

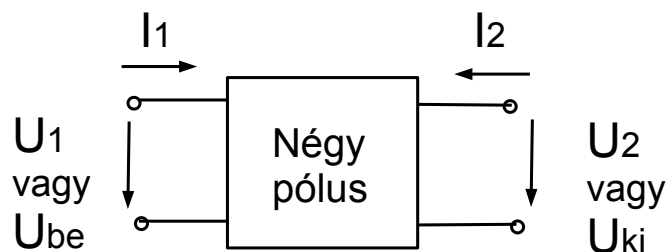
# Elektrotechnika

X.

Négypólusok,  
csillapítók, szűrők

# 10.1. Négy pólus jellemzők

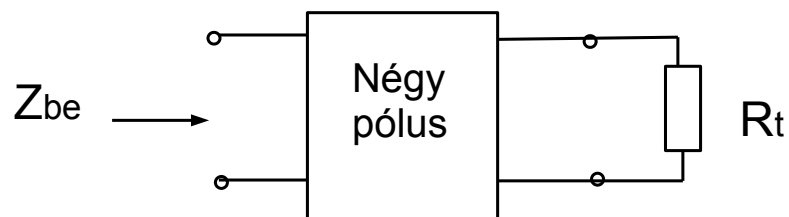
## 1. Négy pólus



### Négy pólusok csoportosítása

- lehet passzív vagy aktív
- lehet lineáris (csak R, L, C elemek) vagy nem lineáris
- lehet szimmetrikus vagy nem
- funkció alapján lehet:  
csillapító, illesztőtag, szűrő, erősítő, transzformátor, ...

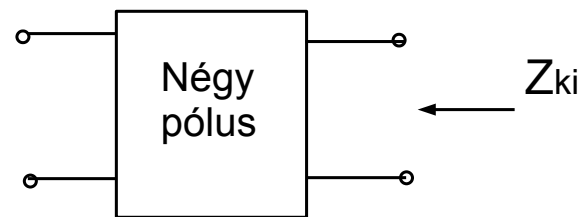
## 2. Bemeneti impedancia



$$Z_{be} = \frac{U_1}{I_1}$$

függ a kimenetet lezáró  
ellenállástól ( $R_t$  értékétől) !!

## 3. Kimeneti impedancia

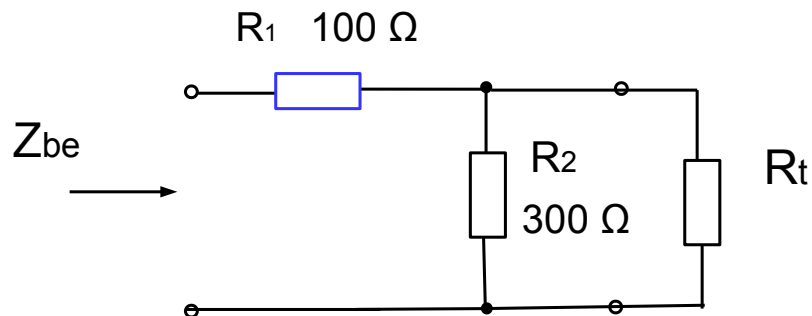


$$Z_{ki} = \frac{U_2}{I_2}$$

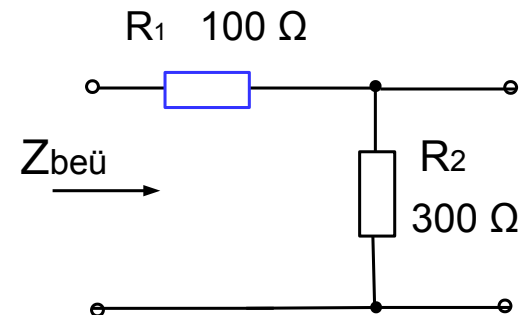
függ a bemenetet lezáró  
ellenállástól !!

## 10.1. Négypólus jellemzők

### 1. mintafeladat, bemeneti impedancia számítása



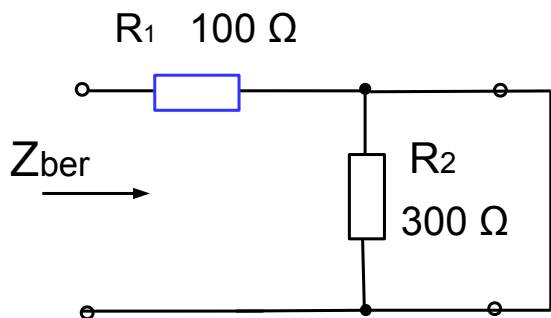
ha  $R_t = \infty$



$$Z_{be\ddot{u}} = R_2 + R_1 = 400\ \Omega$$

üresjárási  
bemeneti impedancia

ha  $R_t = 0$



$$Z_{ber} = R_1 + R_2 \times 0 = R_1 + 0 = 100\ \Omega$$

rövidzárási  
bemeneti impedancia

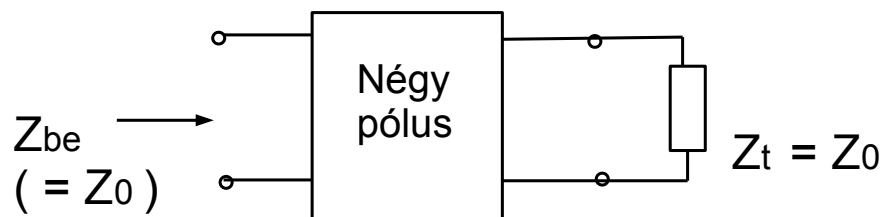
Ha pl.  $R_t = 600\ \Omega$

$$Z_{be} = R_1 + R_2 \times R_t$$

$$\begin{aligned} Z_{be} &= 100\ \Omega + 300\ \Omega \times 600\ \Omega = \\ &= 100\ \Omega + 200\ \Omega = 300\ \Omega \end{aligned}$$

# 10.1. Négypólus jellemzők

## 3. hullámimpedancia



Hullámimpedancia,  $Z_0$

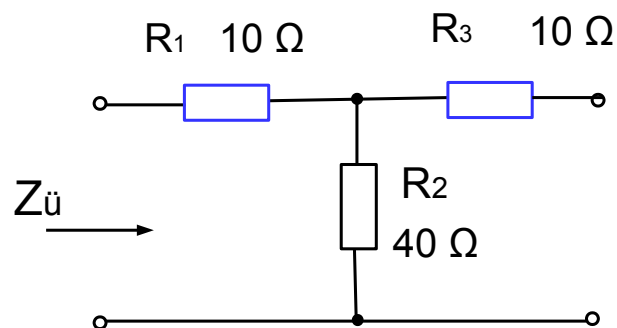
$$Z_{be} = Z_0 \quad \text{ha} \quad Z_t = Z_0$$

Számítása:

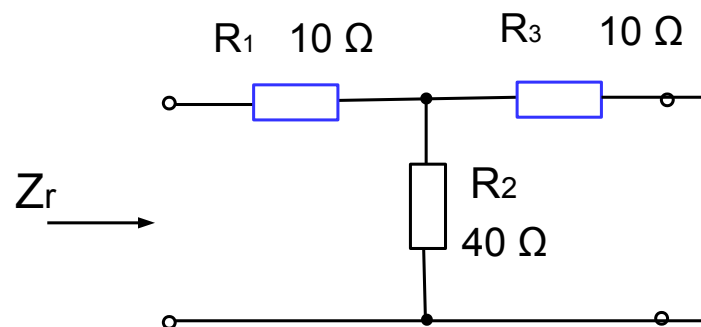
$$Z_0 = \sqrt{Z_{\ddot{u}} * Z_r}$$

Ha nem szimmetrikus a négypólus  $\rightarrow$  a bemenetnek és kimenetnek nem egyforma a hullámimpedanciája  $\rightarrow Z_{01}$  és  $Z_{02}$

## 2. mintafeladat



$$Z_{\ddot{u}} = R_1 + R_2 = 50 \Omega$$

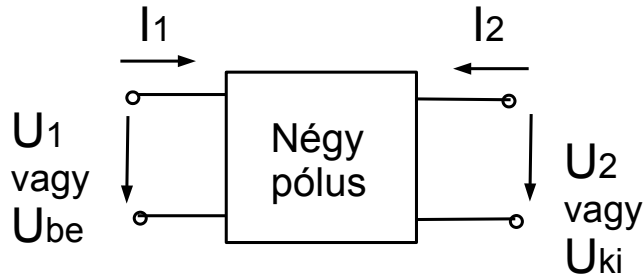


$$Z_r = R_1 + (R_2 \times R_3) = 10 \Omega + 8 \Omega = 18 \Omega$$

$$Z_0 = \sqrt{Z_{\ddot{u}} * Z_r} = \sqrt{50 * 18} = 30 \Omega$$

# 10.1. Négy pólus jellemzők

## 4. Feszültségátvitel



- A bemeneti és kimeneti feszültségek viszonyát adja
- használatos az  $U_{ki} / U_{be}$  érték  
főként aktív négy pólusok esetén (pl. erősítők),
  - de használatos az  $U_{be} / U_{ki}$  érték is,  
főként passzív négy pólusok esetén (pl. csillapítók),  
vagy helyette a csillapítás (később)

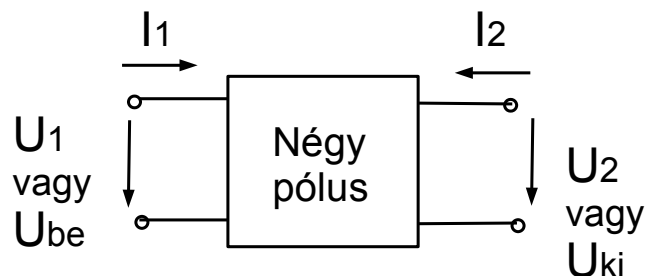
## 5. Erősítés

Valamely kimeneti jellemző hányszorosa a megfelelő bemeneti jellemzőnek.

Megadhatók a viszonzszámok decibelben is !

- feszültség erősítés  $\rightarrow A_u = U_{ki} / U_{be}$  vagy  $A_u^{dB} = 20 \cdot \log(|U_{ki} / U_{be}|) \text{ dB}$
- áram erősítés  $\rightarrow A_i = I_{ki} / I_{be}$  vagy  $A_i^{dB} = 20 \cdot \log(|I_{ki} / I_{be}|) \text{ dB}$
- teljesítmény erősítés  $\rightarrow A_p = P_{ki} / P_{be}$  vagy  $A_p^{dB} = 10 \cdot \log(|P_{ki} / P_{be}|) \text{ dB}$

## 10.1. Négy pólus jellemzők



### 6. Átviteli függvény (karakterisztika)

Valamely kimeneti jellemző hányszorosa a megfelelő bemeneti jellemzőnek a frekvencia függvényében,  
(komplex mennyiség  $\rightarrow$  nagyság + fázisszög)

$$K(\omega) = U_{ki}(\omega) / U_{be}(\omega)$$

### 7. Amplitudó karakterisztika

Az átviteli függvény nagyságának változása a frekvencia függvényében

$$\rightarrow A(\omega) = | U_{ki}(\omega) / U_{be}(\omega) |$$

Logaritmikusan ábrázolva  $\rightarrow$   
Bode-diagram

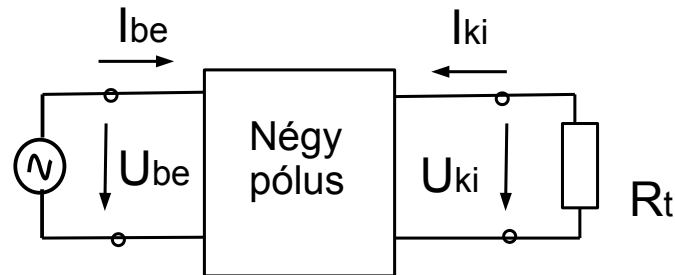
### 8. Fázis karakterisztika

Az átviteli függvény fázisszögének változása a frekvencia függvényében

$$\rightarrow \Psi(\omega) = \arcsin((U_{ki}(\omega) / U_{be}(\omega)))$$

## 10.1. Négy pólus jellemzők

### 3. mintafeladat



$$\begin{aligned}U_{be} &= 40\text{mV} \\I_{be} &= 0,15\text{mA} \\U_{ki} &= 6\text{V} \\R_t &= 2\text{ k}\Omega\end{aligned}$$

$$A_u^{\text{dB}} = ?$$

$$A_i^{\text{dB}} = ?$$

$$A_p^{\text{dB}} = ?$$

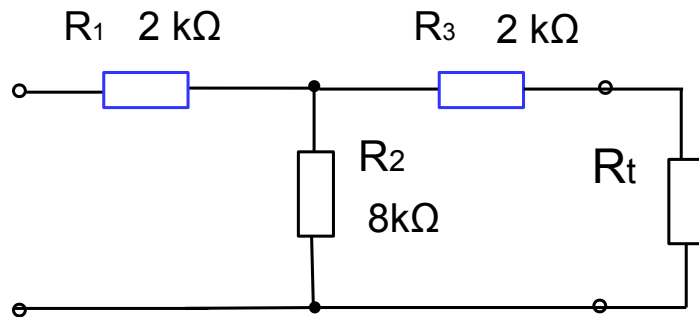
feszültség erősítés  $A_u = U_{ki} / U_{be} = 6\text{V} / 0,04\text{V} = 150 \rightarrow A_u^{\text{dB}} = 20 \cdot \log(150) = 43,52 \text{ dB}$

áram erősítés  $I_{ki} = - U_{ki} / R_t = 6\text{V} / 2\text{ k}\Omega = - 3 \text{ mA}$   
 $A_i = I_{ki} / I_{be} = -3\text{mA} / 0,15\text{mA} = -20 \rightarrow A_i^{\text{dB}} = 20 \cdot \log(20) = 26 \text{ dB}$

teljesítmény erősítés  $\rightarrow A_p = P_{ki} / P_{be} = 6 \cdot 3\text{mW} / 40 \cdot 0,15\mu\text{W} = 3000 (= A_u \cdot A_i) \rightarrow A_p^{\text{dB}} = 10 \cdot \log(3000) = 34,77 \text{ dB}$

## 10.2. Feladatok

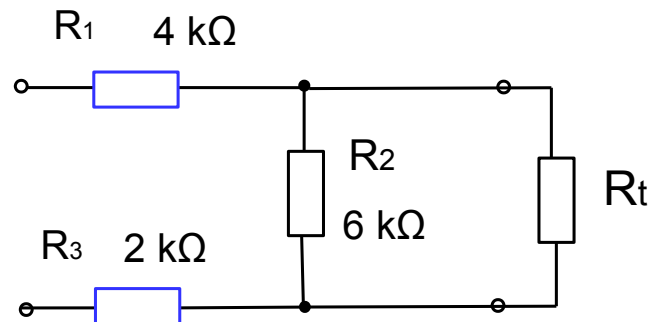
### 1. Feladat



Számold bemeneti impedanciát, ha:

- $R_t = \infty$  (üresjárás)
- $R_t = 0$
- $R_t = 6\text{ k}\Omega$

### 2. Feladat



Számold bemeneti impedanciát, ha:

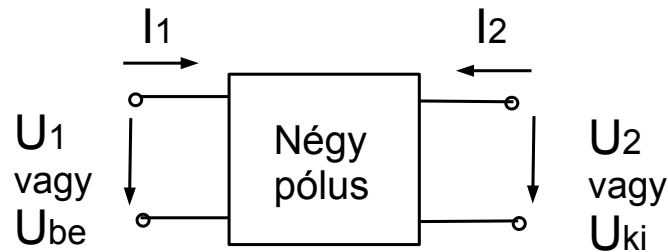
- $R_t = \infty$  (üresjárás)
- $R_t = 0$
- $R_t = 12\text{ k}\Omega$



## 10.3. Csillapítók

### 1. csillapítás

A passzív négypólus veszteségét jellemzi  
mértékegysége: dB (decibel) vagy N (neper)



#### Feszültség csillapítás:

$$a_u = 20 \cdot \lg (U_{be} / U_{ki}) \quad \text{dB}$$

$$\text{vagy} \quad a_u = \ln (U_{be} / U_{ki}) \quad \text{N}$$

#### Teljesítmény csillapítás:

$$a_p = 10 \cdot \lg (P_{be} / P_{ki}) \quad \text{dB}$$

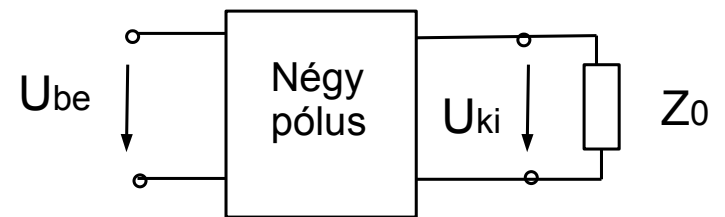
$$\text{vagy} \quad a_p = \frac{1}{2} \cdot \ln (P_{be} / P_{ki}) \quad \text{N}$$

### 3. fázis forgatás

A bemeneti és kimeneti feszültségek közötti  
fáziskülönbséget adja meg (b)

### 2. hullám csillapítás

Hullámimpedanciájával lezárt  
négypólus csillapítása



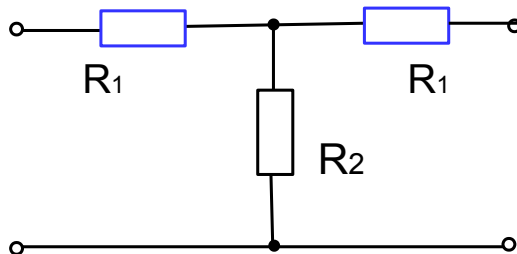
$$a_0 = 20 \cdot \lg (U_{be} / U_{ki})$$

## 10.3. Csillapítók

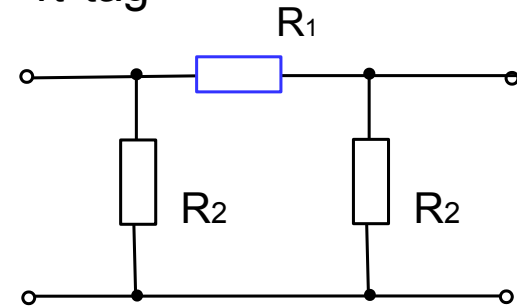
### 4. csillapítók

- szándékolt nagyságú csillapítást valósítanak meg  $\rightarrow U_{ki} < U_{be}$
- lehet frekvencia független  $\rightarrow$  ellenállásokból ! (pl. T-tag,  $\pi$ -tag, áthidalt T-tag...)
- lehet frekvencia függő (pl. áthidalt T-tag)  $\rightarrow$ 
  - \* csillapítás kiegyenlítő
  - \* lineáris torzítók (pl. hangszínszabályozók)

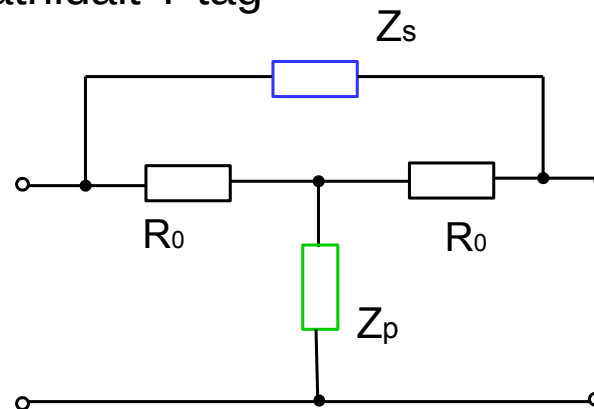
T-tag



$\pi$ -tag

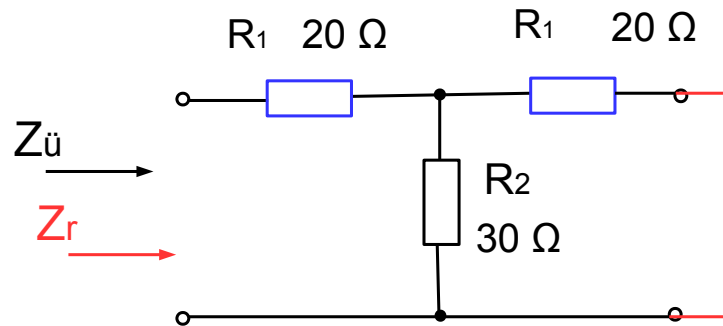


áthidalt T-tag



## 10.3. Csillapítók

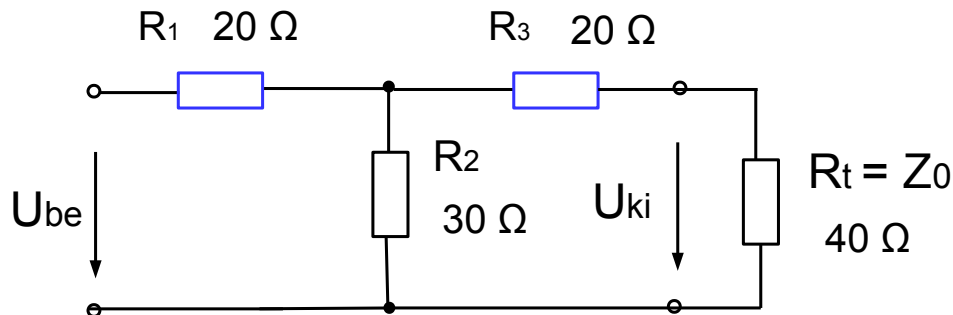
### 1. mintafeladat



$$Z_{\text{ü}} = R_1 + R_2 = 50 \, \Omega$$

$$Z_r = R_1 + (R_2 \times R_1) = 20 \, \Omega + 12 \, \Omega = 32 \, \Omega$$

$$Z_0 = \sqrt{Z_{\text{ü}} \times Z_r} = \sqrt{R_1 \times (R_1 + 2 \times R_2)} = \sqrt{50 \times 32} = 40 \, \Omega$$



$$Z_{\text{be}} = Z_0 = 40 \, \Omega$$

$$I_{\text{be}} = U_{\text{be}} / Z_0$$

$$U_{R1} = I_{\text{be}} \times R_1 = 20 \, \Omega \times U_{\text{be}} / 40 \, \Omega = U_{\text{be}} / 2$$

$$U_{R2} = U_{\text{be}} - U_{R1} = U_{\text{be}} / 2$$

$$U_{\text{ki}} = U_{R2} \times R_t / (R_3 + R_t) = U_{\text{be}} / 2 \times 40 / 60$$

$$U_{\text{ki}} = U_{\text{be}} / 3$$

$$I_{\text{ki}} = U_{\text{ki}} / Z_0 = U_{\text{be}} / (3 \times Z_0)$$

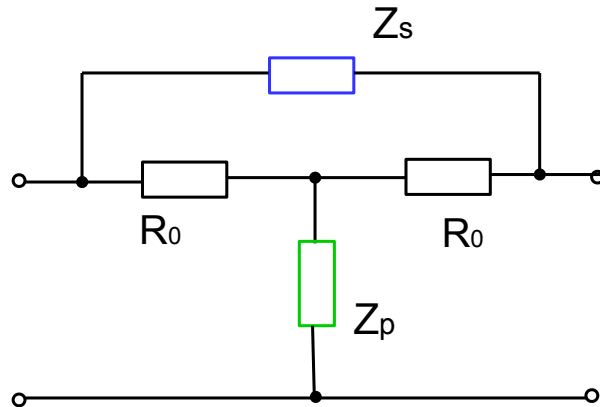
$$a_0 = 20 \times \lg (U_{\text{be}} / U_{\text{ki}})$$

$$a_0 = 20 \times \lg (U_{\text{be}} / (U_{\text{be}} / 3))$$

$$a_0 = 20 \times \lg (3) = 9,54 \, \text{dB}$$

## 10.3. Csillapítók

### 5. áthidalt T-tag



Ha  $Z_s * Z_p = R_0 * R_0$  !!  $\rightarrow$

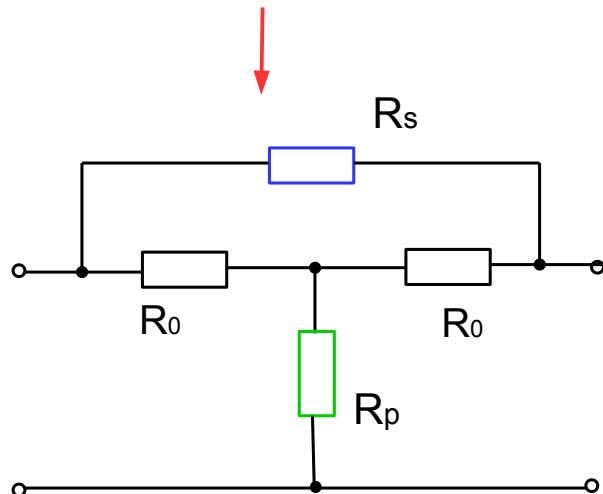
$$Z_0 = R_0 \quad \text{és}$$

$$a_0 = 20 * \lg (Z_s / R_0 + 1)$$

### 2. mintafeladat

- frekvencia független csillapító tervezése

$$Z_0 = 150 \, \Omega \quad \text{és} \quad a_0 = 20 \, \text{dB}$$



$$R_0 = Z_0 = 150 \, \Omega$$

$$a_0 = 20 * \lg (R_s / R_0 + 1) \rightarrow$$

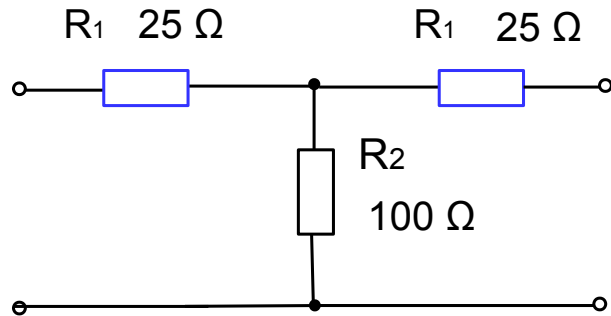
$$R_s = R_0 * ( 10^{a_0/20} - 1 )$$

$$R_s = 150 \, \Omega * ( 10^1 - 1 ) = 1350 \, \Omega$$

$$R_p = R_0 * R_0 / R_s = 150 * 150 / 1350 \, \Omega$$
$$R_p = 16,67 \, \Omega$$

## 10.4. Feladatok

### 1. Feladat

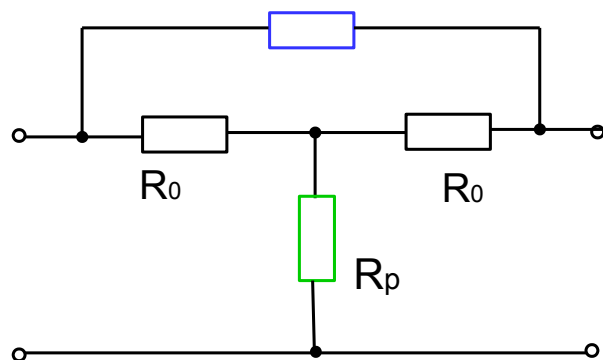


Számolj  
- hullám impedanciát  
- hullám csillapítást

### 2. Feladat

- frekvencia független csillapító  
tervezése

$Z_0 = 75\ \Omega$  és  $a_0 = 40\ \text{dB}$   
 $R_s$



## 10.5. Szűrő áramkörök

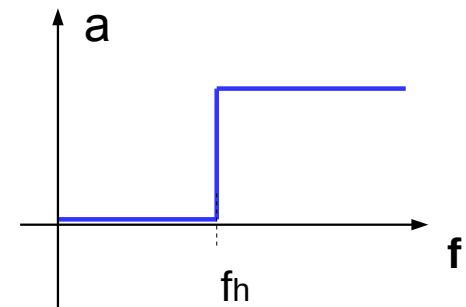
### 1. Szűrők

Csillapításuk valamely frekvencia tartományban nagyon kicsi,  
a többi frekvencián pedig nagy

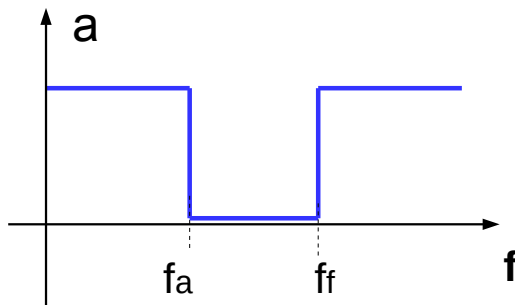
Típusai:

- aluláteresztő (kis frekvenciákon kicsi a csillapítása)
- feluláteresztő (nagy frekvenciákon kicsi a csillapítása)
- sávszűrő (közepes frekvenciákon kicsi a csillapítása)
- sávzáró (közepes frekvenciákon nagy a csillapítása)

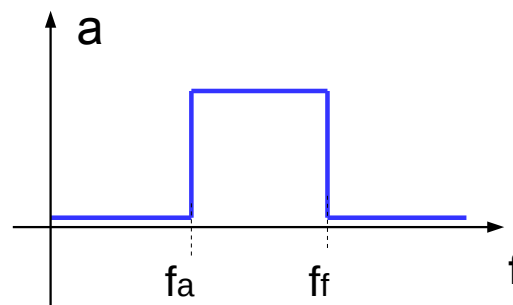
aluláteresztő



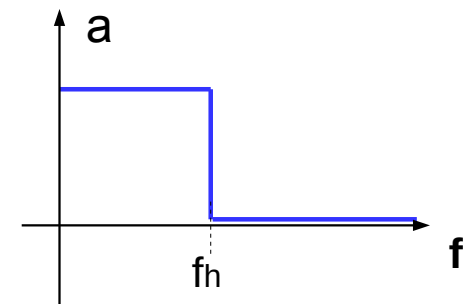
sávszűrő



sávzáró



feluláteresztő



Ideális csillapítás karakterisztikák !! → a gyakorlatban ezeket csak megközelíteni lehet ! (minél bonyolultabb áramkör, annál jobban)

# 10.5. Szűrő áramkörök

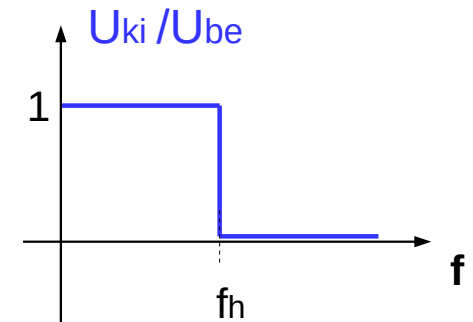
## 2. Szűrők feszültségátvittele

Valamely frekvencia tartományban értéke 1 ( $U_{ki} / U_{be}$ ),  
a többi frekvencián pedig nagyon kicsi ( $\sim 0$ )

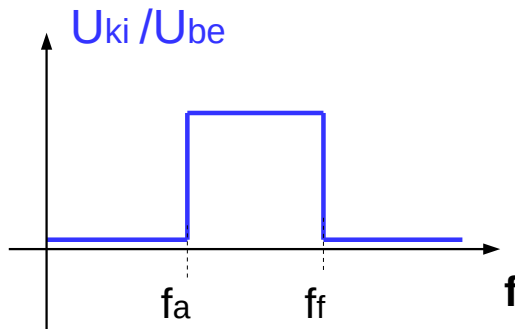
A karakterisztikák ellentétesek a csillapítás karakterisztikákkal

- aluláteresztő  $\rightarrow$  nagy frekvenciákon  $U_{ki} / U_{be} \approx 0$
- felüláteresztő  $\rightarrow$  kis frekvenciákon  $U_{ki} / U_{be} \approx 0$
- sávszűrő  $\rightarrow$  kis és nagy frekvenciákon  $U_{ki} / U_{be} \approx 0$
- sávzáró  $\rightarrow$  közepes frekvenciákon  $U_{ki} / U_{be} \approx 0$

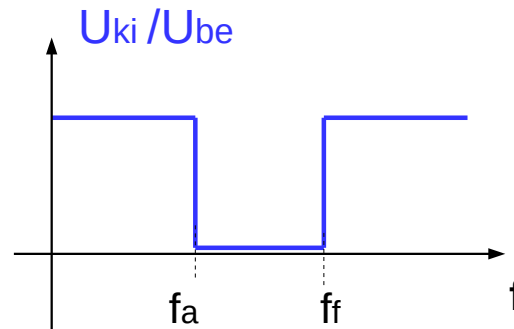
aluláteresztő



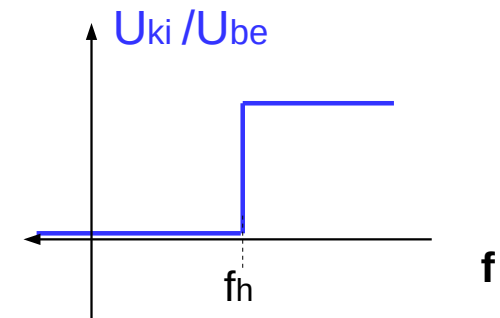
sávszűrő



sávzáró



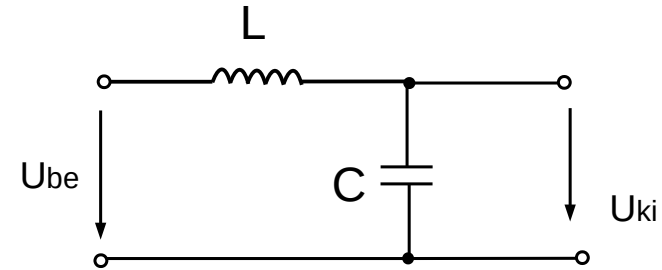
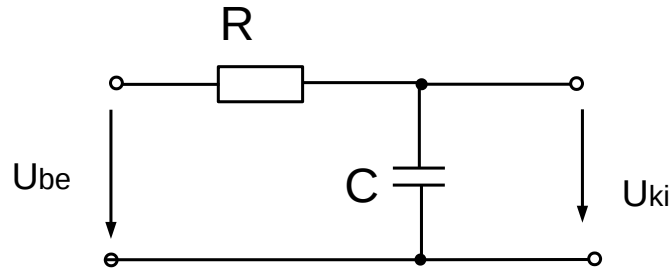
felüláteresztő



Ideális karakterisztikák !!  $\rightarrow$  a gyakorlatban az átmenet nem ilyen éles

## 10.5. Szűrő áramkörök

### 3. Egyszerű aluláteresztők



$$Z_e^2 = R^2 + X_C^2$$

$$\text{és } U_{ki} = U_{be} * X_C / Z_e = U_{be} * X_C / \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$| U_{ki}/U_{be} | = 1 / \sqrt{1 + R^2 / X_C^2}$$

Határ frekvencia →

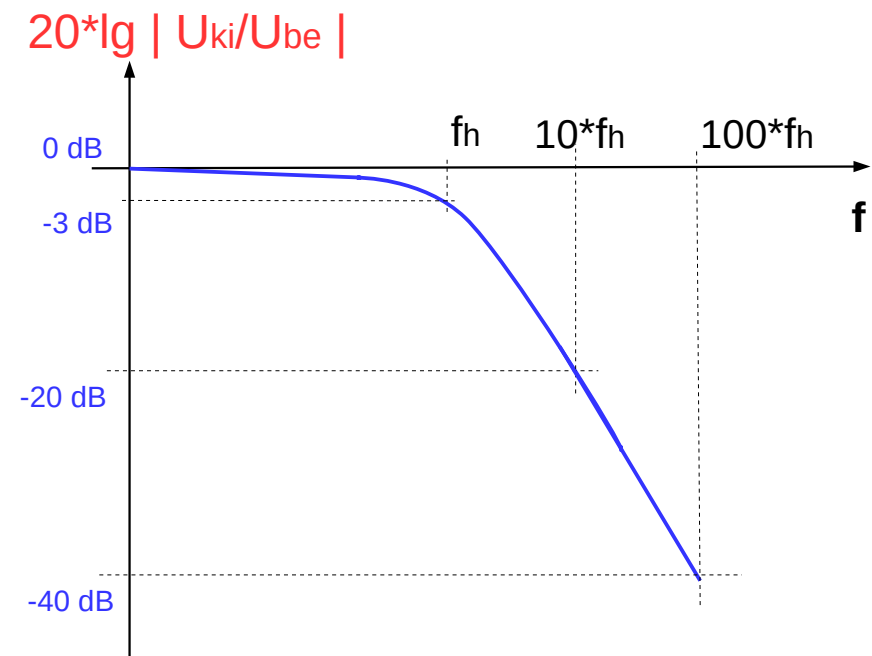
$$\text{ahol } R = X_C \rightarrow f_h = 1 / (2\pi * R * C)$$

$$\text{Ha } f = f_h \rightarrow U_{ki}/U_{be} = 1/\sqrt{2} \rightarrow -3 \text{ dB}$$

(fázisszög,  $\varphi = -45^\circ$ )

$$\text{Ha } f \ll f_h \rightarrow U_{ki}/U_{be} \approx 1 \rightarrow 0 \text{ dB}$$

$$\text{Ha } f \gg f_h \rightarrow U_{ki}/U_{be} \approx X_C/R = 1/(2\pi * f * R * C) \rightarrow \sim \text{egyenes meredeksége} \rightarrow -20 \text{ dB / dekád}$$

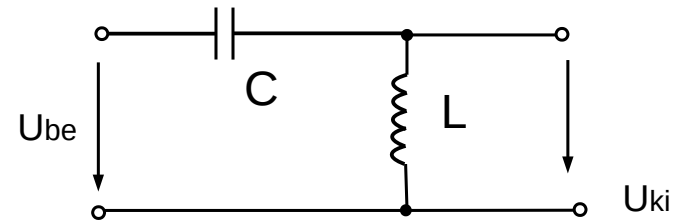
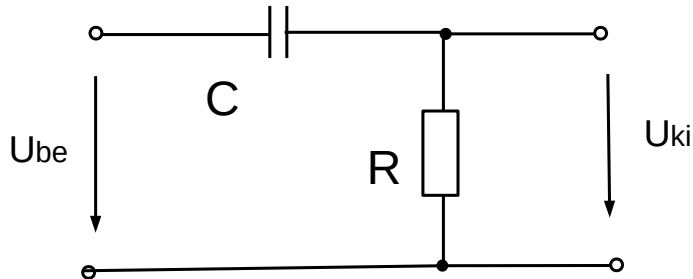




# 10.5. Szűrő áramkörök

## 4. Egyszerű felületeresztők

Nagyfrekvenciákat kis mértékben, kis frekvenciákat nagymértékben csillapítja



$$Z_e^2 = R^2 + X_C^2$$

$$\text{és } U_{ki} = U_{be} * R / Z_e = U_{be} * R / \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$| U_{ki}/U_{be} | = 1 / \sqrt{1 + X_C^2 / R^2}$$

Határ frekvencia →

$$\text{ahol } R = X_C \rightarrow f_h = 1 / (2\pi * R * C)$$

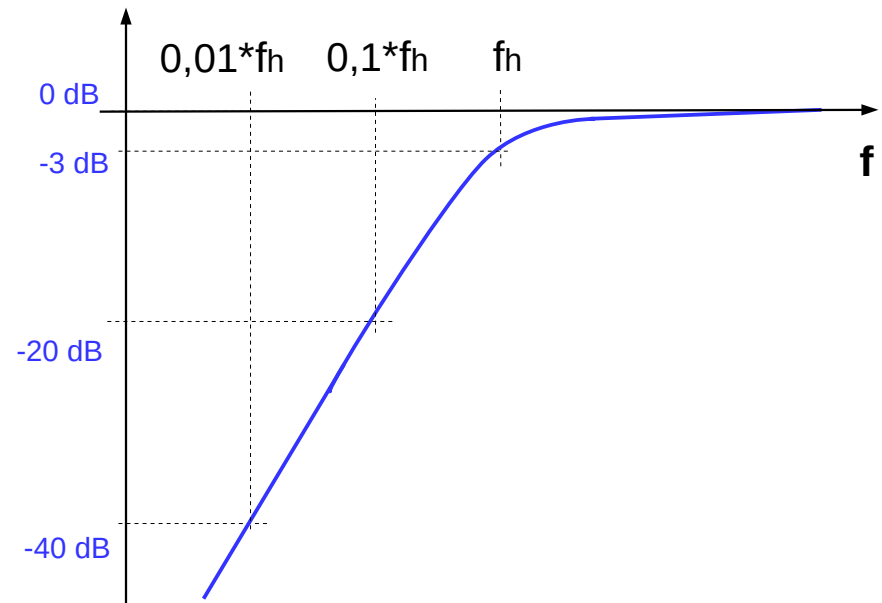
$$\text{Ha } f = f_h \rightarrow U_{ki}/U_{be} = 1/\sqrt{2} \rightarrow -3 \text{ dB}$$

(fázisszög,  $\varphi = 45^\circ$ )

$$\text{Ha } f \gg f_h \rightarrow U_{ki}/U_{be} \approx 1 \rightarrow 0 \text{ dB}$$

$$\text{Ha } f \ll f_h \rightarrow U_{ki}/U_{be} \approx R/X_C = 2\pi * f * R * C$$

$$20 * \lg | U_{ki}/U_{be} |$$



~ egyenes meredeksége →  
20 dB / dekád

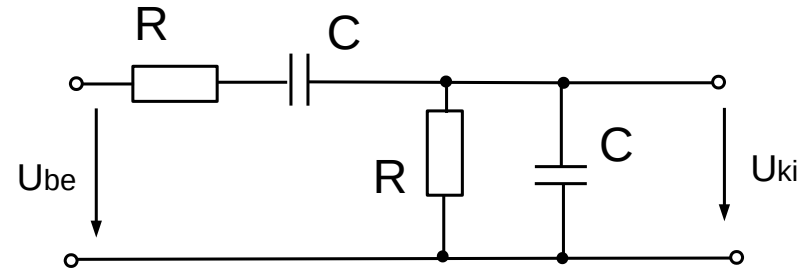
## 10.5. Szűrő áramkörök

### 5. Egyszerű sávszűrő

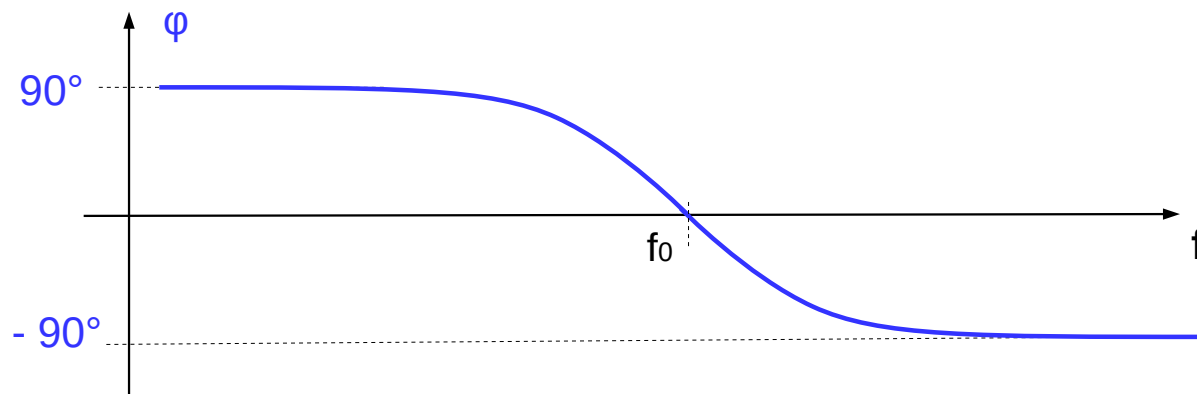
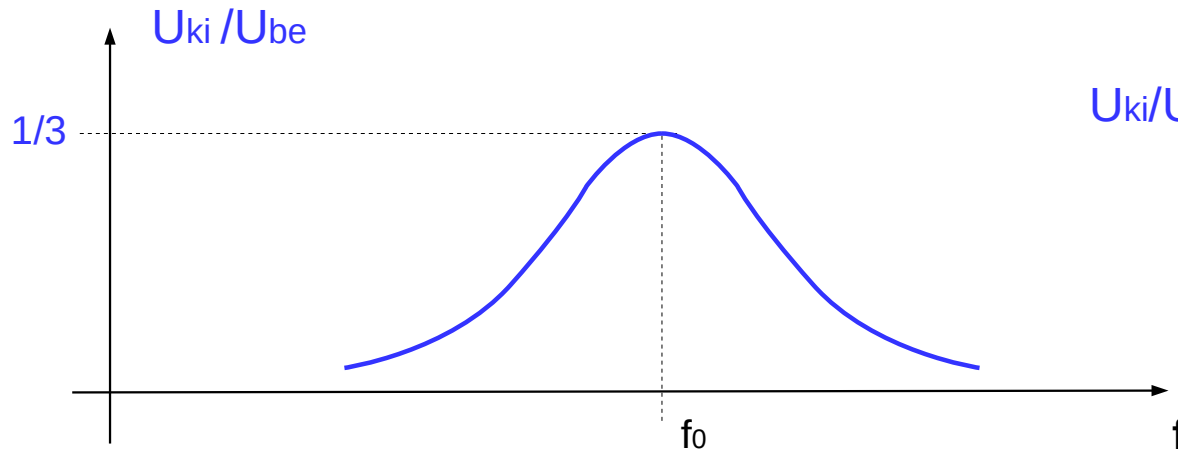
Wien-osztó

$$f_0 = 1 / (2\pi \cdot R \cdot C)$$

$$\text{Ha } f=f_0 \rightarrow U_{ki}/U_{be} = 1/3 \text{ és } \varphi = 0^\circ$$

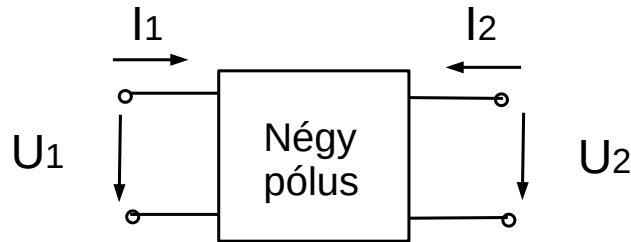


$$U_{ki}/U_{be} = 1 / (3 + j\omega R C - j\omega R C)$$



## 10.6. Négypólus paraméterek

### 1. Impedancia paraméterek



$$U_1 = z_{11} * I_1 + z_{12} * I_2$$

$$U_2 = z_{21} * I_1 + z_{22} * I_2$$

$z_{11}$   $z_{12}$   $z_{21}$   $z_{22}$  → impedancia paraméterek

$U_1, I_1, U_2, I_2$  értékekből csak kettő független ! → a másik kettő mindig számítható

Az impedancia paramétereket a négypólus belső felépítése határozza meg.

Számításuk, értelmezésük →

$$z_{11} = \frac{U_1}{I_1} \quad \text{ha } I_2 = 0 \text{ (szakadás)}$$

$$z_{21} = U_2 / I_1 \quad \text{ha } I_2 = 0$$

$$z_{12} = \frac{U_1}{I_2} \quad \text{ha } I_1 = 0$$

$$z_{22} = U_2 / I_2 \quad \text{ha } I_1 = 0$$

$z_{11}$  → üresjárási bemeneti impedancia

$z_{12}$  → üresjárási transzfer impedancia

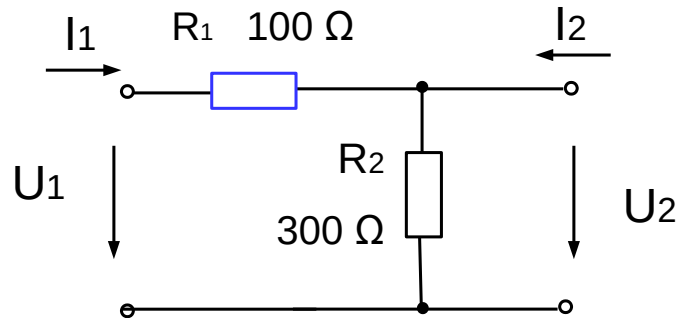
$z_{21}$  → üresjárási transzfer impedancia

$z_{22}$  → üresjárási kimeneti impedancia

## 10.6. Négypólus paraméterek

### Impedancia paraméterek számítása

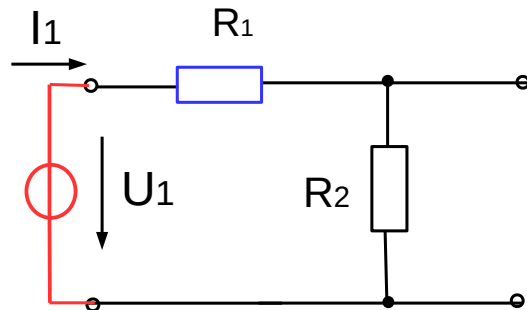
#### 1. mintafeladat



$$U_1 = Z_{11} * I_1 + Z_{12} * I_2$$

$$U_2 = Z_{21} * I_1 + Z_{22} * I_2$$

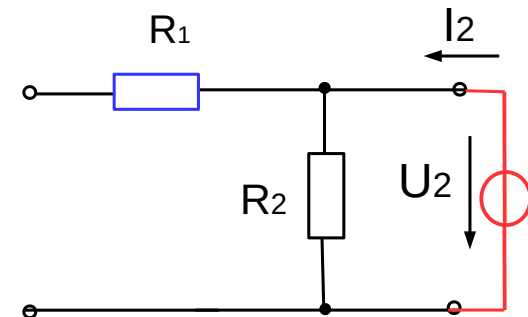
$$z_{11} = U_1 / I_1 \quad \text{ha } I_2 = 0$$



$$I_1 = U_1 / (R_1 + R_2)$$

$$z_{11} = U_1 / I_1 = R_1 + R_2 = 400\ \Omega$$

$$z_{22} = U_2 / I_2 \quad \text{ha } I_1 = 0$$



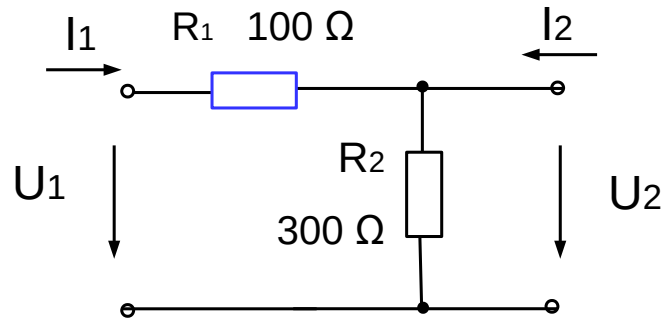
$$I_2 = U_2 / R_2$$

$$z_{22} = U_2 / I_2 = R_2 = 300\ \Omega$$

## 10.6. Négypólus paraméterek

### Impedancia paraméterek számítása

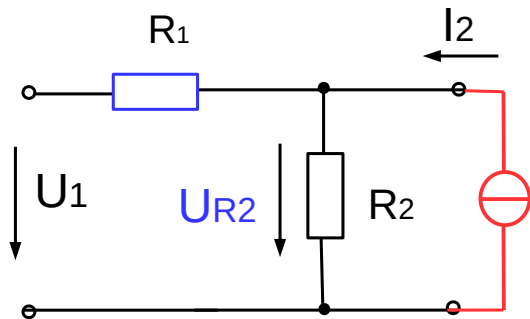
#### 1. mintafeladat



$$U_1 = Z_{11} * I_1 + Z_{12} * I_2$$
$$U_2 = Z_{21} * I_1 + Z_{22} * I_2$$

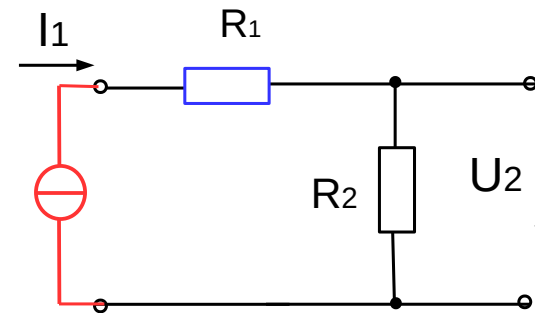
$$Z_{21} = U_2 / I_1 \quad \text{ha } I_2 = 0$$

$$Z_{12} = U_1 / I_2 \quad \text{ha } I_1 = 0$$



$$U_1 = U_{R2} = I_2 * R_2$$

$$Z_{12} = U_1 / I_2 = I_2 * R_2 / I_2 = R_2 = 300\ \Omega$$

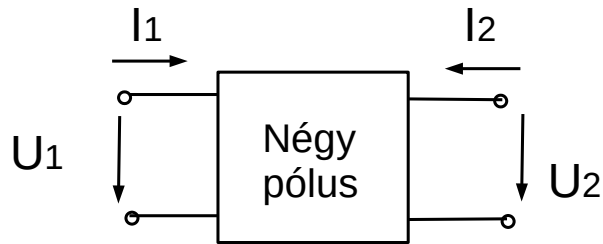


$$U_2 = I_1 * R_2$$

$$Z_{21} = U_2 / I_1 = I_1 * R_2 / I_1 = R_2 = 300\ \Omega$$

## 10.6. Négypólus paraméterek

### 2. Admittancia paraméterek



$$I_1 = y_{11} * U_1 - y_{12} * U_2$$
$$I_2 = - y_{21} * U_1 + y_{22} * U_2$$

$y_{11} \quad y_{12} \quad y_{21} \quad y_{22} \rightarrow$  admittancia paraméterek

$$y_{11} = I_1 / U_1 \quad \text{ha } U_2 = 0 \text{ (rövidzár)}$$
$$y_{12} = - I_1 / U_2 \quad \text{ha } U_1 = 0$$
$$y_{21} = - I_2 / U_1 \quad \text{ha } U_2 = 0$$
$$y_{22} = I_2 / U_2 \quad \text{ha } U_1 = 0$$

$y_{11} \rightarrow$  rövidzárási bemeneti admittancia  
 $y_{12} \rightarrow$  rövidzárási transzfer admittancia  
 $y_{21} \rightarrow$  rövidzárási transzfer admittancia  
 $y_{22} \rightarrow$  rövidzárási kimeneti admittancia

### 3. Hibrid paraméterek

$$U_1 = h_{11} * I_1 + h_{12} * U_2$$
$$I_2 = - h_{21} * I_1 + h_{22} * U_2$$

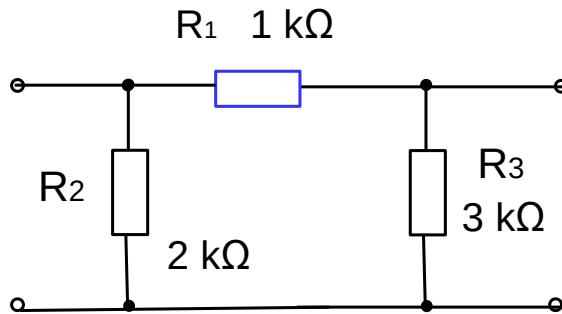
$h_{11} \quad h_{12} \quad h_{21} \quad h_{22} \rightarrow$  hibrid paraméterek

$$h_{11} = U_1 / I_1 \quad \text{ha } U_2 = 0 \text{ (rövidzár)}$$
$$h_{12} = U_1 / U_2 \quad \text{ha } I_1 = 0 \text{ (szakadás)}$$
$$h_{21} = - I_2 / I_1 \quad \text{ha } U_2 = 0$$
$$h_{22} = I_2 / U_2 \quad \text{ha } I_1 = 0$$

$h_{11} \rightarrow$  rövidzárási bemeneti impedancia  
 $h_{12} \rightarrow$  üresjárási feszültség visszahatás  
 $h_{21} \rightarrow$  rövidzárási áram erősítés  
 $h_{22} \rightarrow$  üresjárási kimeneti admittancia

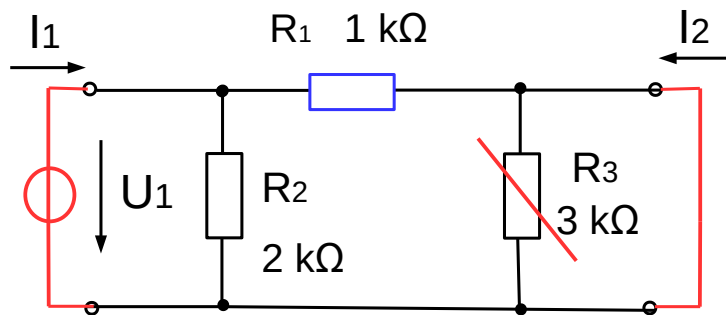
## 10.6. Négypólus paraméterek

### 2. mintafeladat



Számold ki az admittancia paramétereket !

$y_{11} = I_1 / U_1$  ha  $U_2 = 0$  (rövidzár)



$y_{21} = -I_2 / U_1$  ha  $U_2 = 0$  (rövidzár)

$$I_2 = -U_1 / R_1$$

$$y_{21} = -I_2 / U_1 = 1 / R_1$$

$$y_{21} = 1 / (1 \text{ k}\Omega) = 1 \text{ mS}$$

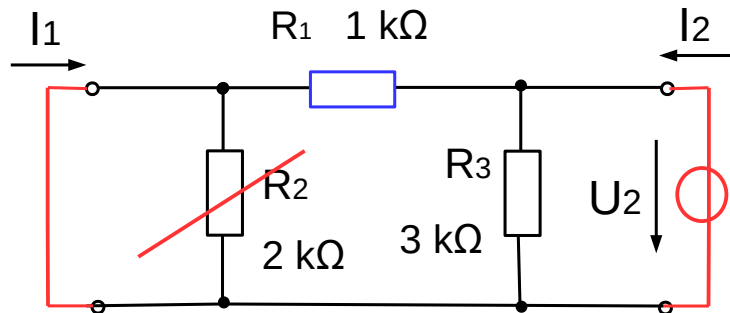
$$I_1 = U_1 / (R_1 \times R_2)$$

$$y_{11} = I_1 / U_1 = 1 / (R_1 \times R_2)$$

$$y_{11} = 1 / (2/3 \text{ k}\Omega) = 1,5 \text{ mS}$$

## 10.6. Négypólus paraméterek

### 2. mintafeladat



$$y_{22} = I_2 / U_2 \quad \text{ha } U_1 = 0 \text{ (rövidzár)}$$

$$I_2 = U_2 / (R_1 \times R_3)$$

$$y_{22} = I_2 / U_2 = 1 / (R_1 \times R_3)$$

$$y_{22} = 1 / (3/4 \text{ k}\Omega) = 4/3 \text{ mS} = 1,33 \text{ mS}$$

$$y_{12} = -I_1 / U_2 \quad \text{ha } U_1 = 0$$

$$I_1 = -U_2 / R_1$$

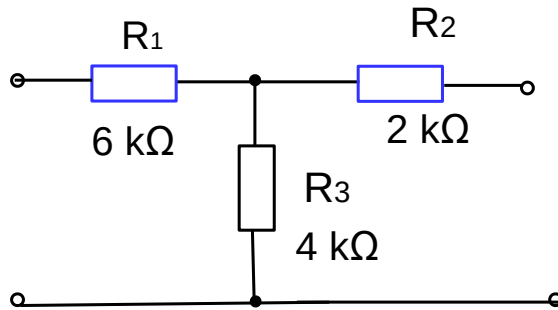
$$y_{12} = -I_1 / U_2 = 1 / R_1$$

$$y_{12} = 1 / (1 \text{ k}\Omega) = 1 \text{ mS}$$



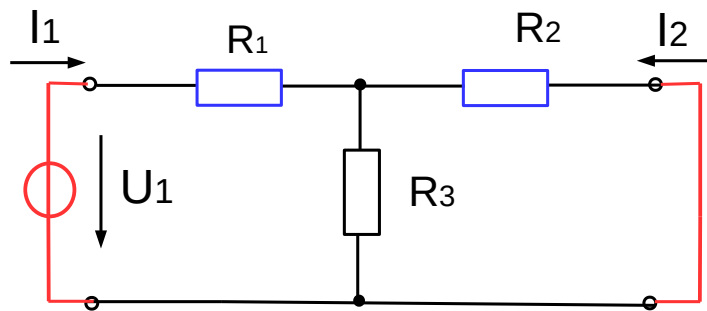
## 10.6. Négypólus paraméterek

### 3. mintafeladat



Számold ki a hibrid paramétereket !

$h_{11} = U_1 / I_1$  ha  $U_2 = 0$  (rövidzár)



$h_{21} = - I_2 / I_1$  ha  $U_2 = 0$

$I_2 = - I_1 * R_3 / (R_2 + R_3)$

$h_{21} = - I_2 / I_1 = R_3 / (R_2 + R_3)$

$h_{21} = 4 \text{ k}\Omega / (2 + 4) \text{ k}\Omega = 2/3 = 0,667$

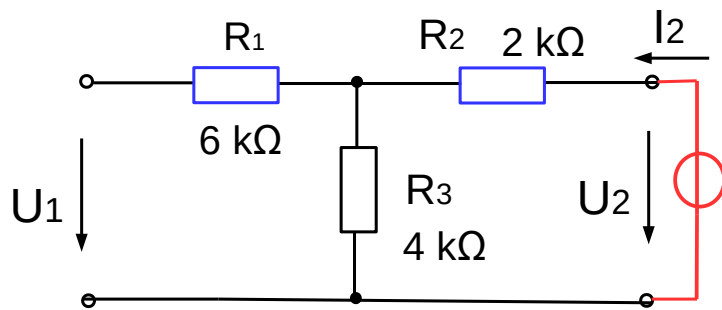
$I_1 = U_1 / (R_1 + R_2 \times R_3)$

$h_{11} = U_1 / I_1 = R_1 + R_2 \times R_3$

$h_{11} = 6 \text{ k}\Omega + 2 \times 4 / (2 + 4) \text{ k}\Omega = 7,33 \text{ k}\Omega$

## 10.6. Négypólus paraméterek

### 3. mintafeladat



$$h_{22} = I_2 / U_2 \quad \text{ha } I_1 = 0 \text{ (szakadás)}$$

$$I_2 = U_2 / (R_2 + R_3)$$

$$h_{22} = I_2 / U_2 = 1 / (R_2 + R_3)$$

$$h_{22} = 1 / (6 \text{ k}\Omega) = 1,67 \text{ mS}$$

$$h_{12} = U_1 / U_2 \quad \text{ha } I_1 = 0$$

$$U_1 = U_{R3} = R_3 * I_2 = R_3 * U_2 / (R_2 + R_3)$$

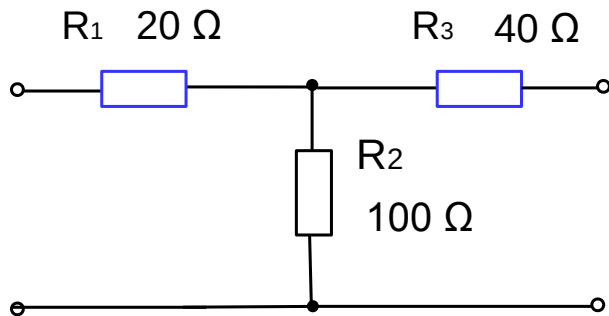
$$h_{12} = U_1 / U_2 = R_3 / (R_2 + R_3)$$

$$h_{12} = 4 \text{ k}\Omega / (2 + 4 \text{ k}\Omega) = 2/3 = 0,667$$

## 10.7. Feladatok

### 1. Feladat

Számold ki az impedancia paramétereket !



### 2. Feladat

Számold ki a hibrid paramétereket !

