális visszacsatoló tagra vonatkozó összefüggések.

A 2.25.b ábrán a  $Z_{b\beta}$  és a  $Z_{t\beta}$  impedanciákat mintegy „feltoltuk” az erősítőbe, a c ábrán pedig elvégeztük a lehetséges összevonásokat.



2.25 ábra

A visszacsatolt erősítő helyettesítő képeének azonos átalakítása soros feszültségvisszacsatolás esetén, nemideális visszacsatoló hálózat feltételezésével



## FELADATOK

**F.2.6** Egy aszimmetrikus erősítő feszültségerősítése  $A_u = 1400$ , az erősítés bizonytalansága  $\Delta A_u/A_u = \pm 10\%$ , átviteli impedanciája  $R_A = 14 \text{ M}\Omega$ . Negatív soros feszültségvisszacsatolást alkalmazunk. A visszacsatoló hálózat átviteli tényezőjének bizonytalansága  $\Delta\beta_u/\beta_u = \pm 0,2\%$ , bemenő ellenállása végtelen nagy, kimenő ellenállása nulla.

- Mekkora  $\beta_u$  szükséges  $A_u^* = 80$  eredő erősítés létrehozásához?
- Mekkora lesz a visszacsatolt erősítő statikus átviteli hibája,  $\Delta A_u^*/A_u^*$ ?
- Mekkora lesz a visszacsatolt erősítő átviteli impedanciája ( $R_A^*$ )?

**F.2.7** Adott egy aszimmetrikus erősítő az alábbi jellemzőkkel:  $A_{u0} = -100$ ,  $R_{be} = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{ki} = 10 \text{ k}\Omega$ . A terhelő ellenállás  $R_t = 1 \text{ k}\Omega$ . Negatív visszacsatolással az alábbi eredő paramétereket kell megvalósítani:

$$A_{i0}^* = 10, \quad R_{be}^* < 200 \Omega, \quad R_{ki}^* > 100 \text{ k}\Omega.$$

A generátorellenállás  $R_g = 1 \text{ M}\Omega$ .

- Rajzolja fel a visszacsatolt erősítő tömbvázlatát! (Az erősítőt és az ideálisnak tekintett visszacsatoló hálózatot is helyettesítő képével rajzolja meg.)
- Számítsa ki a visszacsatoló hálózat átviteli tényezőjét!
- Számítsa ki  $R_{be}^*$  és  $R_{ki}^*$  pontos értékét!

## 2.5 Műveleti erősítő általános feszültségvisszacsatolása

A műveleti erősítő általános feszültségvisszacsatolásának tömbvázlata a 2.26 ábrán látható. A műveleti erősítő szimmetrikus bemeneti feszültsége a lineáris szuperpozíció elve alapján:

$$u_1 = \alpha_u \cdot u_{be} - \beta_u \cdot u_{ki}, \quad (2.47)$$

ha a műveleti erősítőhöz csatlakozó, ún. beágyazó hálózat becsatolási tényezője:

$$\alpha_u = \left. \frac{u_1}{u_{be}} \right|_{u_{ki}=0}, \quad (2.48)$$

a visszacsatolási tényező pedig

$$\beta_u = - \left. \frac{u_1}{u_{ki}} \right|_{u_{be}=0}. \quad (2.49)$$