



## **Středoškolská technika 2010**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Děliče napětí a zapojení tranzistoru**

**David Klobáska**

**Vyšší odborná škola a Střední škola slaboproudé elektrotechniky  
Novovysočanská 48/280  
190 00 Praha 9**



## Obsah:

1. Úvod.....	2
2. Děliče napětí.....	3
2.1. Frekvenčně nezávislý dělič napětí.....	3
2.1.1. Nezatížený dělič.....	3
2.1.2. Zatížený dělič.....	4
2.2. Frekvenčně závislý dělič napětí.....	6
2.2.1. Integrovační článek RC.....	6
2.2.2. Integrovační článek RL.....	8
2.2.2.1. Dolnoprostopustní filtry.....	8
2.2.3. Derivační článek RC.....	11
2.2.4. Derivační článek RL.....	13
2.2.4.1. Hornoprostopustní filtry.....	13
3. Zesilovače.....	16
3.1. Základní zapojení tranzistorů.....	17
3.1.1. Zapojení se společnou bází.....	17
3.1.2. Zapojení se společným emitorem.....	17
3.1.2.1. Zapojení se společným emitorem PNP.....	18
3.1.2.2. Zapojení se společným emitorem NPN.....	19
3.1.3. Zapojení se společným kolektorem.....	20
3.1.3.1. Zapojení se společným kolektorem NPN.....	20
4. Závěr.....	21
5. Použitá literatura a programy .....	21

## 1. Úvod

Mým hlavním úkolem v maturitní práci bylo zrealizovat dělič napětí a zapojení tranzistoru v programu TINA. Dalším úkolem bylo dané zapojení změřit pomocí osciloskopu nebo analýzou, kde byla přenosová charakteristika a to buď fázová, nebo amplitudová. U frekvenčně nezávislého děliče jsem měřil i počítal napětí, proudy a odpory. U frekvenčně závislého děliče napětí jsem měřil i počítal přenos v decibelech. Dále jsem navrhl v prostředí TINA zapojení tranzistoru se společným emitorem a kolektorem PNP a NPN, který mi na osciloskopu ukazoval fázový posun, když jsem měl jeden kanál osciloskopu připojený na vstup a druhý kanál na výstup tranzistoru. Ke všem zapojením jsem napsal teorii a u některých zapojení i vlastnosti.

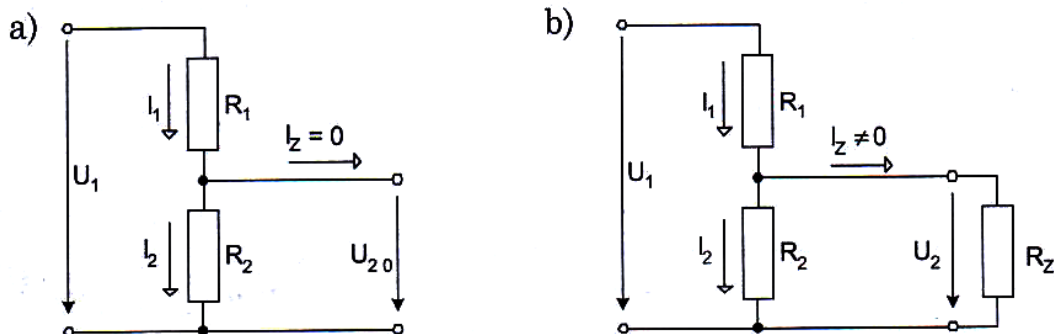
## 2. Děliče napětí

Sériovým zapojením dvou nebo více rezistorů ke zdroji stejnosměrného nebo střídavého napětí vytvoříme dělič napětí. Úbytek napětí vznikající na rezistorech je přímo úměrný velikosti jejich odporu. Podle frekvenční závislosti je rozdělujeme na:

- frekvenčně nezávislé děliče – jsou tvořeny dvěma nebo více základními obvodovými součástkami stejného charakteru (dvěma rezistory, dvěma kondenzátory nebo dvěma cívkami)
- frekvenčně závislé – obsahují kombinace základních součástek – R, L, C.

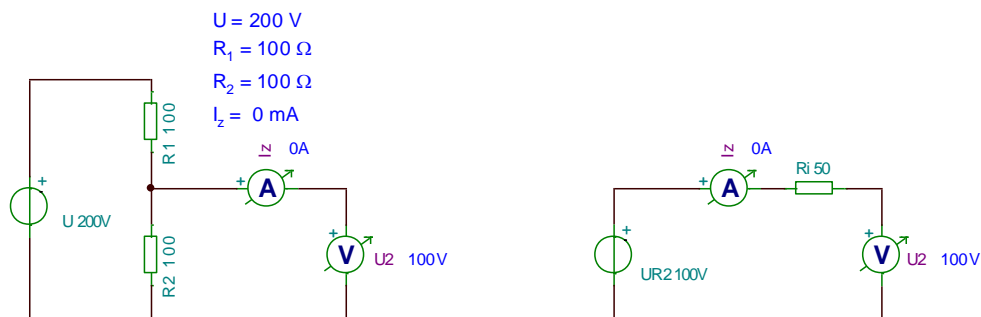
### 2.1. Frekvenčně nezávislý dělič napětí

Zapojení takového děliče napětí tvoří sériově spojené rezistory  $R_1$  a  $R_2$ .



Obr. 1: Odporový dělič napětí: a) nezatížený, b) zatížený

#### 2.1.1. Nezatížený dělič napětí



Výpočet:

$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_i = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100}$$

$$R_i = 50 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R_i}$$

$$I = \frac{200}{200}$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I$$

$$U_{R2} = 100 \cdot 1$$

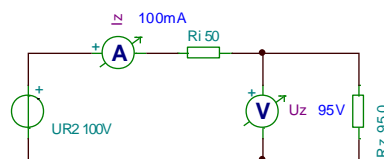
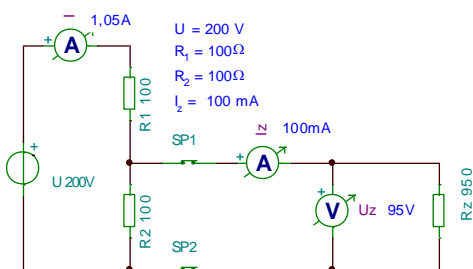
$$U_{R2} = 100 \text{ V}$$

**Nezatížený dělič napětí** (naprázdno) – zatěžovací proud  $I_Z$  je nulový ( $I_1 = I_2$ ). Výstupní napětí  $U_{20}$  vypočítáme ze vztahu:

$$\frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_{20}}{R_2} \rightarrow U_{20} = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

napětí a odpor v nezatíženém děliči jsou navzájem přímo úměrné.

### 2.1.2. Zatížený dělič napětí



Výpočet pro a):

$$R_{1a2} = R_1 + R_2$$

$$R_{1a2} = 100 + 100$$

$$R_{1a2} = 200\Omega$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{200}{200}$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I$$

$$U_{R2} = 100 \cdot 1$$

$$U_{R2} = 100 \text{ V}$$

$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_i = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100}$$

$$R_i = 50 \Omega$$

$$U_z = U_{R2} - R_1 \cdot I_z$$

$$U_z = 100 - 50 \cdot 0,1$$

$$U_z = 95 \text{ V}$$

$$R_z = \frac{U_z}{I_z}$$

$$R_z = \frac{95}{0,1}$$

$$R_z = 950 \Omega$$

**Zatížený dělič napětí** – zatěžovací proud není nulový a v důsledku toho bude výstupní napětí  $U_2$  menší než u nezatíženého děliče napětí.

Podle II. Kirchhoffova zákona je

$$U_1 = R_1 I_1 + R_2 I_2$$

Protože z I. Kirchhoffova zákona je zřejmé, že

$$I_2 = I_1 - I_z$$

lze napsat

$$U_1 = R_1 I_1 + R_2 (I_1 - I_z)$$

odtud platí

$$I_1 = \frac{U_1 + R_2 I_z}{R_1 + R_2}$$

Podobně lze psát pro výstupní napětí  $U_2$  :

$$U_2 = R_2 I_2 = R_2 (I_1 - I_z)$$

Dosazením  $I_1$  a po úpravě dostaneme

$$U_2 = R_2 \left( \frac{U_1 + R_2 I_z}{R_1 + R_2} - I_z \right)$$

Po úpravě dostaneme

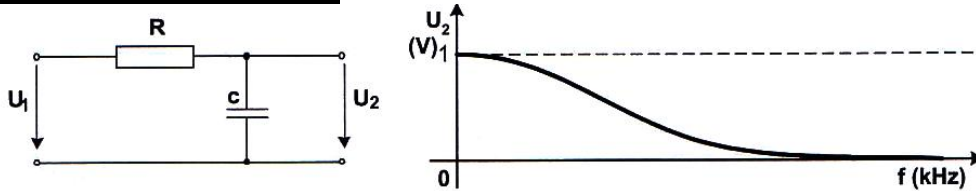
$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_z$$

Výstupní napětí zatíženého odporového děliče je ve srovnání s nezatíženým děličem nižší o úbytek napětí na odporu  $R$  (paralelní kombinace  $R_1$  a  $R_2$ ). Má-li být  $U_2$  stálé, musí být zatěžovací proud  $I_z$  mnohem menší než proud procházejícím děličem napětí.

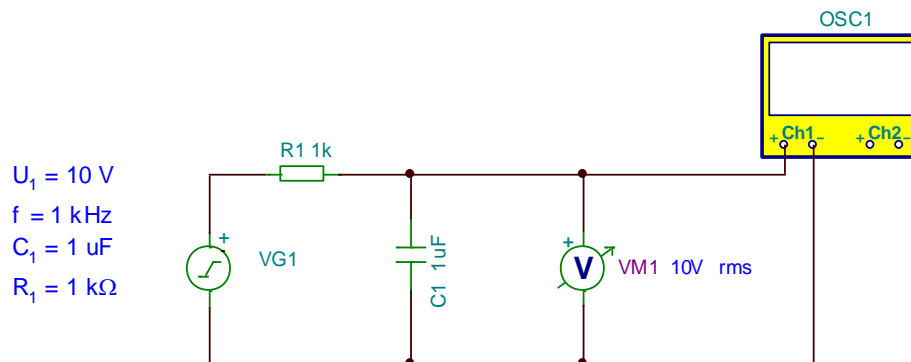
## 2.2. Frekvenčně závislý dělič napětí

Jedná se o děliče napětí složené z kombinace součástek R, L a C. Jako příklad jsou uvedeny integrační články RC a RL a derivační články RC a RL.

### 2.2.1. Integrační článek RC



Obr. 2: Integrační článek RC a jeho frekvenční přenosová charakteristika.



#### Kapacitance

$$X_c = R$$

$$X_c = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

Výpočet napěťového přenosu:

$$\omega = 2\pi f$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{1}{\sqrt{1 + (6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^3)^2}}$$

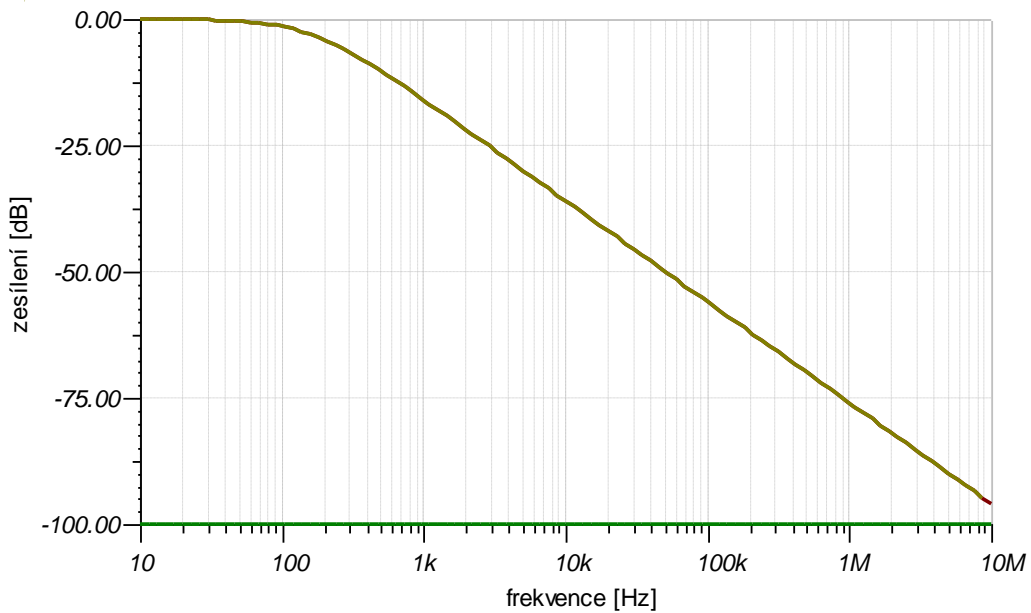
$$|A_{u(\omega)}| = \frac{1}{6,36}$$

$$|A_{u(\omega)}| = 0,157 \text{ V}$$

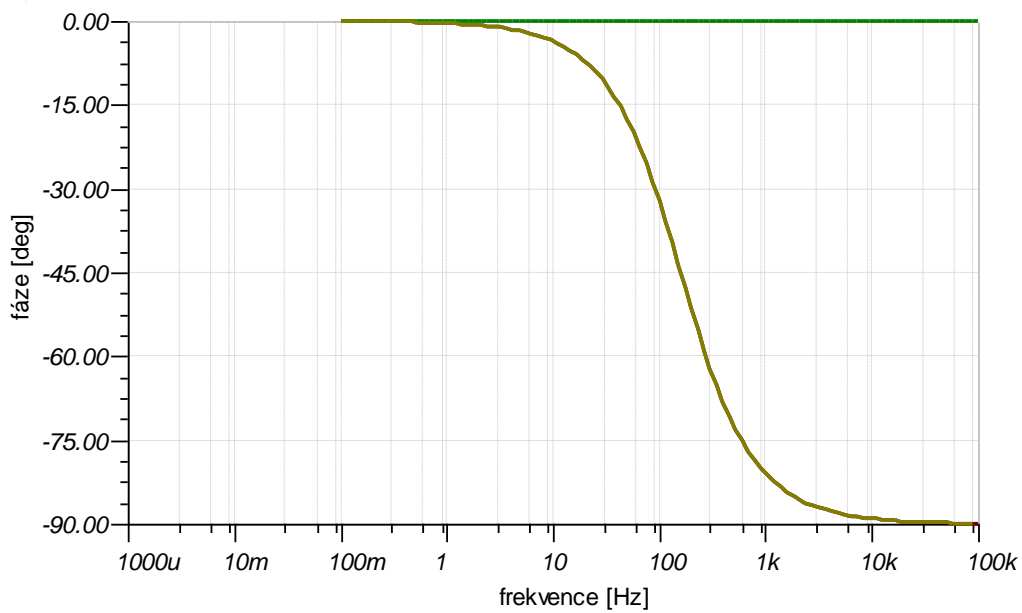
$$A_u = 20 \log(0,157)$$

$$A_u = -16,08 \text{ db}$$

## Přenosová charakteristika



## Fázová frekvenční charakteristika



Máme-li dokázat, že tento člunek je závislý na frekvenci, musíme vycházet z napěťového přenosu tohoto člunku, tj.  $A_u(\omega) = U_{2(\omega)} / U_{1(\omega)}$ , protože  $\omega = 2\pi f$ . Napětí  $U_2$  odebíráme na kondenzátoru, napětí  $U_1$  na sériové kombinaci rezistoru a kondenzátoru.

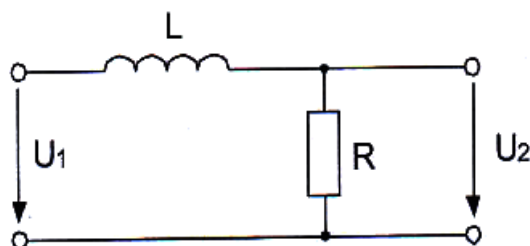
$$A_u(\omega) = \frac{U_{2(\omega)}}{U_{1(\omega)}} = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$

Pro absolutní hodnotu platí:

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

Z přenosové charakteristiky vyplývá, že budeme-li vstupní napětí  $U_1$  držet na hodnotě 1 V a zvyšovat frekvenci, výstupní napětí  $U_2$  bude klesat se zvyšující se frekvencí.

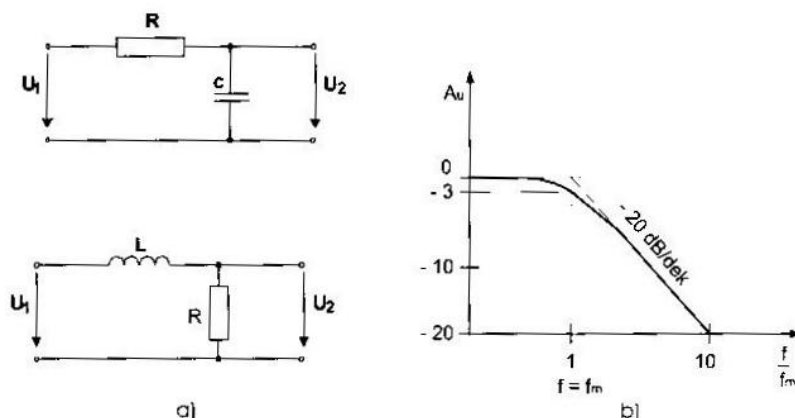
### 2.2.2. Integrační článek RL



Obr. 3: Integrační článek RL.

#### 2.2.2.1. Dolnoproustní filtry

Jestliže tento napěťový přenos vyjádříme v decibelech, tj.  $A_u \text{ (dB)} = 20 \log A_u$ , a graficky jej znázorníme v závislosti na poměru  $f / f_m$ , získáme útlumovou frekvenční charakteristiku. Charakteristika pro nízké frekvence splývá s osou frekvence, při frekvenci  $f = f_m$  má odklon -3 dB, při dalším zvyšování frekvence se přenos napětí snižuje s poklesem o -20 dB/dek. Zkratka dek (dekáda) znamená desetinásobnou změnu frekvence při uvedeném poklesu.

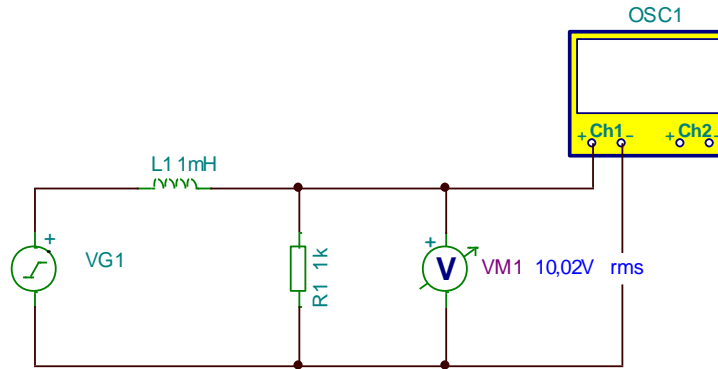


Obr. 4: Dolnoproustní filtry RC: a) zapojení, b) frekvenční charakteristika.

Dolnoproustní filtr RC je vlastně frekvenčně závislý dělič napětí, u kterého výstupní napětí  $U_z$  na kondenzátoru C klesá v důsledku poklesu reaktance kondenzátoru při vyšších frekvencích. Obdobně u filtru LR klesá napětí  $U_2$  na rezistoru R v důsledku narůstání reaktance cívky L při zvyšování frekvence. Tento filtr se používá u reproduktorových soustav před basovým reproduktorem.



$U_1 = 10 \text{ V}$   
 $f = 1 \text{ kHz}$   
 $L_1 = 1 \text{ mH}$   
 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$



### Induktance

$$X_L = R$$

$$X_L = L \cdot \omega$$

Výpočet napěťového přenosu:

$$\omega = 2\pi f$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{R}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}}$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{1 \cdot 10^3}{\sqrt{(2,314 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3})^2 + (1 \cdot 10^3)^2}}$$

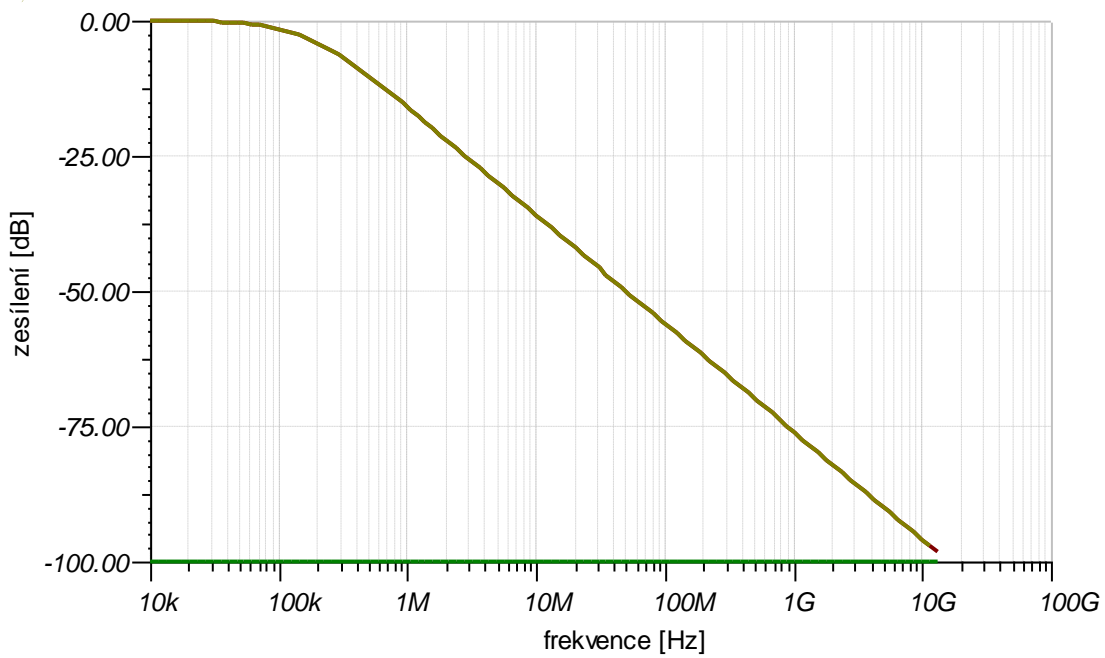
$$|A_{u(\omega)}| = \frac{1000}{1000,01972}$$

$$|A_{u(\omega)}| = 0,9999802814 \text{ V}$$

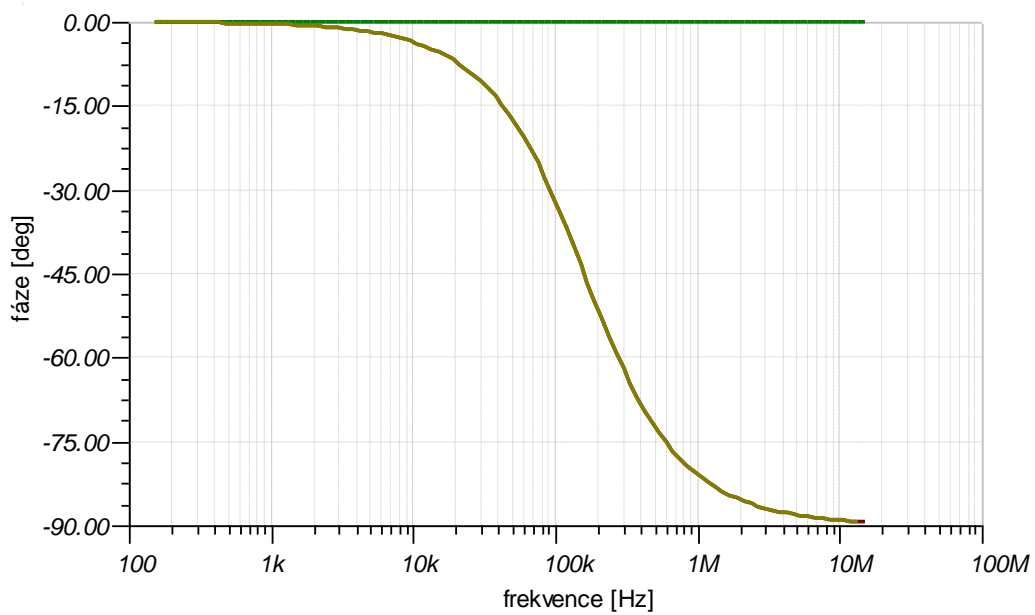
$$A_u = 20 \log(0,9999802814)$$

$$A_u = -1,71 \cdot 10^{-4} \text{ dB}$$

### Přenosová charakteristika



### Fázová frekvenční charakteristika

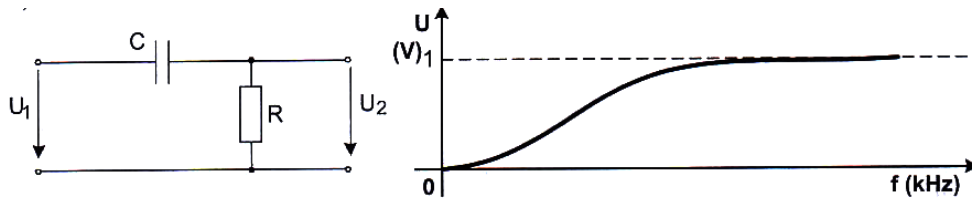


$$\mathbf{A}_{u(\omega)} = \frac{U_{2(\omega)}}{U_{1(\omega)}} = \frac{R}{j\omega L + R}$$

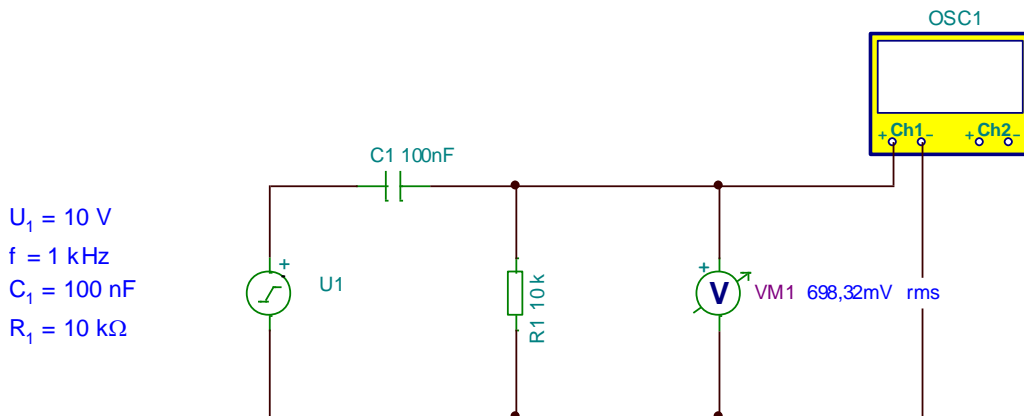
Pro absolutní hodnotu přenosu platí:

$$|\mathbf{A}_{u(\omega)}| = \frac{U_{2(\omega)}}{U_{1(\omega)}} = \frac{R}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}}$$

### 2.2.3. Derivační článek RC



Obr. 5: Derivační článek RC a jeho přenosová charakteristika.



Výpočet napěťového přenosu:

$$\omega = 2\pi f$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10^4}{\sqrt{1 + (6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10^4)^2}}$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{6,28}{6,36}$$

$$|A_{u(\omega)}| = 0,987 \text{ V}$$

$$A_u = 20 \log(0,987)$$

$$A_u = -0,114 \text{ dB}$$

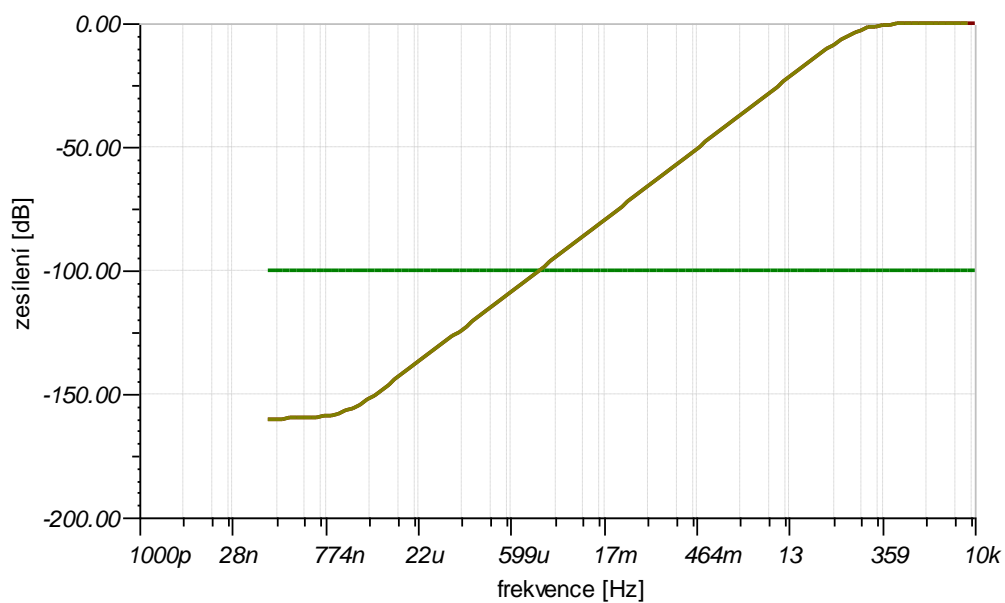
Z charakteristiky vyplývá, že nejmenší přenos napětí je při nízkých frekvencích, se zvyšující se frekvencí přenos stoupá.

$$A_{u(\omega)} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

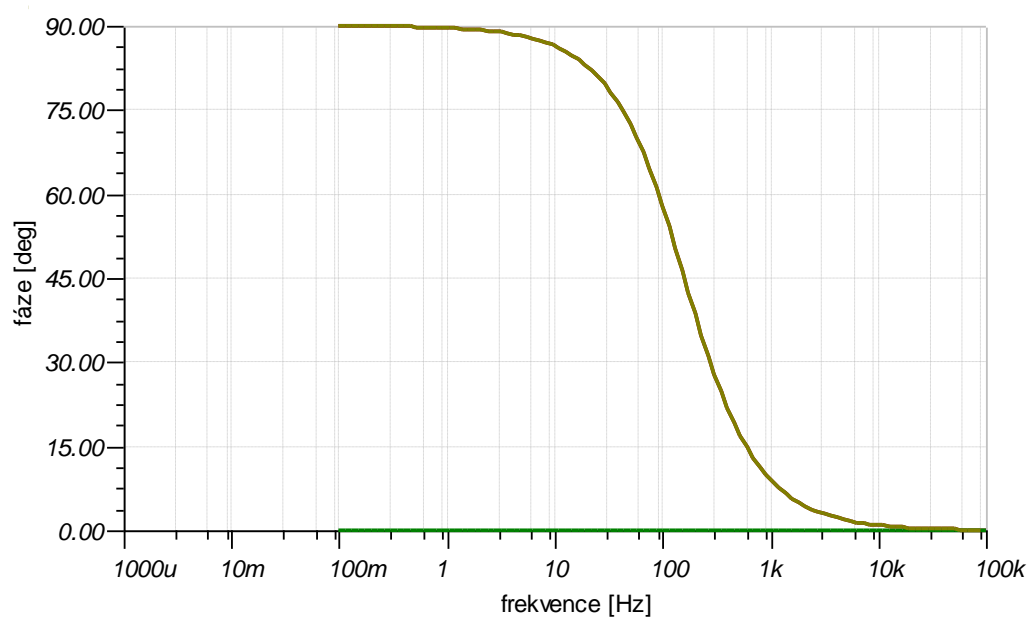
Pro absolutní hodnotu přenosu platí:

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{U_{2(\omega)}}{U_{1(\omega)}} = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

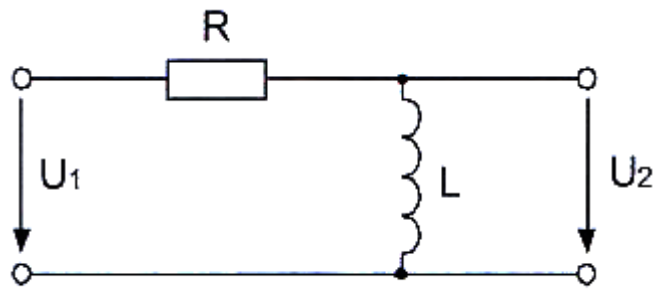
## Přenosová charakteristika



## Fázová frekvenční charakteristika

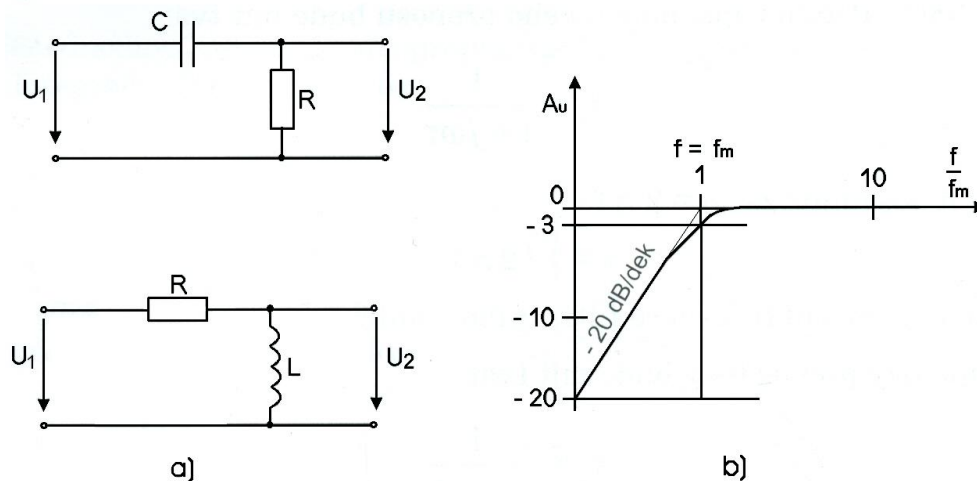


## 2.2.4. Derivační článek RL



Obr. 6: Derivační článek RL.

### 2.2.4.1. Hornopropustní filtry



Obr. 7: Hornopropustní filtry.

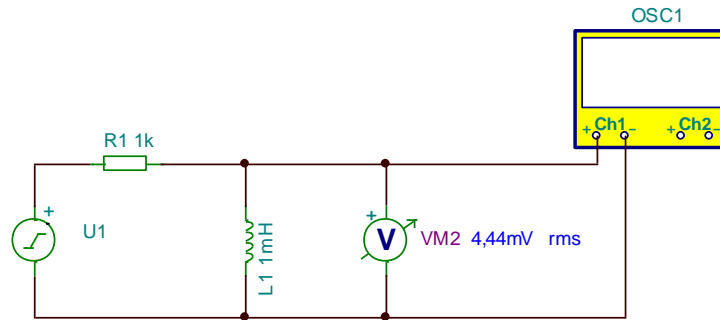
Pro frekvence nižší než je mezní frekvence  $f_m$  má frekvenční charakteristika pokles se směrnicí  $-20$  dB/dek, při frekvenci  $f = f_m$  je pokles přenosu  $-3$  dB, pro vyšší frekvence než  $f_m$  splývá frekvenční charakteristika s osou frekvence. Tyto filtry se opět používají u reproduktorových soustav před výškovým reproduktorem.

**Časová konstanta  $\tau$**  je definovaná jako časový interval, za který by se kondenzátor nabil na hodnotu  $U$ , kdyby se nabíjel lineárně. Jelikož se nabíjí po exponenciále, nabije se za stejnou dobu pouze na hodnotu  $0,638U$ .

$$\tau = RC$$



$U_1 = 10 \text{ V}$   
 $f = 1 \text{ kHz}$   
 $L_1 = 1 \text{ mH}$   
 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$



Výpočet napěťového přenosu:

$$\omega = 2\pi f$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{\omega L}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}}$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3})^2 + (1 \cdot 10^3)^2}}$$

$$|A_{u(\omega)}| = \frac{6,28}{1000}$$

$$|A_{u(\omega)}| = 0,00628 \text{ V}$$

$$A_u = 20 \log(0,00628)$$

$$A_u = -44 \text{ dB}$$

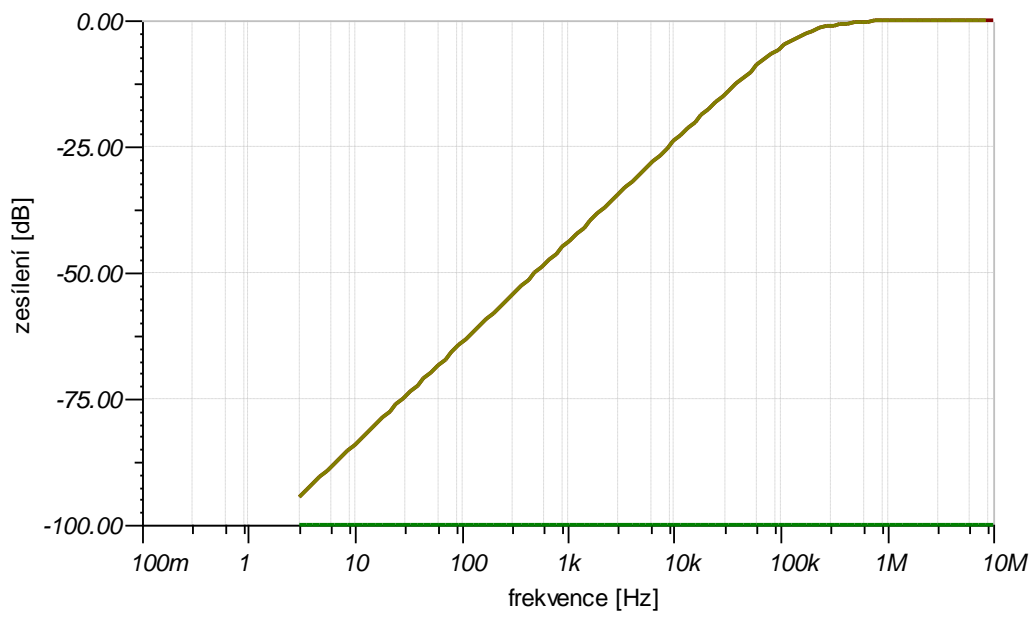
$$A_{u(\omega)} = \frac{j\omega L}{j\omega L + R}$$

Pro absolutní hodnotu přenosu platí:

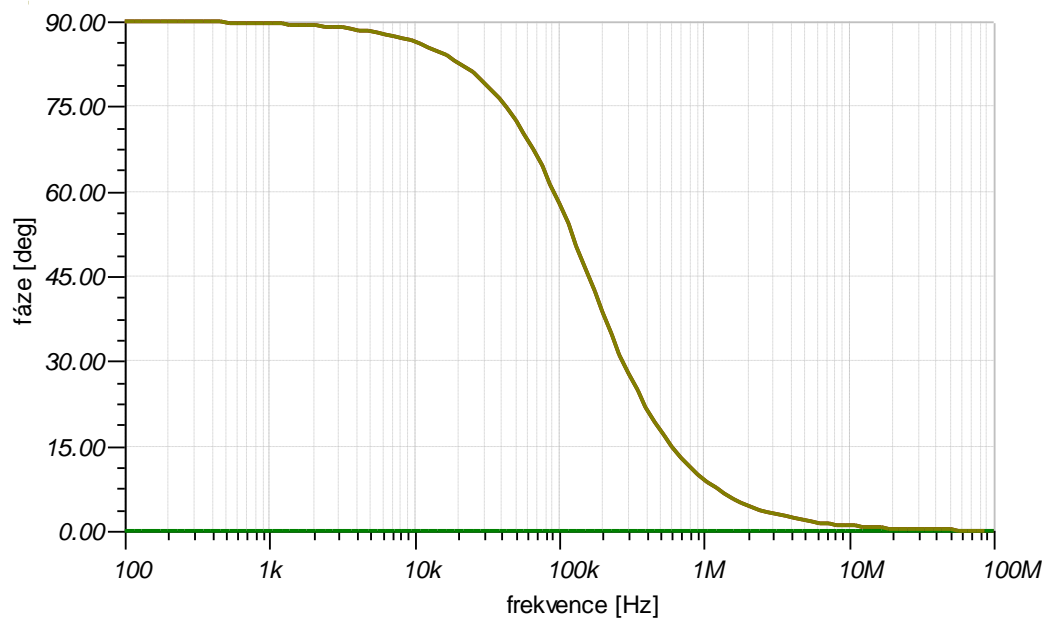
$$|A_{u(\omega)}| = \frac{U_{2(\omega)}}{U_{1(\omega)}} = \frac{\omega L}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}}$$

Čistě kapacitní dělič napětí je frekvenčně nezávislý dělič napětí.

### Přenosová charakteristika



### Fázová frekvenční charakteristika

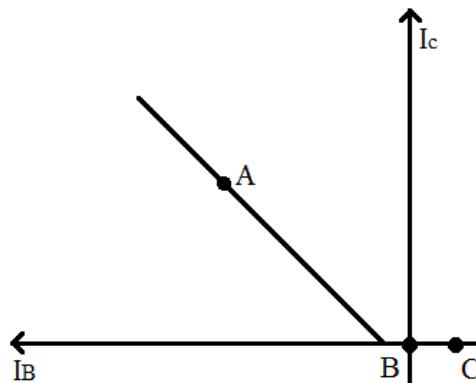


### 3. Zesilovače

Zesilovače jsou elektronické obvodové systémy, které se používají k zesílení slabých elektrických signálů. Při zesilování se zvětšuje pouze amplituda signálu, tvar a frekvence by měly zůstat nezměněny.

Rozdělení zesilovačů:

- podle frekvence – nízkofrekvenční (20Hz až 20 kHz – akustické spektrum slyšitelné člověkem)
  - vysokofrekvenční (zesílení modulovaných signálů)
- podle velikosti vstupních signálů
  - zesílení signálů malé úrovně (anténní zesilovače)
  - výkonové zesilovače (velké výkonové zesílení)
- podle šířky přenášeného pásma
  - úzkopásmové
  - širokopásmové
- podle pracovních tříd
  - třída A – mají klidový pracovní bod umístěný uprostřed lineární části zatěžovací charakteristiky. Zesilovače mají malé zkreslení a účinnost (odebírají v klidu větší proud), jsou určeny pro všeobecné použití.
  - třída B – mají klidový pracovní bod umístěn v bodě zániku kolektorového proudu. Používají se v dvojčinném zapojení (každý prvek zesiluje jednu polovinu periody signálu).
  - třída C – mají klidový pracovní bod umístěný za bodem zániku kolektorového proudu. Používají se ve vysokofrekvenční technice, zvláště ve vysílačích velkých výkonů.



Obr. 8: Pracovní třídy zesilovačů

- podle použitého zesilovacího prvku
  - elektronkové
  - tranzistorové
  - integrované – operační
- při použití tranzistoru rozlišujeme zesilovače
  - se společným emitorem
  - se společným kolektorem
  - se společnou bází



### 3.1. Základní zapojení tranzistorů

#### 3.1.1. Zapojení se společnou bází (SB):



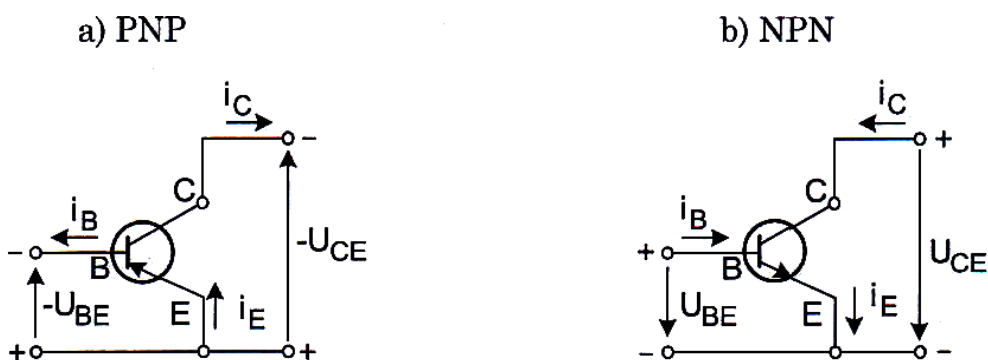
Obr. 9: Bipolární tranzistor v zapojení SB.

Toto zapojení charakterizuje:

- malý vstupní odpor (10-100  $\Omega$ )
- velký výstupní odpor (100 k $\Omega$  – 1M $\Omega$ )
- malé proudové zesílení (0,9 – 0,995)
- střední napěťové zesílení (10-100)

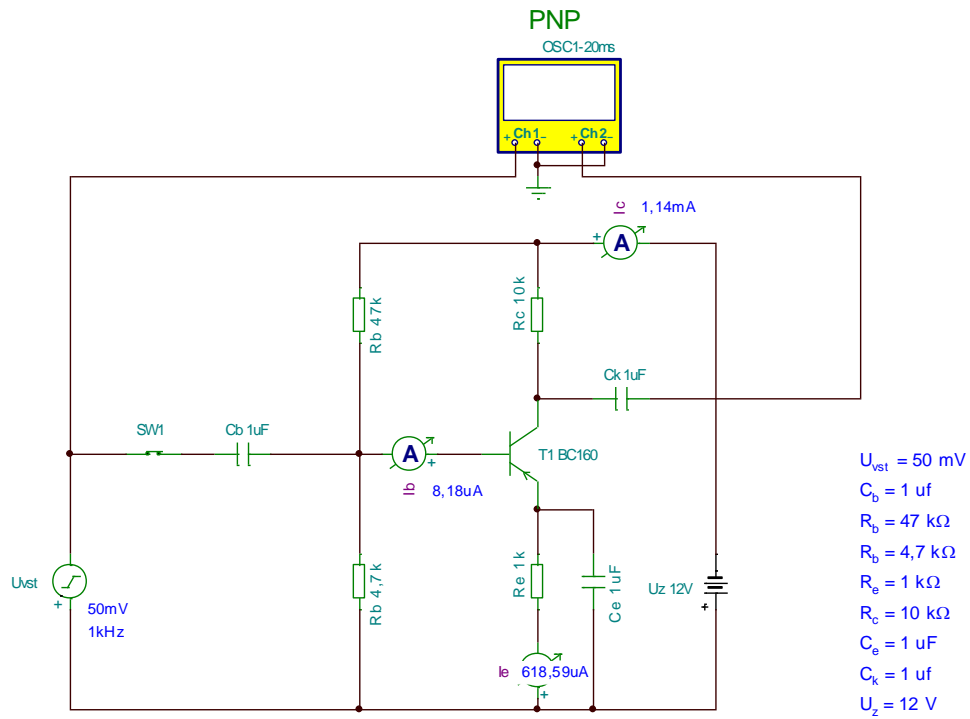
Používá se jako měnič impedance.

#### 3.1.2. Zapojení se společnou emitorem (SE):

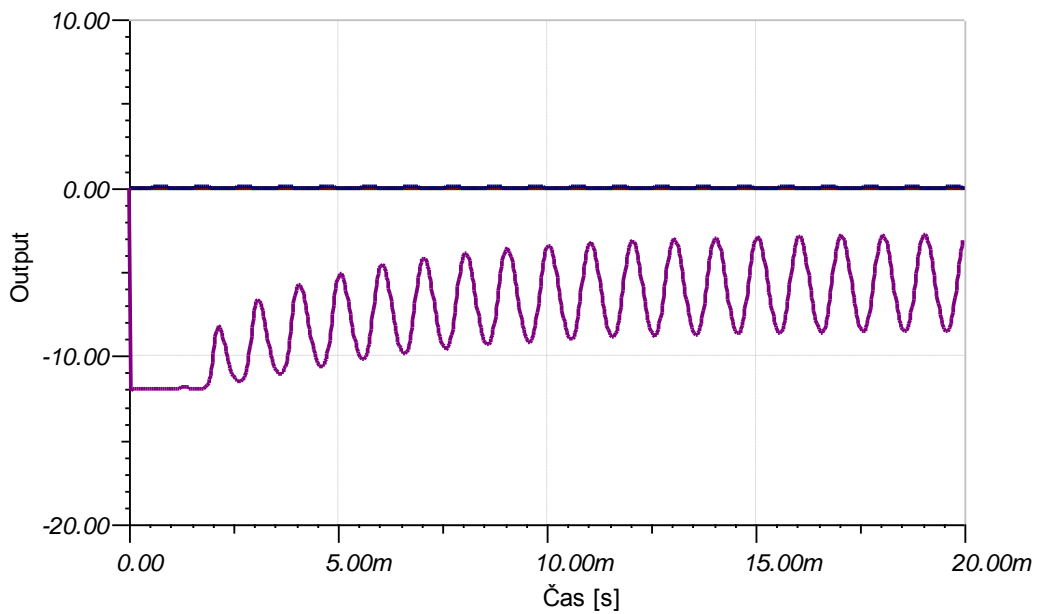


Obr. 10: Bipolární tranzistor v zapojení SE.

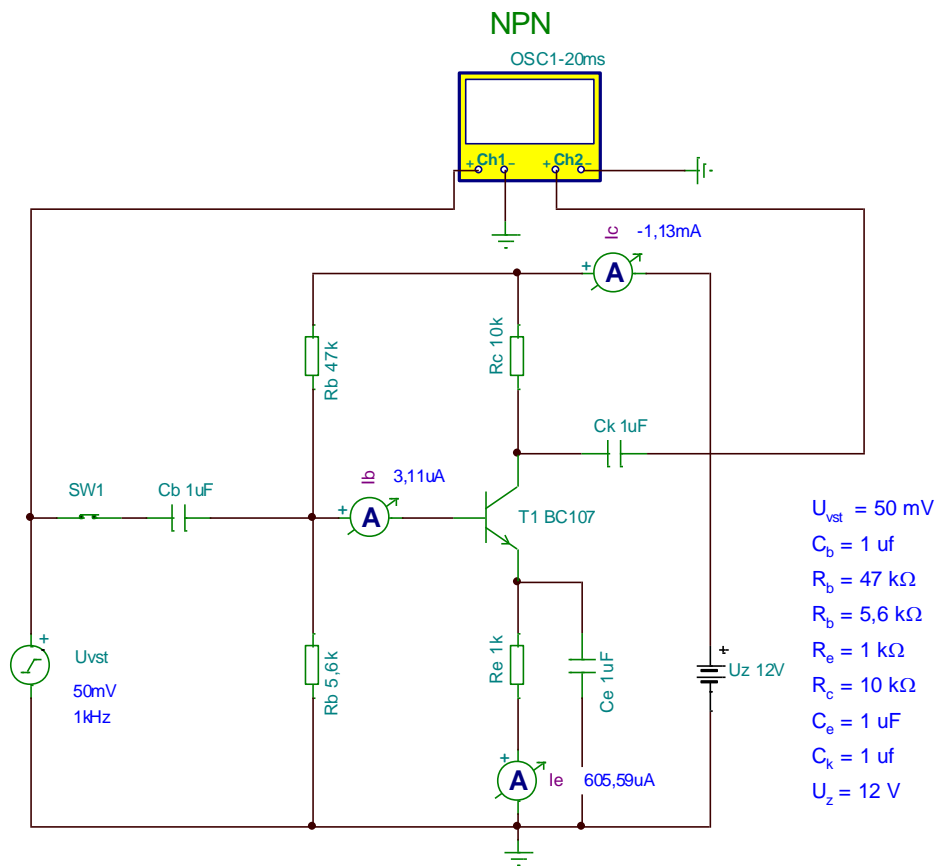
### 3.1.2.1. Zapojení se společným emitorem PNP



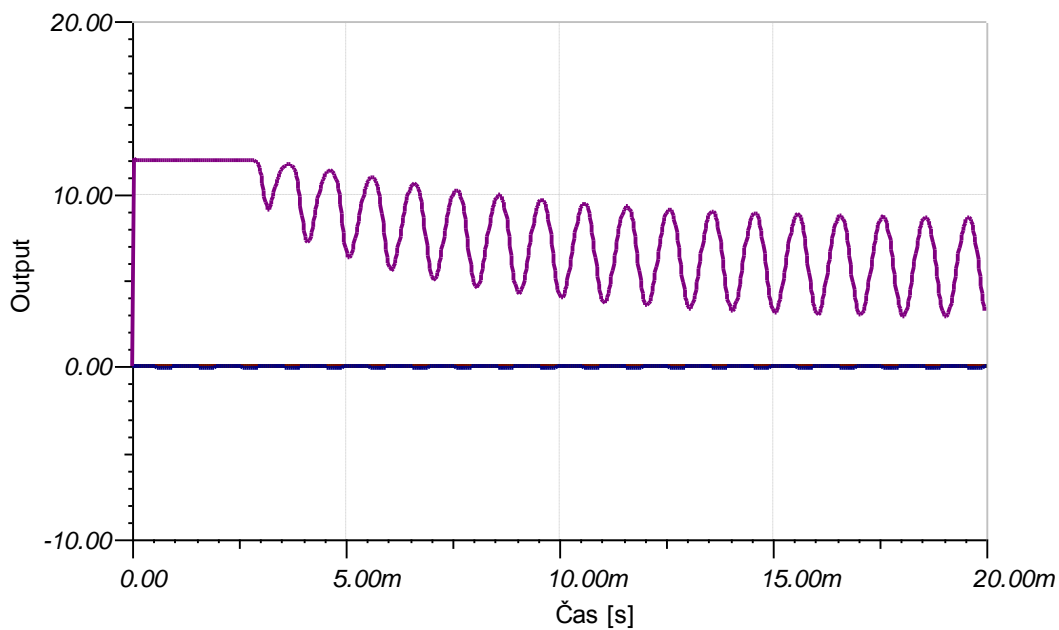
Časový diagram zobrazený na osciloskopu



### 3.1.2.2. Zapojení se společným emitorem NPN



Časový diagram zobrazený na osciloskopu

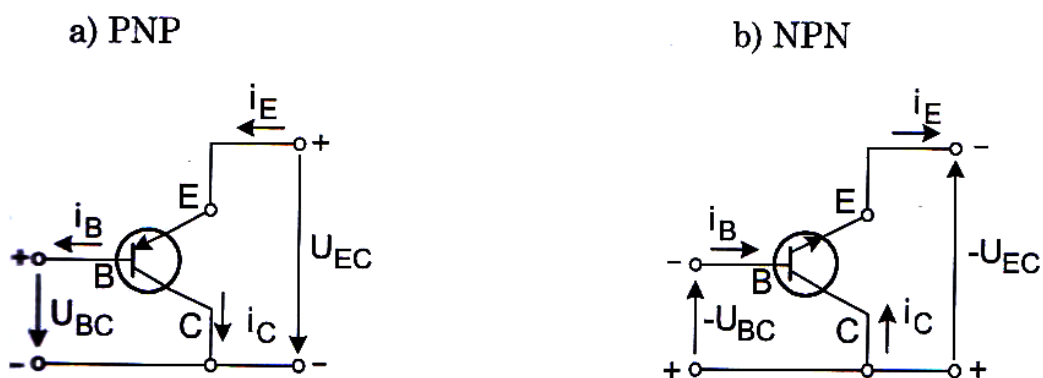


Toto zapojení charakterizuje:

- střední vstupní odpor ( $100 \Omega - 1 \text{ k}\Omega$ )
- střední výstupní odpor ( $10 \text{ k}\Omega - 100 \text{ k}\Omega$ )
- střední proudové zesílení ( $20 - 400$ )
- střední napěťové zesílení ( $10 - 100$ )
- velké výkonové zesílení ( $200 - 40\,000$ )
- stejná polarita napájení
- obrací fázi o  $180^\circ$

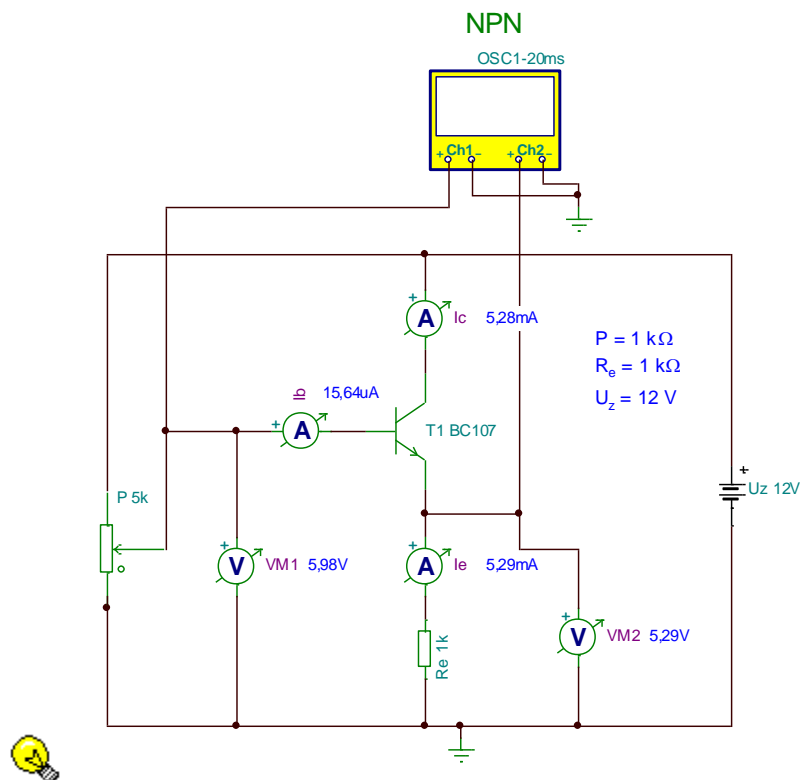
Používá se jako zesilovač.

### 3.1.3. Zapojení se společným kolektorem (SC):



Obr. 11: Bipolární tranzistor v zapojení SC.

#### 3.1.3.1. Zapojení se společným kolektorem NPN



Toto zapojení charakterizuje:

- vysoký vstupní odpor (10 k $\Omega$  -100 k $\Omega$ )
- střední výstupní odpor (100  $\Omega$  – 1 k $\Omega$ )
- střední proudové zesílení (20 – 400)
- nízké napěťové zesílení (0,9 – 0,999)
- střední výkonové zesílení (20 - 400)
- neobrací fázi

#### **4. Závěr**

Závěrem bych chtěl říct, že všechna schémata se mi podařila realizovat. Někdy bylo zapotřebí zkoušet a experimentovat s hodnotami součástek a při doladování rozsahů pro vykreslování charakteristik. U každého schématu jsem se musel pozastavit a popřemýšlet, jak ho nejlépe navrhnout a někdy řešit drobný problém. Jediným velkým problémem je odmocnina v TÍNĚ, která zde nejde napsat. Tuto skutečnost jsem vyřešil tak, že jsem rovnice napsal rovnou v programu Microsoft Word. Díky této práci jsem se seznámil s programem TINA, ve kterém jsem dříve nikdy nepracoval. V programu si můžeme nastavit skoro vše, od velikostí součástek až po zobrazení rozsahu průběhu. Nepřehlédnutelným bonusem je i zde přítomná čeština. Myslím si, že jsem problematiku děliče napětí a zapojení tranzistoru pochopil.

#### **5. Použitá literatura a programy**

Ing. Miroslav Bezděk: Elektronika I  
Edison 4.0 CZ (verze basic) v prostředí TINA