

# Elektronika

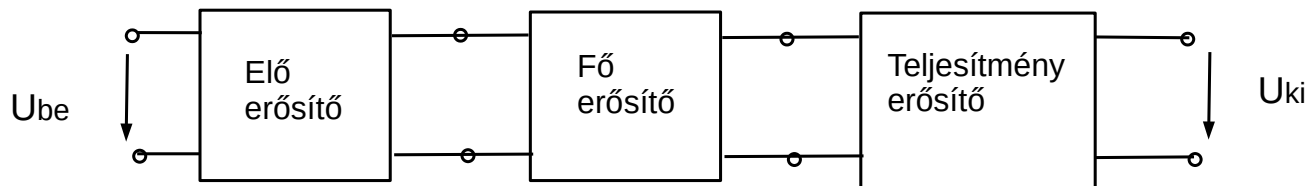
XV.

Több fokozatú erősítők  
Visszacsatolás

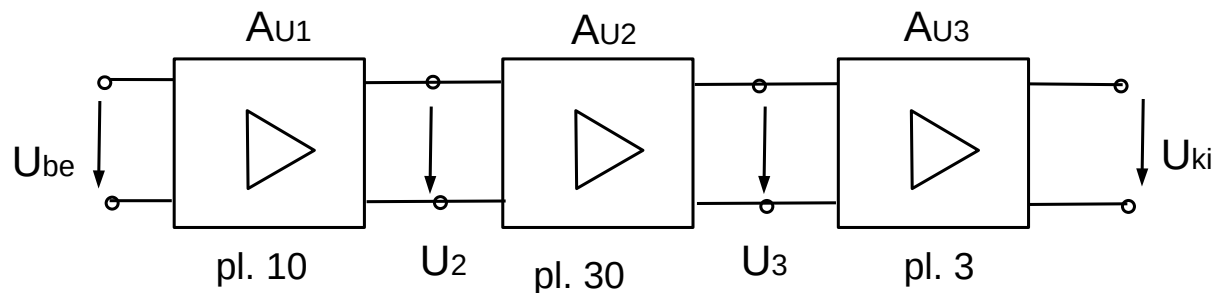
## 15.1. Több fokozatú erősítők

### 1. Miért kell ?

- a gyakorlatban általában nagy erősítés kell ! (több százszoros) → ezt általában egy erősítő fokozattal nem lehet megoldani → több erősítő egymás utáni kapcsolása



### 2. Az erősítés számítása



$$A_{U1} = U_2 / U_{be}$$

$$A_{U2} = U_3 / U_2$$

$$A_{U3} = U_{ki} / U_3$$

$$A_U = U_{ki} / U_{be} \rightarrow A_U = A_{U1} * A_{U2} * A_{U3} \text{ (pl. } 10 * 30 * 3 = 900 \text{)}$$

$$\text{decibelben !} \rightarrow a_U = 20 * \lg A_U = a_{U1} + a_{U2} + a_{U3}$$

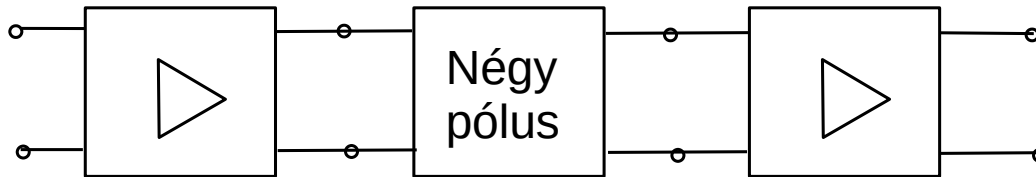
$$\text{pl.} \rightarrow a_U = 20 * \lg 10 + 20 * \lg 30 + 20 * \lg 3 = 20 \text{ dB} + 29,54 \text{ dB} + 9,54 \text{ dB} = 59 \text{ dB}$$

$$\text{( és } 20 * \lg 900 = 59,1 \text{ dB )}$$

## 15.1. Több fokozatú erősítők

- Erősítők csatolása

Csatolás → összekapcsolás, általában egy négy póluson keresztül



- Csatolások típusai

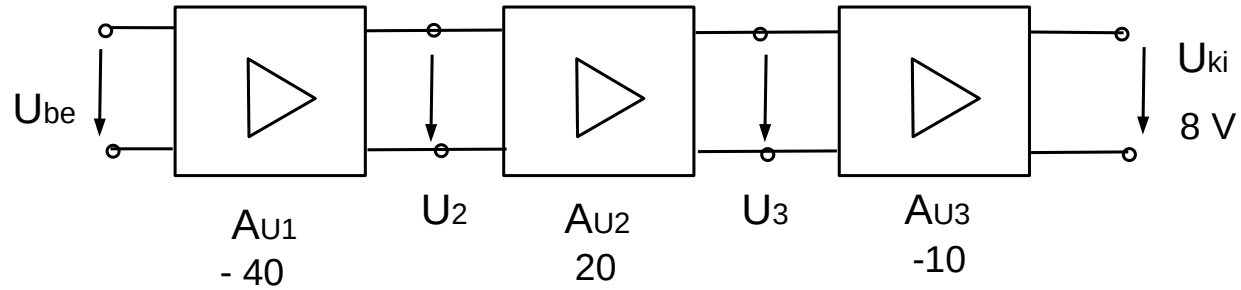
- közvetlen (galvanikus) → egyenáramú erősítő (DC),  $f_a=0$
- RC (kondenzátorral) → váltakozó áramú erősítő → torzítás,  $f_a$
- transzformátoros → nagyfrekvenciás erősítőkben, előnye → illesztés !  
hátránya → nagy méret, súly, torzítás,  $f_a$

- Közvetlen csatolási módszerek

- rövidzárral → egyszerű, nincs csillapítás ! DE  
vagy a munkapont eltolódik → kivezérelhetőség lecsökken  
vagy azonos munkapontok → erősítés egyre jobban lecsökken
- feszültségosztós szint eltolóval → a csatoló négy pólus egy feszültségosztó  
munkapont eltolódás megakadályozható → DE csillapítása van !
- diódás szint eltolóval
- tranzisztoros szint eltolóval

## 15.2. Feladat

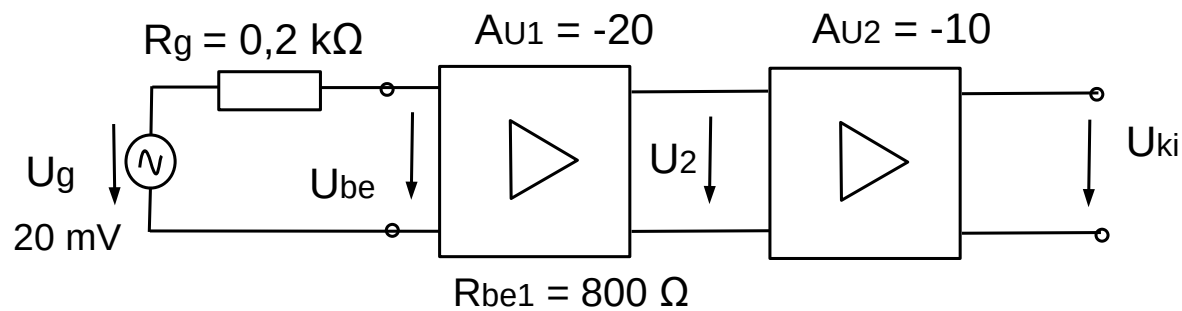
### 1. feladat



$U_2 = ?$      $U_3 = ?$   
 $U_{be} = ?$   
 $A_u = ?$  (teljes erősítés)

$A_u^{dB} = ?$

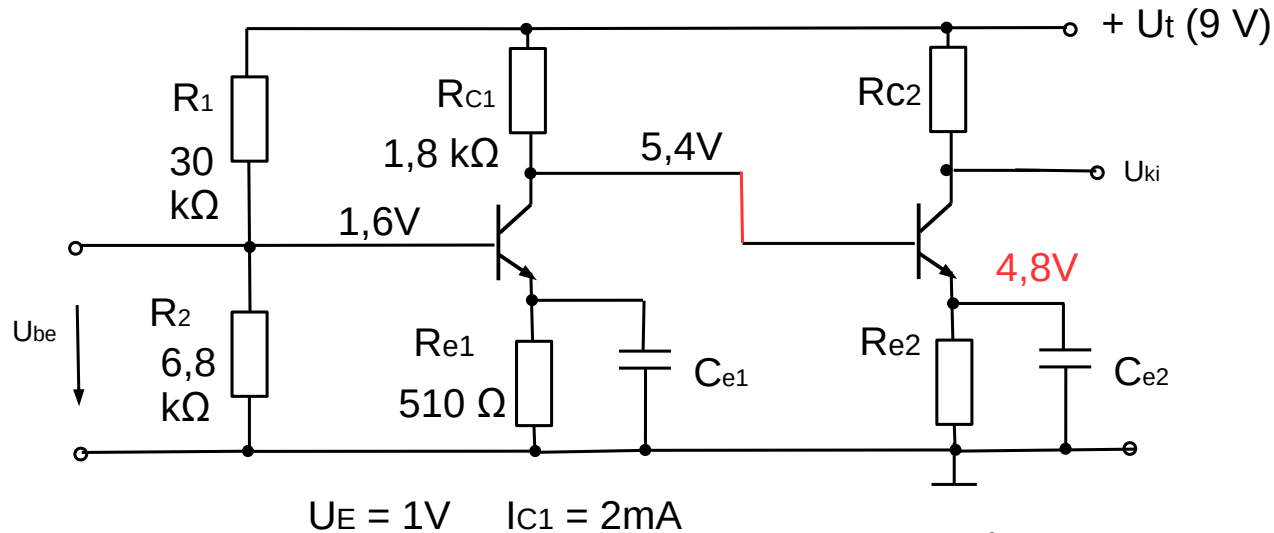
### 2. feladat



$U_{be} = ?$   
 $U_{ki} = ?$   
 $A_u = ?$  (teljes erősítés)

## 15.3. Erősítő fokozatok csatolása

### 1.Közvetlen csatolás rövidzárral



közel azonos munkapontot  
próbálunk beállítani

$$I_{c2} = I_{c1} = 2mA$$

$$R_{e2} = 2,4k\Omega$$

és  $R_{c2} < 1,8k\Omega$   
pl.  $U_{c2}=8V \rightarrow R_{c2} = 0,5k\Omega$

$$A_{U2} < A_{U1}$$

munkapont eltolódik

$$R_{e2} = R_{e1} = 510\Omega$$

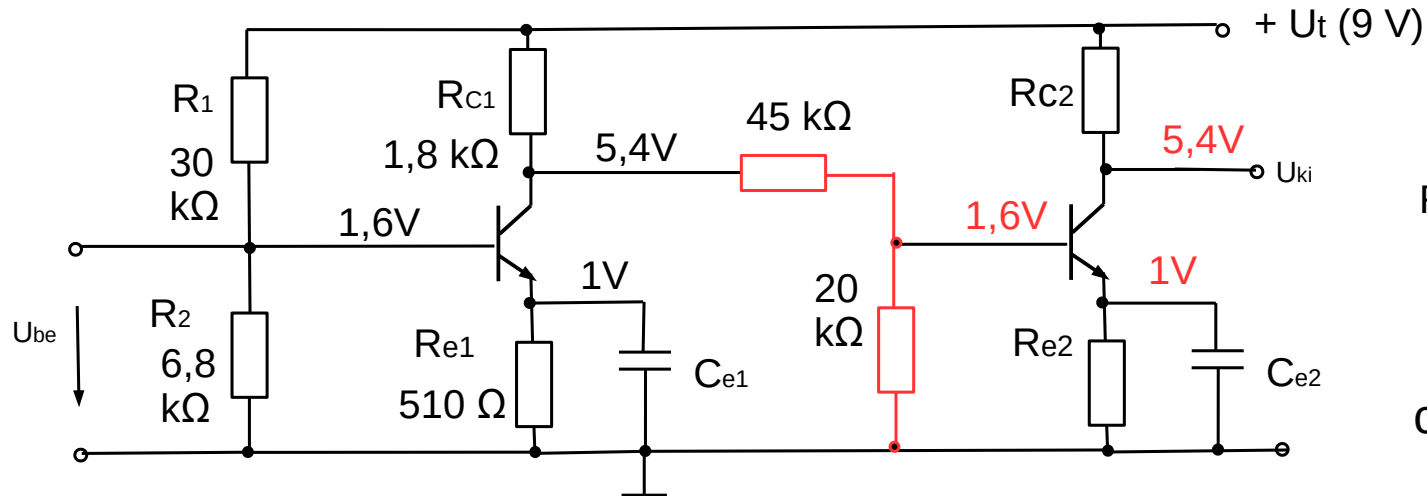
$$I_{c2} = 9,6mA$$

$$R_{c2} < 0,4k\Omega$$

$$A_{U2} < A_{U1}$$

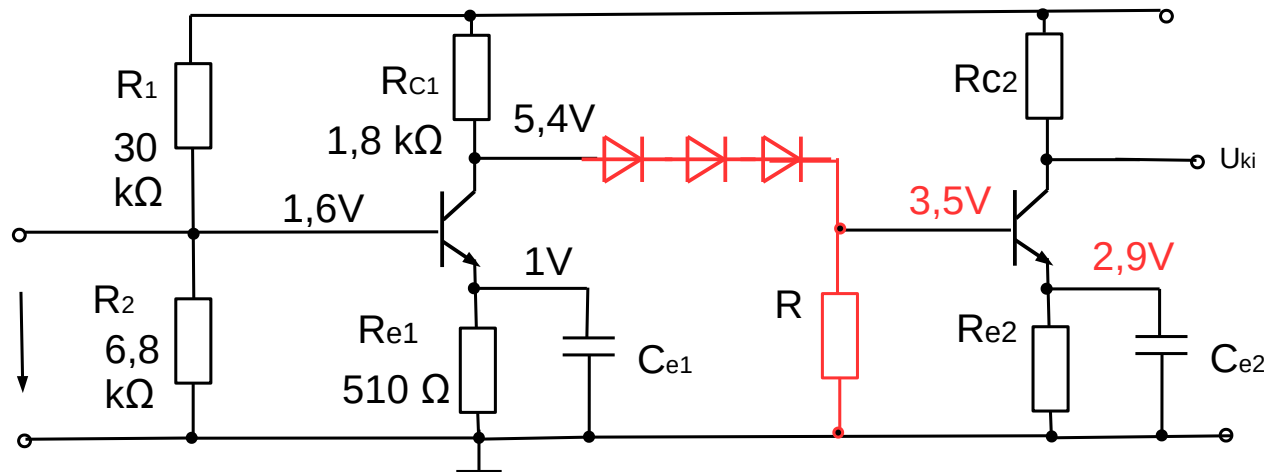
## 15.3. Erősítő fokozatok csatolása

### 2. Közvetlen csatolás feszültségosztós szint eltolóval



$I_{C2} = I_{C1} = 2\text{ mA}$   
 $R_{E2} = R_{E1} = 510\text{ }\Omega$   
 $R_{C2} = R_{C1}$   
csillapítása van !

### 3. Közvetlen csatolás diódás szint eltolóval

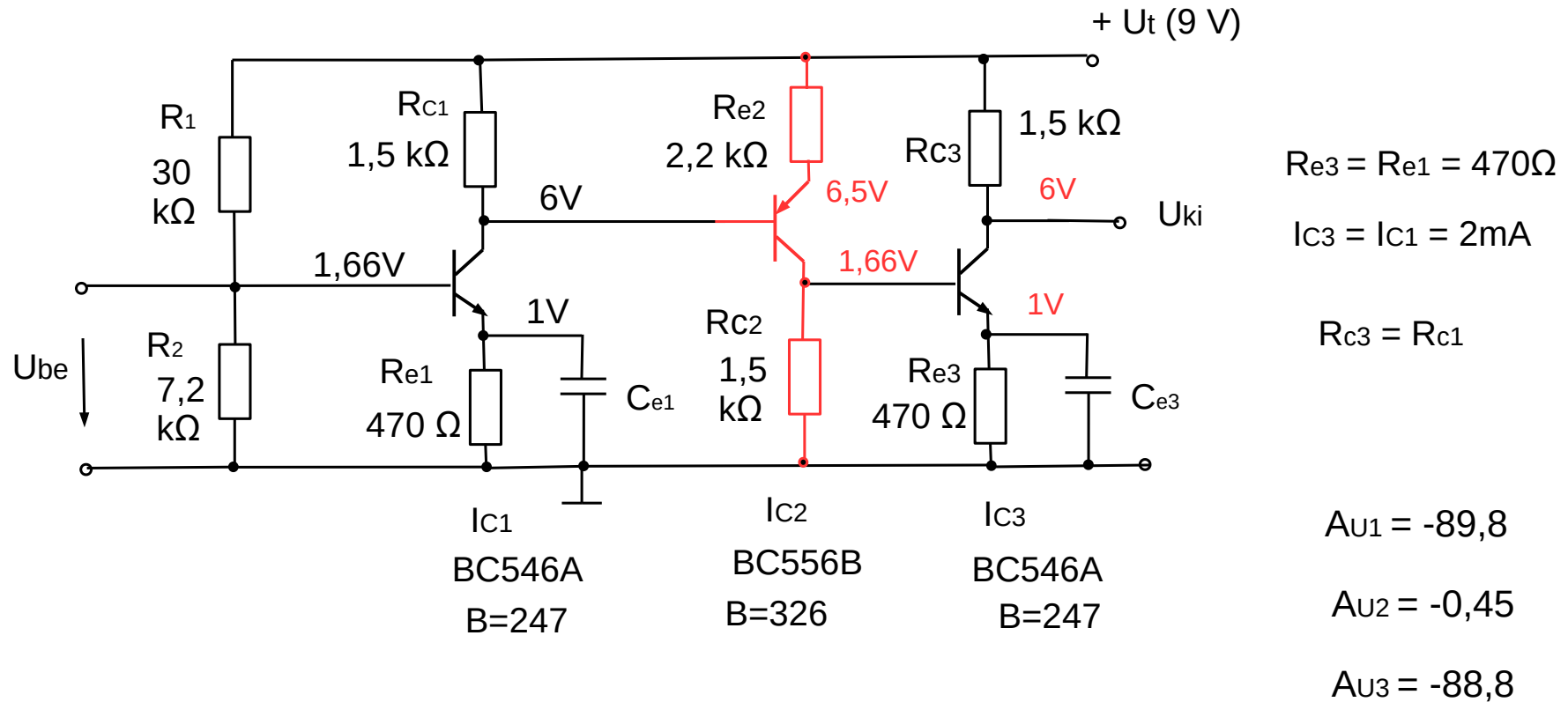


max. 2-3V eltolás!  
a változó feszültség  
csillapítása kicsi !  
mert  $r_d$  kicsi

## 15.3. Erősítő fokozatok csatolása

### 4. Közvetlen csatolás tranzisztoros szint eltolóval

komplementer tranzisztorral → pnp



$$A_U = U_{ki}/U_{be} \rightarrow A_U = A_{U1} * A_{U2} * A_{U3} = -89,8 * -0,45 * -88,8 = -3588,4$$

## 15.3. Erősítő fokozatok csatolása

### 5. RC csatolás

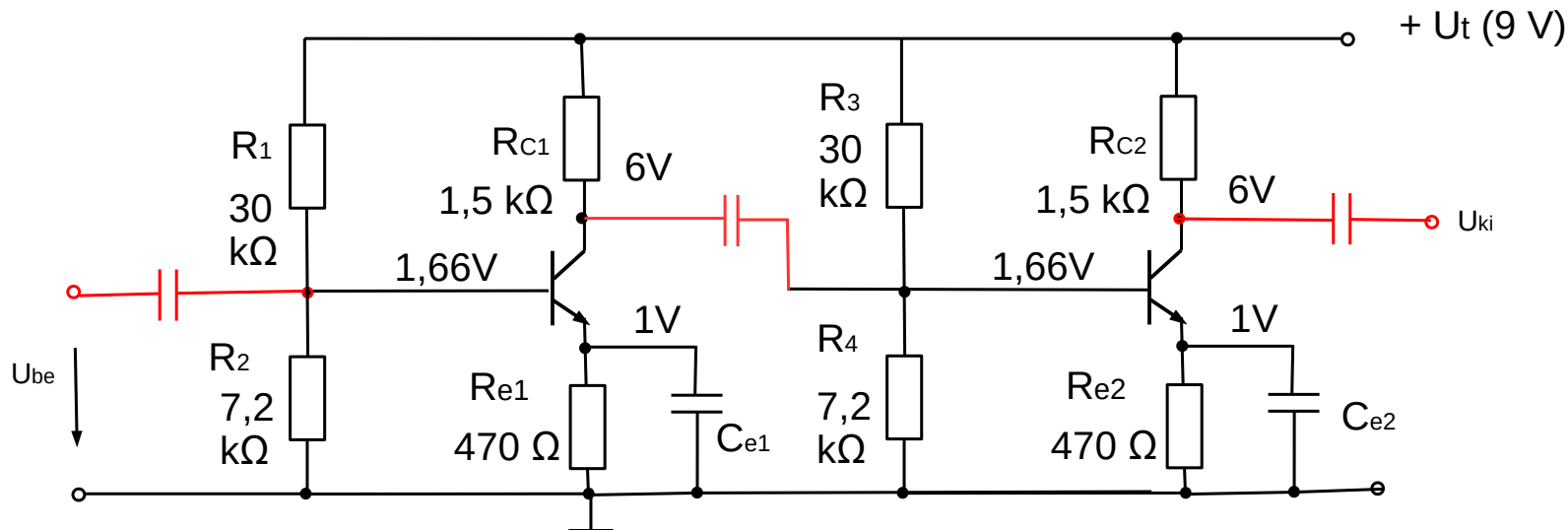
Csatoló kondenzátor alkalmazása

Előnye:

a fokozatok munkapontjai egymástól függetlenek, nem hatnak egymásra  
→ számítás egyszerű, fokozatonként

Hátránya:

- egyenáramot nem erősít !
- sok plusz alkatrész (kondenzátor, bázisosztó)
- kisfrekvencián  $A_u$  csökkenése (kondenzátor miatt) → torzítás !!





## 15.3. Erősítő fokozatok csatolása

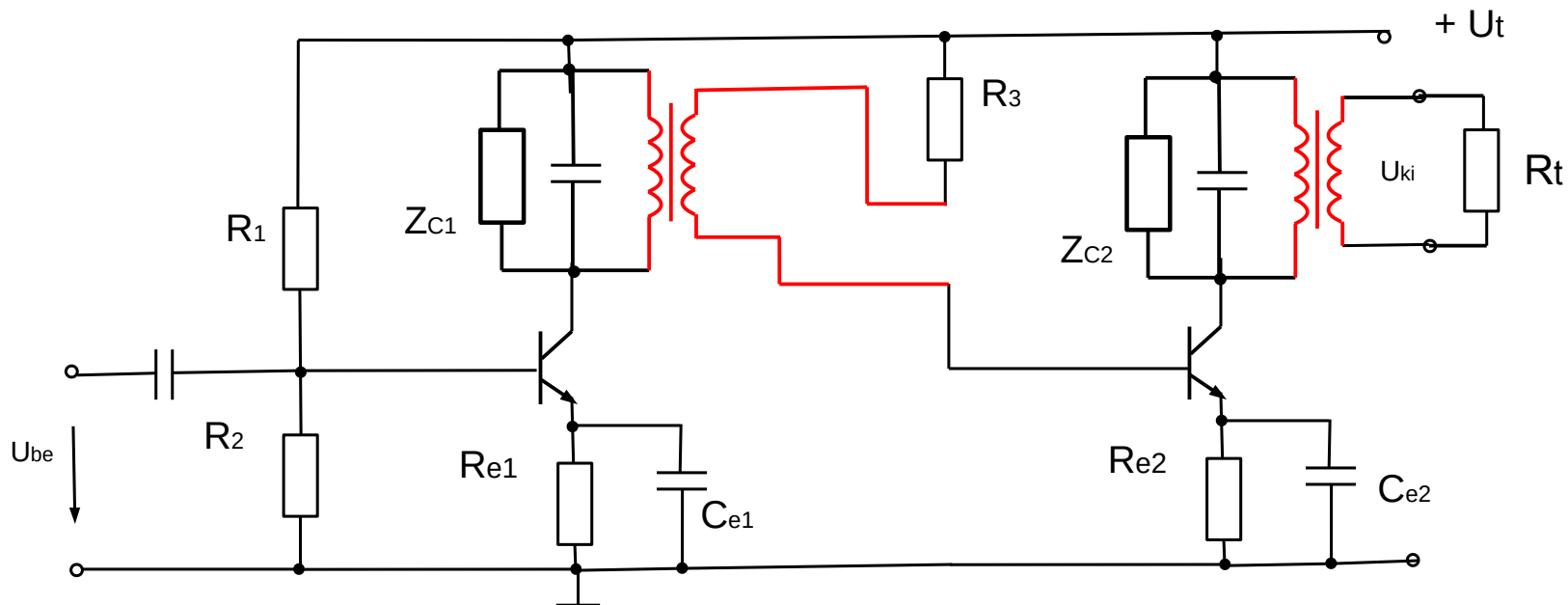
### 6. transzformátoros csatolás

#### Előnye:

a fokozatok munkapontjai egymástól függetlenek, nem hatnak egymásra  
→ számítás egyszerű, fokozatonként

#### Hátránya:

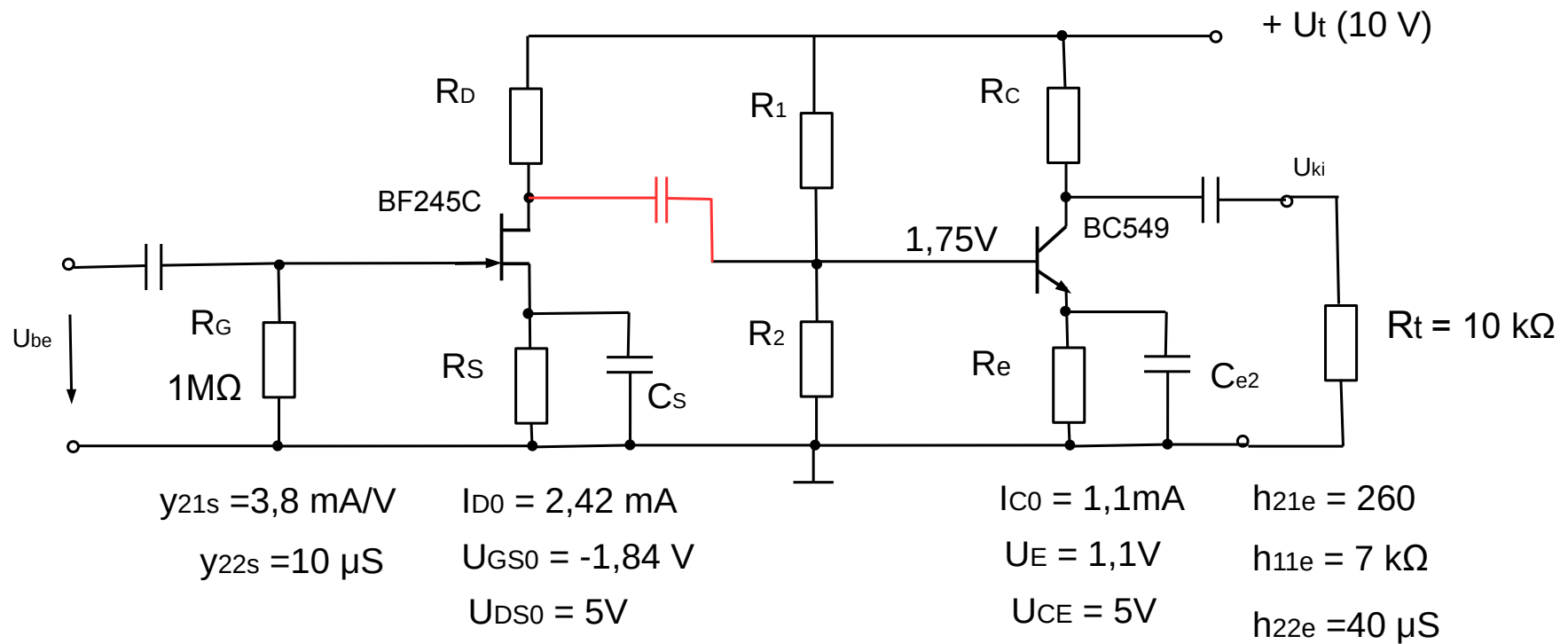
- egyenáramot nem erősít !
- transzformátor nagy méretű, drága



## 15.4. Feladatok

### 1.a feladat

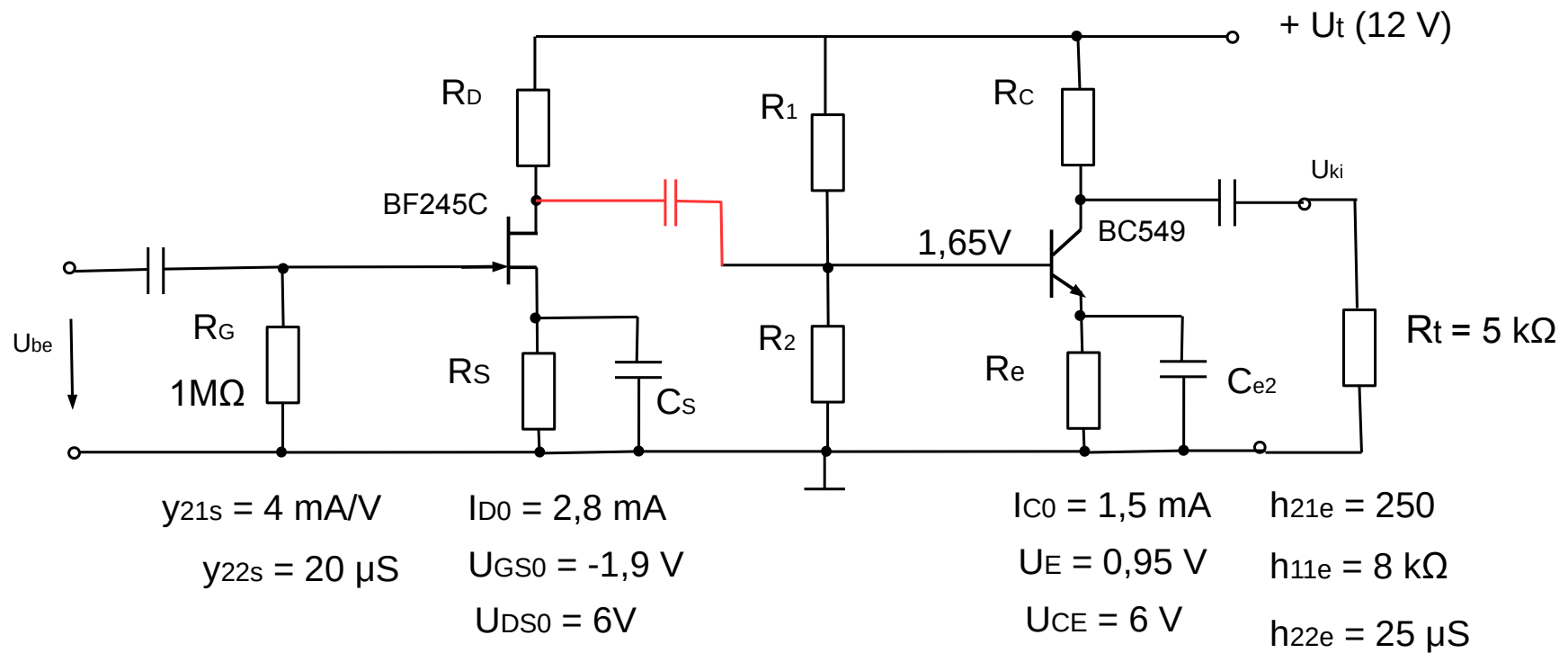
Hiányzó ellenállás értékek és erősítések meghatározása



## 15.4. Feladatok

### 1.b feladat

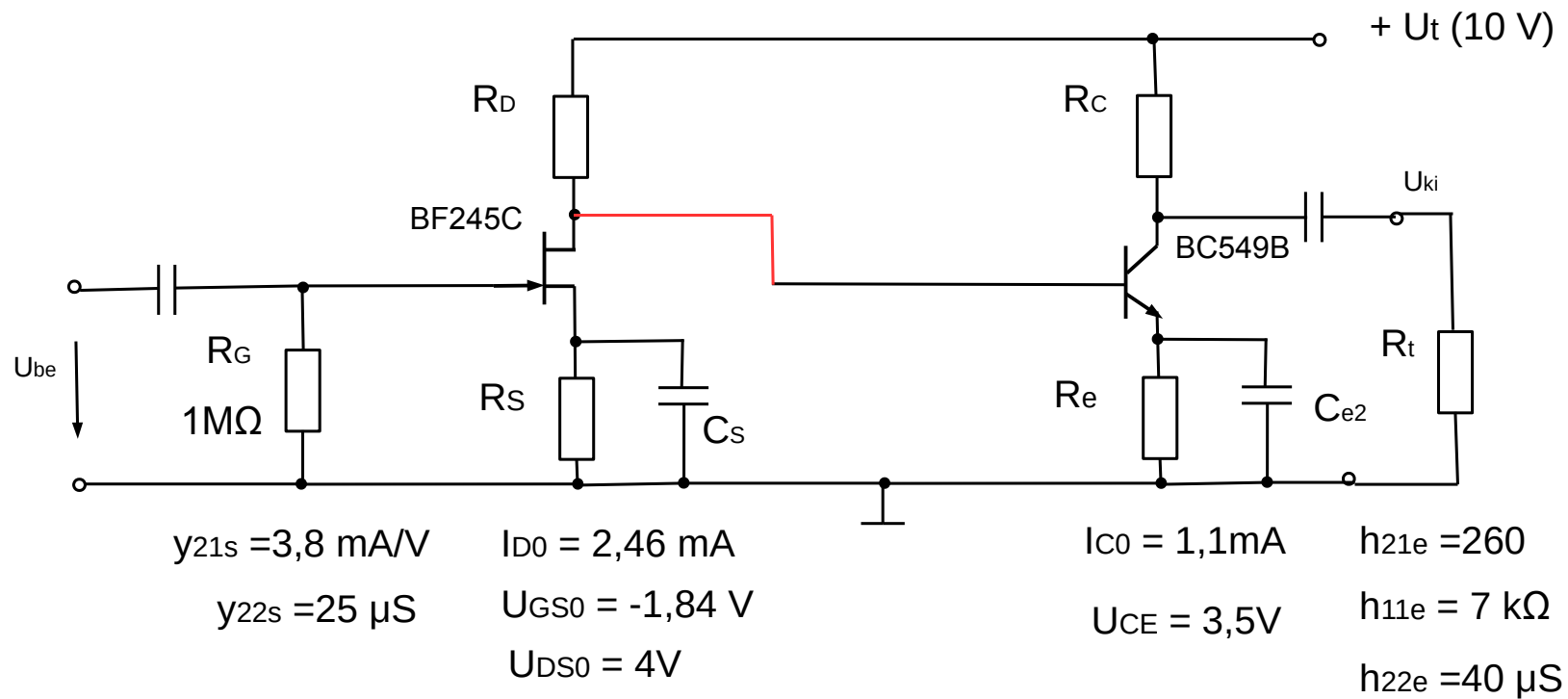
Hiányzó ellenállás értékek és erősítések meghatározása



## 15.4. Feladatok

### 2. feladat

Hiányzó ellenállás értékek és erősítések meghatározása



## 15.4. Feladatok

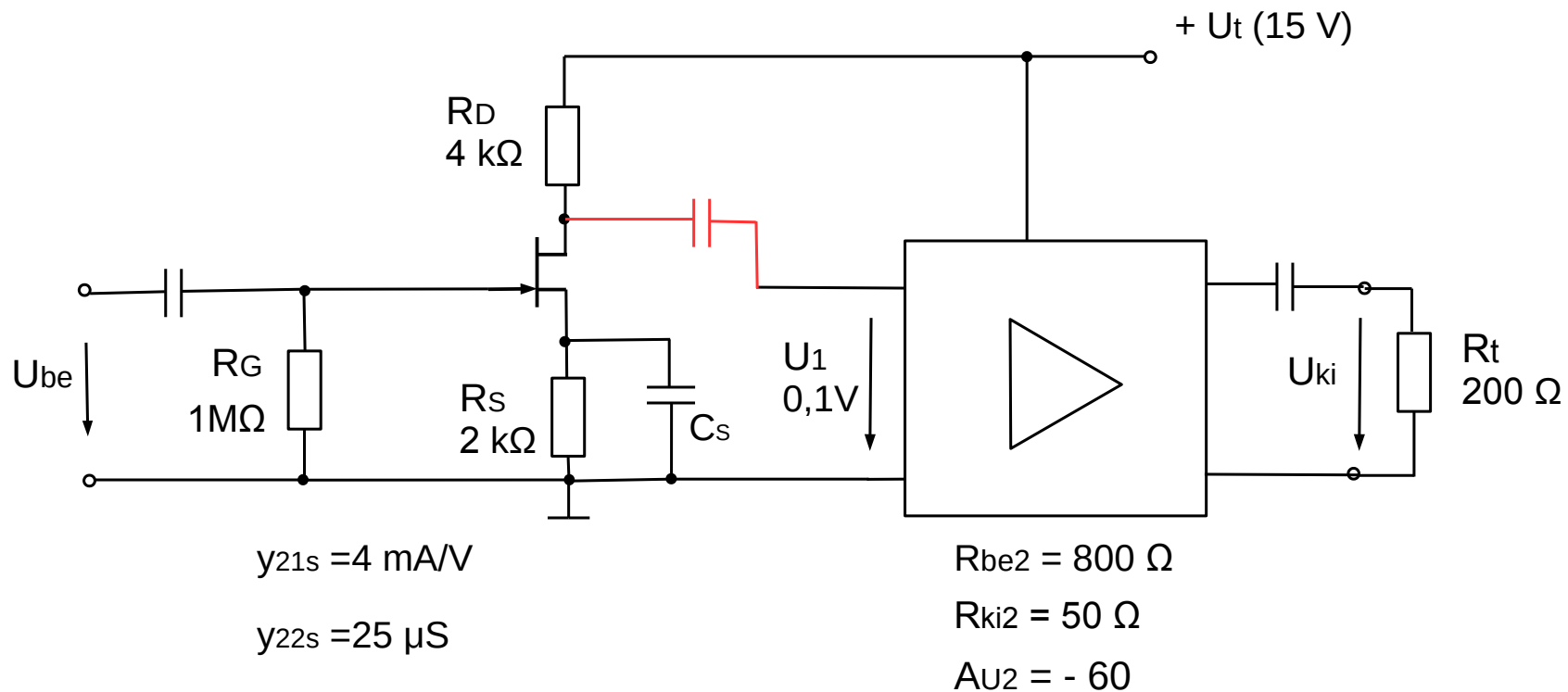
### 3. feladat

Mennyi az első fokozat feszültség erősítése?

Mennyi a teljes erősítő feszültség erősítése decibelben?

Mennyi az első fokozat kimeneti ellenállása?

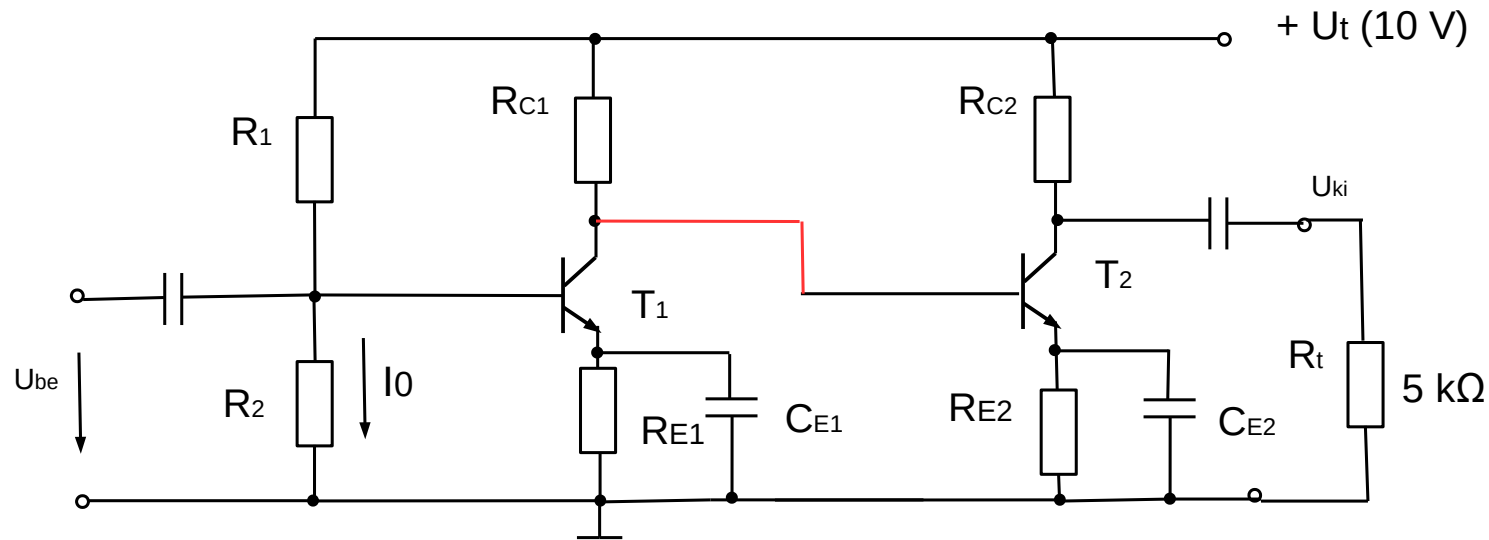
Mennyi a kimeneti és a bemeneti feszültség értéke?



## 15.4. Feladatok

### 4. feladat

Hiányzó ellenállás értékek és erősítések meghatározása



$$I_{C1} = 1,1 \text{ mA}$$

$$U_{CE1} = 5 \text{ V}$$

$$I_0 = 10 \cdot I_{B01}$$

$$U_{BE1} = 0,65 \text{ V}$$

$$U_{E1} = 1 \text{ V}$$

$$h_{21e} = 260$$

$$h_{11e} = 7 \text{ k}\Omega$$

$$h_{22e} = 40 \text{ }\mu\text{S}$$

$$I_{C2} = 1,1 \text{ mA}$$

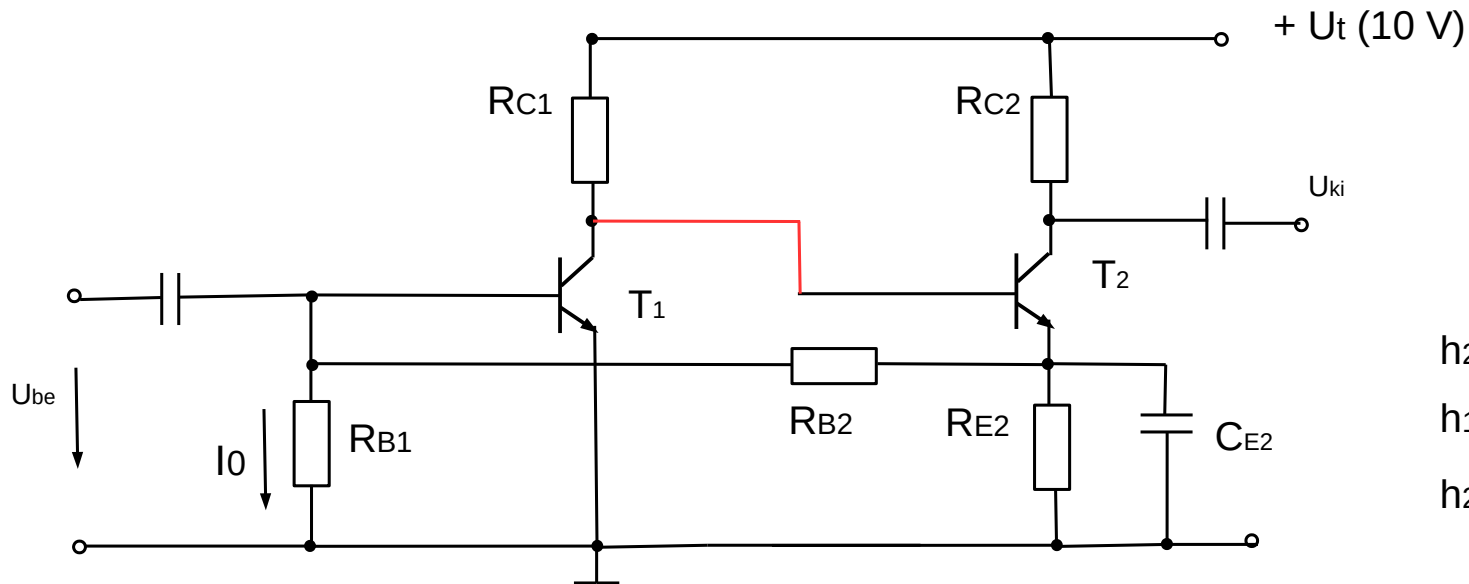
$$U_{CE2} = 3 \text{ V}$$

$$U_{BE2} = 0,65 \text{ V}$$

## 15.4. Feladatok

### 5. feladat

Hiányzó ellenállás értékek, és erősítések meghatározása



$$h_{21e} = 260$$

$$h_{11e} = 7\text{ k}\Omega$$

$$h_{22e} = 40\text{ }\mu\text{S}$$

$$I_0 = 10 \cdot I_{B1}$$

$$I_{C1} = 1,1\text{ mA}$$

$$U_{CE1} = 4\text{ V}$$

$$U_{BE1} = 0,65\text{ V}$$

$$I_{C2} = 1,1\text{ mA}$$

$$U_{CE2} = 3,5\text{ V}$$

$$U_{BE2} = 0,65\text{ V}$$

$$R_t = 10\text{ k}\Omega$$

## 15.4. Feladatok

### 1.a feladat, megoldás:

#### 2. fokozat

$$I_B = I_C / \beta = 1,1 \text{ mA} / 260 = 0,00423 \text{ mA}$$
$$I_0 = 20 * I_B = 20 * 0,00423 \text{ mA} = 0,0846 \text{ mA}$$

$$R_E = U_E / I_E = 1,1 \text{ V} / 1,1 \text{ mA} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$U_B = 1,75 \text{ V}$$

$$R_2 = U_B / I_0 = 1,75 \text{ V} / 0,0846 \text{ mA} = 20,7 \text{ k}\Omega$$

$$U_{R1} = U_T - U_B = 10 - 1,75 = 8,25 \text{ V}$$

$$R_1 = U_{R1} / (I_0 + I_B) = 8,25 \text{ V} / 0,0888 \text{ mA}$$

$$R_1 = 92,9 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RC} = U_T - U_{CE} - U_E = 10 - 5 - 1,1 \text{ V} = 3,9 \text{ V}$$

$$R_C = U_{RC} / I_C = 3,9 \text{ V} / 1,1 \text{ mA} = 3,55 \text{ k}\Omega$$

$$R_{be2} = (R_1 \times R_2) \times h_{11e}$$

$$R_{be2} = (92,9 \times 20,7 \text{ k}\Omega) \times 7 \text{ k}\Omega = 4,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki2} = R_C \times 1/h_{22e}$$

$$R_{ki2} = 3,55 \times 25 \text{ k}\Omega = 3,11 \text{ k}\Omega$$

$$A_{u2} = - h_{21e} * (R_{ki} \times R_t) / h_{11e}$$

$$A_{u2} = - 260 * 2,37 \text{ k}\Omega / 7 \text{ k}\Omega = - 88$$

$$A_{i2} = - A_u * R_{be} / R_t$$

$$A_{i2} = 88 * 4,9 / 10 = 43$$

#### 1. fokozat (JFET)

$$I_{D0} = I_{S0} = 2,42 \text{ mA} \quad R_G \text{ legyen } 1 \text{ M}\Omega$$

$$U_S = - U_{GS0} = 1,84 \text{ V}$$

$$R_S = U_S / I_{S0} = 1,84 \text{ V} / 2,42 \text{ mA} = 0,76 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RD} = U_T - U_S - U_{DS0} = 10 - 1,84 - 5 \text{ V}$$

$$U_{RD} = 3,16 \text{ V}$$

$$R_D = U_{RD} / I_{D0} = 3,16 \text{ V} / 2,42 \text{ mA} = 1,3 \text{ k}\Omega$$

$$R_{be1} = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_{ki1} = R_D \times 1/y_{22s} = 1,3 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki1} = 1,28 \text{ k}\Omega$$

$$A_{u1} = - y_{21s} * (R_{ki} \times R_t)$$

$$A_{u1} = - y_{21s} * (R_{ki1} \times R_{be2})$$

$$A_{u1} = - 3,8 \text{ mA/V} * (1,28 \times 4,9 \text{ k}\Omega)$$

$$A_{u1} = - 3,9$$

$$A_{i1} = - A_u * R_{be} / R_t = - A_{u1} * R_{be1} / R_{be2}$$

$$A_{i1} = 3,9 * 1 \text{ M}\Omega / 4,9 \text{ k}\Omega = 795,9$$

#### A teljes erősítések:

$$A_u = A_{u1} * A_{u2} = 343$$

$$A_i = A_{i1} * A_{i2} = 34224$$



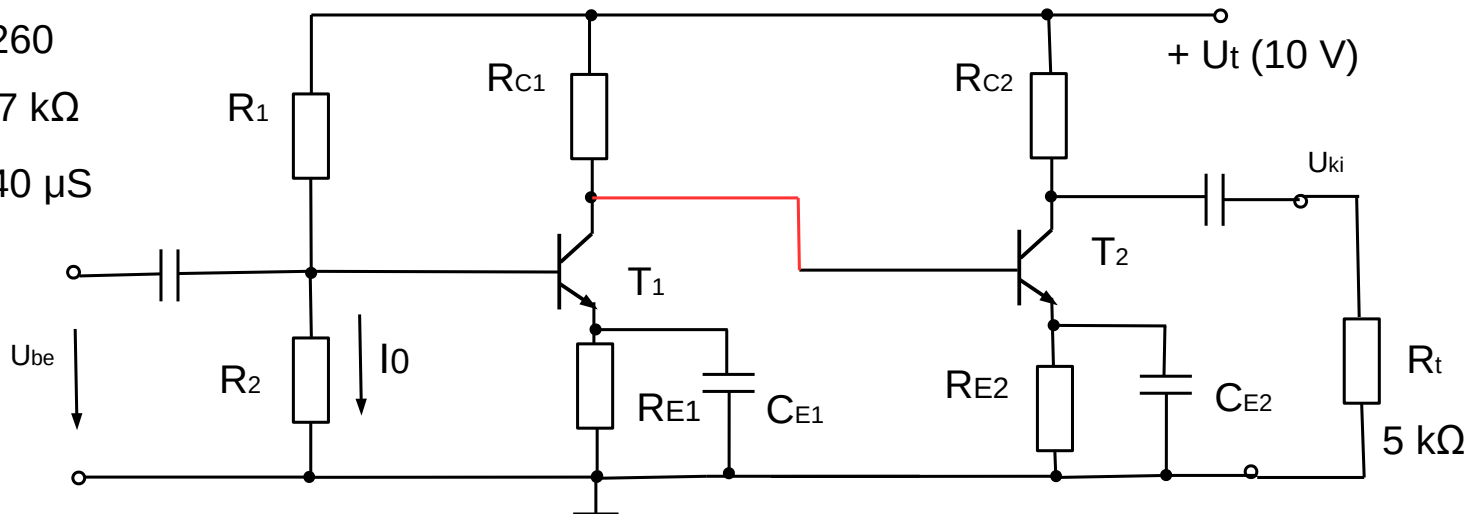
## 15.4. Feladatok

### 4. feladat, megoldás:

$$h_{21e} = 260$$

$$h_{11e} = 7 \text{ k}\Omega$$

$$h_{22e} = 40 \text{ }\mu\text{S}$$



$$I_{C1} = 1,1 \text{ mA}$$

$$U_{CE1} = 5 \text{ V}$$

$$I_0 = 10 * I_{B01}$$

$$U_{E1} = 1 \text{ V}$$

$$U_{BE1} = 0,65 \text{ V}$$

$$I_{C2} = 1,1 \text{ mA}$$

$$U_{CE2} = 3 \text{ V}$$

$$U_{BE2} = 0,65 \text{ V}$$

$$I_B = I_C / \beta = 1,1 \text{ mA} / 260 = 0,00423 \text{ mA}$$

$$I_0 = 10 * I_B = 10 * 0,00423 \text{ mA} = 0,0423 \text{ mA}$$

$$R_{E1} = U_{E1} / I_{E1} = 0,91 \text{ k}\Omega$$

$$U_{B1} = U_{E1} + U_{BE1} = 1 + 0,65 = 1,65 \text{ V}$$

$$R_2 = U_{B1} / I_0 = 1,65 \text{ V} / 0,0423 \text{ mA} = 39 \text{ k}\Omega$$

$$U_{R1} = U_T - U_{B1} = 10 - 1,65 \text{ V} = 8,35 \text{ V}$$

$$R_1 = U_{R1} / (I_0 + I_{B1}) = 8,35 \text{ V} / 0,04653 \text{ mA}$$

$$R_1 = 179,5 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RC1} = U_T - U_{CE1} - U_{E1} = 4 \text{ V}$$

$$R_{C1} = U_{RC1} / I_{C1} = 4 \text{ V} / 1,1 \text{ mA} = 3,64 \text{ k}\Omega$$

$$U_{E2} = U_{CE1} + U_{E1} - U_{BE2} = 5,35 \text{ V}$$

$$R_{E2} = U_{E2} / I_{E2} = 5,35 \text{ V} / 1,1 \text{ mA} = 4,86 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RC2} = U_T - U_{CE2} - U_{E2}$$

$$U_{RC2} = 10 - 3 - 5,35 \text{ V} = 1,65 \text{ V}$$

$$R_{C2} = U_{RC2} / I_{C2} = 1,65 \text{ V} / 1,1 \text{ mA} = 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_{be1} = (R_1 \times R_2) \times h_{11e} = 5,7 \text{ k}\Omega$$

$$R_{be2} = h_{11e} = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki1} = R_{C1} \times 1/h_{22e} = 3,18 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki2} = R_{C2} \times 1/h_{22e} = 1,42 \text{ k}\Omega$$

$$A_{u1} = - h_{21e} * (R_{ki1} \times R_{be2}) / h_{11e}$$

$$A_{u1} = - 81,2$$

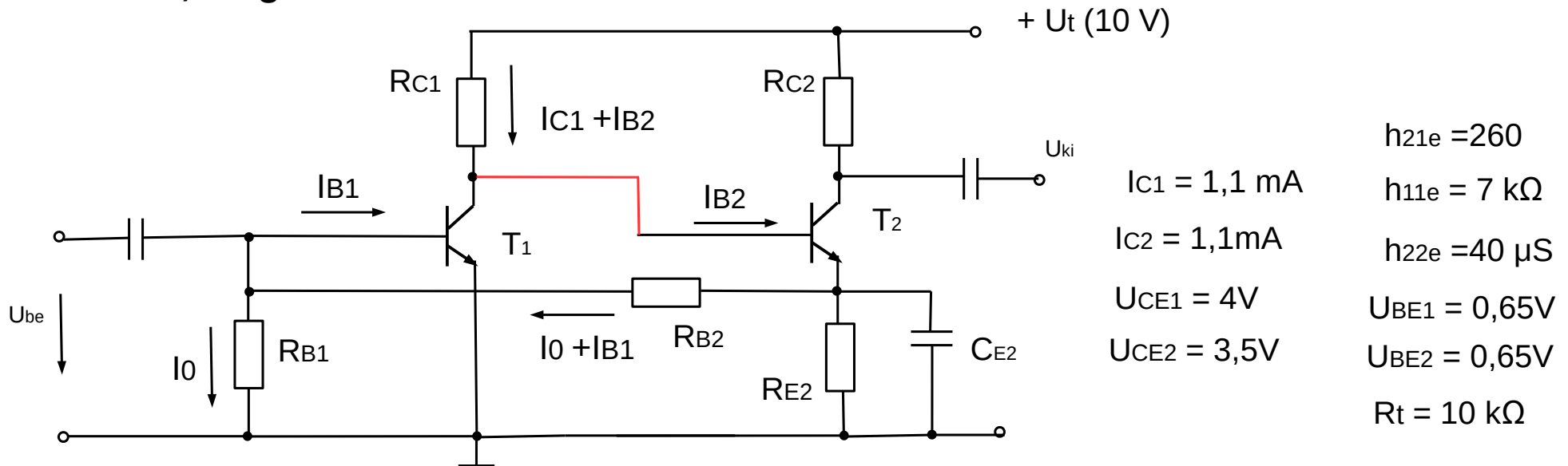
$$A_{u2} = - h_{21e} * (R_{ki2} \times R_t) / h_{11e} = - 41,1$$

$$A_u = A_{u1} * A_{u2} = 3337,2$$

$$A_i = - A_u * R_{be1} / R_t = -3804,4$$

## 15.4. Feladatok

### 5. feladat, megoldás:



$$I_B = I_C / \beta = 1,1 \text{ mA} / 260 = 0,00423 \text{ mA}$$

$$I_0 = 10 * I_B = 10 * 0,00423 \text{ mA} = 0,0423 \text{ mA}$$

$$R_{B1} = U_{BE1} / I_0 = 0,65 \text{ V} / 0,0423 \text{ mA} = 15,37 \text{ k}\Omega$$

$$U_{E2} = U_{CE1} - U_{BE2} = 4 - 0,65 = 3,35 \text{ V}$$

$$R_{B2} = (U_{E2} - U_{BE1}) / (I_0 + I_{B1})$$

$$R_{B2} = 2,7 \text{ V} / 0,04653 \text{ mA} = 58 \text{ k}\Omega$$

$$R_{E2} = U_{E2} / (I_{E2} - I_0 - I_{B1}) = U_{E2} / (I_{C2} - I_0)$$

$$R_{E2} = 3,35 \text{ V} / 1,058 \text{ mA} = 3,17 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RC1} = U_T - U_{CE1} = 10 - 4 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

$$R_{C1} = U_{RC1} / (I_{C1} + I_{B2})$$

$$R_{C1} = 6 \text{ V} / 1,10423 \text{ mA} = 5,43 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RC2} = U_T - U_{CE2} - U_{E2}$$

$$U_{RC2} = 10 - 3,5 - 3,35 \text{ V} = 3,15 \text{ V}$$

$$R_{C2} = U_{RC2} / I_{C2} = 3,15 \text{ V} / 1,1 \text{ mA} = 2,86 \text{ k}\Omega$$

$$R_{be1} = (R_{B1} \times R_{B2}) \times h_{11e} = 4,44 \text{ k}\Omega$$

$$R_{be2} = h_{11e} = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki1} = R_{C1} \times 1/h_{22e} = 4,46 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki2} = R_{C2} \times 1/h_{22e} = 2,57 \text{ k}\Omega$$

$$A_{u1} = - h_{21e} * (R_{ki1} \times R_{be2}) / h_{11e} = - 101,2$$

$$A_{u2} = - h_{21e} * (R_{ki2} \times R_t) / h_{11e} = - 75,9$$

$$A_u = A_{u1} * A_{u2} = 7685,17$$

$$A_i = - A_u * R_{be1} / R_t = -3412,2$$

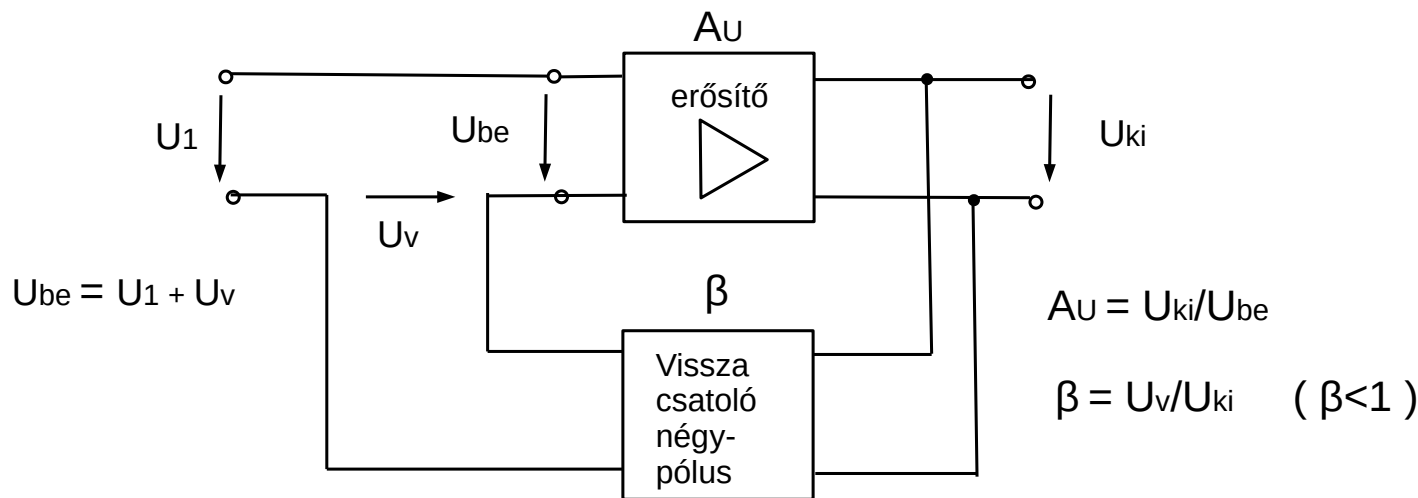
# 15.5. Visszacsatolás

## 1. A visszacsatolás elve

A kimeneti jel **egy részét** vissza vezetjük a bemenetre

Két eset lehetséges:

- a visszacsatolt jel **ellentétes fázisban** van a bemeneti jellel → **negatív visszacsatolás**
- a visszacsatolt jel **fázisban** van a bemeneti jellel → **pozitív visszacsatolás**



Begerjedés veszély !  
(oszillátor  
áramköröknél)

Visszacsatolt erősítés →  $A_{UV} = U_{ki}/U_1$

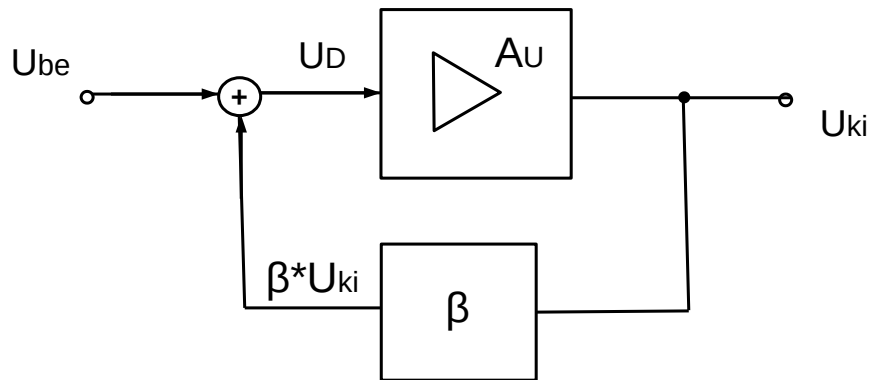
$$U_{ki} = A_U * U_{be} = A_U * (U_1 + U_v) = A_U * (U_1 + \beta * U_{ki})$$

$$A_{UV} = \frac{A_U}{1 - \beta * A_U}$$

# 15.5. Visszacsatolás

## 2. Negatív visszacsatolás

$A_U$  vagy  $\beta$  negatív



$$U_{ki} = A_U * U_D = A_U * (U_{be} + \beta * U_{ki})$$

$$A_{UV} = \frac{A_U}{1 - \beta * A_U}$$

$$\text{Ha } |\beta * A_U| \gg 1 \rightarrow A_{UV} = -1 / \beta$$



Csak a visszacsatoló hálózattól függ az erősítés !!

## Hurok erősítés

$$\beta * A_U$$



$$\beta * A_U = U_v / U_{be}$$

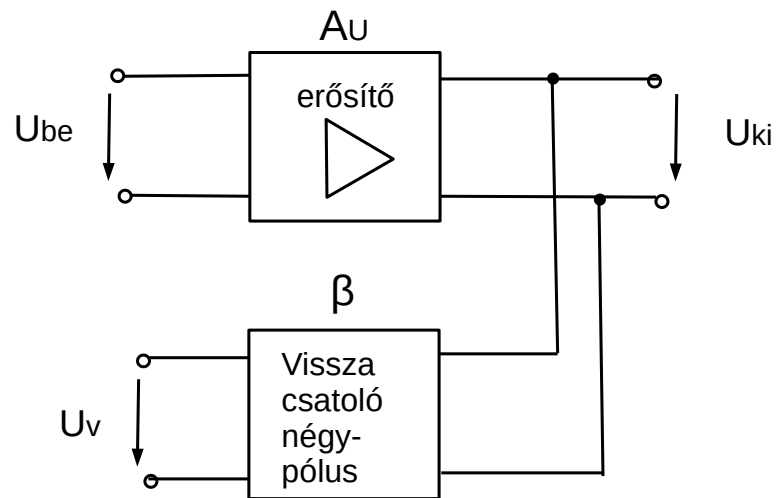
Ha:

- $\beta * A_U > 0 \rightarrow$  pozitív visszacsatolás
- $\beta * A_U < 0 \rightarrow$  negatív visszacsatolás

## 15.5. Visszacsatolás

### 3. Kimenet szempontjából a visszacsatolás lehet:

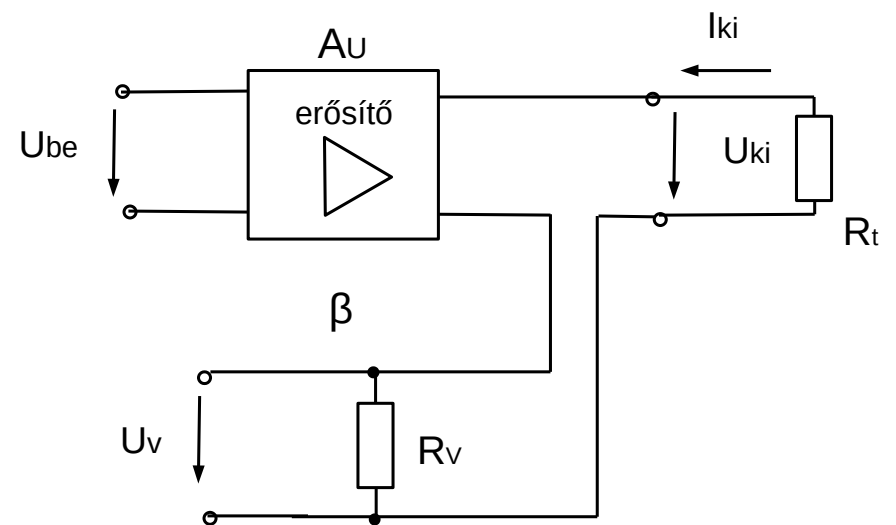
Feszültség visszacsatolás



$$U_v \sim U_{ki}$$

$r_{ki}$  csökken

Áram visszacsatolás



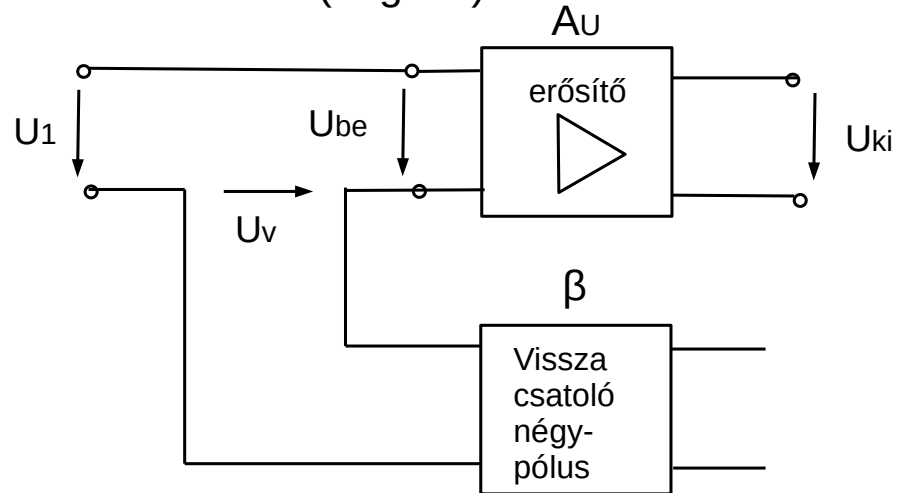
$$U_v \sim I_{ki} \quad (R_v \sim R_t)$$

$r_{ki}$  nő

## 15.5. Visszacsatolás

### 4. Bemenet szempontjából a visszacsatolás lehet:

Soros visszacsatolás (negatív)

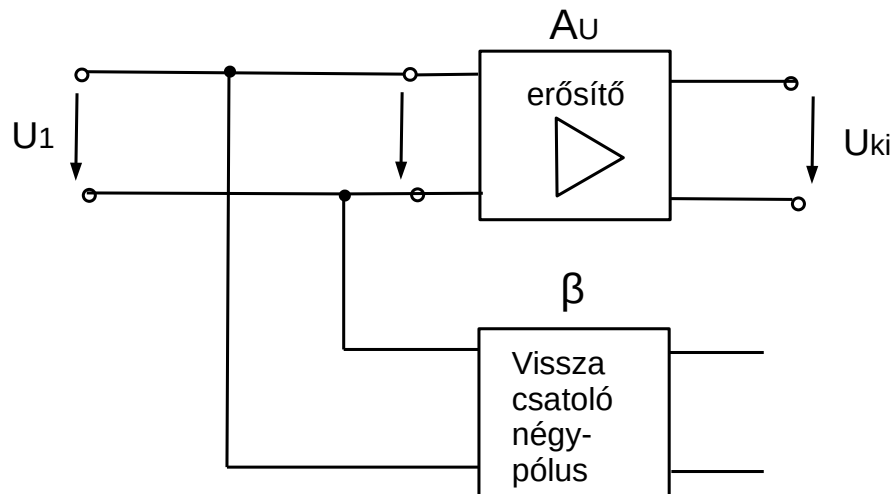


$$A_{UV} = \frac{A_u}{1 + \beta * A_u}$$

$r_{be}$  nő  $\rightarrow$

$$r_{beV} = r_{be} * (1 + \beta * A_u)$$

Párhuzamos visszacsatolás (negatív)



$$A_{iV} = \frac{A_i}{1 + \beta * A_i}$$

$$A_{UV} = A_u$$

$r_{be}$  csökken  $\rightarrow$

$$r_{beV} = \frac{r_{be}}{1 + \beta * A_u}$$

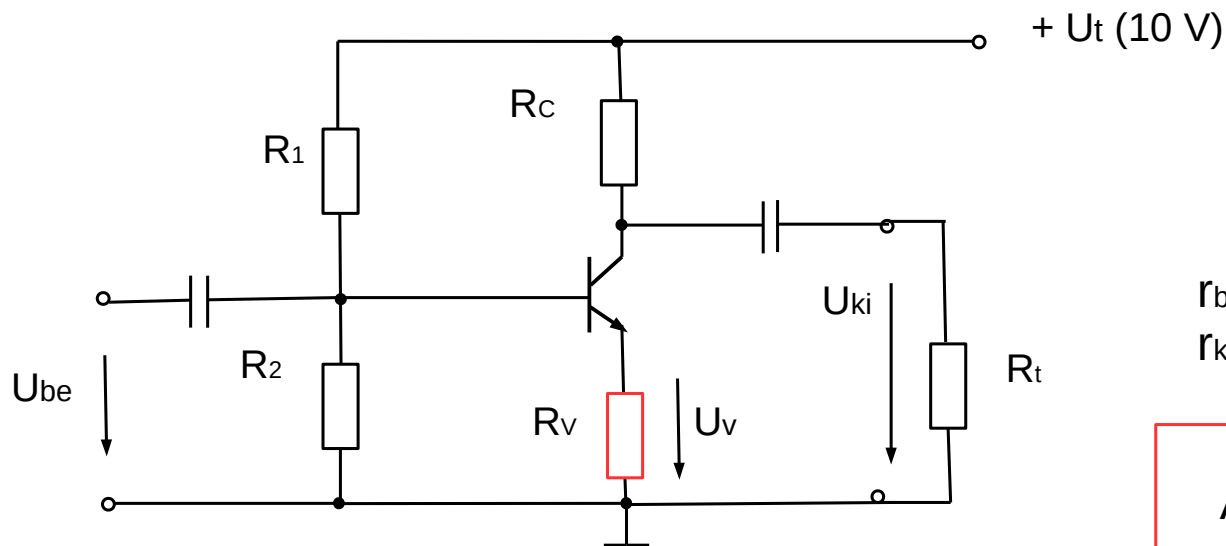
## 15.5. Visszacsatolás

### 5. A negatív visszacsatolás hatásai

- $r_{be}$  és  $r_{ki}$  változik (visszacsatolás típusától függően)
- erősítés változik  $\rightarrow A_U$  vagy  $A_i$  csökken  $(1 / 1 - \beta * A)$ -szeresére
- de hasonló arányban csökken az erősítő zaja és torzítása is !  $\rightarrow$  előny
- az erősítő sávszélessége viszont növekszik !  $\rightarrow$  előny

### 6. Példák negatív visszacsatolásra

Soros negatív áram  
visszacsatolás



$$\beta = U_v / U_{ki} = R_v / R_t$$

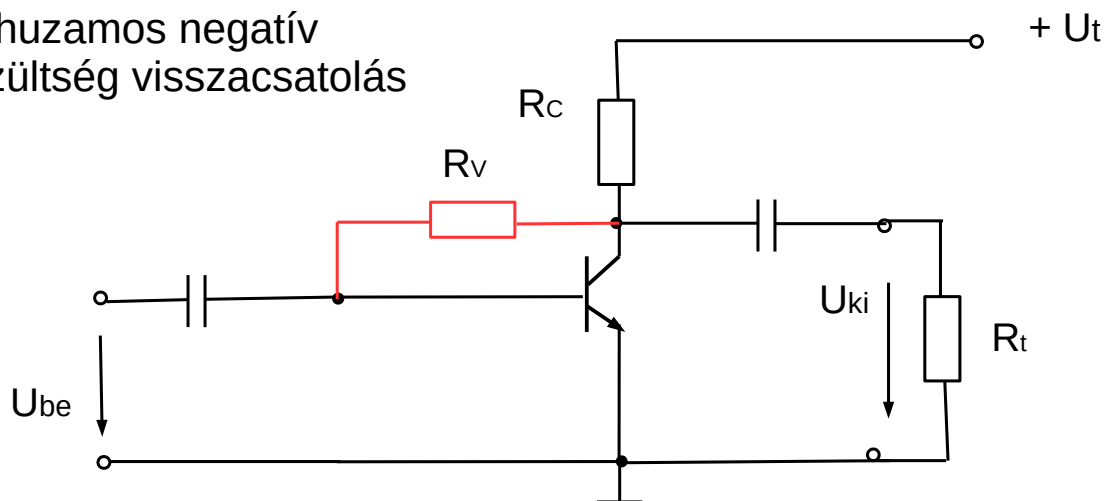
$r_{be}$  növekszik,  
 $r_{ki}$  növekszik,

$$A_{UV} = \frac{A_U}{1 - \beta * A_U}$$

## 15.5. Visszacsatolás

### 6. Példák negatív visszacsatolásra

Párhuzamos negatív  
feszültség visszacsatolás



$r_{be}$  csökken,  
 $r_{ki}$  csökken,  
 $A_u$  nem változik

$$A_{iV} = \frac{A_i}{1 - \beta * A_i}$$

Soros negatív feszültség  
visszacsatolás

Több fokozat esetén  
a visszacsatolás lehet:  
- fokozatonkénti  
- több fokozatot átfogó

