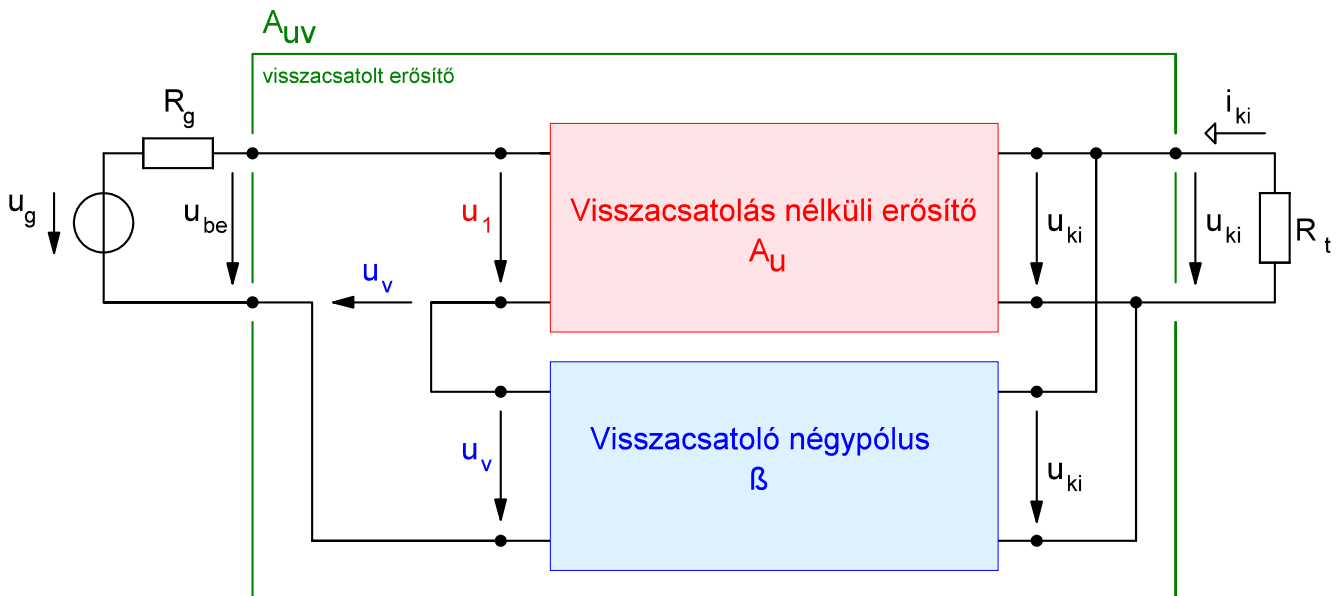


Az erősítő alapkapsolások, de a láncbakapcsolt erősítők nem minden esetben teljesítik azokat az elvárásokat, melyeket velük szemben támasztanánk. Ilyen elvárások lehetnek a következők:

- nagy bemeneti ellenállás;
- kis kimeneti ellenállás;
- megfelelő linearitás;
- kellően nagy sávzélesség;
- kis zaj.

Az erősítők fontosabb tulajdonságai kedvezően befolyásolhatók a megfelelően felépített visszacsatolással. A visszacsatolás során az erősítő kimeneti jelének egy részét visszavezetjük a bemenetére, egy visszacsatoló négy-pólus segítségével. A bemeneti jel és a visszacsatolt jel fázishelyzetének függvényében megkülönböztetünk:

- Negatív visszacsatolást: a visszacsatolt jel fázisa ellentétes a bemeneti jel fázisával, a két jel egymás ellen hat. A negatív visszacsatolást erősítők paramétereinek javítására alkalmazzuk.
- Pozitív visszacsatolást: a kimeneti jelnek a bemenetre visszavezetett része fázisban van a bemeneti jellel, a két jel összeadódik. A pozitív visszacsatolást oszcillátor-áramkörökben alkalmazzuk. (pl.: Mike Gábor – oszcillátorok: <http://wp.mikeelektronika.hu/oszcillatorok>)



1. ábra A visszacsatolt erősítők elvi rajza

Az 1. ábrán látható elvi rajz alapján a következő összefüggések adódnak:

- $A_u = \frac{u_{ki}}{u_1}$  a visszacsatolás nélküli erősítő feszültségerősítése;
- $A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}}$  : a visszacsatolt erősítő feszültségerősítése;
- $\beta = \frac{u_v}{u_{ki}}$  : a visszacsatolási tényező, mely javarészt egyszerű passzív hálózat, így:  $|\beta| \leq 1$  ;
- $H = A_u \cdot \beta = \frac{u_v}{u_1}$  a hurokerősítés, értéke:  $H < 1$  .

Mindennek tükrében határozzuk meg a feszültségerősítést, valamint a kimeneti feszültséget:

Írjuk fel a visszacsatolás nélküli erősítő bemenetre vonatkozó hurokegyenletet!  $u_1 = u_{be} + u_v$

Ebből következik, hogy:  $u_{be} = u_1 - u_v$

A hurokerősítés ( $H = A_u \cdot \beta$ ) ismeretében határozzuk meg  $u_v$  értékét!  $u_v = u_1 \cdot A_u \cdot \beta = u_1 \cdot H$

Mindezekből felírható a teljes erősítő feszültségerősítése:

$$A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_1 - u_v} = \frac{u_{ki}}{u_1 - u_1 \cdot A_u \cdot \beta} = \frac{u_{ki}}{u_1 \cdot (1 - H)} = \frac{u_{ki}}{u_1} \cdot \frac{1}{1 - H} = A_u \cdot \frac{1}{1 - H} = \frac{A_u}{1 - H}$$

Összefoglalva:

| A feszültségerősítés         | A hurokerősítés       | A kimeneti feszültség          |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| $A_{uv} = \frac{A_u}{1 - H}$ | $H = A_u \cdot \beta$ | $u_{ki} = u_{be} \cdot A_{uv}$ |

Azért, hogy kiderüljön, az áramkörünk pozitív, vagy negatív visszacsatolást tartalmaz, a visszacsatolási tényező ( $\beta$ ) előjelét kell megvizsgálnunk.

Két variáció valósulhat meg  $H = A_u \cdot \beta = \frac{u_v}{u_1}$  összefüggésre:

- (1) Ha az visszacsatolás nélküli erősítő bemeneti jele ( $u_1$ ) és a visszacsatolt jel ( $u_v$ ) azonos fázisúak, akkor a hurokerősítés pozitív előjelű, így *pozitív visszacsatolásról* beszélhetünk:

$$H = A_u \cdot \beta = \frac{u_v}{u_1} = \frac{(+)}{(+)} = (+) \Rightarrow \text{pozitív visszacsatolás ;}$$

- (2) Ha az visszacsatolás nélküli erősítő bemeneti jele ( $u_1$ ) és a visszacsatolt jel ( $u_v$ ) ellenkező fázisúak, akkor a hurokerősítés negatív előjelű, így *negatív visszacsatolásról* beszélhetünk:

$$H = A_u \cdot \beta = \frac{u_v}{u_1} = \frac{(-)}{(+)} = (-) \Rightarrow \text{negatív visszacsatolás .}$$

1. feladat: Egy visszacsatolás nélküli erősítőfokozat erősítése  $A_u = 100$  .

- a) Pozitív visszacsatolású fokozat esetén a visszacsatolási tényező  $\beta = 8 \cdot 10^{-3}$  ;
- b) Negatív visszacsatolású fokozat esetén a visszacsatolási tényező  $\beta = -6 \cdot 10^{-3}$

Számítsa ki mindkét esetben hurokerősítést és a visszacsatolt erősítő feszültségerősítését!

a) A hurokerősítés:  $H = A_u \cdot \beta = 100 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,8 \Rightarrow$  az előjele pozitív

A visszacsatolt erősítő feszültségerősítése:

$$A_{uv} = \frac{A_u}{1-H} = \frac{A_u}{1-A_u \cdot \beta} = \frac{100}{1-100 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = \frac{100}{1-0,8} = \frac{100}{0,2} = 500 \Rightarrow \text{pozitív visszacsatolás}$$

b) A hurokerősítés:  $H = A_u \cdot \beta = 100 \cdot (-8 \cdot 10^{-3}) = -0,6 \Rightarrow$  az előjele negatív

A visszacsatolt erősítő feszültségerősítése:

$$A_{uv} = \frac{A_u}{1-H} = \frac{A_u}{1-A_u \cdot \beta} = \frac{100}{1-100 \cdot (-6 \cdot 10^{-3})} = \frac{100}{1-(-0,6)} = \frac{100}{1+0,6} = \frac{100}{1,6} = 62,5 \Rightarrow \text{negatív visszacsat.}$$

Vegyük észre, hogy a negatív visszacsatolás a feszültségerősítés értékét csökkenti, a pozitív visszacsatolás pedig növeli. Figyeljük meg, ha a hurokerősítés közelít az 1-hez, akkor a visszacsatolt erősítő erősítése tart a végtelenhez. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az erősítőáramkör begerjedhet, így már vezérlőjel nélkül is lesz kimeneti jel. Ezt az elvet használjuk fel az [oszillátorokban](#).

---

2. feladat: Egy visszacsatolt erősítőfokozat erősítése  $A_{uv} = 50$ . Számítsa ki a visszacsatolási tényezőt, ha a visszacsatolatlan erősítőfokozat erősítése  $A_u = 75$ ! Majd igazolja, hogy negatív, vagy pozitív visszacsatolású-e az erősítő!

A hurokerősítés:

$$A_{uv} = \frac{A_u}{1-H} \Rightarrow 1-H = \frac{A_u}{A_{uv}} \Rightarrow -H = \frac{A_u}{A_{uv}} - 1 \Rightarrow \text{így: } H = 1 - \frac{A_u}{A_{uv}} = 1 - \frac{75}{50} = 1 - 1,5 = -0,5$$

Amennyiben a hurokerősítés negatív, akkor a visszacsatolás negatív visszacsatolás.

$$\text{A visszacsatolási tényező: } H = A_u \cdot \beta \Rightarrow \beta = \frac{H}{A_u} = \frac{-0,5}{75} = -\frac{0,5}{75} = -\frac{1}{150} = -0,006\bar{6}$$


---

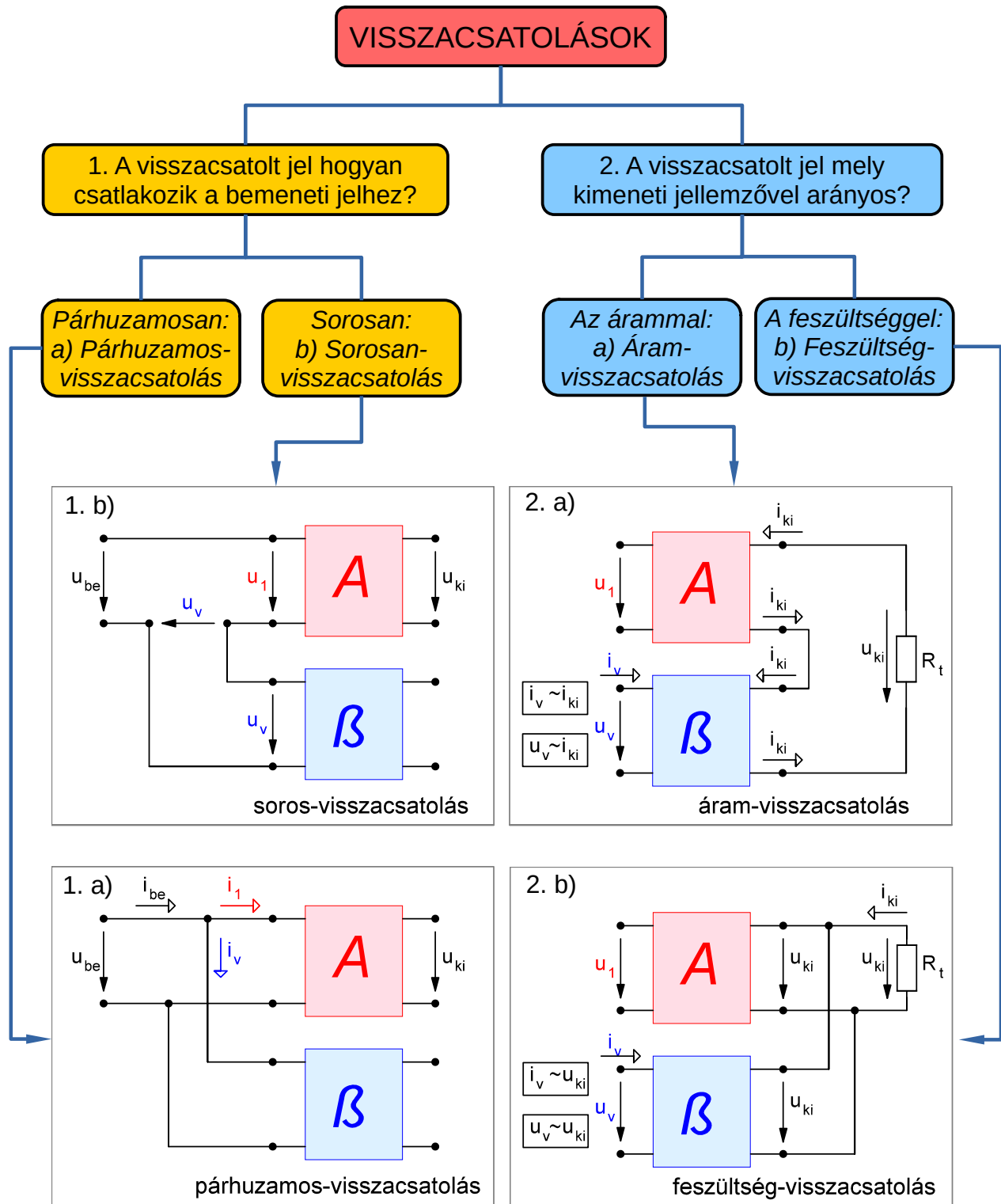
### **A visszacsatolás hatása az erősítőparaméterekre**

Az erősítőkből alkalmazott negatív visszacsatolások típusait kétféleképpen osztályozhatjuk:

1. Aszerint, hogy a visszacsatolt jel mely kimeneti jellemzővel arányos, lehet:
  - a) feszültség-visszacsatolás: a visszacsatolt jel a kimeneti feszültséggel arányos;
  - b) áram-visszacsatolás: a visszacsatolt jel a kimeneti árammal arányos.
2. Aszerint, hogy a visszacsatolt jel hogyan csatlakozik a bemeneti jelhez, lehet:
  - a) soros visszacsatolás: a visszacsatolt jel sorosan kapcsolódik a bemeneti jelhez;
  - b) párhuzamos visszacsatolás: a visszacsatolt jel párhuzamosan kapcsolódik a bemeneti jelhez;

A két-két esetnek négy variációja jeletséges:

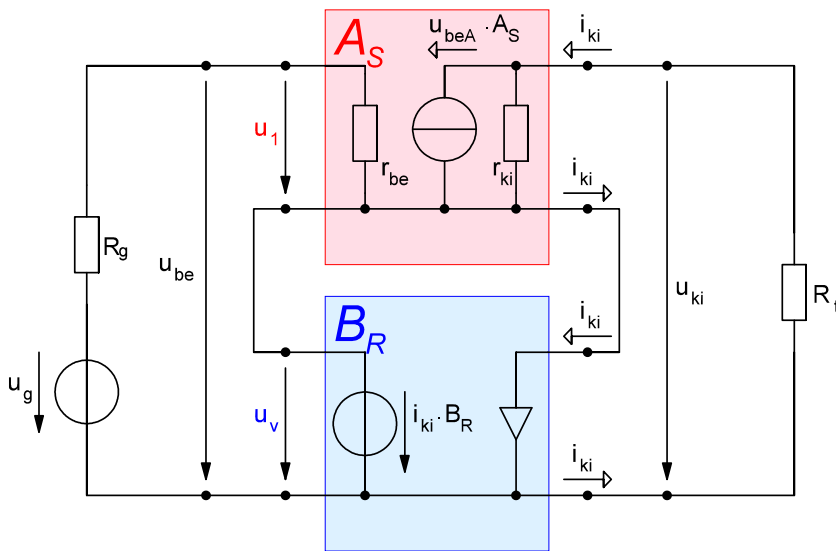
- I. soros áram-visszacsatolás (az egyik leggyakoribb);
- II. soros feszültség-visszacsatolás;
- III. párhuzamos áram-visszacsatolás;
- IV. párhuzamos feszültség-visszacsatolás (a másik leggyakoribb).



**2. ábra** A visszacsatolások típusai

Az egyes visszacsatolás-típusok áttekintése során képet kaphatunk az egyes erősítőparaméterek változásáról, emellett kitérünk a két legfontosabb visszacsatolás-típus (soros áram-visszacsatolás, párhuzamos feszültség-visszacsatolás) gyakorlati megvalósítására.

### A negatív soros áram-visszacsatolás



A főerősítő erősítéssparamétere az átviteli admittancia:

$$A_S = \frac{i_{ki}}{u_1}$$

A visszacsatoló hálózat erősítéssparamétere az átviteli impedancia:

$$B_R = \frac{u_v}{i_{ki}}$$

A hurokerősítés:

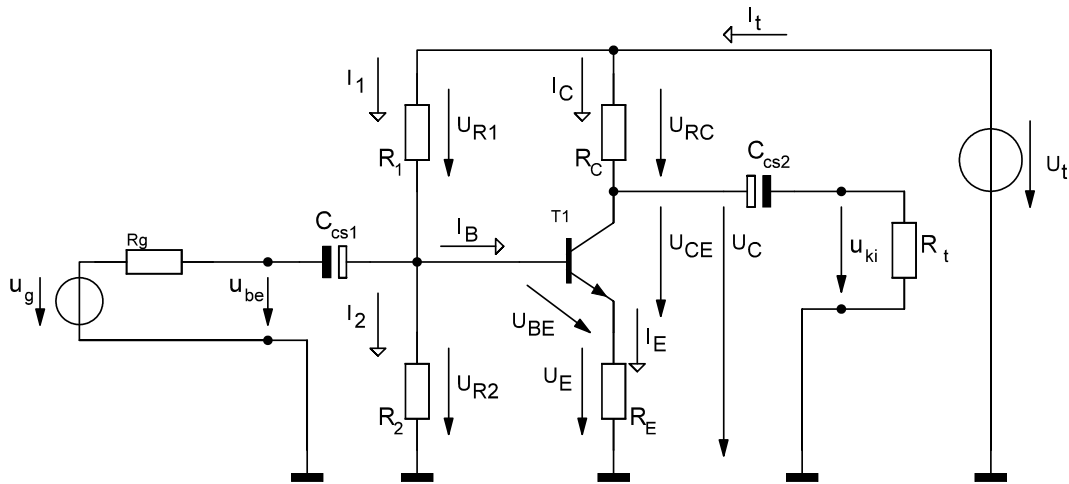
$$H = A_S \cdot B_R$$

1. ábra A soros áramvisszacsatolás elvi rajza

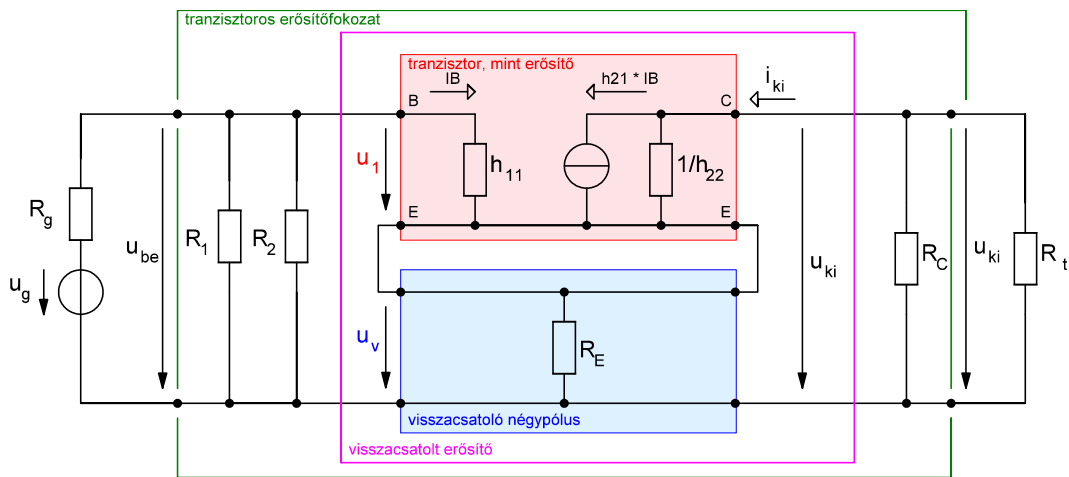
Mi nem változik? Minden paraméter, aminek a bemeneti jele áram.

Tehát: az áramerősítés:  $A_{iv} = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = A_i$  és az átviteli vezetetés:  $A_{Rv} = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = A_R$

| Mi változik?  | Hogyan változik? |
|---|------------------|
| <p><u>A feszültségerősítés:</u></p> $A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_1 - u_v} = \frac{u_{ki}}{u_1 - u_1 \cdot A_S \cdot B_R} = \frac{u_{ki}}{u_1 \cdot (1 - A_S \cdot B_R)} = \frac{A_u}{1 - A_S \cdot B_R} = \frac{A_u}{1 - H}$               | csökken ↓        |
| <p><u>Az átviteli admittancia:</u></p> $A_{Sv} = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_{ki}}{u_1 - u_v} = \frac{i_{ki}}{u_1 - u_1 \cdot A_S \cdot B_R} = \frac{i_{ki}}{u_1 \cdot (1 - A_S \cdot B_R)} = \frac{A_S}{1 - A_S \cdot B_R} = \frac{A_S}{1 - H}$            | csökken ↓        |
| <p><u>A bemeneti impedancia:</u></p> $r_{bev} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_1 - u_v}{i_{be}} = \frac{u_1 - u_1 + A_S \cdot B_R \cdot u_1}{i_{be}} = \frac{u_1 \cdot (1 - A_S \cdot B_R)}{i_{be}} = r_{be} \cdot (1 - A_S \cdot B_R) = r_{be} \cdot (1 - H)$ | nő ↑             |
| <p><u>A kimeneti impedancia:</u></p> $r_{kiv} = \frac{u_{kiü}}{i_{kir}} = \frac{u_1 \cdot A_S \cdot r_{ki}}{u_1 \cdot A_{Sv}} = \frac{u_1 \cdot A_S \cdot r_{ki}}{u_1 \cdot \frac{A_S}{1 - H}} = r_{ki} \cdot (1 - H)$  | nő ↑             |



**2. ábra** Példa a soros áramvisszacsatolás áramköri alkalmazására – közös emitteres alapkapsolás (az emitterellenállás hidegítése nélkül)



**3. ábra** Az emitterellenállás hidegítése nélküli közös emitterű kapsolás hibrid paraméteres váltakozóáramú helyettesítő képe

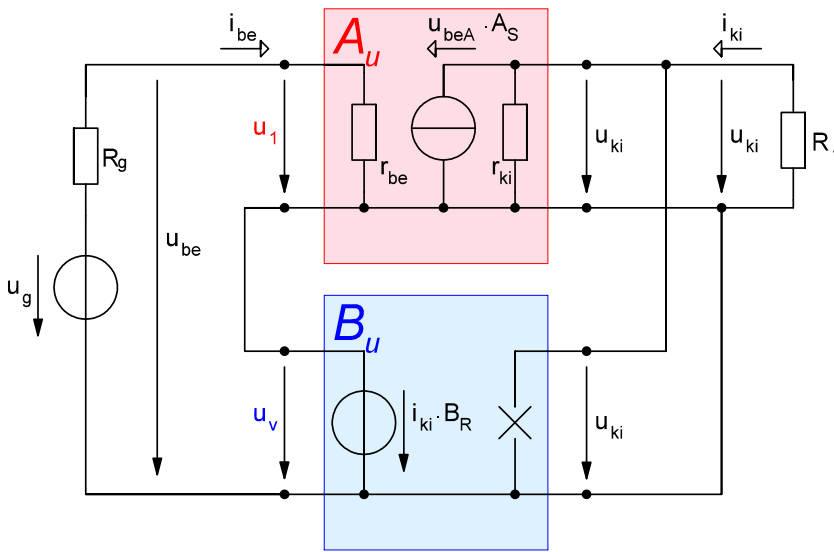
A képen látható emitterellenállás lényegében a visszacsatoló négyfólyust realizálja. Az emitterellenálláson a kollektorárammal arányos feszültségesés jön létre, mely a visszacsatoló feszültség növekedése esetén az  $u_1$  bemeneti feszültség csökken, a vonatkozó hurokegyenlet ( $u_1 = u_{be} - u_v$ ) értelmében, így az erősítés csökken.

A visszacsatolási tényező ekképpen számítható: 
$$|\beta| = \frac{u_v}{u_{ki}} = \frac{i_{ki} \cdot R_E}{i_{ki} \cdot R_t \times R_C} = \frac{R_E}{R_t \times R_C}$$

Fontos tisztában lennünk a következőkkel: A visszacsatolt erősítő bemeneti ellenállása nem egyenlő a teljes fokozat bemeneti ellenállásával, hiszen a bemenettel párhuzamosan kapcsolódnak az  $R_1$  és  $R_2$  munkapontbeállító ellenállások:  $r_{bev\ teljes} = R_1 \times R_2 \times r_{bev}$

Hasonlóképpen látszik az is, hogy a visszacsatolt erősítő kimeneti ellenállása sem egyenlő a teljes fokozat kimeneti ellenállásával, hiszen a kimenettel pedig az  $R_C$  munkaellenállás kapcsolódik párhuzamosan (3. ábra):  $r_{ki\ teljes} = R_C \times r_{kiv}$

### A negatív soros feszültség-visszacsatolás



A főerősítő erősítésparamétere az feszültségerősítés:

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_1}$$

A visszacsatoló hálózat erősítésparamétere az áramerősítés:

$$B_u = \frac{u_v}{u_{ki}}$$

A hurokerősítés:

$$H = A_u \cdot B_u$$

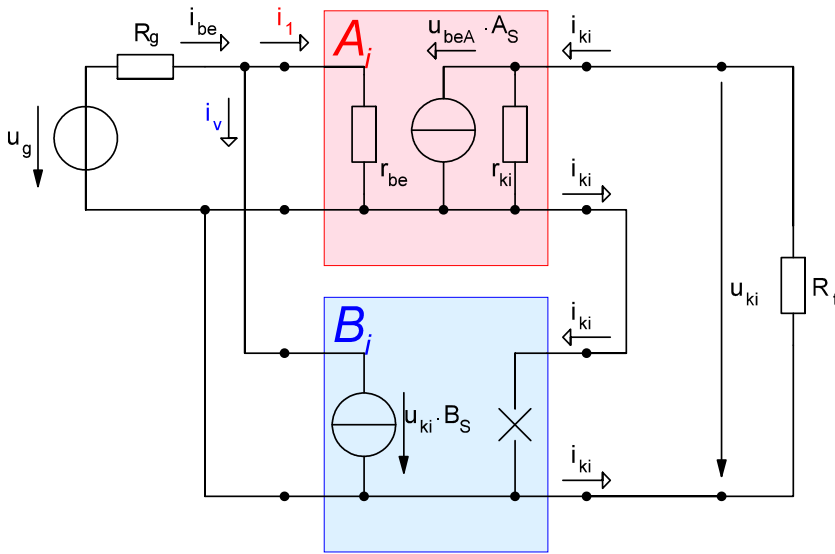
1. ábra A soros feszültség-visszacsatolás elvi rajza

Mi nem változik? Minden paraméter, aminek a bemeneti jele áram.

Tehát: az áramerősítés:  $A_{iv} = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = A_i$  és az átviteli impedancia:  $A_{Rv} = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = A_R$

| Mi változik?   | Hogyan változik? |
|--|------------------|
| <p><u>Az feszültségerősítés:</u></p> $A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_1 - u_v} = \frac{u_{ki}}{u_1 - u_1 \cdot A_u \cdot B_u} = \frac{u_{ki}}{u_1 \cdot (1 - A_u \cdot B_u)} = \frac{A_u}{1 - A_u \cdot B_u} = \frac{A_u}{1 - H}$                                       | csökken ↓        |
| <p><u>Az átviteli admittancia:</u></p> $A_{Sv} = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_{ki}}{u_1 - u_v} = \frac{i_{ki}}{u_1 - u_1 \cdot A_u \cdot B_u} = \frac{i_{ki}}{u_1 \cdot (1 - A_u \cdot B_u)} = \frac{A_s}{1 - A_u \cdot B_u} = \frac{A_s}{1 - H}$                                     | csökken ↓        |
| <p><u>A bemeneti impedancia:</u></p> $r_{bev} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_1 - u_v}{i_{be}} = \frac{u_1 - u_1 + A_u \cdot B_u}{i_{be}} = \frac{u_1 \cdot (1 - A_u \cdot B_u)}{i_{be}} = r_{be} \cdot (1 - A_u \cdot B_u) = r_{be} \cdot (1 - H)$                                    | nő ↑             |
| <p><u>A kimeneti impedancia:</u></p> $r_{kiv} = \frac{u_{kiü}}{i_{kir}} = \frac{u_1 \cdot A_{uüv}}{u_1 \cdot A_{uü}} = \frac{r_{ki} \cdot A_{uüv}}{A_{uü}} = \frac{r_{ki} \cdot \frac{A_{uü}}{1 - H}}{A_{uü}} = \frac{r_{ki} \cdot A_{uü}}{A_{uü} \cdot (1 - H)} = \frac{r_{ki}}{1 - H}$ | csökken ↓        |

### A negatív párhuzamos áram-visszacsatolás



A főerősítő erősítésparamétere az áramerősítés:

$$A_i = \frac{i_{ki}}{i_1}$$

A visszacsatoló hálózat erősítésparamétere az áramerősítés:

$$B_i = \frac{i_v}{i_{ki}}$$

A hurokerősítés:

$$H = A_i \cdot B_i$$

1. ábra A párhuzamos áramvisszacsatolás elvi rajza

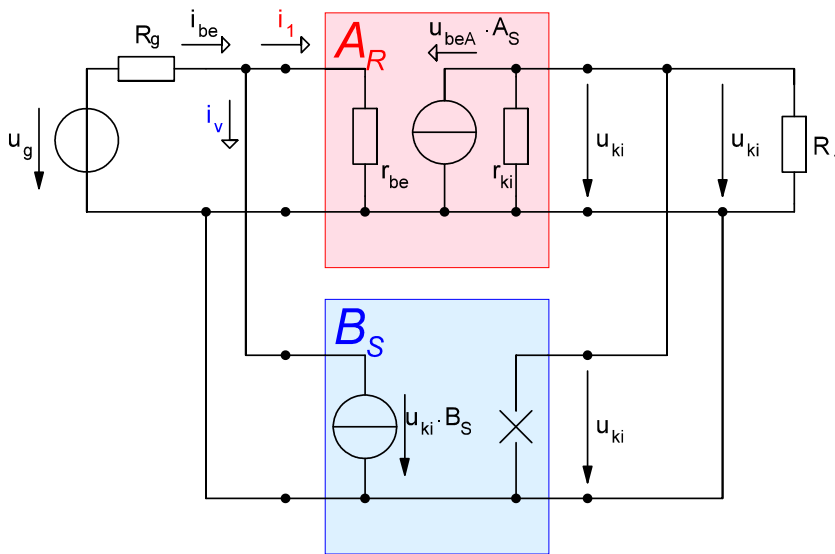
Mi nem változik? Minden paraméter, aminek a bemeneti jele feszültség.

Tehát: a feszültségerősítés:  $A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_u$  és az átviteli vezetetés:  $A_{Sv} = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = A_s$

| Mi változik?  | Hogyan változik? |
|---|------------------|
| <p><u>Az áramerősítés:</u></p> $A_{iv} = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = \frac{i_{ki}}{i_1 - i_v} = \frac{i_{ki}}{i_1 - i_1 \cdot A_i \cdot B_i} = \frac{i_{ki}}{i_1 \cdot (1 - A_i \cdot B_i)} = \frac{A_i}{1 - A_i \cdot B_i} = \frac{A_i}{1 - H}$              | csökken ↓        |
| <p><u>Az átviteli impedancia:</u></p> $A_{Rv} = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{u_{ki}}{i_1 - i_v} = \frac{u_{ki}}{i_1 - i_1 \cdot A_i \cdot B_i} = \frac{u_{ki}}{i_1 \cdot (1 - A_i \cdot B_i)} = \frac{A_i}{1 - A_i \cdot B_i} = \frac{A_i}{1 - H}$       | csökken ↓        |
| <p><u>A bemeneti impedancia:</u></p> $r_{bev} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_{be}}{i_1 - i_v} = \frac{u_{be}}{i_1 - i_1 \cdot A_i \cdot B_i} = \frac{u_{be}}{i_1 \cdot (1 - A_i \cdot B_i)} = \frac{r_{be}}{1 - A_i \cdot B_i} = \frac{r_{be}}{1 - H}$ | csökken ↓        |
| <p><u>A kimeneti impedancia:</u></p> $r_{kiv} = \frac{u_{kiü}}{i_{kir}} = \frac{i_1 \cdot A_i \cdot r_{ki}}{i_1 \cdot A_{iv}} = \frac{i_1 \cdot A_i \cdot r_{ki}}{i_1 \cdot \frac{A_i}{1 - H}} = r_{ki} \cdot (1 - H)$                                    | nő ↑             |



## A negatív párhuzamos feszültség-visszacsatolás



A főerősítő erősítéssparamétere az átviteli impedancia:

$$A_R = \frac{u_{ki}}{i_1}$$

A visszacsatoló hálózat erősítéssparamétere az átviteli admittancia:

$$B_S = \frac{i_v}{u_{ki}}$$

A hurokerősítés:

$$H = A_R \cdot B_S$$

**1. ábra** A párhuzamos feszültség-visszacsatolás elvi rajza

Mi nem változik? Minden paraméter, aminek a bemeneti jele feszültség.

Tehát: a feszültségerősítés:  $A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_u$  és az átviteli vezetetés:  $A_{Sv} = \frac{i_{ki}}{u_{be}} = A_S$

| Mi változik?   | Hogyan változik? |
|--|------------------|
| <p><u>Az áramerősítés:</u></p> $A_{iv} = \frac{i_{ki}}{i_{be}} = \frac{i_{ki}}{i_1 - i_v} = \frac{i_{ki}}{i_1 - i_1 \cdot A_R \cdot B_S} = \frac{i_{ki}}{i_1 \cdot (1 - A_R \cdot B_S)} = \frac{A_i}{1 - A_R \cdot B_S} = \frac{A_i}{1 - H}$                         | csökken ↓        |
| <p><u>Az átviteli impedancia:</u></p> $A_{Rv} = \frac{u_{ki}}{i_{be}} = \frac{u_{ki}}{i_1 - i_v} = \frac{u_{ki}}{i_1 - i_1 \cdot A_R \cdot B_S} = \frac{u_{ki}}{i_1 \cdot (1 - A_R \cdot B_S)} = \frac{A_R}{1 - A_R \cdot B_S} = \frac{A_R}{1 - H}$                  | csökken ↓        |
| <p><u>A bemeneti impedancia:</u></p> $r_{bev} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_{be}}{i_1 - i_v} = \frac{u_{be}}{i_1 - i_1 \cdot A_R \cdot B_S} = \frac{u_{be}}{i_1 \cdot (1 - A_R \cdot B_S)} = \frac{r_{be}}{1 - A_R \cdot B_S} = \frac{r_{be}}{1 - H}$            | csökken ↓        |
| <p><u>A kimeneti impedancia:</u></p> $r_{kiv} = \frac{u_{kiü}}{i_{kir}} = \frac{i_1 \cdot A_{Rv}}{i_1 \cdot A_R} = \frac{r_{ki} \cdot A_{Rv}}{A_R} = \frac{r_{ki} \cdot \frac{A_R}{1 - H}}{A_R} = \frac{r_{ki} \cdot A_R}{A_R \cdot (1 - H)} = \frac{r_{ki}}{1 - H}$ | csökken ↓        |