

# Základní elektronická zapojení v praxi

**Stanislav Vít**



# **Základní elektronická zapojení v praxi**

**Stanislav Vít**

© 2014 Střední odborné učiliště elektrotechnické, Vejprnická 56, 31800, Plzeň

## Obsah

|   |     |
|---|-----|
| 1. Multimetr                              | 5   |
| 2. Pasivní součástky                      | 8   |
| 3. Měření napětí a proudu                 | 14  |
| 4. Měření napětí na děliči                | 22  |
| 5. Osciloskop                             | 25  |
| 6. Průběhy napětí                         | 27  |
| 7. Přechodové jevy                        | 31  |
| 8. Dioda                                  | 38  |
| 9. Usměrňovače                            | 44  |
| 10. Násobiče napětí                       | 51  |
| 11. Bipolární tranzistor                  | 56  |
| 12. Nastavení pracovního bodu tranzistoru | 67  |
| 13. Rozdílový zesilovač                   | 80  |
| 14. Zdroj konstantního proudu             | 83  |
| 15. Klopné obvody                         | 88  |
| 16. Stabilizované zdroje napětí           | 103 |
| 17. Nizkofrekvenční zesilovač             | 116 |
| 18. Operační zesilovače                   | 128 |
| 19. Obvody s tyristory                    | 152 |
| 20. Triak a diak                          | 163 |
| 21. Časovač NE555                         | 167 |
| 22. Seznam tajuplných snaček              | 176 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 23. Energeticky úsporná osvětlení | 182 |
| 24. Obnovitelné zdroje energie    | 184 |
| 25. Obaly a odpady                | 200 |

## 1. Multimetr

Multimetr je jedním ze základních měřících přístrojů pro měření elektrických obvodů. **Obr. č. 1.0.** Na obrázku je vyfocen multimetr měřící základní elektrické veličiny. Střídavý a stejnosměrný proud, napětí a odpor. K tomu ještě umí měřit polovodičové přechody a zesilovací činitel tranzistorů. Multimetry případně ještě mohou měřit další veličiny jako například kapacitu, kmitočet, indukčnost.



**Obr. č. 1.0.**

Multimetr na obrázku má tak zvaný třiapůlmístný displej. To znamená, že přístroj má tři proměnné číslice a na čtvrtém místě vlevo buď nesvítí nic, nebo případně se tam zobrazí jednička. Přepínač multimetru na obrázku je nastaven na rozsah 20V, tudíž na tomto rozsahu můžeme měřit napětí do 19,99V. Desetinná tečka udává hodnotu. V našem případě napětí ve voltech. Bude-li například přepínač na rozsahu 200mV, potom desetinná tečka bude veličinu udávat v milivoltech. Rozsvítí-li se na displeji pouze jednička, znamená to, že měřená veličina je větší než nastavený rozsah.

Multimetr má čtyři svorky. **Obr. č. 1.1.**

- **COM** - společná svorka pro všechny měření
- **V/Ω** - svorka určená pro měření stejnosměrného a střídavého napětí a odporu
- **A** - svorka určená pro měření stejnosměrného a střídavého proudu do 2A
- **20A** - svorka určená pro měření stejnosměrného a střídavého proudu do 20A

Z bezpečnostních důvodů je velikost měřeného napětí omezena na tisíc volt stejnosměrných a 750V střídavých.

Rozsah pro měření proudů do 20A je doba měření omezena asi na 7s. Tudíž není možné měřidlo používat jako tak zvané panelové, tedy k dlouhodobému měření proudu.



**Svorka není nijak jištěna a při neodborné manipulaci hrozí nebezpečí úrazu a zničení přístroje.**

Multimetr je ovládán jedním přepínačem, jehož polohy jsou rozděleny do několika segmentů. **Obr. č. 1.1.**

Segment označený:

- **OHM** – polohy přepínače pro měření odporu. Dále poloha označená diodou je určena na měření polovodičových přechodů, případně je-li odpor menší než asi  $200\Omega$ , multimetr vydává pískavý tón.
- **DCV** - polohy přepínače určené pro měření stejnosměrného napětí
- **ACV** - polohy přepínače určené pro měření střídavého napětí
- **ACA** - polohy přepínače určené pro měření střídavého proudu
- **DCA** - polohy přepínače určené pro měření stejnosměrného proudu
- **$h_{FE}$**  - poloha přepínače určená pro měření zesilovacího činitele tranzistorů



**Obr. č. 1.1.**

### **Praktická práce:**

Změřte dvacet kusů odporů. Odporů seřaďte na papír podle velikosti od nejmenšího do největšího a napište ke každému odporu naměřenou hodnotu a hodnotu, kterou chtěl výrobce dosáhnout. Tedy hodnotu s řady E12.

Dále spočítejte procentuální chybu měřeného odporu.

Při měření odporů je nutné dávat pozor, abychom nedrželi vývody odporu oběma rukama. Je to z toho důvodu, že lidské tělo má určitý odpor řádově desítky až stovky kiloohmů. A tento odpor lidského těla by se připojil paralelně k měřenému odporu a zkresloval by naměřenou hodnotu. Čím větší ohmická hodnota měřené součástky, tím větší chyba při měření.

**Řada E 12:**

Pasivní elektronické součástky, tedy odpory a kondenzátory se vyrábí v tak zvaných řadách, což je řada absolutních čísel v jedné dekádě. Nejznámější používanou řadou je řada E12, což znamená, že v jedné dekádě je dvanáct absolutních hodnot.

**1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.2; 2.7; 3.3; 3.9; 4.7; 5.6; 6.8; 8.2;**

**Příklad:**

Naměříte-li  $11,89\text{k}\Omega$ , potom v řadě E12 je nejbližší absolutní číselná hodnota 1,2. Tudíž výrobce chtěl vyrobit odpor  $12\text{k}\Omega$  a vyrobil ho s přesností:

– Odchylka:  
 $12000 - 11890 = 110\Omega$ , tedy o  $110\Omega$  menší.

– Potom:  
 $(100\% \cdot 110) / 12000 = 0.91\%$

Odpor byl vyroben s přesností do 1%.

## 2. Pasivní součástky

### Odpory

Také jiným názvem rezistory jsou pasivní elektronické součástky. Značí se velkým písmenem „R“ a základní technickou nebo fyzikální jednotkou odporu je jeden Ohm. Jako symbol jednotky odporu bylo zvoleno řecké písmeno Omega.  $R = 1\Omega$ . Hodnota odporu jednoho ohmu je poměrně malá veličina, a proto se používají jednotky daleko vyšší. Kiloohmy, označují se malým písmenem „k“ a megaohmy, které se označují velkým písmenem „M“

$$- 1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

Odpory se běžně vyrábějí v rozsahu jednotek ohmů až do desítek megaohmů, ale v určitých případech se setkáme s odpory daleko menšími, ale i většími odpory.

Pro technické použití odpor musí být definován dvěma elektrickými veličinami. Jednak vlastní ohmickou hodnotou a maximálním povoleným ztrátovým výkonem. Řadíme-li odpory paralelně ztrátové výkony jednotlivých odporů se sčítají. Řadíme-li odpory sériově celkový ztrátový výkon všech odporů v sérii je roven nejmenšímu ztrátovému výkonu odporu.

### Technické značení odporů

V technické praxi se ustálilo několik způsobů technického značení odporů, které se částečně liší od fyzikálního značení. Hlavním důvodem jsou praktické záležitosti, jako je například velikost odporů, jednoduchost značení, přehlednost a další faktory. V současné době se používají tři způsoby technického značení odporů.

### Písmeno číselný kód

Písmeno číselný kód je vývojově nejstarší a skládá se nejčastěji ze dvou, u přesných odporů, tří číslic, které udávají absolutní hodnotu odporu a písmene, které udává řád a desetinnou tečku.

Význam písmen:

- „R“ nebo „j“ nebo bez písmene = absolutní hodnota x 100
- „k“ = absolutní hodnota x 103
- „M“ = absolutní hodnota x 106

### Příklad:

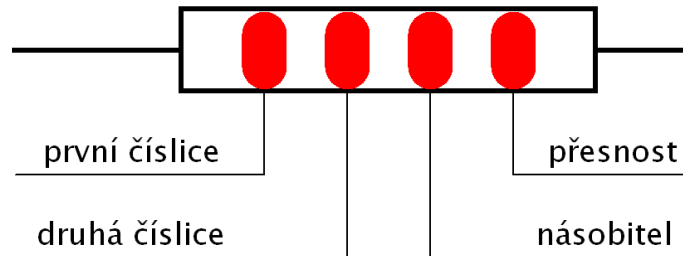
- Je-li odpor označen symbolem „10“, potom hodnota odporu je  $10 \times 10^0 = 10 \Omega$
- Je-li odpor označen symbolem „1R5“, potom hodnota odporu je  $1,5 \times 10^0 = 1,5 \times 1 = 1,5\Omega$
- Je-li odpor označen symbolem „j1“, potom hodnota odporu je  $0,1 \times 10^0 = 0,1 \times 1 = 0,1\Omega$
- Je-li odpor označen symbolem „1k2“, potom hodnota odporu je  $1,2 \times 10^3 = 1,2 \times 1000 = 1,2k\Omega = 1200\Omega$



- Je-li odpor označen symbolem „M22“, potom hodnota odporu je  $0.22 \times 10^6 = 0,220 \times 10^6 = 220\text{k}\Omega = 220\,000\Omega$
- Je-li odpor označen symbolem „10M“, potom hodnota odporu je  $10 \times 10^6 = 10\,000\text{k}\Omega = 10\,000\,000\Omega$

### Barevný čárový kód

je soustava čtyř, případně pěti barevných proužků. První dva barevné proužky, případně tři, udávají absolutní hodnotu čísla, další proužek je násobitel a další proužek udává přesnost odporu v procentech. Vzhledem k tomu, že barvy časem stárnou a mění odstíny, je vhodnější a asi i rychlejší pro běžnou praxi odpor změřit multimetrem, než se snažit ho přečíst dle barevných proužků. **Obr. č. 2.0.**



**Obr. č. 2.0.**

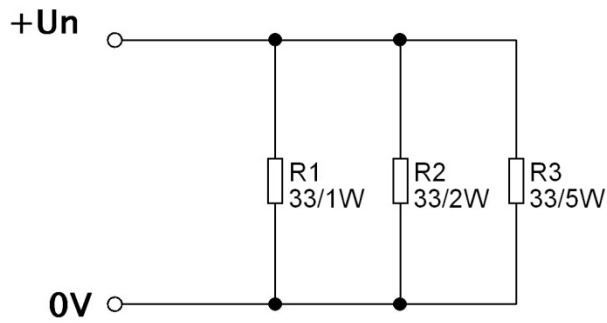
### Příklad:

Na **Obr. č. 2.0.** je znázorněn odpor se čtyřmi červenými proužky. Takový odpor by měl hodnotu  $2\,200\Omega$  a přesnost  $\pm 2\%$ .

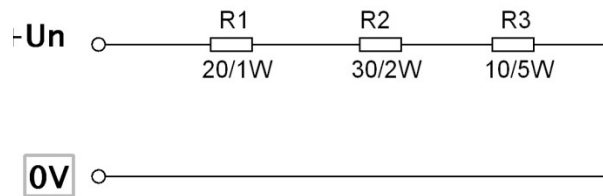
Pokud má odpor všechny proužky stejně barevné, což může být, ale je to velmi nepravděpodobné, tak je jedno, ze které strany barevné proužky čteme. Někdy se stává, že není úplně jednoznačné, který proužek je první.

### Praktická práce:

- vyhledejte v katalogu součástek, případně na internetu barevný čárový kód, nakreslete si ho do sešitu
- vyberte si deset libovolných odporů, s barevným čárovým kódem a určete jejich hodnotu a třídu přesnosti
- vyberte si deset libovolných odporů, s písmenem číselným kódem a určete jejich hodnotu
- spočítej a do sešitu zapiš výslednou ohmickou hodnotu a maximální ztrátový výkon daného zapojení odporů. **Obr. č. 2.1., Obr. č. 2.2.**
- spočítejte ztrátový výkon na odporech  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , pro  $U_n = 10\text{V}$



Obr. č. 2.1.



Obr. č. 2.2.

### Číselný kód

Skládá se ze tří číslic, z nichž dvě první určují absolutní číselnou hodnotu a třetí číslice udává násobek. V současné době, jsou tímto kódem označovány především odpory v provedení SMD.

#### Příklad:

- Je-li odpor označen symbolem „100“, potom hodnota odporu je  $10 \times 10^0 = 10\Omega$

ale pozor, v písmeně číselném kódu by takto označený odpor měl hodnotu  $100\Omega$

- Je-li odpor označen symbolem „472“, potom hodnota odporu je  $47 \times 10^2 = 4\,700\Omega$

- Je-li odpor označen symbolem „564“ potom hodnota odporu je  $56 \times 10^4 = 560\,000\Omega$

z příkladu je zřejmé, že tímto způsobem by nešel označit odpor o hodnotě menší než  $10\Omega$ . K tomu účelu jsou vyhrazeny číslice „8“ a „9“

- Je-li odpor označen symbolem „688“, potom hodnota odporu je  $68 \times 10^{-2} = 0,68\Omega$

- Je-li odpor označen symbolem „339“, potom hodnota odporu je  $33 \times 10^{-1} = 3,3\Omega$

## Kondenzátory

Kondenzátory jsou pasivní elektronické součástky. Značí se velkým písmenem „C“ a základní technickou nebo fyzikální jednotkou odporu je jeden Farad. Jako symbol jednotky kapacity bylo zvoleno velké písmeno „F“.  $C = 1F$ . Hodnota kapacity jednoho Faradu je poměrně hodně velká veličina, a proto se používají jednotky daleko menší. Milifarady, označují se malým písmene „m“, mikrofarady, které se označují písmenem řecké abecedy „ $\mu$ “, nanofarady, označují se malým písmenem „n“ a pikofarady, označují se malým písmenem „p“.

$$- 1\text{mF} = 10^{-3}\text{F}, 1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}, 1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}, 1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

Kondenzátory se běžně vyrábějí v rozsahu jednotek pF až do jednotek mF, ale v určitých případech se můžeme setkat s kondenzátory o řád menšími, ale i většími kondenzátory.

Kondenzátory se mohou také rozdělit dle technologie výroby nebo-li podle materiálů z jakých je daný kondenzátor vyroben. Můžeme je rozdělit do tří základních skupin.

- keramické kondenzátory, vyrábí se v rozsahu jednotek pikofaradů až do stovek nanofaradů
- svitkové kondenzátory, vyrábí se nejčastěji v rozsahu jednotek nanofaradů až jednotek mikrofaradů
- elektrolytické kondenzátory, vyrábí se v rozsahu jednotek mikrofaradů až jednotek milifaradů

Pro technické použití kondenzátor musí být definován dvěma elektrickými veličinami. Jednak vlastní kapacitou a maximálním povoleným napětím, které může být na kondenzátor připojeno. Řadíme-li kondenzátory paralelně maximální napětí je dáno nejmenším povoleným napětím určitého kondenzátoru. Řadíme-li kondenzátory do série, maximální povolené napětí je dáno součtem maximálních napětí jednotlivých kondenzátorů.

Je také důležité, zda hodnota napětí na kondenzátoru je uvedena jako stejnosměrná nebo střídavá. U střídavého napětí se uvádí tak zvaná efektivní hodnota, nikoli maximální hodnota střídavého napětí, ale kondenzátor připojen na střídavé napětí, je samozřejmě namáhán na maximální hodnotu střídavého napětí.

### Technické značení kondenzátorů

V technické praxi se ustálilo několik způsobů technického značení kondenzátorů, které se částečně liší od fyzikálního značení. Hlavním důvodem jsou praktické záležitosti, jako je například velikost odporů, jednoduchost značení, přehlednost a další faktory. V současné době se používají nejčastěji dva způsoby technického značení kondenzátorů. Pro technické značení kondenzátorů není základní jednotka jeden farad, ale jeden pikofarad

### Písmeno číselný kód

Písmeno číselný kód je vývojově nejstarší a skládá se nejčastěji ze dvou číslic, které udávají absolutní hodnotu kapacity a písmene, které udává řád a desetinnou tečku. Princip je obdobný jako u odporů, ale výchozí jednotkou není základní fyzikální jednotka 1Farad, ale nejmenší používaný řád u značení kondenzátorů a to je pikofarad.

Význam písmen:

- „j“ nebo bez písmene = absolutní hodnota  $\times 10^{-12}$
- „k“ = absolutní hodnota  $\times 10^{-9}$
- „M“ = absolutní hodnota  $\times 10^{-6}$
- „G“ = absolutní hodnota  $\times 10^{-3}$

**Příklad:**

- Je-li kondenzátor označen symbolem „10“, potom kondenzátor má kapacitu  $10 \times 10^{-12} = 10\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „1R5“, potom kondenzátor má kapacitu  $1,5 \times 10^{-12} = 1,5\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „j1“, potom kondenzátor má kapacitu  $0,1 \times 10^{-12} = 0,1\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „1k2“, potom kondenzátor má kapacitu  $1,2 \times 10^{-9} = 1,2\text{nF} = 1200\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „M22“, potom kondenzátor má kapacitu  $0,22 \times 10^{-6} = 0,22\mu\text{F} = 220\text{nF} = 220\,000\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „10M“, potom kondenzátor má kapacitu  $10 \times 10^{-6} = 10\mu\text{F} = 10\,000\text{nF} = 10\,000\,000\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „1G“, potom kondenzátor má kapacitu  $1 \times 10^{-3} = 1\text{mF} = 1\,000\mu\text{F} = 1\,000\,000\text{nF} = 1\,000\,000\,000\text{pF}$

**Číselný kód**

Skládá se ze tří číslic, z nichž dvě první určují absolutní číselnou hodnotu a třetí číslice udává násobek. V současné době, jsou tímto kódem označovány především keramické kondenzátory. Pro technické značení kondenzátorů není základní jednotka jeden farad, ale jeden pikofarad

**Příklad:**

- Je-li kondenzátor označen symbolem „100“, potom kondenzátor má kapacitu  $10 \times 10^0 = 10\text{pF}$

ale v písmeno číselném kódu by takto označený kondenzátor měl hodnotu 100pF

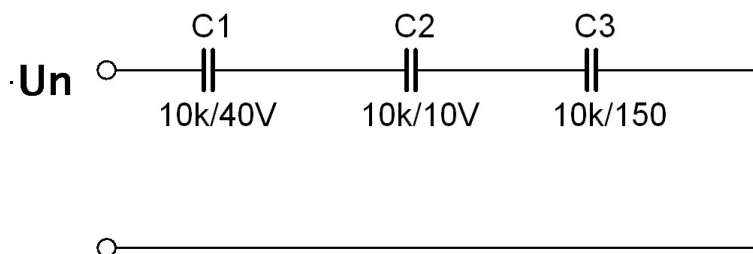
- Je-li kondenzátor označen symbolem „472“, potom kondenzátor má kapacitu  $47 \times 10^2 = 4,7\text{nF} = 4\,700\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „564“, potom kondenzátor má kapacitu  $56 \times 10^4 = 560\,000\text{pF} = 560\text{nF}$

z příkladu je zřejmé, že tímto způsobem by nešel označit kondenzátor o hodnotě menší než 10pF. K tomu účelu jsou vyhrazeny číslice „8“ a „9“

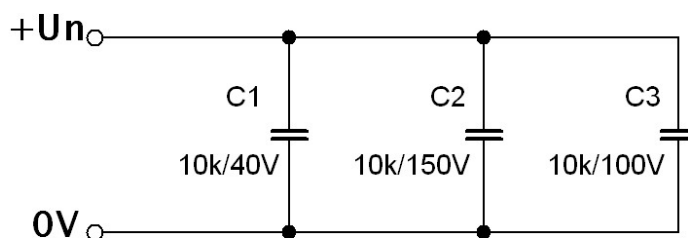
- Je-li kondenzátor označen symbolem „688“, potom kondenzátor má kapacitu  $68 \times 10^{-2} = 0,68\text{pF}$
- Je-li kondenzátor označen symbolem „339“, potom kondenzátor má kapacitu  $33 \times 10^{-1} = 3,3\text{pF}$

**Praktická práce:**

- vyberte si deset libovolných kondenzátorů, s číselným kódem a určete jejich hodnotu
- vyberte si deset libovolných odporů, s písmeno číselným kódem a určete jejich hodnotu
- spočítej a do sešitu zapiš výslednou kapacitu maximální napětí daného zapojení kondenzátorů. **Obr. č. 2. 3., Obr. č. 2.4.**



**Obr. č. 2.3.**



**Obr. č. 2.4.**

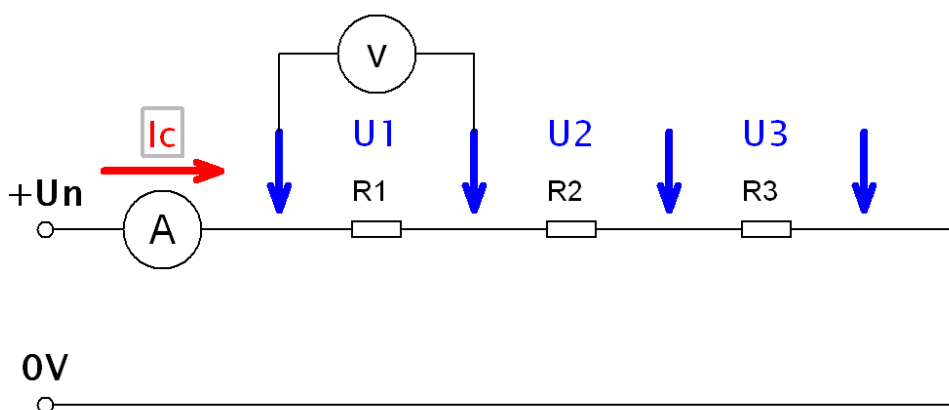
### 3. Měření napětí a proudu

Měření napětí a proudu je jedno ze základních měření v elektronice případně v elektrotechnice. Měření se provádí nejčastěji multimetry, s nimiž jsme se seznámili v kapitole č. 1., případně ručkovými měřidly. Měříme-li napětí, Vmetr připojíme k měřenému bodu nebo součástce paralelně, při měření proudu Ametr musíme do obvodu, kde chceme změřit proud vložit, tedy musíme obvod rozpojit a Ametr zapojit do série, tak jak je to znázorněno na obrázku **Obr. č. 3.0**.

#### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověř druhý Kirchofův zákon. Spočítané a naměřené hodnoty zapiš do tabulky.

#### Schéma zapojení:



Obr. č. 3.0.

#### Zadání:

$U_n = 10V$ . Vyberte si tři rozdílné libovolné odpory v rozsahu  $500\Omega$  až  $15k\Omega$ .

#### Postup:

Spočítejte všechny proudy a napětí v obvodu a spočítané hodnoty zapište do tabulky. Následně obvod sestrojte dle schéma a všechny proudy a napětí v obvodu změřte a zapište do tabulky. Spočítané a naměřené hodnoty porovnejte.

#### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_n = 10V$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 5\Omega$ ,  $R_3 = 3\Omega$

- celkový odpor  
 $R_c = R_1 + R_2 + R_3 = 10\Omega$
- celkový proud  
 $I_c = \frac{U_n}{R_c} = 1A$
- úbytek napětí na odporu  $R_1$   
 $U_{R1} = R_1 \cdot I_c = 2V$



- úbytek napětí na odporu  $R_2$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_c = 5V$$

- úbytek napětí na odporu  $R_3$

$$U_{R3} = R_3 \cdot I_c = 3V$$

Druhý Kirchofův zákon říká: Součet všech úbytků napětí v elektrickém obvodu je roven napájecímu napětí

$$U_n = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} = 2V + 5V + 3V = 10V$$

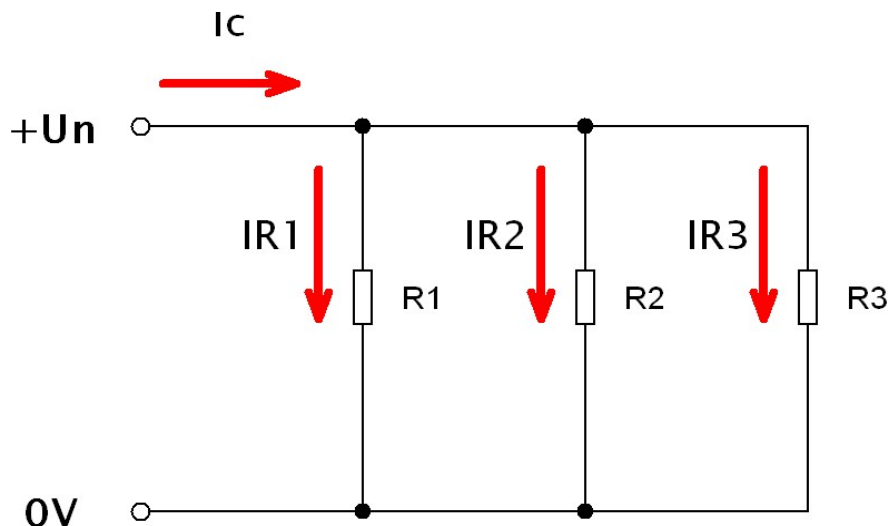
**Tabulka:**

|           | $R_c$ | $I_c$ | $U_{R1}$ | $U_{R2}$ | $U_{R3}$ |
|-----------|-------|-------|----------|----------|----------|
| Spočítané |       |       |          |          |          |
| Naměřené  |       |       |          |          |          |

**Praktická práce:**

Spočítej a měřením ověř první Kirchofův zákon. Spočítané a naměřené hodnoty zapiš do tabulky.

**Schéma zapojení: Obr. č. 3.1.**



**Obr. č. 3.1.**

**Zadání:**

$U_n = 10V$ . Vyberte si tři rozdílné libovolné odpory v rozsahu  $500\Omega$  až  $15k\Omega$ .

**Postup:**

Spočítejte všechny proudy a napětí v obvodu a spočítané hodnoty zapište do tabulky. Následně obvod sestrojte dle schéma zapojení a všechny proudy a napětí v obvodu změřte a zapište do tabulky. Spočítané a naměřené hodnoty porovnejte.

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = 10V$  ,  $R_1 = 20\Omega$  ,  $R_2 = 50\Omega$  ,  $R_3 = 30\Omega$

– celkový odpor

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_c = 9,67\Omega$$

– celkový proud

$$I_c = \frac{U_n}{R_c} = 1,03A$$

– proud odporem  $R_1$

$$I_{R1} = \frac{U_n}{R_1} = 0.5A$$

– proud odporem  $R_2$

$$I_{R2} = \frac{U_n}{R_2} = 0.2A$$

– proud odporem  $R_3$

$$I_{R3} = \frac{U_n}{R_3} = 0.33A$$

–

První Kirchoffův zákon říká: Proud do uzlu přitékající se rovná proudu z uzlu odtékající. V našem obvodu to znamená, že součet proudů v jednotlivých větvích obvodu se musí rovnat proudu tekoucímu ze zdroje.

$$I_c = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = 0.5A + 0.2A + 0.33A = 1.03A$$

**Tabulka:**

|           | $R_c$ | $I_c$ | $I_{R1}$ | $I_{R2}$ | $I_{R3}$ |
|-----------|-------|-------|----------|----------|----------|
| Spočítané |       |       |          |          |          |
| Naměřené  |       |       |          |          |          |

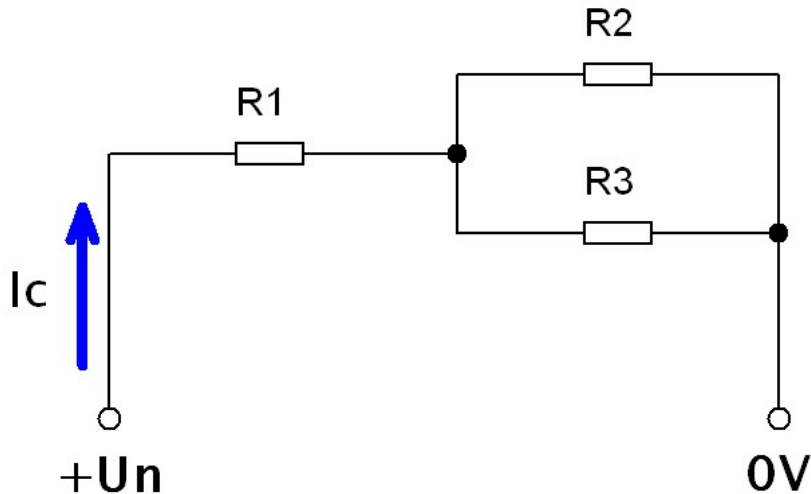
**Praktická práce:**

Spočítej a měřením ověř všechny napětí a proudy v elektrickém obvodu. Spočítané a naměřené hodnoty zapiš do tabulky.

### Schéma zapojení: Obr. č. 3.2.

#### Zadání:

$U_n = 10V$ . Vyberte si tři rozdílné libovolné odpory v rozsahu  $500\Omega$  až  $15k\Omega$ .



Obr. č. 3.2.

#### Postup:

Spočítejte všechny proudy a napětí v obvodu a spočítané hodnoty zapište do tabulky. Následně obvod sestrojte dle schéma a všechny proudy a napětí v obvodu změřte a zapište do tabulky. Spočítané a naměřené hodnoty porovnejte.

#### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_n = 10V$ ,  $R_1 = 20\Omega$ ,  $R_2 = 50\Omega$ ,  $R_3 = 30\Omega$

– celkový odpor

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$R_{2,3} = 18,75\Omega$$

$$R_c = R_1 + R_{2,3} = 38,75\Omega$$

– celkový proud

$$I_c = \frac{U_n}{R_c} = 0,25A$$

– napětí na odporu  $R_1$

proud odporem  $R_1$  je shodný s celkovým proudem. Potom můžeme spočítat úbytek  
 $U_{R_1} = I_{R_1} \cdot R_1 = 5,16V$

- **napětí na odporech  $R_2$  a  $R_3$**   
můžeme vypočítat pomocí druhého Kirchofova zákona  
 $U_{R2,3} = U_n - U_{R1} = 4,84V$
- **proud odporem  $R_2$**   
když známe napětí na odporech  $R_2$  a  $R_3$  můžeme spočítat proud odporem  $R_2$   
 $I_{R2} = \frac{U_{R2,3}}{R2} = 0.096A$
- **proud odporem  $R_3$**   
 $I_{R3} = \frac{U_{R2,3}}{R3} = 0.16A$

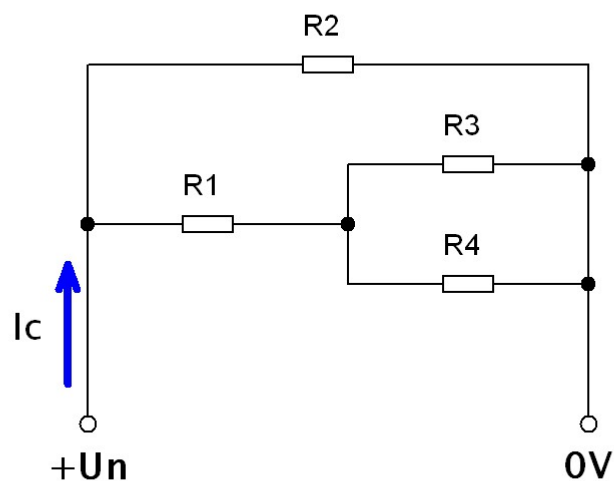
**Tabulka:**

|           | $R_c$ | $I_c$ | $I_{R1}$ | $I_{R2}$ | $I_{R3}$ | $U_{R1}$ | $U_{R2}$ | $U_{R3}$ |
|-----------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Spočítané |       |       |          |          |          |          |          |          |
| Naměřené  |       |       |          |          |          |          |          |          |

**Praktická práce:**

Spočítej a měřením ověř všechny napětí a proudy v elektrickém obvodu. Spočítané a naměřené hodnoty zapiš do tabulky.

**Schéma zapojení: Obr. č. 3.3.**



**Obr. č. 3.3.**

**Zadání:**

$U_n = 10V$ . Vyberte si čtyři rozdílné libovolné odpory v rozsahu  $500\Omega$  až  $15k\Omega$ .

**Postup:**

Spočítejte všechny proudy a napětí v obvodu a spočítané hodnoty zapište do tabulky. Následně obvod sestrojte dle schéma a všechny proudy a napětí v obvodu změřte a zapište do tabulky. Spočítané a naměřené hodnoty porovnejte.

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = 10V$ ,  $R_1 = 20\Omega$ ,  $R_2 = 50\Omega$ ,  $R_3 = 30\Omega$ ,  $R_4 = 30\Omega$

## – celkový odpor

$$\frac{1}{R_{3,4}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3}$$

$R_{3,4} = 15\Omega$  za povšimnutí stojí fakt, že když jsou zapojeny paralelně dva stejné odpory, potom výsledný odpor je polovina hodnoty toho jednoho. Tohoto faktu lze výhodně využívat při laborování s elektronickými obvody

$$R_{1,3,4} = R_{3,4} + R_1 = 35$$

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_{1,3,4}} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_c = 15,75\Omega$$

## – celkový proud

$$I_c = \frac{U_n}{R_c} = 0,63A$$

– proud odporem  $R_2$ 

protože známe napětí na odporu  $R_2$  můžeme spočítat proud tímto odporem

$$I_{R_2} = \frac{U_n}{R_2} = 0,33A$$

– proud odporem  $R_1$ 

$$I_{R_1} = I_c - I_{R_2} = 0,63A - 0,33A = 0,3A$$

– napětí na odporu  $R_1$ 

$$U_{R_1} = R_1 \cdot I_{R_1} = 20\Omega \cdot 0,3A = 6V$$

– napětí na odporu  $R_3$  a  $R_4$ 

$$U_{R_{3,4}} = U_n - U_{R_1} = 10V - 6V = 4V$$

– proud odporem  $R_3$  a  $R_4$ 

protože odpory jsou stejné, potom i proudy budou shodné

$$I_{R3} = \frac{UR3}{R3} = 4V / 30\Omega = 0,13A$$

$$I_{R4} = \frac{UR4}{R4} = 4V / 30\Omega = 0,13A$$

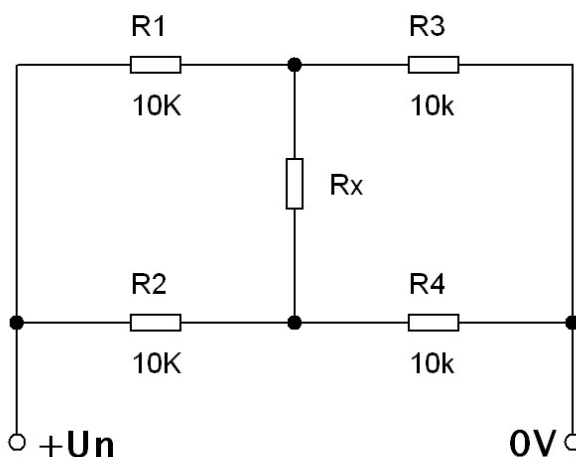
### Tabulka:

|           | Rc | Ic | I <sub>R1</sub> | I <sub>R2</sub> | I <sub>R3</sub> | I <sub>R4</sub> | U <sub>R1</sub> | U <sub>R2</sub> | U <sub>R3</sub> | U <sub>R4</sub> |
|-----------|----|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Spočítané |    |    |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Naměřené  |    |    |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |

**Praktická práce:** Spočítej a měřením ověř, jestli odporem  $R_x$  protéká nebo neprotéká proud a případně jakým směrem. **Obr. č. 3.4.** Tato úloha bývá nejčastěji řešena pomocí metody smyčkových proudů, ale vzhledem ke dlouhavému výpočtu se praxi v podstatě nepoužívá. Ale úloha jde vyřešit daleko jednodušeji. Tak zvaným rozbořem obvodu. Napěťové a proudové poměry ve stejnosměrných obvodech jsou definovány třemi veličinami. Napětím, proudem a odporem. Vztah mezi jednotlivými veličinami řeší Ohmův zákon. Známe-li dvě veličiny, třetí můžeme snadno dopočítat. Aby odporem  $R_x$  mohl protékat proud, musí být na něm napětí. Jestliže bude v bodech A a B stejné napětí potom odporem  $R_x$  žádný proud protékat nebude, protože na něm není žádný spád napětí. A stejné napětí a bodech A a B bude například v případě, jestliže budou všechny odbory stejné. V případě,  $U_n = 10V$  by potom podle druhého Kirchohova zákona v bodech A a B bylo napětí 5V. Stejně napětí v bodech A a B bude ale i v případě shodných odporů  $R_1 = R_2$  a  $R_3 = R_4$ . Toto zapojení se používá pro přesná měření neznámých odporů, kdy v pozici odporu  $R_x$  je zapojen Ampérmetr.

### Zadání:

$U_n = 10V$ . Vyberte si čtyři stejné libovolné odpory v rozsahu  $500\Omega$  až  $15k\Omega$ .



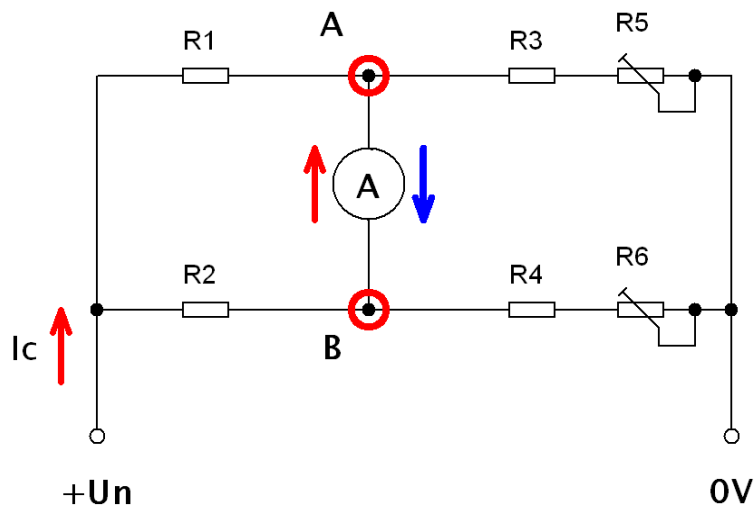
**Obr. č. 3.4.**

### Postup:

Sestrojte elektrický obvod podle **obr. č. 3.5.**, ale do obvodu ještě nezapojujte trimry  $R_5$  a  $R_6$ . Mezi body A a B zapojte Ametr. Změřte a do tabulky запиšte proud tekoucí mezi body A a B. Vyberte si vhodné trimry vzhledem k velikosti odporů  $R_1$  až  $R_4$  a do obvodu je vhodně zapojte a nastavte tak, aby proud Ametrem se blížil nulové hodnotě. Není podmínka, že



trimry musí zapojeny tak, jak jsou zapojeny na schématu. Je to z jedna možností, jak docílit nulového proudu mezi body A a B. Hodnotu nejmenšího proudu zapište do tabulky. Měření provádějte multimetrem se svorkou COM zapojenou do bodu B. Při měření sledujte nejenom proud, ale i polaritu měřeného proudu.



Obr. č. 3.5.

**Tabulka:**

|   |  |
|---|--|
| Proud mezi body A a B bez $R_5$ a $R_6$ |  |
| Nejmenší naměřený proud mezi body A a B |  |

## 4.Měření na děliči napětí

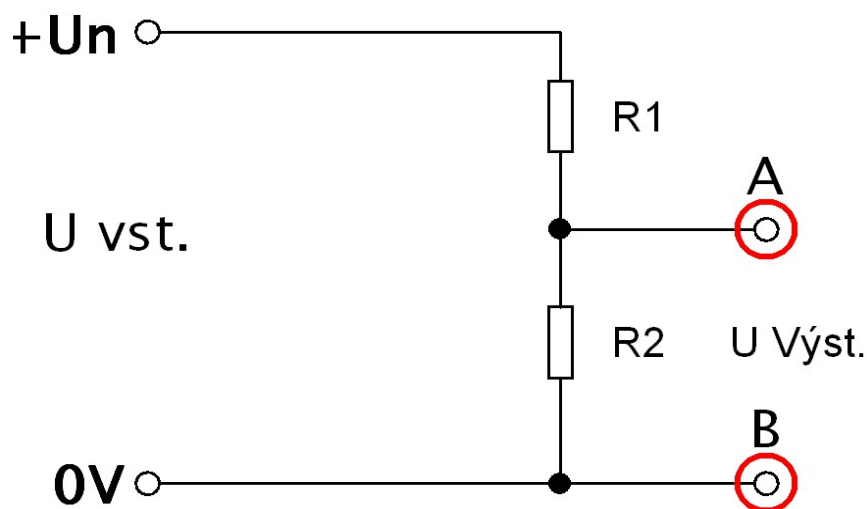
Děličem napětí složeným z odporů  $R_1$  a  $R_2$  je možné na výstupu děliče, tedy v bodě **A** a **B** nastavit jakékoliv libovolné napětí, ale s tím, že napětí na výstupu děliče je vždy menší než vstupní napětí. **Obr. č. 4.0.** Výstupní napětí je závislé nikoliv na velikosti odporů, ale pouze na jejich vzájemném poměru. Například bude-li  $U_{vst.}$  10V a oba odpory  $R_1$  a  $R_2$  hodnotu  $5\Omega$

- potom celkový odpor  $R_c = R_1 + R_2 = 10\Omega$

- proud tekoucí ze zdroje  $I_c = \frac{U_n}{R_c} = 1A$

- napětí v bodě A a B je rovno úbytku napětí na odporu  $R_2$   
 $U_{R2} = R_2 \times I_c = 5V$

- tedy polovina vstupního napětí, když jsou oba odpory stejné.



Obr. č. 4.0.

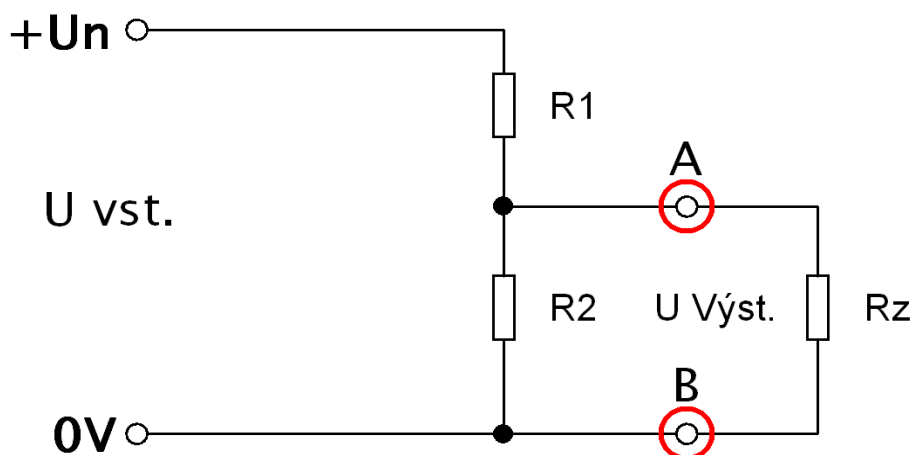
Ale jakmile k výstupnímu napětí připojíme pomyslný spotřebič  $R_z$ , pro který jsme výstupní napětí děličem vyrobili, napěťové a proudové poměry se v elektrickém obvodu změní. **Obr.č.4.1.** Budou-li odpory  $R_1$  a  $R_2$  a napájecí napětí stejné jako v předešlém případě a do obvodu zapojíme odpor  $R_z = 5\Omega$

- potom celkový odpor  $R_c = R_1 + \text{paralelní kombinace odporů } R_2 \text{ a } R_z. \quad R_c = 7.5\Omega$

- proud tekoucí ze zdroje  $I_c = \frac{U_n}{R_c} = 1.33A$

- výstupní napětí v bodě A a B je napětí na paralelní kombinaci odporů  $R_2$  a  $R_z$   
 $U_{R2,Rz} = I_c \times R_2 R_z = 3.33V$

Jak je z výpočtu zřejmé, nastavené napětí na děliči po připojení spotřebiče kleslo z 5V na 3.3V. Pro většinu aplikací nepřijatelné. Když se nad příkladem zamyslíme, tak ale zjistíme, že čím spotřebič  $R_z$  bude větší než odpor  $R_2$ , potom výstupní napětí bude po připojení spotřebiče klesat méně, ale obecně platí, že po připojení spotřebiče nastavené napětí na děliči klesne vždy. Pro praktické použití děličů v elektronických obvodech je nutné počítat s poučkou, že proud děličem musí být alespoň pět až desetkrát větší než proud z děliče odebíraný tedy proud spotřebičem  $R_z$ .

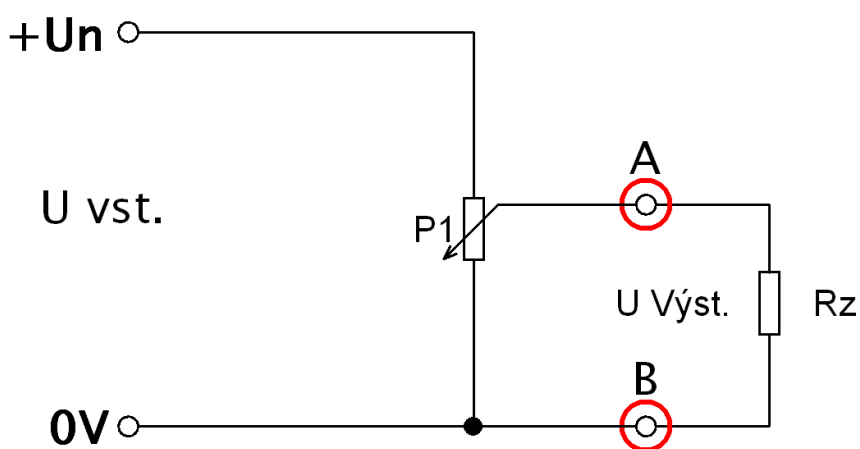


Obr. č. 4.1.

#### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověř napětí na nezatíženém a zatíženém děliči napětí. Spočítané a naměřené hodnoty zapiš do tabulky.

Schéma zapojení: Obr. č. 4.2.



Obr. č. 4.2.

**Postup:**

1. Spočítejte a do tabulky запиšte napětí na nezatíženém děliči napětí, tedy bez odporu  $R_z$ , jeli potenciometr v  $1/3$ ,  $1/2$  a ve  $2/3$  své dráhy. Výpočet ověřte měřením a naměřené hodnoty запиšte do tabulky. Jezdec potenciometru do příslušné polohy nastavte pomocí ohmmetru.

2. Spočítejte a do tabulky запиšte napětí na zatíženém děliči třemi odpory o hodnotě  $R_z = 500\Omega$ ,  $1k\Omega$  a  $2,2k\Omega$ , jeli potenciometr v  $1/3$ ,  $1/2$  a ve  $2/3$  své dráhy. Výpočet ověřte měřením a naměřené hodnoty запиšte do tabulky. Jezdec potenciometru do příslušné polohy nastavte pomocí ohmmetru.

**Zadání:**

$U_n = 10V$ ,  $P_1$  zvolte v rozsahu  $470 - 1,5k\Omega$   $R_z = 470\Omega$ ,  $1000\Omega$  a  $2,2k\Omega$

**Tabulka:**

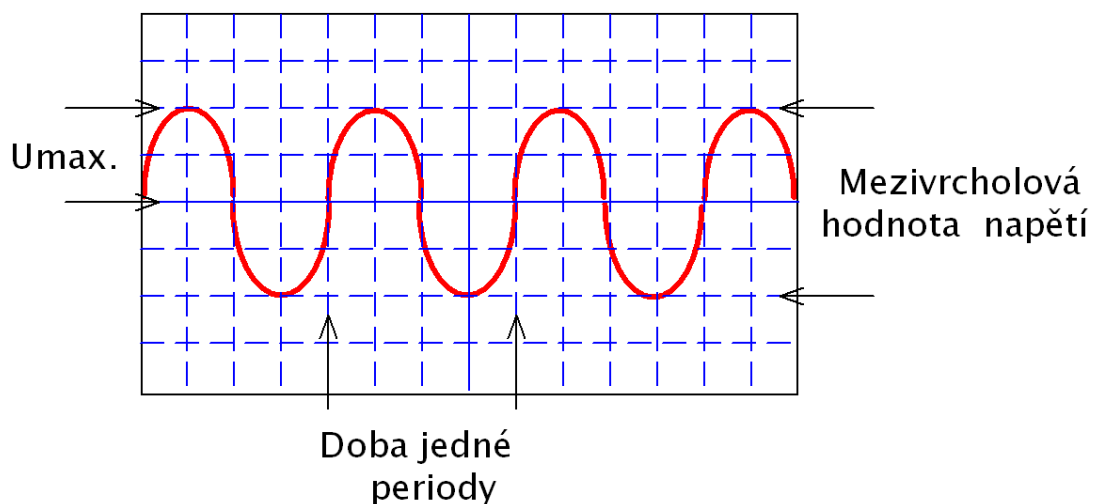
| Dráha $P_1$ | Bez zatížení |          | $R_z = 500\Omega$ |          | $R_z = 1000\Omega$ |          | $R_z = 2200\Omega$ |
|-------------|--------------|----------|-------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|
|             | spočítané    | naměřené | spočítané         | naměřené | spočítané          | naměřené | spočítané          |
| 1/3         |              |          |                   |          |                    |          |                    |
| 1/2         |              |          |                   |          |                    |          |                    |
| 2/3         |              |          |                   |          |                    |          |                    |

## 5. Osciloskop

Osciloskop je měřicí přístroj, který je schopen měřit změny napětí v závislosti na čase. To znamená, že je určen pro měření střídavých především nesinusových průběhů napětí. Multimetr také umí měřit střídavé napětí, ale je ocejchován pouze na sinusový průběh napětí. Jiné průběhy napětí sice měří, ale čím více se průběh napětí liší od sinusového průběhu tím multimetr měří s větší chybou.

Osciloskop má dva základní ovládací prvky. Vstupní dělič, je označen stupnicí volty, případně milivolty na dílek obrazovky osciloskopu. Druhý ovládací prvek je přepínač časové základny, označen je v jednotkách sekund až nanosekund na dílek obrazovky osciloskopu. Vstupní měřené napětí ovládá paprsek osciloskopu ve vertikálním směru. Je-li oscilátor časové základny vypnut, potom na obrazovce osciloskopu svítí bod. Zapneme-li oscilátor časové základny paprsek je ovládán v horizontálním směru, a to tak, že se pohybuje po obrazovce zleva doprava, a když se paprsek dostane na pravou stranu, tak paprsek zhasne a přeběhne zpět na levou stranu. Rychlost přeběhu z levé strany na pravou je dána oscilátorem časové základny, jehož kmitočet měníme pomocí přepínače časové základny. Rychlost zpětného zatemněného běhu zprava doleva uživatel nemůže ovlivnit. Nejlépe je tento děj vidět při nastavených dlouhých časech časové základny. Například. Přepínač časové základny je nastaven na rozsah 0,1s/dílek. Většina osciloskopů má deset dílků, potom paprsek přeběhne obrazovku osciloskopu za 1s. Zobrazí-li se na obrazovce osciloskopu jedna perioda měřeného signálu znamená to, že kmitočet je roven 1Hz.

Na **Obr. č. 5.0.** je znázorněna obrazovka osciloskopu s vyznačenou dobou periody. Doba periody se měří na horizontální stupnici tudíž „trvá“ čtyři dílky obrazovky osciloskopu. Na vertikální stupnici měří osciloskop napětí. Můžeme odečíst  $U_{max}$ . Případně  $U_{mez}$ . Mezi vrcholová hodnota napětí je také čtyři dílky.



**Obr. č. 5.0.**

### **Příklad:**

Na **Obr. č. 5.1.** je znázorněna obrazovka osciloskopu s nastavenou polohou přepínačů časové základny a vstupního děliče napětí. Úkolem je zjistit  $U_{mez}$ ,  $U_{max}$ ,  $U_{ef}$ , a kmitočet měřeného průběhu napětí

– **Výpočet napětí**

Přepínač je v poloze 2V/dílek

$$U_{mez} = 2V * 4 \text{ dílky} = 8V$$

$$U_{max} = 2V * 2 \text{ dílky} = 4V$$

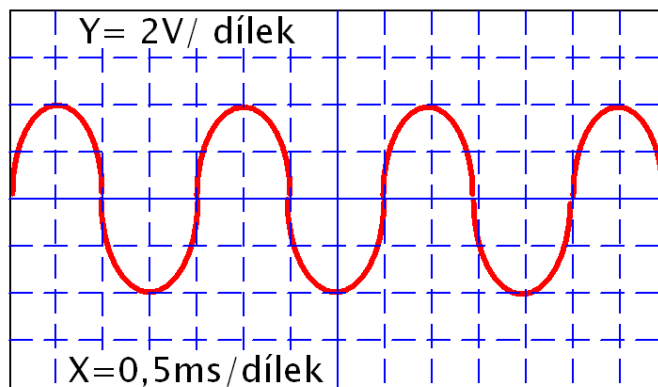
$$U_{ef} = U_{max} * 0,7 = 4V * 0,7 = 2,8V$$

– **Výpočet kmitočtu**

přepínač je v poloze 0.5ms/dílek

jedna peridada trvá 4dílky,  $T = 0,5ms * 4 = 20ms$

kmitočet  $f = = = 50Hz$



**Obr. č. 5.1.**

**Praktická práce:**

Zjisti metódou „pokús omyl“ a do sešitu zapiš funkciu tlačítok označených symboly:

- AUTO
  - =
  - ~
  - GND
  - ±
  - HF
  - NF
  - LEVEL
  - ±A/B
- ↔
  - ↑↓
  - ☀



## 6. Průběhy napětí

### Stejnoseměrné napětí

Napětí můžeme posuzovat z více hledisek. Snad úplně prvotní by se dalo napětí rozdělit na stejnosměrné a střídavé. Definovat stejnosměrné napětí je možné větou: Stejnoseměrné napětí je napětí, které se nemění v závislosti na čase. Máme na mysli úroveň napětí. Graficky by stejnosměrné napětí vypadalo takto **Obr. č. 6.0**.



Obr. č. 6.0.

Na svislé ose grafu je uvedeno napětí ve voltech a na vodorovné ose je uveden čas v sekundách. Z grafu je zřejmé, že v čase  $t_1$  bylo zapnuto napětí o velikosti  $U_n$  a toto napětí se nemění v závislosti na čase, je tudíž stejnosměrné.

### Střídavé napětí

Střídavé napětí je napětí, které se mění v závislosti na čase. A napětí se může měnit různě. Napěťové změny mohou mít různé průběhy a taky mohou být různě rychlé vzhledem v závislosti k času.

### Sinusové napětí.

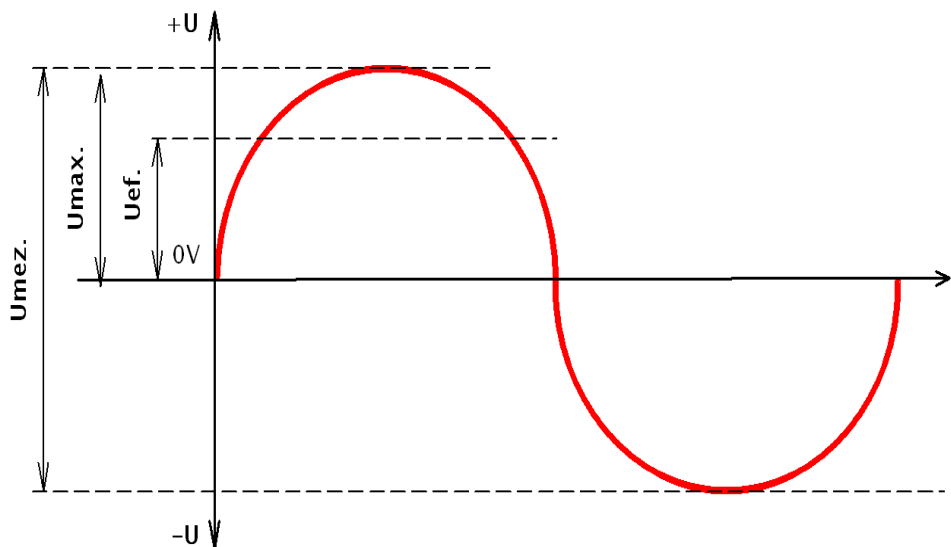
Jedním ze základních průběhů střídavého napětí je tak zvané sinusové napětí, jehož velikost se mění v závislosti na matematické funkci  $\sin.\alpha$ . Na obrázku **Obr. č. 6.1** je znázorněna jedna perioda sinusového napětí. Skládá se z kladné a záporné půlvlny. Doba jedné periody se označuje „ $T$ “.  $T = [s; Hz]$ . U sinusového průběhu napětí rozeznáváme tři velikosti napětí.

- $U_{ef}$  efektivní hodnota napětí
- $U_{max.}$  maximální hodnota napětí v kladné nebo záporné půlvlně
- $U_{mez.}$  mezivrcholová úroveň napětí

**Efektivní napětí.** Úroveň tohoto napětí byla zvolena tak, aby výkon  $U_{ss}$  a výkon  $U_{stř}$  o určité absolutní číselné hodnotě byl stejný. Na tuto hodnotu jsou nastaveny všechny měřicí přístroje, které měří střídavé napětí. Matematický vztah mezi efektivní a maximální hodnotou je  $U_{ef} = 0.7U_{max}$ .

**Maximální napětí,** je největší napětí v kladné nebo záporné půlvlně střídavého napětí. Matematický vztah mezi efektivní a maximální hodnotou je  $U_{max} = 1.4U_{ef}$ . Neboli změříme-li Vmetrem napětí v zásuvce a naměříme 230V, měříme efektivní hodnotu napětí  $U_{ef}$ . Potom  $U_{max} = 1.4U_{ef} = 1.4 * 230 = 322V$ . Minimálně na tuto hodnotu napětí musí být navrženy všechny součástky elektrického obvodu napájeného síťovým napětím 230V.

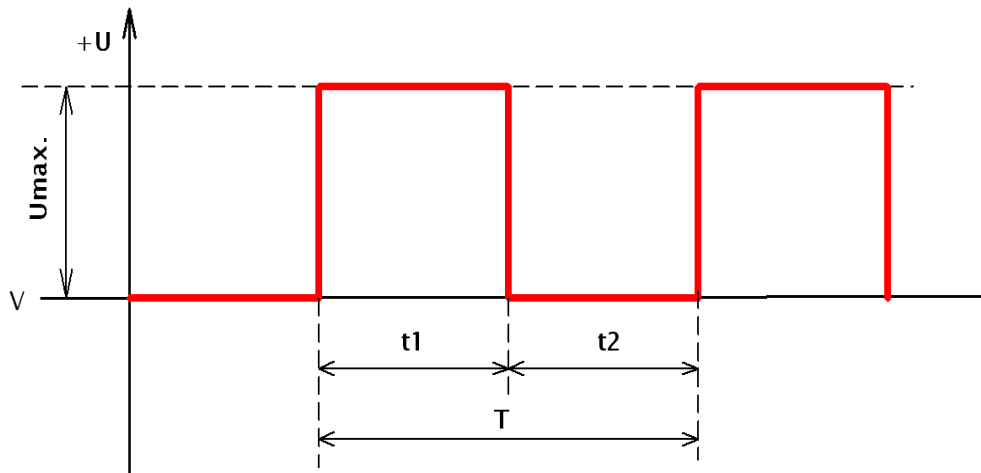
**Mezivrcholová hodnota napětí,** také se nazývá  $U_{ss}$ , špička - špička. Je to maximální napětí mezi kladnou a zápornou půlvlnou.  $U_{mez.} = 2U_{max}$ .



**Obr. č. 6.1.**

### **Obdélníkový průběh napětí**

Obdélníkový průběh napětí je střídavé napětí, jehož velikost se mění skokem, teoreticky v čase nula. Obdélníkový průběh napětí se skládá z doby impulsu  $t_1$  a doby mezery  $t_2$ . Doba periody  $T = t_1 + t_2$ . Poměr mezi dobou impulsu a dobou mezery se nazývá střída. Například obdélníkový průběh napětí  $U_{max.} = 10V$  a střída 1:1. Pokud tento průběh napětí změříme Vmetrem, za předpokladu, že zvládne měřit daný kmitočet, Vmetr nám změří tak zvanou střední neboli průměrnou hodnotu. Na displeji naměříme hodnotu 5V. Vmetru je nastaven na měření střídavého sinusového průběhu napětí. Je-li průběh napětí jiný než sinusový Vmetr je nutné pro objektivní měření použít osciloskop. **Obr. č. 6.2.**

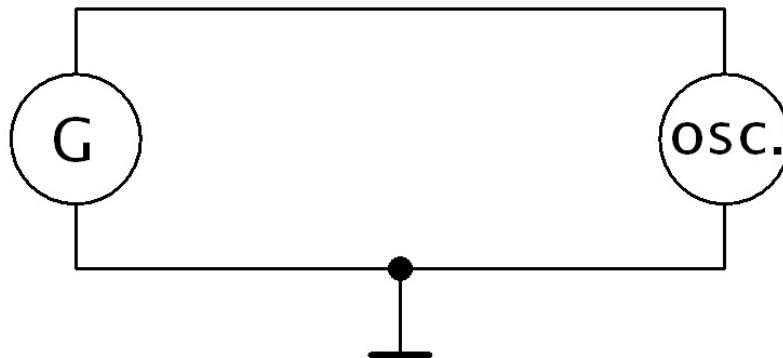


Obr. č. 6.2.

**Praktická práce:**

Pomocí generátoru nastav na obrazovce osciloskopu sinusové a obdélníkové a trojúhelníkové průběhy napětí o různých kmitočtech dle zadání.

**Schéma zapojení: Obr. č. 6.3.**



Obr. č. 6.3.

**Zadání:**

Napětí  $U_{mez.}$ / kmitočet: 1V/ 500Hz; 10V/ 700Hz; 100mV/ 1500Hz; 50mV/ 15000Hz; 5V/ 25000Hz; 7V/ 50000Hz;

**Postup:**

- po zapnutí osciloskopu ho nastavte tak, aby časová základna volně odbíhala a uprostřed obrazovky byla viditelná horizontální stopa

- postupně pomocí generátoru nastavte příslušný kmitočet a zadané napětí.

Je výhodné, ale ne nutné si zpočátku nastavit na generátoru co největší výstupní napětí a vstupní dělič osciloskopu nastavit na 10V/dílek, případně 5V/dílek.

Následně nastavíte kmitočet a potom upravíte napětí dle zadání

- vstupní dělič osciloskopu nastavte tak, aby průběh napětí na obrazovce osciloskopu byl co největší

- přepínač časové základny nastavte tak, aby na obrazovce osciloskopu byla nejméně jedna perioda měřeného signálu, a maximálně dvě periody
- měření proveďte pro všechny tři průběhy napětí a vzájemně je porovnejte v závislosti na kmitočtu
- osciloskop nastavte tak, aby první půlvlna na obrazovce byla kladná / záporná
- ověřte funkci tlačítka „automatická synchronizace“ a do sešitu popište jeho funkci a použití
- ověřte funkci tlačítka „stejnoseměrná vazba“ / „střídavá vazba“ vstupních zesilovačů. Do sešitu popište jeho funkci a použití

### **Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

Umez. = 2V/ 1000Hz

nastavím přepínač časové základny

- $f = \frac{1}{T}$  , [Hz; s] doba periody  $T = \frac{1}{f}$
- $T = \frac{1}{1000\text{Hz}} = 0.001\text{s} = 1\text{ms}$
- přepínač časové základny nastavím na hodnotu 0,1ms / dílek.

Na obrazovce osciloskopu bude zakreslena jedna perioda měřeného napětí

nastavím vstupní dělič.

- Zvolím 0,5V/ dílek
- výstupní napětí z generátoru nastavím přes čtyři dílky obrazovky osciloskopu

## 7. Přechodové jevy

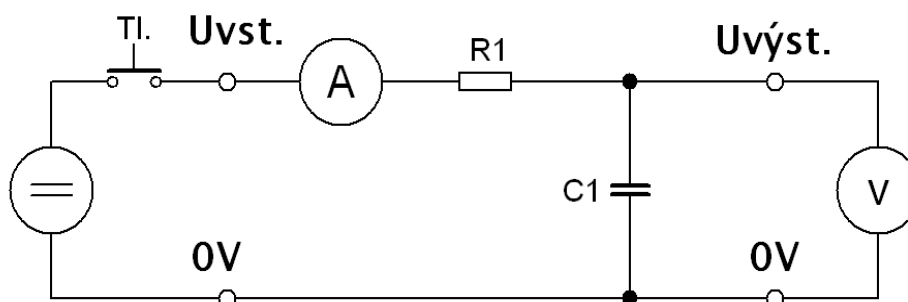
Připojíme-li na vstupní svorky čtyřpólu časově neproměnné napětí ustálí se výstupní napětí až po určité době, která závisí na trvání tak zvaného přechodového jevu.

Přechodový jev se projevuje při každé změně vstupního napětí a jeho časový průběh je pro jednotlivé typy obvodů charakteristický.

Připojíme-li v určitém okamžiku na vstupní svorky RC čtyřpólu stejnosměrné napětí „U“, začne obvodem protékat nabíjecí proud „i“ a na kondenzátoru „C<sub>1</sub>“ začne narůstat napětí „u<sub>c</sub>“. Rychlost narůstání napětí je dáno odporem „R1“. Okamžitá hodnota proudu je dána vztahem

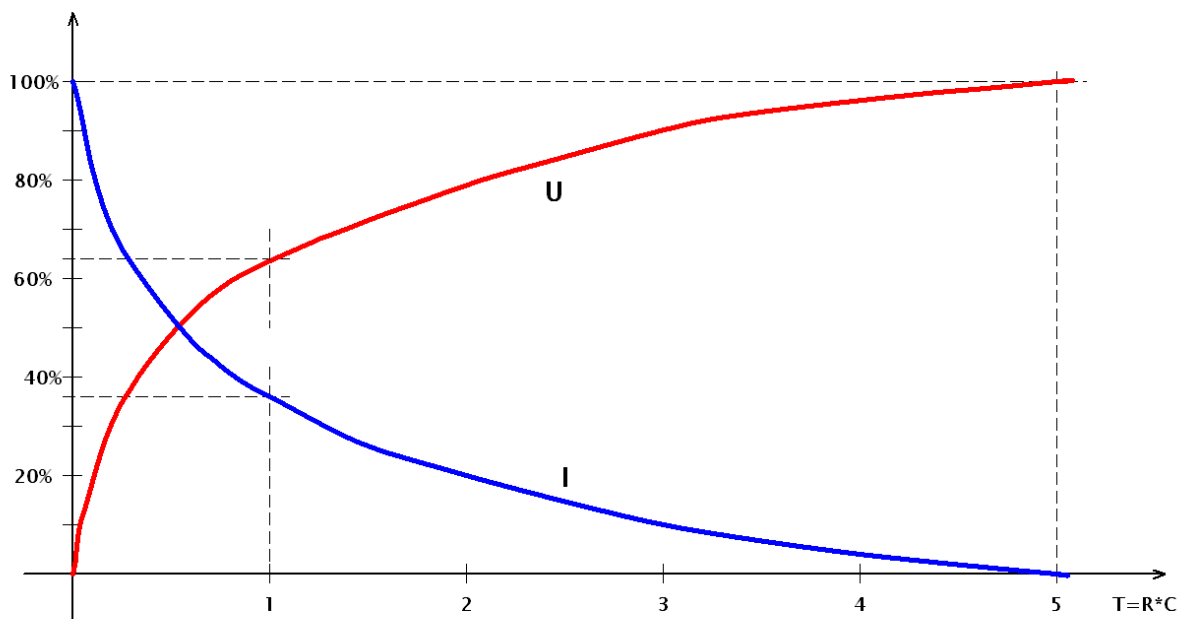
$$i = \frac{U - u_c}{R}$$

Na počátku přechodového jevu je napětí na kondenzátoru C<sub>1</sub> nulové a proud v obvodu největší. Kondenzátor C<sub>1</sub> se zpočátku rychle nabíjí, tím se snižuje spád napětí U<sub>vst.</sub> a napětí na kondenzátoru C<sub>1</sub>, tím okamžitý proud „i“ klesá. Nárůst napětí na kondenzátoru se postupně snižuje, a až se napětí U<sub>vst.</sub> a napětí na kondenzátoru C<sub>1</sub> vyrovnají a nabíjecí proud zanikne. **Obr. č. 7.0.**



**Obr. č. 7.0.**

Okamžitá hodnota napětí a proudu závisí na časové konstantě obvodu Tau. Tau je bezrozměrné číslo a  $T = R_1 * C_1$ . Čím bude hodnota C<sub>1</sub> a R<sub>1</sub> vyšší, tím bude vyšší T a tím výstupní napětí bude narůstat pomaleji. Rychlost nárůstu výstupního napětí je dána řešením exponenciální rovnice.  $U_{výst.} = U_{vst.} (1 - e^{-t/T})$ , kde „e“ je přirozený logaritmus, t = čas v sekundách a T je časová konstanta  $T = R_1 * C_1$ . Pro praktické použití je dobré si zapamatovat, že řešením této rovnice bychom zjistili, že za dobu t = 1T se kondenzátor C<sub>1</sub> nabije na 63% vstupního napětí a za dobu 5T je téměř nabit na vstupní napětí. A za dobu t = 1T klesne nabíjecí proud na 37% své maximální velikosti a za dobu t = 5T je téměř nulový. Na **Obr. č. 7.1** jsou znázorněny charakteristiky napětí U a nabíjecího proudu I.

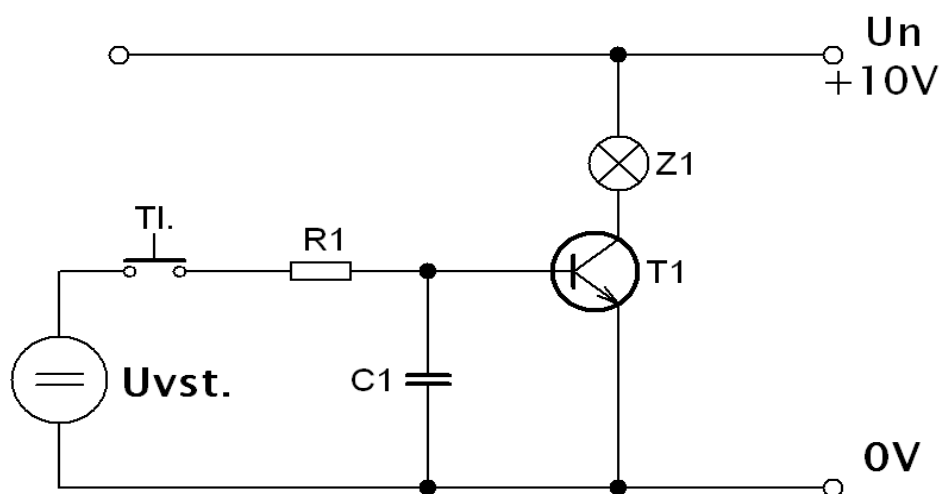


Obr. č. 7.1.

**Praktická práce:**

Spočítejte odpor  $R_1$ , a to tak, aby žárovka  $Z_1$  se rozsvítila až za 3s po stisknutí tlačítka  $T_1$ . Elektrický obvod sestrojte a ověřte měřením.

**Schéma zapojení: Obr. č. 7.2.**



Obr. č. 7.2.

**Zadání:**

$U_n = 10V$ ,  $U_{vst.} = 1V$ ,  $C_1 = 500\mu F$ ,  $Z_1 = 12V/50mA$ ,  $T_1 = BC546$ . Žárovka se rozsvítí za dobu  $t = 3s$



### Postup:

Spočítejte odpor  $R_1$  a sestrojte elektronický obvod dle schématu. Funkci zapojení ověřte stopkami a naměřený čas zapište do tabulky. Pomocí Ametru a Vmetru ověřte průběh napětí na  $C_1$  a jeho nabíjecí proud. Do tabulky zapište napětí na  $C_1$ , v okamžiku, kdy sepne tranzistor  $T_1$  a rozsvítí se žárovka  $Z_1$ .

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_n = 10V$ ,  $U_{vst.} = 1V$ ,  $C_1 = 1mF$ ,  $Z_1 = 12V/50mA$ ,  $T_1 = BC546$ . Žárovka se rozsvítí za dobu  $t = 1s$

- kondenzátor  $C_1$  se nabije za dobu  $1T$  na 63% vstupního napětí
- vstupí napětí je  $1V$ ,  $U_{BE T1} = 0,6V$ , tedy přibližně 63% vstupního napětí

$$t = 1s = 1T = R1 * C1$$

- $R1 = \frac{1T}{C1} = \frac{1}{0.001F} = 1000\Omega$

- z řady E12 volím odpor 1k

### Tabulka:

|                        | $R_1$ | $U_{C1}$ | $I_{C1}$ | t |
|------------------------|-------|----------|----------|---|
| zadaný -<br>vypočítaný |       |          |          |   |
| Naměřený               |       |          |          |   |

### Derivační a integrační článek

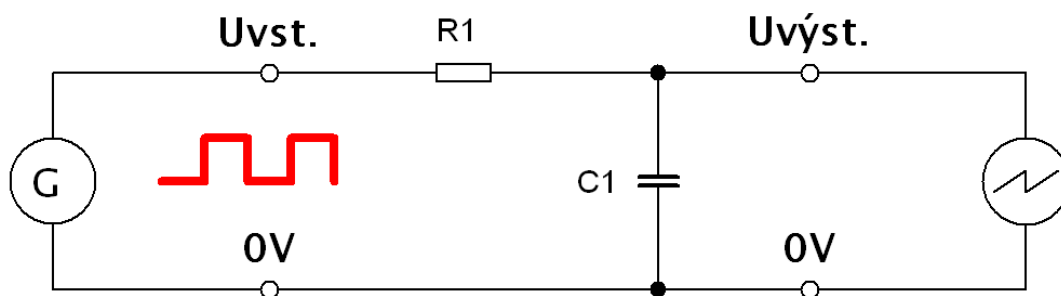
Činnost derivačního a integračního článku je založena na využití přechodového jevu. Je-li na vstupní svorky obvodu připojen obdélníkový průběh napětí, tak na výstupu jak derivačního nebo integračního článku tento průběh napětí nikdy nebude. Obdélníkový průběh napětí je v podstatě digitální signál a integrační článek má podobné vlastnosti jako kabelové vedení. Potom je zřejmé, že po přenosu určité digitální informace po kabelu je na konci trasy vždy informace částečně znehodnocena. To je například nevýhoda vlastností přechodových jevů. Ale přechodové jevy lze využít i kladně. Například k výrobě trojúhelníkového průběhu napětí, jak je tomu u integračního článku nebo kladných a záporných impulzů, jak je tomu u derivačního článku.

### Integrační článek

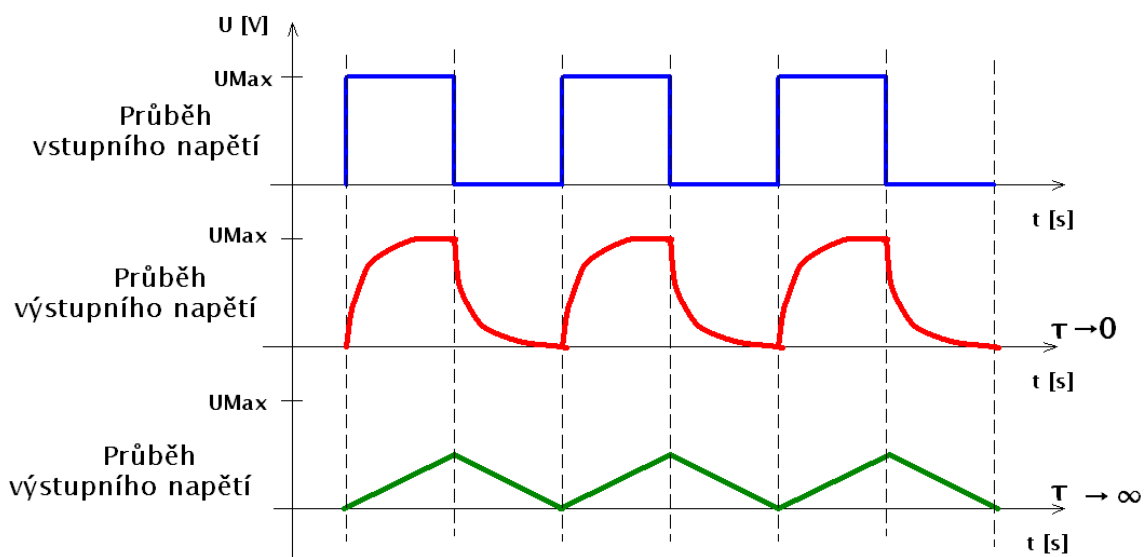
Na vstup integračního článku připojíme obdélníkový průběh napětí a budeme sledovat, jak se obvod bude chovat ve dvou krajních mezích. **Obr. č. 7.3.** A to, blíží-li se Tau k nule a naopak, když se bude Tau blížit k nekonečnu. Blíží-li se Tau k nule, kondenzátor  $C_1$  se rychle nabíjí a výstupní průběh napětí se bude blížit vstupnímu průběhu napětí. V případě, že Tau se blíží nekonečnu, kondenzátor se nabíjí tak pomalu, že za dobu periody se nestačí nabít na maximální napětí obdélníkového průběhu a průběh výstupního napětí se bude blížit trojúhelníkovému průběhu napětí. Aby výstupní průběh napětí se tvarem

podobal trojúhelníkovému průběhu napětí je nutné splnit podmínku.  $R \geq 10 \cdot X_c$ .

Obr. č. 7.4.



Obr. č. 7.3.



Obr. č. 7.4.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte integrační článek. Vstupní průběh napětí porovnejte s výstupními průběhy napětí na dvoukanálovém osciloskopu, průběhy napětí zakreslete do sešitu, a to pro dva stavy. Kdy  $T_{ua}$  se blíží nekonečnu,  $R_1 \geq 10 X_c$  a kdy  $\tau$  se blíží k nule,  $X_c \geq 10 R_1$ .

Schéma zapojení: Obr. č. 7.3.

### Zadání:

$C_1 = 10 \text{ nF}$ ,  $f = 5 \text{ kHz}$

### Postup:

Spočítejte odpor  $R_1$ , a to pro dva stavy, když se Tau blíží k nule a když se Tau blíží k nekonečnu.  $R_1 \geq 10X_c$  a  $R_1 \leq 10X_c$ . Na funkčním generátoru nastavte obdélníkový průběh kmitočtu s největší amplitudou napětí a zadaný kmitočet. Sestrojte obvod dle schéma a na vstup integračního článku zapojte generátor a na výstup připojte osciloskop dle schéma zapojení.

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$C_1 = 10\text{nF}$ ,  $f = 10\text{kHz}$

- **výpočet odporu pro stav, kdy se Tau blíží nekonečnu**

$$R_1 \geq 10X_c$$

$$R_1 = 10 \frac{1}{2\pi f C} = 15\,920\Omega$$

z řady E12 volím odpor 15k

- **výpočet odporu pro stav, kdy se Tau blíží k nule**

$$X_c \geq 10R_1$$

$$R_1 = \frac{X_c}{10} = \frac{1}{10 * 2\pi f C} = 150\Omega$$

z řady E12 volím odpor 150 $\Omega$

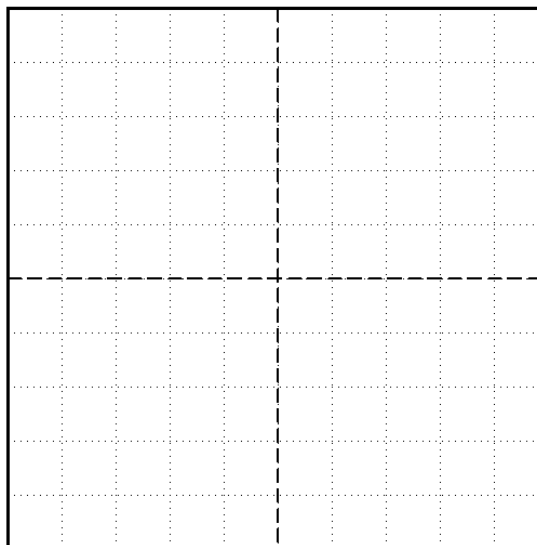
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

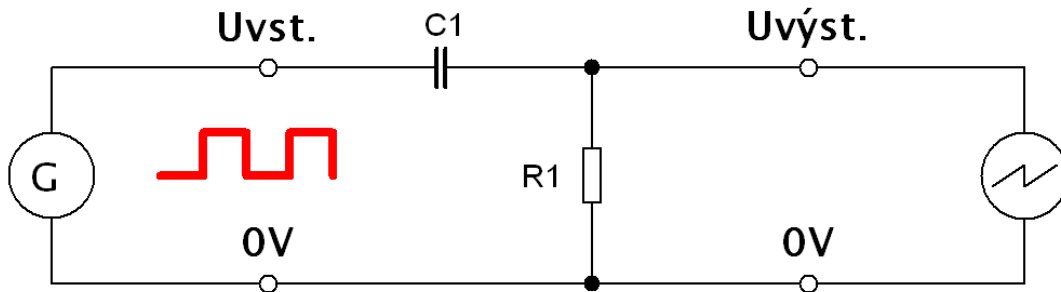
čas / dílek \*\*\*\*



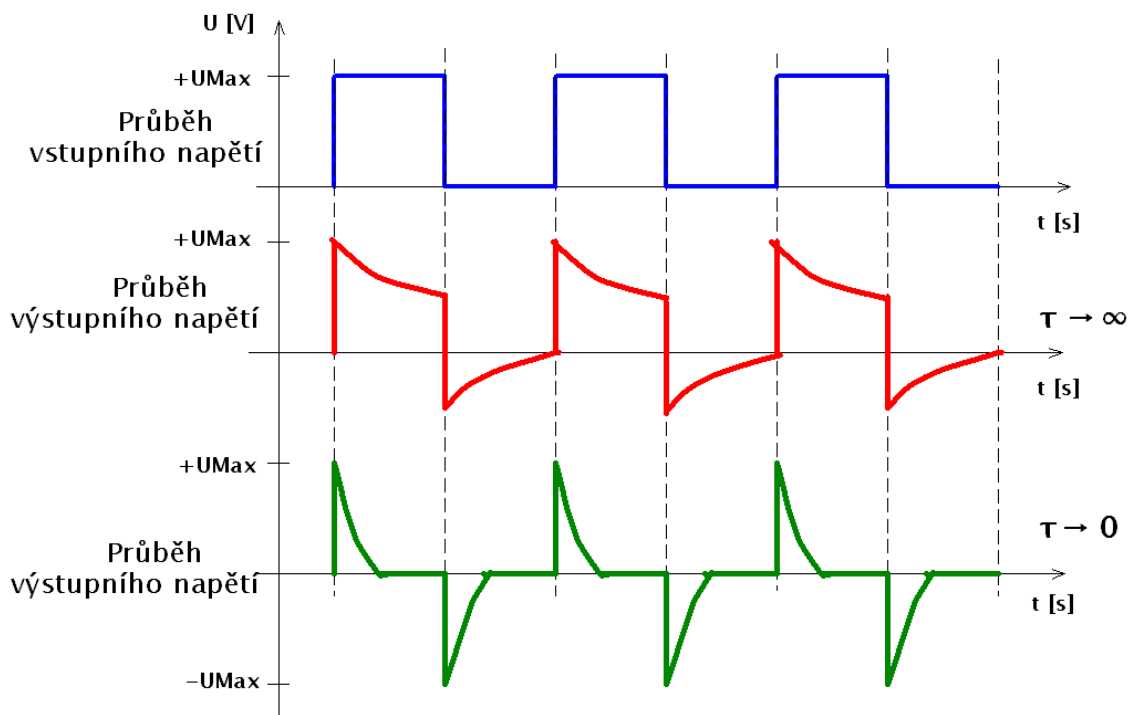
### Derivační článek

Na vstup derivačního článku připojíme obdélníkový průběh napětí a budeme sledovat, jak se obvod bude chovat ve dvou krajních mezích. **Obr. č. 7.5.** A to, blíží-li se Tau k nule a naopak, když se bude Tau blížit k nekonečnu. S náběžnou hranou vstupního signálu se kondenzátor okamžitě nabije na maximální napětí obdélníkového průběhu. Blíží-li se Tau nekonečnu, kondenzátor se pomalu vybíjí přes  $R_1$  a za dobu impulsu se nestačí vybit. Výstupní průběh napětí se blíží vstupnímu průběhu napětí. Je-li však Tau velmi malé, kondenzátor se vybije dřív, než skončí doba impulsu. Na to následuje sestupná hranu vstupního obdélníkového průběhu, a protože změna směru napětí je opačná, kondenzátor se nabije na záporné napětí a opět se vybije dřív, než skončí doba periody. Tento průběh

napětí se tvarem vůbec nepodobá vstupnímu průběhu napětí. Nazýváme ho špičky a pomocí tohoto derivačního článku je možné vyrobit impulsy jak kladné tak i záporné polarity. Používají se například k resetování číslicových obvodů nebo jako spouštěcí impulsy a podobně. **Obr. č. 7.6.**



**Obr. č. 7.5.**



**Obr. č. 7.6.**

**Praktická práce:**

Spočítejte a měřením ověřte derivační článek. Vstupní průběh napětí porovnejte s výstupními průběhy napětí na dvoukanálovém osciloskopu, průběhy napětí zakreslete do sešitu, a to pro dva stavy. Kdy Tau se blíží nekonečnu,  $R_1 \gg 10X_c$  a kdy Tau se blíží k nule,  $X_c \gg 10R_1$ .

**Schéma zapojení: Obr. č. 7.5.**

**Zadání:**

$C_1 = 10\text{nF}$ ,  $f = 5\text{kHz}$

**Postup:**

Spočítejte odpor  $R_1$ , a to pro dva stavy, když se Tau blíží k nule a když se Tau blíží k nekonečnu.  $R_1 \geq 10X_c$  a  $R_1 \leq 10X_c$ . Na funkčním generátoru nastavte obdélníkový průběh kmitočtu s největší amplitudou napětí a zadaný kmitočet. Sestrojte obvod dle schéma. Na vstup derivačního článku zapojte generátor a na výstup připojte osciloskop dle schéma zapojení.

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$C_1 = 10\text{nF}$ ,  $f = 10\text{kHz}$

- **výpočet odporu pro stav, kdy se Tau blíží nekonečnu**

$$R_1 \geq 10X_c$$

$$R_1 = 10 \frac{1}{2\pi f C} = 15\,920\Omega$$

z řady E12 volím odpor 15k

- **výpočet odporu pro stav, kdy se Tau blíží k nule**

$$X_c \geq 10R_1$$

$$R_1 = \frac{X_c}{10} = \frac{1}{10 * 2\pi f C} = 150\Omega$$

z řady E12 volím odpor 150Ω

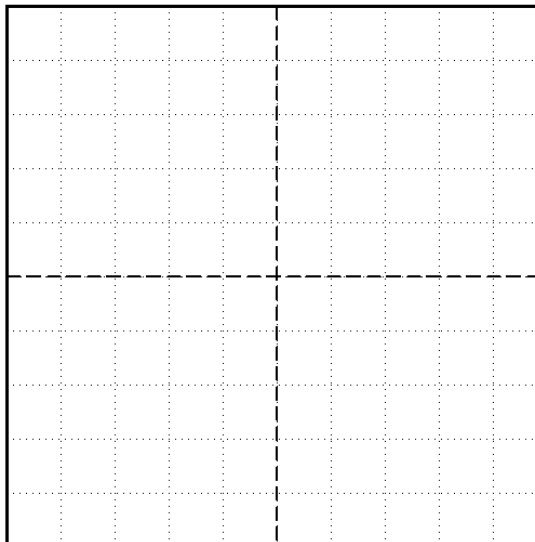
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

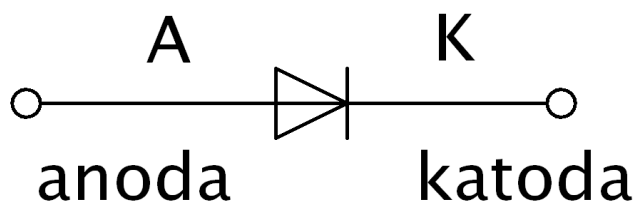
přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



## 8. Dioda

Dioda je polovodičový prvek mající jeden polovodičový přechod PN. Má dva vývody, které se nazývají Anoda a Katoda. Značka diody je na obrázku. **Obr. č. 8.0.**

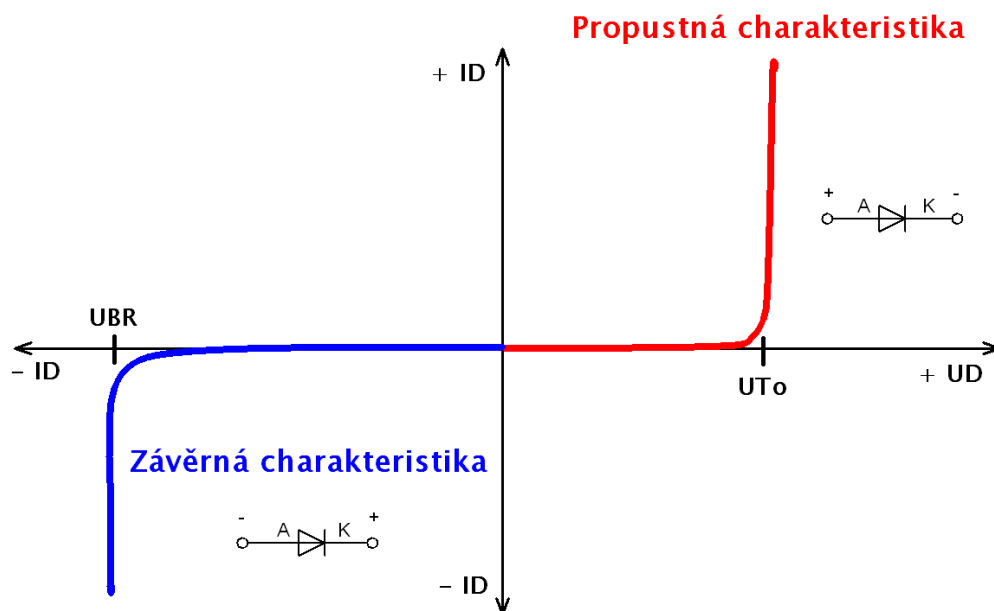


Obr. č. 8.0.

Připojíme-li na anodu kladné napětí a na katodu záporné napětí chová se jako vodič a její odpor je téměř zanedbatelný. Tento stav nazýváme, že je polarizovaná v propustném směru.

Připojíme-li na anodu záporná napětí a na katodu kladné napětí chová se jako nevodič a její odpor je téměř nekonečný. Tento stav nazýváme, že je polarizovaná v závěrném směru.

Vlastnosti polovodičových součástek se nejčastěji vyjadřují pomocí voltampérových charakteristik. Voltampérová charakteristika polovodičové diody je vztah napětí na diodě a proudu diodou protékající. Skládá ze dvou částí. Stav kdy je polarizovaná v propustném směru a stav kdy je polarizovaná v závěrném směru. **Obr. č. 8.1.**



Obr. č. 8.1.

Na vodorovné ose se vyznačuje kladné a záporné napětí přiváděné na diodu a na svislé ose příslušný proud vztahující se k danému napětí.

Na charakteristice v závěrném směru je význačný bod označený  $U_{BR}$ . Nazývá se průrazný bod a po překročení tohoto napětí začne proud diodou prudce narůstat, až dojde ke zničení diody, neboli následně proud diodou v závěrném směru bude protékat i přesto, že napětí v závěrném směru snížím pod hodnotu průrazného napětí.

Na charakteristice v propustném směru je význačný bod označený  $U_{To}$ . Tento bod se nazývá prahové napětí diody. Když jsme si v úvodu napsali, že v jedné polaritě se dioda chová jako vodič a v opačné polaritě se chová, jako nevodič měli jsme pravdu, ale ne úplně. V tomto okamžiku je nutné dodat, že v propustné části VA charakteristiky se dioda chová jako vodič, ale až od úrovně prahového napětí diody.

Prahové napětí diody se liší podle toho, z jakého materiálu je dioda vyrobena. Germaniové diody mají prahové napětí přibližně 0,3V, křemíkové 0.6V. Za zmínku stojí i tak zvané LED diody, které podle barvy, které při průtoku proudu vydávají, se prahové napětí pohybuje asi od 1V až do 3,5V.

Dioda je charakterizována mnoha různými parametry, které jsou uvedeny v katalogu výrobce diody, z nichž jsou tři nevýznačnější.

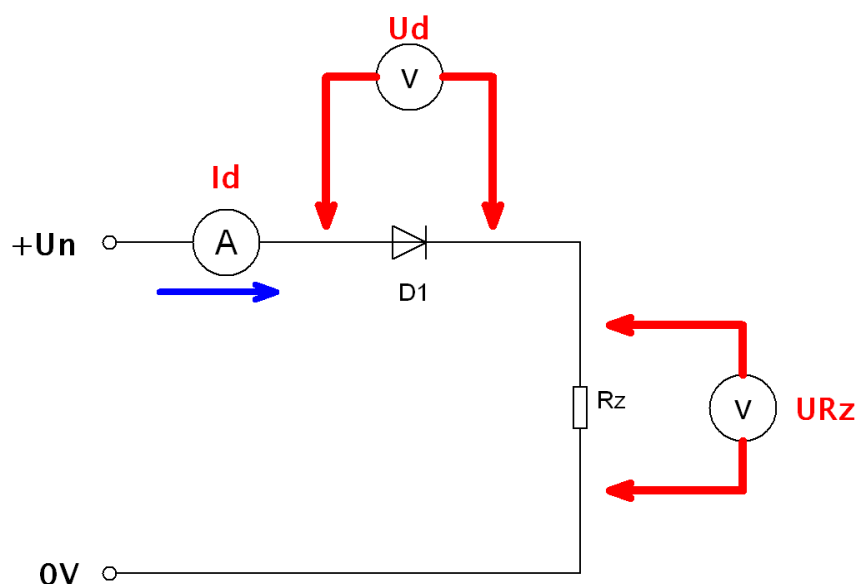
- maximální proud v propustném směru může být v rozsahu od desítek miliampér až po stovky ampér

- průrazné napětí velikost průrazného napětí se výrobce většinou snaží vyrobit co největší a běžně se dosahuje až jednotky kilovolt.

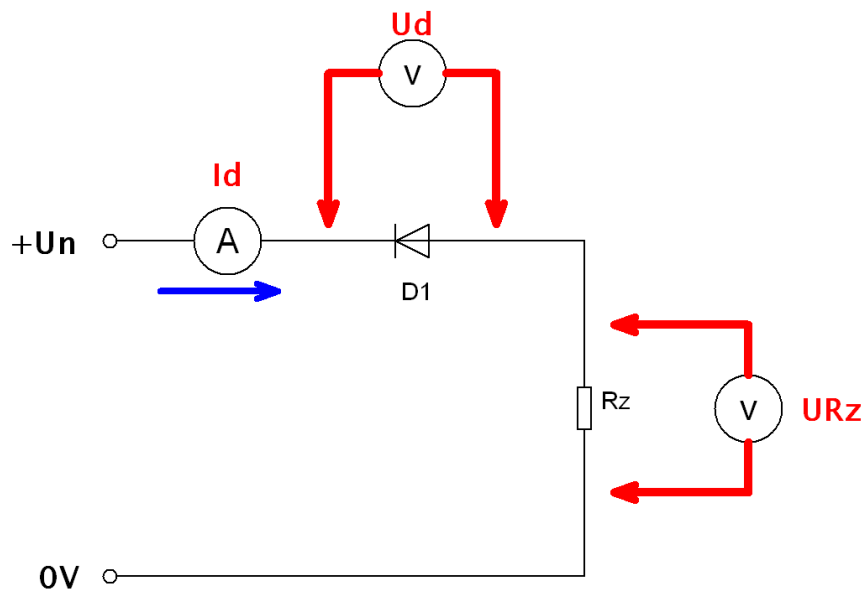
- prahové napětí může být v rozsahu 0.1V až po jednotky voltů

### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověř napětí a proud tekoucí diodou polarizovanou v propustném a závěrném směru.



Obr. č. 8.2.



Obr. č. 8.3.

Schéma zapojení: Obr. č. 8.2. , Obr. č. 8.3.

Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $R_z = \Omega$ , D1 usměrnovací křemíková dioda  $I_{dmax} = 1A$ ,

Postup:

Spočítejte a do tabulky zapište proud tekoucí diodou  $I_d$ , napětí na diodě a odporu  $R_z$ , a to v obou polaritách, tak jak je znázorněno na schématu. **Obr. č. 8.2. , Obr. č. 8.3.** Následně obvod sestrojte a měřením ověřte. Naměřené hodnoty zapište do tabulky.

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = 15V$ ,  $R_z = 50\Omega$ , D1 je křemíková

– **V propustném směru**

$$U_d = U_{T0} = 0.6V,$$

$$U_{Rz} = U_n - U_d = 15V - 0.6V = 14.4V$$

$$I_d = \frac{U_{Rz}}{R_z} = \frac{14,4V}{50} = 0,28A$$

– **v závěrném směru**

v závěrném směru proud sice teče, ale je tak malý že ho můžeme zanedbat

$$I_d = 0A$$

$$U_{Rz} = R_z \cdot I_d = 50\Omega \cdot 0 = 0V$$

$$U_d = U_n - U_{Rz} = 15V - 0V = 15V$$

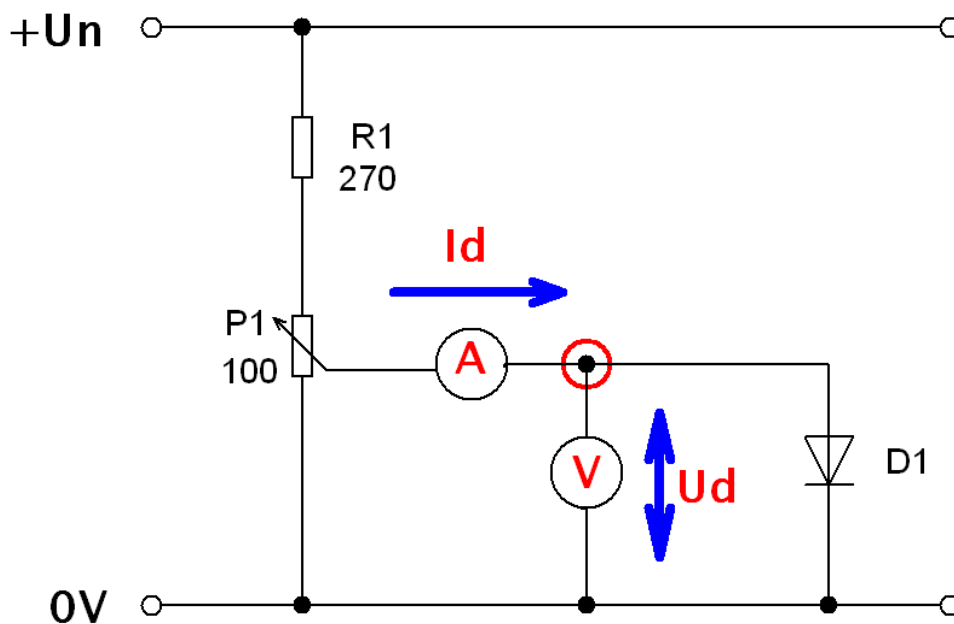


**Tabulka:**

|           | v propustném směru |       |          | v závěrném směru |       |
|-----------|--------------------|-------|----------|------------------|-------|
|           | $I_d$              | $U_d$ | $U_{Rz}$ | $I_d$            | $U_d$ |
| spočítané |                    |       |          |                  |       |
| naměřené  |                    |       |          |                  |       |

**Praktická práce:**

Změřte a do sešitu zakreslete propustnou část voltampérové charakteristiky diody.

**Schéma zapojení: Obr. č. 8.4.****Obr. č. 8.4.****Zadání:**

$U_n = 10V$ ,  $D1 = 1N4001$ ,  $R_1 = 270\Omega$ ,  $P_1 = 100\Omega$

**Postup:**

zapojte elektrický obvod podle schéma na **Obr. č. 8.4.**

- Jezdec potenciometru nastavte tak, aby na měřené diodě bylo 0V. Polohu jezdce ověřte ohmmetrem.
- připojte napájecí napětí  $U_n$  a ověřte napětí a proud protékající diodou. Měl by být nulový
- postupně zvyšujte napětí po jedné desetině voltu a proud protékající diodou zapisujte do tabulky
- měření ukončete, až dosáhnete proud diodou  $I_d = 100mA$
- z naměřených hodnot zhotovte graf závislosti  $I_d = f$

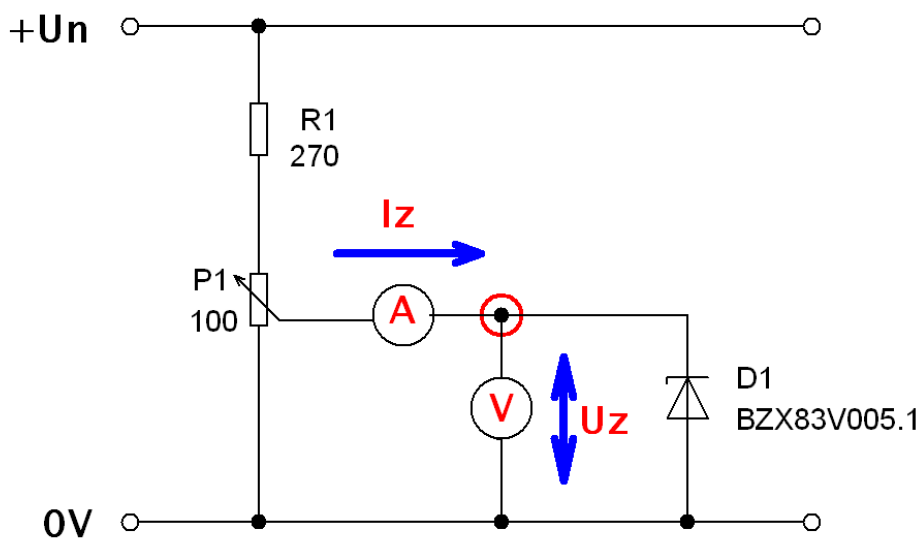
### Tabulka:

| $U_d$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $I_d$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

### Praktická práce:

Změř a do sešitu zakresli závěrnou část voltampérové charakteristiky Zenerovi diody.

Schéma zapojení: Obr. č. 8.5.



Obr. č. 8.5.

### Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $D_1 = BZX83V5.1$ ,  $R_1 = 270\Omega$ ,  $P_1 = 100\Omega$

### Popis funkce:

Zenerova dioda je zvláštní druh diody, kdy propustná část voltampérové charakteristiky je shodná s usměrňovací diodou, ale v této části se Zenerova dioda nepoužívá. Na počátku závěrné části voltampérové charakteristiky se Zenerova dioda chová stejně jako usměrňovací dioda, tudíž nevede proud. Budeme-li postupně zvyšovat napětí v závěrné části Zenerovy diody, v určitém okamžiku začne prudce narůstat proud. Tuto hodnotu napětí nazýváme Zenerovo napětí. Snížíme-li napětí pod úroveň Zenerova napětí v závěrné části voltampérové charakteristiky, dioda se opět stane nevodivou. Zenerova dioda se používá například ke stabilizaci napětí nebo jako zdroj referenčního napětí a podobně. Dioda BZX83V5.1 má hodnotu Zenerova napětí  $U_Z = 5,1V$

### Postup:

- zapojte elektrický obvod podle schéma na **Obr. č. 8.5**. Jezdec potenciometru nastavte tak, aby na měřené diodě bylo 4,5V.
- připojte napájecí napětí  $U_n$  a ověřte napětí a proud protékající diodou. Měl by být téměř nulový.

- postupně zvyšujte napětí po jedné desetině voltu a proud protékající diodou zapisujte do tabulky
- měření ukončete, až dosáhne proud diodou  $I_z = 30\text{mA}$
- z naměřených hodnot zhotovte graf závislosti  $I_z = f$

**Tabulka:**

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $U_z$ | -4,6 | -4,7 | -4,8 | -4,9 | -5,0 | -5,1 | -5,2 | -5,3 | -5,4 |
| $I_z$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

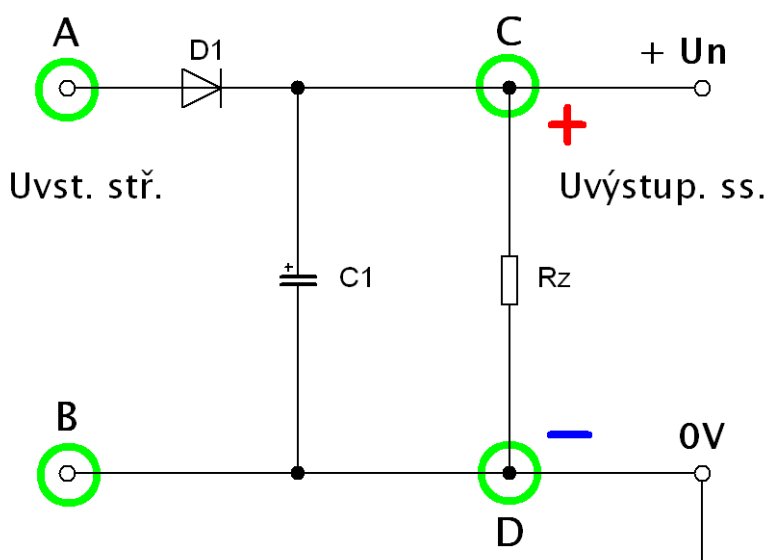
## 9. Usměrňovače

Hlavním úkolem usměrňovačů je vyrobit ze střídavého napětí stejnosměrné napětí. Usměrňovače můžeme rozdělit například na jednocestné, dvoucestné, případně na jednofázové nebo třífázové. Můžeme je také rozdělit podle zpracovávaného kmitočtu. Na tak zvané síťové usměrňovače, které zpracovávají síťový kmitočet 50Hz nebo vysokofrekvenční usměrňovače.

### Jednocestný usměrňovač

Jednocestný usměrňovač se používá k usměrňování střídavého napětí, k výrobě stejnosměrného napětí. Usměrňovač zpracovává pouze jednu půlvlnu. Jeho výhodou je velice jednoduché zapojení, ale nevýhodou velké zvlnění neboli kvalita vyrobeného stejnosměrného napětí. Z toho důvodu je vhodný pro nenáročné aplikace s malými odběry proudu.

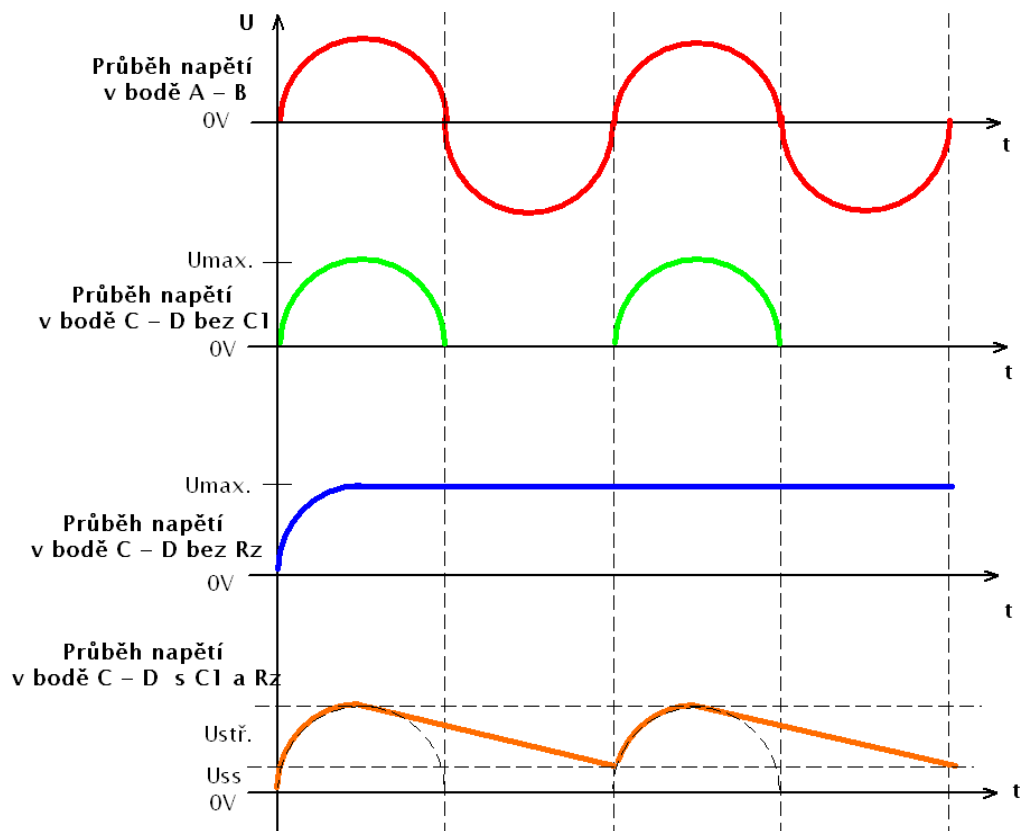
Schéma zapojení: Obr. č. 9.0.



Obr. č. 9.0.

### Popis funkce

Střídavé napětí je připojeno na vstupní svorky označené A a B a výstupní stejnosměrné napětí odebíráme ze svorek C a D. Odpor  $R_z$  představuje spotřebič neboli elektronické zařízení, které napájíme stejnosměrným napětím. Kondenzátor  $C_1$  nazýváme filtrační. Dioda  $D_1$  bude zpracovávat pouze jednu půlvlnu střídavého napětí, v našem případě kladnou půlvlnu. Nebude-li do obvodu zapojen  $C_1$ , na odporu  $R_z$  bude průběh napětí, které nazýváme tepavé napětí. Toto napětí má sice pouze kladnou polaritu, ale jinak je to napětí, které mění svoji velikost v závislosti na čase, tudíž je střídavé. Připojíme-li do obvodu filtrační kondenzátor  $C_1$ , v době záporné půlvlny bude svou kapacitou držet napětí, podobu záporné půlvlny, ale jakmile do obvodu připojíme spotřebič  $R_z$ , kondenzátor se v době záporné půlvlny bude vybíjet do spotřebiče  $R_z$  a na stejnosměrném napětí bude vznikat tak zvané zvlnění. Čím bude ze zdroje napětí větší odběr proudu, tím bude i zvlnění větší a kvalita stejnosměrného napětí horší. Na druhou stranu, čím bude větší kapacita  $C_1$  větší, tím bude zvlnění menší. **Obr. č. 9.1.**



**Obr.č. 9.1.**

Když se podíváme na **Obr. č. 9.1** na průběh napětí v bodě C a D s  $C_1$  a  $R_z$  vidíme, že část napětí se nemění v čase, ta je stejnosměrná a část průběhu se mění v závislosti na čase, tudíž je střídavá. Čím je střídavá složka stejnosměrného napětí menší, tím je stejnosměrné napětí kvalitnější. Vzájemný poměr mezi ss složkou a střídavou nazýváme zvlnění a značíme malý písmenem „p“. Udává se v procentech.

$$p = \frac{U_{ef.stř.}}{U_{ss}} * 100 [ \% ; V , V ]$$

Nejnáročnější elektronické zařízení vzhledem k zvlnění je například mikrofonní předzesilovač. Pro kvalitní mikrofonní předzesilovač je nutné, aby zvlnění bylo lepší než  $p = 0.001\%$ . Koncový nízkofrekvenční zesilovač vyžaduje asi  $p = 5\%$

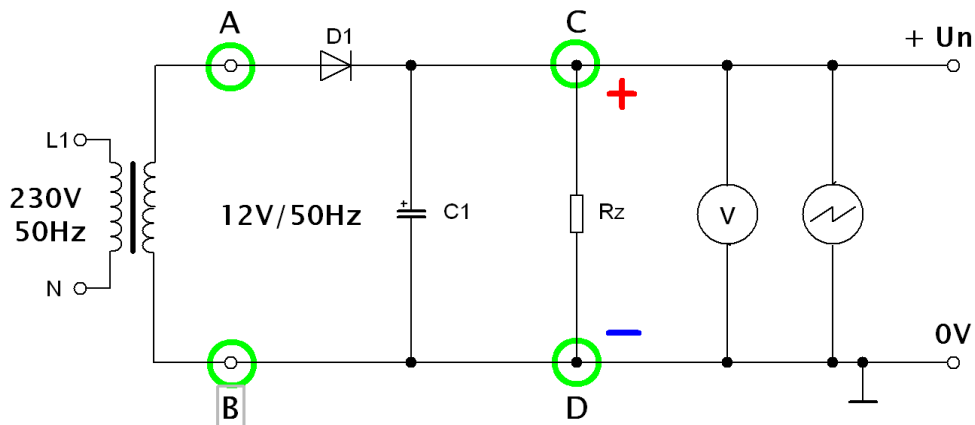
Hodnotu kondenzátoru  $C_1$  pro jednocestný usměrňovač je možné vypočítat za vztahu

$$C_1 = \frac{600}{R_z * p} [ \mu F , k\Omega , \% ]$$

### **Praktická práce:**

Změřte a do sešitu zakreslete průběhy napětí na zatíženém jednocestném usměrňovači. Spočítejte zvlnění usměrňovače.

**Schéma zapojení: Obr. č. 9.2.**



Obr. č. 9.2.

**Zadání:**

Maximální odebraný proud ze usměrňovače  $I_{Rz \max} = 100\text{mA}$ . Maximální dovolené zvlnění je  $p_{\text{Max}} = 5\%$

**Postup:**

- spočítejte kondenzátor  $C_1$  pro zadané zvlnění  $p$
- spočítejte hodnotu odporu  $R_z$  pro  $I_{Rz \text{Max}}$ .
- sestrojte elektrický obvod
- změřte a do tabulky zapište napětí v bodě A – B a C – D
- změřte a do sešitu zakreslete průběh napětí na dvoukanálovém osciloskopu v bodě A - B a C – D
- porovnejte průběhy napětí na dvoukanálovém osciloskopu, není-li do obvodu zapojen kondenzátor  $C_1$
- spočítejte a do sešitu zapište zvlnění  $p$  a porovnejte ho se zadáním

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

Napětí v bodě A – B = 10V,  $p = 2\%$ ,  $I_{Rz \text{Max}} = 50\text{mA}$ , předpokládejme, že  $U_{\text{ef. stř.}} = 0.2\text{V}$ , a  $U_{\text{ss}}$  je 9.8V

- napětí C – B =  $U_{\text{ef}} * 1.4 = 10\text{V} * 1.4 = 14\text{V}$
- $R_z = \frac{U_{cd}}{I_{Rz \text{max}}} = \frac{14\text{V}}{0.05} = 280\Omega$
- $C_1 = \frac{600}{R_z * p} = \frac{600}{0.280 * 2} = 1\,071\mu\text{F}$
- $p = \frac{U_{\text{ef.stř.}}}{U_{\text{ss}}} * 100 = \frac{0.2\text{V}}{9.8\text{V}} * 100\% = 2\%$

-

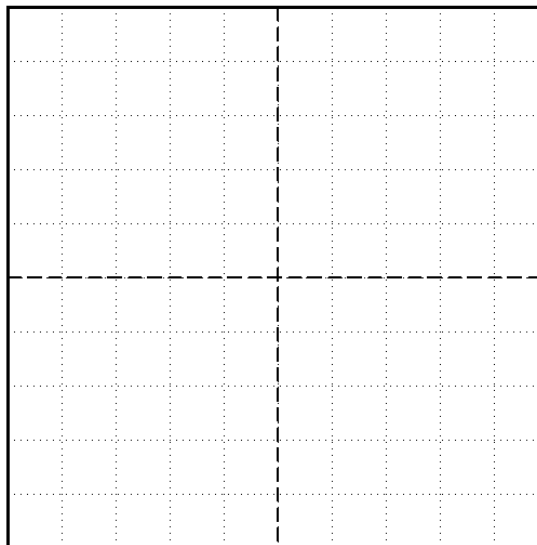
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



### Tabulka:

| $R_z$ | $C_1$ | $U_{AB}$ | $U_{CD}$ | $U_{ef.stř.}$ | $U_{ss}$ | $p$ |
|-------|-------|----------|----------|---------------|----------|-----|
|       |       |          |          |               |          |     |

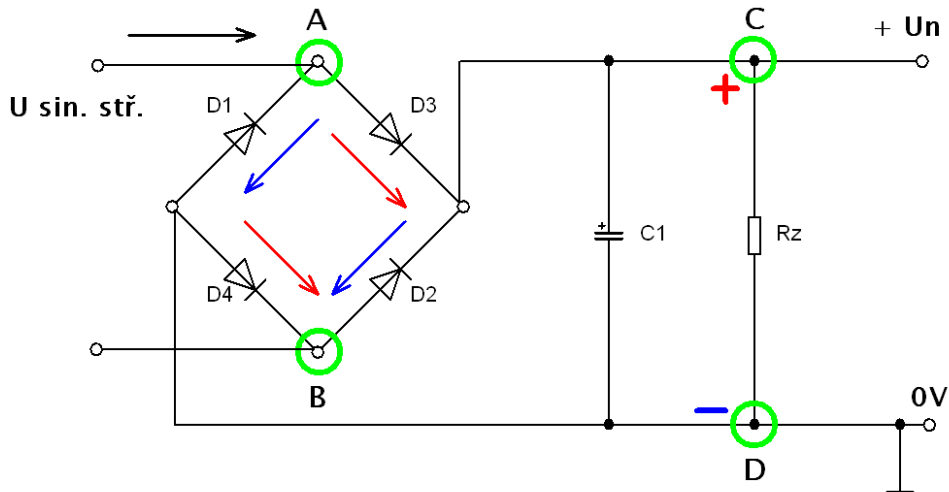
### Dvoucestný usměrňovač

Dvoucestný usměrňovač zpracovává kladnou i zápornou půlvlnu střídavého sinusového napětí. V současné době se téměř výhradně používá zapojení čtyř diod zapojených do můstku. Ještě se nabízí jedna možnost zapojení dvoucestného usměrňovače.

Transformátor se symetrickým sekundárním vinutím a dvěma diody. Z ekonomického hlediska je ale v současné době toto zapojení nevýhodné.

Dvoucestný usměrňovač oproti jednocestnému má při stejném odběru proudu a stejné kapacitě filtračního kondenzátoru menší zvlnění, tudíž kvalita vyrobeného stejnosměrného napětí je daleko vyšší. Je to dáno tím, že filtrační kondenzátor u dvoucestného usměrňovače se dobíjí kladnou i zápornou půlvlnou. U jednocestného usměrňovače se filtrační kondenzátor dobíjí každou druhou půlvlnou, tedy za jednou tak delší čas.

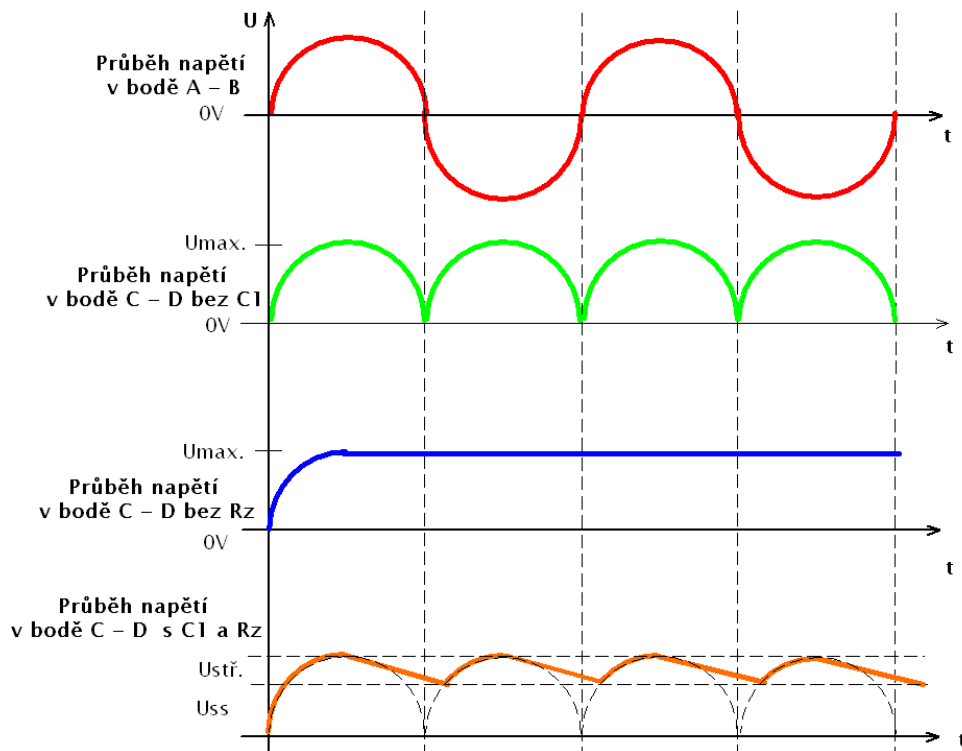
Je-li v bodě A kladné napětí a v bodě B záporné napětí, potom diody D3 a D4 budou ve vodivém stavu a diody D1 a D2 budou v závěrném stavu. Kondenzátor C1 se nabije s naznačenou polaritou. Bude-li kladné napětí v bodě B budou ve vodivém stavu diody D1 a D2 a diody D3 a D4 budou v závěrném stavu, a kondenzátor se nabije se stejnou polaritou. **Obr. č. 9.3.** Průběhy napětí na dvoucestném usměrňovači S případně bez C1 a se zátěží  $R_z$  je na **Obr. č. 9.4.**



Obr. č. 9.3.

Hodnotu kondenzátoru  $C_1$  pro dvoucestný usměrňovač je možné vypočítat za vztahu

$$C_1 = \frac{300}{R_z * p} \text{ [ } \mu\text{F, k}\Omega, \% \text{ ]}$$



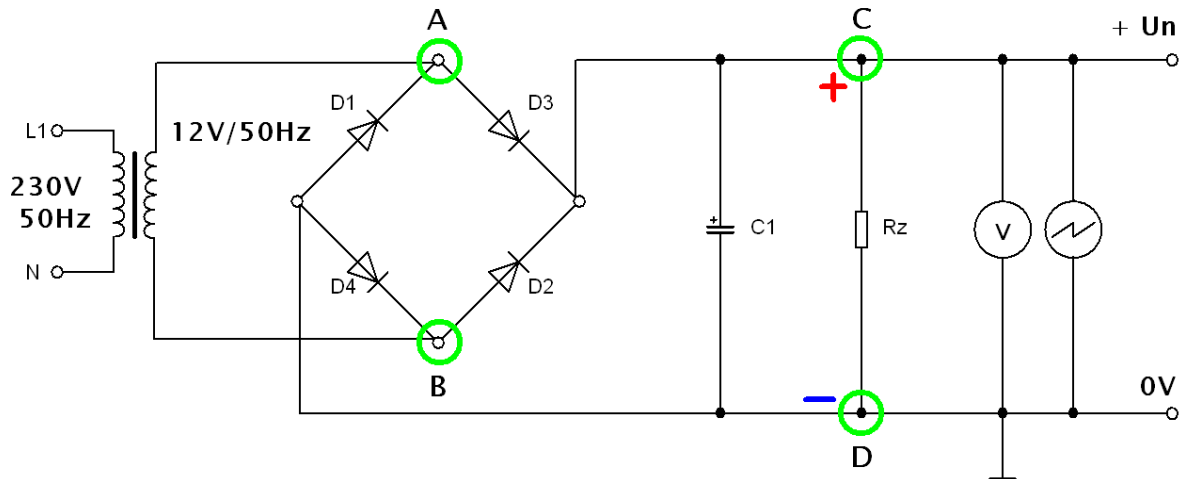
Obr. č. 9.4.



### Praktická práce:

Změřte a do sešitu zakreslete průběhy napětí na zatíženém dvojcestném usměrňovači. Spočítejte zvlnění usměrňovače a porovnejte jednocestný a dvojcestný usměrňovač s ohledem na zvlnění a kapacitu kondenzátoru  $C_1$

### Schéma zapojení: Obr. č. 9.5.



Obr. č. 9.5.

### Zadání:

Maximální odebraný proud ze usměrňovače  $I_{RZ \max} = 100\text{mA}$ . Maximální dovolené zvlnění je  $p_{\text{Max}} = 5\%$

### Postup:

- spočítejte kondenzátor  $C_1$  pro zadané zvlnění  $p$
- spočítejte hodnotu odporu  $R_Z$  pro  $I_{RZ \max}$ .
- sestrojte elektrický obvod
- změřte a do tabulky zapište napětí v bodě A – B a C – D
- změřte a do sešitu zakreslete průběh napětí na dvoukanálovém osciloskopu v bodě A - B a C – D
- porovnejte průběhy napětí na dvoukanálovém osciloskopu, není-li do obvodu zapojen kondenzátor  $C_1$
- spočítejte a do sešitu zapište zvlnění „ $p$ “ a porovnejte ho se zadáním

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

Napětí v bodě A – B = 10V,  $p = 2\%$ ,  $I_{RZ \text{ Max.}} = 50\text{mA}$ , předpokládejme, že  $U_{\text{ef. stř.}} = 0.2\text{V}$ , a  $U_{\text{ss}}$  je 9.8V

- napětí C – B =  $U_{\text{ef}} * 1.4 = 10\text{V} * 1.4 = 14\text{V}$
- $R_z = \frac{U_{\text{cd}}}{I_{Rz \text{ max.}}} = \frac{14\text{V}}{0.05} = 280\Omega$
- $C_1 = \frac{300}{R_z * p} = \frac{300}{0.280 * 2} = 535\mu\text{F}$
- $p = \frac{U_{\text{ef. stř.}}}{U_{\text{ss}}} * 100 = \frac{0.2\text{V}}{9.8\text{V}} * 100\% = 2\%$

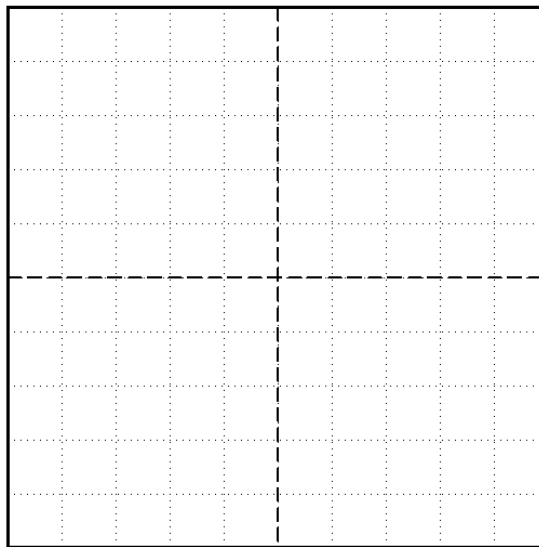
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*

**Tabulka:**

| $R_z$ | $C_1$ | $U_{\text{AB}}$ | $U_{\text{CD}}$ | $U_{\text{ef. stř.}}$ | $U_{\text{ss}}$ | $p$ |
|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----|
|       |       |                 |                 |                       |                 |     |

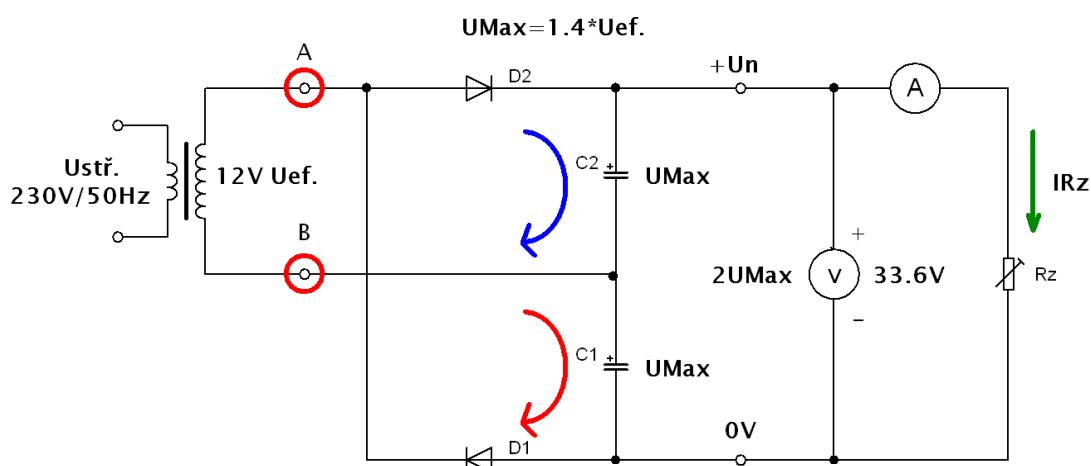
## 10. Násobiče napětí

Úkolem násobičů nebo také zdvojovačů napětí je dodat na výstupní straně vyšší stejnosměrné napětí než je na vstupní straně napětí střídavé. Neboli zapojení se chová jako usměrňovač, s tím že výstupní napětí může být napětí i několikanásobně vyšší.

### Zdvojovač napětí

Zapojení pracuje jako dva jednocestné usměrňovače do dvou kapacitních zátěží. Kapacitní zátěže jsou zapojeny do série a potom na zatěžovacím odporu  $R_z$  bude součet napětí na obou kondenzátorech.

### Schéma zapojení Obr. č. 10.0.



Obr. č. 10.0.

### Popis funkce

Je-li v bodě „A“ kladná půlvlna střídavého napětí, potom je ve vodivém stavu dioda  $D_2$  a na maximální napětí  $U_{Max}$  se nabije kondenzátor  $C_2$ . Je-li kladná půlvlna střídavého napětí v bodě „B“, je vodivá dioda  $D_1$  a na maximální napětí  $U_{Max}$  se nabije kondenzátor  $C_1$ . Na odporu  $R_z$  naměříme napětí o hodnotě  $2 * U_{Max}$ . Při 12V efektivního střídavého napětí to bude 33.6V. To ale platí v případě, že odebíraný proud odporem  $R_z$  je zanedbatelný. Se zvětšujícím se proudem odporem  $R_z$  začne narůstat zvlnění stejnosměrného napětí  $U_n$  na tím začne klesat úroveň napětí obecně. Kvalita vyrobeného stejnosměrného napětí je dána kapacitou kondenzátorů, velikostí odebíraného proudu a kmitočtem neboli jak často se kondenzátory dobíjí.

Je otázkou jak volit vhodnou kapacitu kondenzátorů, pro jaké zvlnění. Protože obvykle známe zatěžovací odpor  $R_z$  je možné orientační hodnotu kapacity kondenzátorů vypočítat ze vztahu.

$$C \geq \frac{0.5}{f * R_z} \quad [ F ; Hz , \Omega ]$$

Toto zapojení je velice jednoduché a nenáročné, ale je vhodné pouze pro malé odběry proudu, kde není požadovaná vysoká kvalita stejnosměrného napětí. V dnešní době zřejmě pozbývá většího významu. V převážné většině tyto požadavky na elektronické zapojení jsou řešeny spínanými zdroji napětí.

Kondenzátory musí být dimenzovány minimálně na napětí  $2 \cdot U_{Max}$ . A diody musí mít závěrné napětí větší než je  $2 \cdot U_{Max}$ .

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte zdvojovač napětí. Spočítejte  $U_{ef}$ , pro zadané  $U_n$ . Změřte zvlnění pro daný odběr proudu.

### Schéma zapojení: Obr. č. 10.0.

#### Zadání:

$U_{ef} = ?$ ,  $U_n = 67V$ ,  $I_{RZ Max.} = 20mA$ ,  $p = ?$

#### Postup:

- spočítejte odpor  $R_z$  pro zadané výstupní napětí a maximální odběr proudu  $I_{RZMax.}$
- spočítejte výkon na reostatu
- spočítejte kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  pro podmínku  $C = \frac{0.5}{f * R_z}$
- obvod sestrojte, změřte a do sešitu zapiště napětí bez připojeného odporu  $R_z$ , a to napětí na  $U_{C1}$ ,  $U_{C2}$   $U_{Rz} = U_{C1} + U_{C2}$
- průběh napětí ověřte osciloskopem
- zapojte zatěžovací odpor  $R_z$  a postupně zvyšujte odbíraný proud až na zadanou hodnotu  $I_{RZMax.}$
- změřte a do sešitu zapiště hodnotu napětí na odporu  $U_{Rz}$
- změřte průběh napětí na odporu  $R_z$  osciloskopem a spočítejte zvlnění  $p$

#### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_{ef} = ?$ ,  $U_n = 33V$ ,  $I_{RZ Max.} = 10mA$ ,  $p = ?$

##### - výpočet odporu $R_z$

$$R_z = \frac{U_n}{I_{Rz}} = \frac{33V}{0.01A} = 3\,300 \, \Omega, \text{ volím reostat } 4k7$$

##### - výkon na reostatu

$$P = U_{Rz} * I_{Rz} = 33V * 0,01A = 0,33W$$

##### - výpočet napětí $U_{ef}$

$$U_n / 2 = U_{max.} = 16,5V$$

$$U_{ef.} = U_{max.} * 0,7 = 16,5V * 0,7 = 11,56V$$

##### - výpočet kondenzátorů $C_1$ a $C_2$

$$C = \frac{0.5}{f * R_z} = \frac{0.5}{50 * 3300} = 2,77\mu F$$

volím nejbližší vyšší kapacitu v řadě  $C_1 = C_2, = 5M$

##### - výpočet zvlnění

$$p = \frac{U_{ef.stř.}}{U_{SS}} * 100,$$

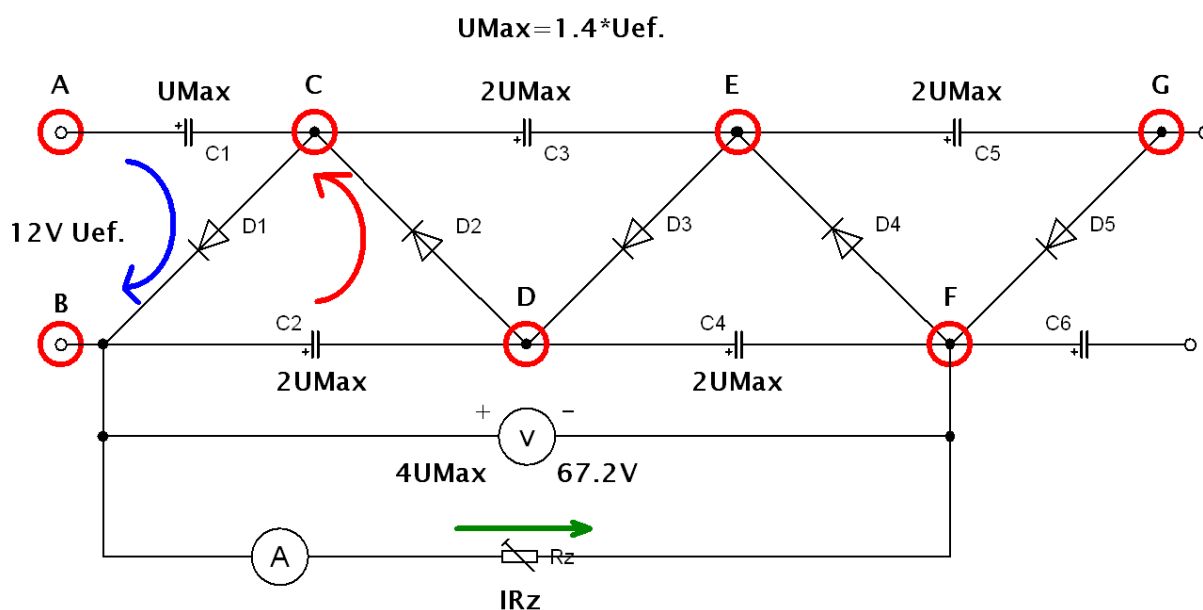
## Tabulka:

| $U_{C1}$ | $U_{C2}$ | $U_{Rz}$ | $\rho$ | $U_{ef.}$ |
|----------|----------|----------|--------|-----------|
|          |          |          |        |           |

## Kaskádní násobič napětí

Ve starší literatuře ho lze nalézt také pod názvem Delonův násobič. Opět se jedná o elektronické zařízení, které ze střídavého sinusového napětí vyrobí napětí stejnosměrné, ale několikanásobně vyšší. Různých násobičů je spousta druhů, ale toto zapojení je asi nejznámější a také nejpoužívanější. Mimo jiné příklady, se násobič používá u klasických obrazovek jak televizorů, ale i osciloskopů, kde se pomocí tohoto násobiče získává vysoké napětí pro napájení anody obrazovky. U barevných televizorů toto anodové napětí dosahovalo až 25kV. Princip funkce je obdobný jako jsme si ukázali u zdvojovače napětí. Postupně se v jednotlivých půlvlnách nabíjejí kondenzátory a výstupní napětí je součet napětí do série zapojených kondenzátorů.

## Schéma zapojení. Obr. č. 10.1.



Obr. č. 10.1.

## Popis funkce

Vstupní střídavé napětí je připojeno na svorky označené „A“ a „B“. Vyjdeme ze situace, když se objeví v bodě „A“ kladná půlvlna napětí. Potom dioda  $D_1$  je ve vodivém stavu a kondenzátor  $C_1$  se přes ni nabije na  $U_{max}$ . V následující půlvlně je kladná polarita v bodě „B“. Ve vodivém stavu bude dioda  $D_2$  a  $C_2$  se přes ni nabije na součet napětí na zdroji plus napětí na  $C_1$ .

$$U_{C2} = U_{Max.} + U_{C1} = 2 * U_{Max.}$$

V další půlvlně je kladné napětí opět v bodě „A“. V tomto okamžiku se obvod uzavírá přes diodu D3 a jsou v serii zapojeny tři zdroje napětí. Sekundární napětí, označme ho  $U_{Max}$ ,  $U_{C1}$  a  $U_{C2}$ . Napětí na kondenzátoru  $C_3$  lze spočítat z Kirchohova zákona jako.

$$+U_{Max} - U_{C1} - U_{C3} + U_{C2} = 0$$

$$U_{C3} = 2 \cdot U_{Max}$$

S dalšími půlvlnami se postupně nabijou všechny kondenzátory, kromě  $C_1$  na napětí  $2 \cdot U_{Max}$ . Výstupní napětí v bobě „B“ a „F“ je potom  $4 \cdot U_{Max}$ . Tato úvaha avšak platí pro nezátížený násobič. Se zvyšujícím se odběrem proudu bude napětí na výstupu násobiče klesat.

Přidáváním dalších stupňů je možné vytvořit násobič šesti osmi a tak dál. Ještě jedna zajímavost. Tento násobič má jeden pól výstupního napětí spojený s jedním vývodem střídavého zdroje.

Kondenzátory musí být dimenzovány minimálně na napětí  $2 \cdot U_{Max}$ . A diody musí mít závěrné napětí větší než je  $2 \cdot U_{Max}$ .

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte násobič napětí. Spočítejte  $U_{ef}$ , pro zadané  $U_n$ . Změřte zvlnění pro daný odběr proudu.

### Schéma zapojení: Obr. č. \*\*

#### Zadání:

$$U_{ef} = ? , \quad U_n = 67V , \quad I_{RZ Max.} = 20mA , \quad p = ?$$

#### Postup:

- spočítejte odpor  $R_z$  pro zadané výstupní napětí a maximální odběr proudu  $I_{RZMax.}$
- spočítejte výkon na reostatu
- spočítejte kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  pro podmínku  $C =$
- obvod sestrojte, změřte a do sešitu zapište napětí bez připojeného odporu  $R_z$ , a to napětí na  $U_{C1}$ ,  $U_{C2}$  a  $U_{C4}$ .  $U_{Rz} = U_{C2} + U_{C4}$
- průběh napětí ověřte osciloskopem
- připojte zatěžovací odpor  $R_z$  a postupně zvyšujte odbíraný proud až na zadanou hodnotu  $I_{RZMax.}$
- změřte a do sešitu zapište hodnotu napětí na odporu  $U_{Rz}$
- změřte průběh napětí na odporu  $R_z$  osciloskopem a spočítejte zvlnění  $p$
- porovnejte zvlnění násobiče a zdvojovače napětí při stejných kapacitách a stejném odběru proudu

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$U_{ef} = ? , \quad U_n = 33V , \quad I_{RZ Max.} = 10mA , \quad p = ?$$

#### - výpočet odporu $R_z$

$$R_z = \frac{U_n}{I_{Rz}} = \frac{33V}{0.01A} = 3300 \Omega , \text{ volím reostat } 4k7$$

- **výkon na reostatu**

$$P = U_{RZ} * I_{RZ} = 33V * 0,01A = 0,33W$$

- **výpočet napětí U<sub>ef</sub>**

$$U_n / 4 = U_{max.} = 8,25V$$

$$U_{ef.} = U_{max.} * 0,7 = 8,25V * 0,7 = 5,77V$$

- **výpočet kondenzátorů C<sub>1</sub> a C<sub>2</sub>**

$$C = \frac{0,5}{f * R_z} = \frac{0,5}{50 * 3300} = 2,77\mu F$$

volím nejbližší vyšší kapacitu v řadě C<sub>1</sub> = C<sub>2</sub>, = 5M

- **výpočet zvlňení**

$$\rho = \frac{U_{ef.stř.}}{U_{ss}} * 100 ,$$

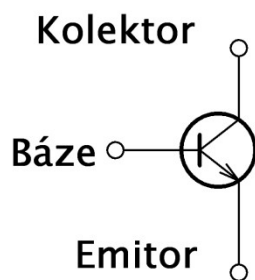
**Tabulka:**

| U <sub>C1</sub> | U <sub>C2</sub> | U <sub>C4</sub> | p | U <sub>ef.</sub> |
|-----------------|-----------------|-----------------|---|------------------|
|                 |                 |                 |   |                  |

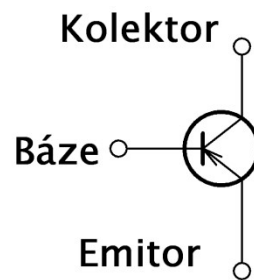
## 11. Bipolární tranzistor

Tranzistor je polovodičová součástka, kterou můžeme rozlišovat podle různých veličin. Například můžeme rozdělit tranzistory na tranzistory unipolární, což jsou tranzistory řízené elektrickým polem a bipolární tranzistory, což jsou tranzistory řízené proudem báze. Ty nás v tomto okamžiku budou zajímat.

Bipolární tranzistor je polovodičová součástka, která je složena ze dvou přechodů P a N. Tranzistor má tři vývody, které nazýváme Emitter Báze a Kolektor a rozlišujeme podle vodivosti dva druhy bipolárních tranzistorů. Tranzistor vodivosti NPN a tranzistor vodivosti PNP. Z hlediska funkce jsou naprosto totožné, ale liší se připojovanou polaritou na jednotlivých vývodech tranzistoru. Schematická značka a názvy jednotlivých vývodů tranzistoru NPN je na Obr. č. 11.0. Na Obr. č. 11. 1. je znázorněn tranzistor vodivosti PNP.



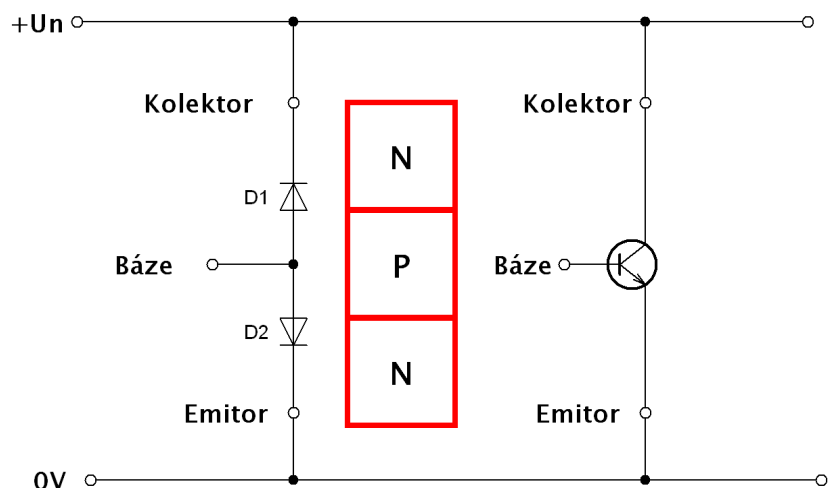
Obr. č. 11.0.



Obr. č. 11.1.

Tranzistor je složen ze dvou přechodů typu P a N. Neboli si ho můžeme představit jako dvě diody zapojené proti sobě, kdy na krajní vodivosti je připojen kolektor a emitor a na prostřední, společnou jak pro emitor tak i kolektor je připojena báze. **Obr. č. 11.2.**

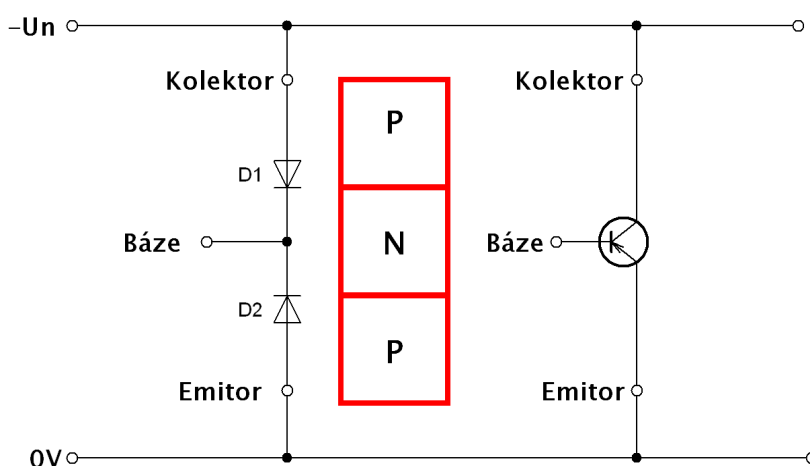
Připojíme-li mezi kolektor a emitor napětí v jakékoliv polaritě, vždy je jeden přechod v závěrném směru. Tudiž přechod mezi kolektorem a emitorem má téměř nekonečný odpor. Ale když připojíme na bázi takovou polaritu, aby přechod mezi bází a emitorem byl ve vodivém stavu, začne protékat proud báze a dojde k prudkému snížení odporu mezi kolektorem a emitorem. Říkáme, že tranzistor je ve vodivém stavu. Jakmile proud mezi bází a emitorem zanikne, odpor mezi kolektorem a emitorem se opět zvýší a bude téměř nekonečně veliký. Říkáme, že tranzistor je v nevodivém stavu. Vodivost přechodu mezi kolektorem a emitorem je závislá na velikosti proudu báze a je možné vodivost mezi kolektorem a emitorem plynule měnit velikostí proudu báze.



Obr. č. 11.2.



Na **Obr. č. 11. 2.** je znázorněna varianta tranzistorem vodivosti NPN. Báze je připojena na přechod typu P., tudíž aby mohl být přechod mezi bází a emitorem v propustném stavu, potom na bázi musí být kladné napětí, a na emitoru záporná polarita. A aby mohl protékat proud mezi kolektorem a emitorem, potom na kolektoru musí být polarita opačná než na emitoru, tudíž kladná. Na **Obr. č. 11.3.** je znázorněna varianta pro tranzistor vodivosti PNP. Princip je naprosto shodný, ale polarita napětí je opačná.

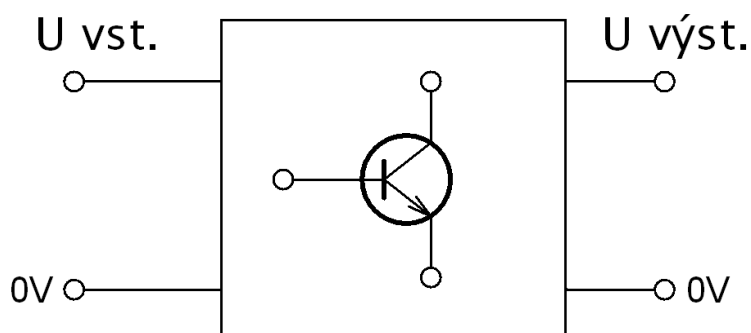


**Obr. č. 11.3.**

Vzhledem k tomu, že tranzistor vodivosti NPN je častěji používán, a to hlavně proto, že většina zapojení má společný záporný pól napájecího napětí. Proto se ve většině případů budeme orientovat na praktická zapojení s tranzistory vodivosti NPN.

Každý elektronický prvek, například zesilovač, ale i tranzistor, si můžeme představit jako čtyřpól. Každý čtyřpól má dvě vstupní svorky a dvě výstupní. Společná svorka označená symbolem 0V nebo taky GND bývá často společná, jak pro vstupní, tak i výstupní napětí, tedy i vodivě spojená jak pro vstupní napětí, tak i pro výstupní napětí.

**Obr. č. 11.4.**



**Obr. č. 11.4.**

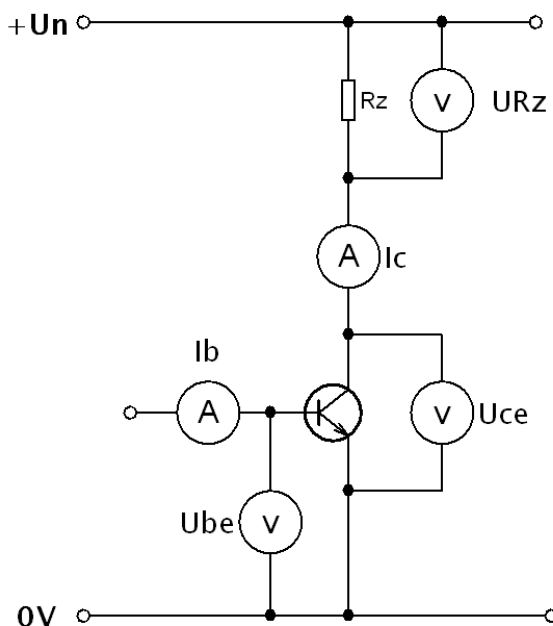
Tranzistor má tři vývody, které se nazývají. Emitor, Kolektor a Báze. Rozeznáváme tři základní zapojení tranzistoru, kdy vždy jedna elektroda tranzistoru je společná pro vstupní i výstupní napětí. Zapojení se společným emitorem, zapojení se společným kolektorem a zapojení se společnou bází. Každé zapojení má jiné elektrické parametry. V současné

době je nejpoužívanější zapojení se společným emitorem, případně kolektorem. Zapojení se společnou bází se v současné době téměř nepoužívá.

Tranzistor je definován spoustou různých veličin, které výrobce uvádí v katalogu, z nichž si uvedeme ty nejzákladnější.

**Obr. č. 11.5.**

- $I_C$  proud protékající kolektorem
- $I_B$  proud protékající mezi bází a emitorem
- $I_E$  proud protékající emitorem  
 $I_E = I_C + I_B$
- $U_{CE}$  napětí mezi kolektorem a emitorem
- $U_{BE}$  napětí mezi bází a emitorem
- $U_{Rz}$  napětí na zatěžovacím odporu  $R_z$
- $h_{21}$  zesilovací proudový činitel  
 $h_{21} = \beta$ , také bývá označován  $h_{FE}$



**Obr. č. 11.5.**

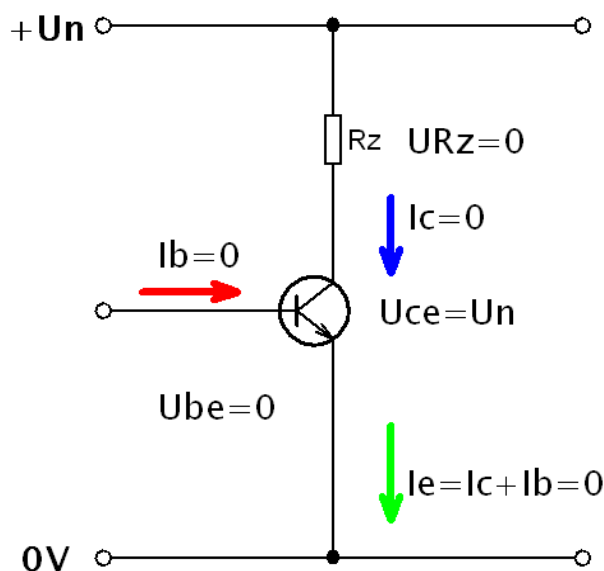
**Tranzistor jako spínač**

Tranzistor může pracovat v různých režimech. Jeden z takovýchto režimů se nazývá spínač. Tranzistor jako spínač se může nacházet pouze ve dvou stavech. Plně otevřený, to je okamžik, kdy odpor přechodu kolektor emitor se blíží  $0\Omega$  a plně uzavřený, to je okamžik, kdy odpor přechodu kolektor emitor se blíží nekonečně velkému odporu.

Zapojení se společným emitorem je nejpoužívanější zapojení. Ukážeme si základní napěťové a proudové poměry na uzavřeném tranzistoru a otevřeném tranzistoru.

**Napěťové a proudové poměry na uzavřeném tranzistoru. Obr. č. 11.6.**

- je-li tranzistor uzavřen, potom  
 $I_B = 0A$
- jestliže neprotéká proud báze, potom  
 $U_{BE} = 0V$
- jestliže je tranzistor uzavřen, potom  
 $I_C = 0A$
- úbytek napětí na  $R_z$  je  
 $U_{Rz} = R_z \cdot I_C = R_z \cdot 0 = 0V$



Obr. č. 11.6.

Z druhého kirchofova zákona  $U_{CE}$

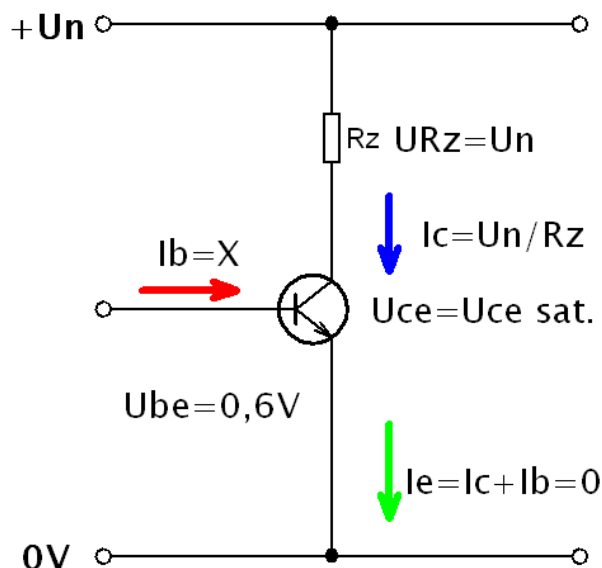
$$U_{CE} = U_n - U_{Rz} = U_n - 0 = U_n$$

Vzhledem k tomu, že při měření na deskách plošných spojů je velice obtížné měřit proud, protože součástky by se musely vyletovávat, a to ve většině případů není možné, potom je elektronik omezen pouze na měření napětí. Z předešlých úvah jsme došli k důležitému poznatku: Uzavřený tranzistor má napětí mezi kolektorem a emitorem roven napájecímu napětí a napětí mezi bází a emitorem musí být nulové.

### Napětové a proudové poměry na otevřeném tranzistoru. Obr. č. 11.7.

- je-li tranzistor otevřen musí protékat proud báze  
 $I_B = x$
- mezi bází a emitorem je v podstatě zapojena dioda v propustném směru, tudíž na ní musíme naměřit prahové napětí.  $U_{BE} = 0,6V$
- je-li tranzistor otevřen, předpokládejme, že odpor přechodu emitor - kolektor se blíží k hodnotě  $0\Omega$  potom, potom proud kolektoru vypočteme  
$$I_C = \frac{U_n}{R_z}$$
- úbytek napětí na odporu  $R_z$  vypočítáme  
$$U_{Rz} = R_z \cdot I_C = U_n$$
- potom  $U_{CE}$  se rovná  
$$U_{CE} = U_n - U_{Rz} = 0V$$

Otevřený tranzistor má napětí mezi bází a emitorem  $0,6V$  a mezi kolektorem a emitorem napětí blížící se nule. Ve skutečnosti mezi kolektorem a emitorem naměříme tak zvané saturační napětí, což je úbytek napětí na plně otevřeném tranzistoru. U tak zvaných univerzálních neboli, běžných tranzistorů malého výkonu bývá přibližně  $0,1V$ .



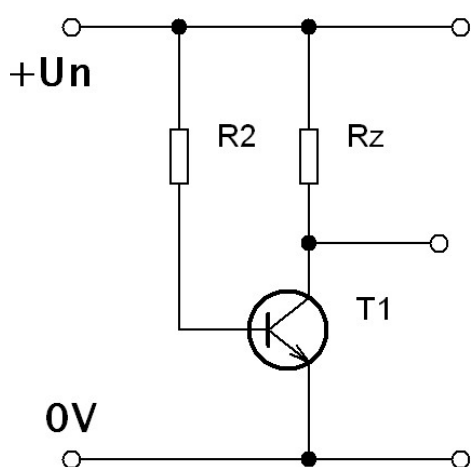
Obr. č. 11.7.

Výrobce se snaží vyrobit takový tranzistor, aby měl saturační napětí pokud možno co nejmenší. U univerzálních typů tranzistorů je saturační napětí přibližně 0,1V a jeho velikost nehraje podstatnou roli. To platí pro tranzistory malých výkonů pro nenáročné aplikace, ale u tranzistorů, které spínají velké proudy hodnota saturačního napětí hraje podstatnou roli a je to jeden z nejdůležitějších parametrů pro správný výběr tranzistoru. V katalogu u tak zvaných spínacích tranzistorů se uvádí odpor mezi kolektorem a emitorem v sepnutém stavu. Často je odpor přechodu označen symbolem  $R_{DS} = ***$ . Nejlepší tranzistory dosahují  $R_{DS}$  v jednotkách miliohmů. Spínací tranzistory jsou určeny pro zapojení, kde pracují ve dvou stavech. Uzavřený nebo otevřený. Je-li uzavřený, neprotéká žádný proud kolektoru. Je-li otevřený, potom protéká veliký proud kolektoru a je důležité, aby úbytek napětí na přechodu byl co nejmenší, aby i ztrátový výkon tranzistoru byl co nejmenší.

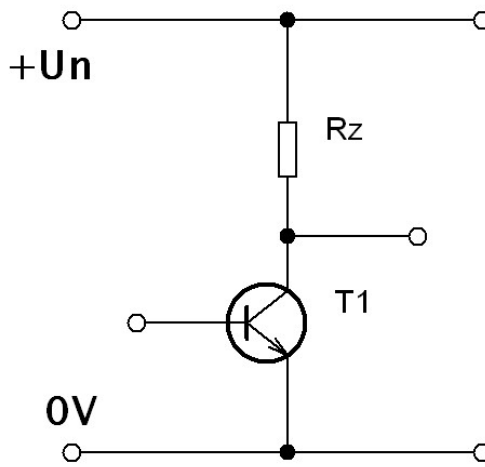
### Praktická práce:

spočítejte a měřením ověřte napětí na plně otevřeném a uzavřeném tranzistoru. Naměřené hodnoty zapište do tabulky.

Schéma zapojení: Obr. č. 11. 9., Obr. č. 11.10.



Obr. č. 11.9.



Obr. č. 11.10.

### Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 10mA$ ,  $I_B = 120\mu A$ , hodnoty  $I_B$  a  $I_c$  jsou vybrány z katalogu pro tranzistor BC546, tak, aby tranzistor byl plně otevřen

### Postup:

Spočítejte odpory  $R_Z$  a  $R_2$ , podle zadání a zvolte nejbližší hodnoty odporů z řady E12. Hodnoty odporů zapište do tabulky.

Sestrojte obvody dle **Obr. č. 11.9.** **Obr. č. 11. 10.** a změřte všechny proudy a napětí v obvodu. Naměřené hodnoty zapište do tabulky a porovnejte se zadáním.

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 25mA$ ,  $I_B = 150\mu A$ , tranzistor BC546

#### – výpočet odporu $R_Z$

z druhého Kirhochova zákona

$$U_n = U_{R_Z} + U_{CE}$$

je-li tranzistor otevřen  $U_{CE} = U_{CESat.} = 0.1V$

$$U_{R_Z} = 10V - 0.1V = 9,9V$$

$$R_Z = \frac{U_{R_Z}}{I_c} = \frac{9,9V}{25mA} = 396\Omega$$

z řady E12 volím odpor  $R_Z = 390\Omega$

#### – výpočet odporu $R_2$

z druhého Kirhochova zákona

$$U_n = U_{R_2} + U_{BE}$$

$$U_{R_2} = U_n - U_{BE} = 10V - 0.6V = 9.4V$$

$$R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_B} = \frac{9,4V}{150\mu A} = 62,7k\Omega$$

z řady E12 volím  $R_2 = 68k\Omega$

### Tabulka:

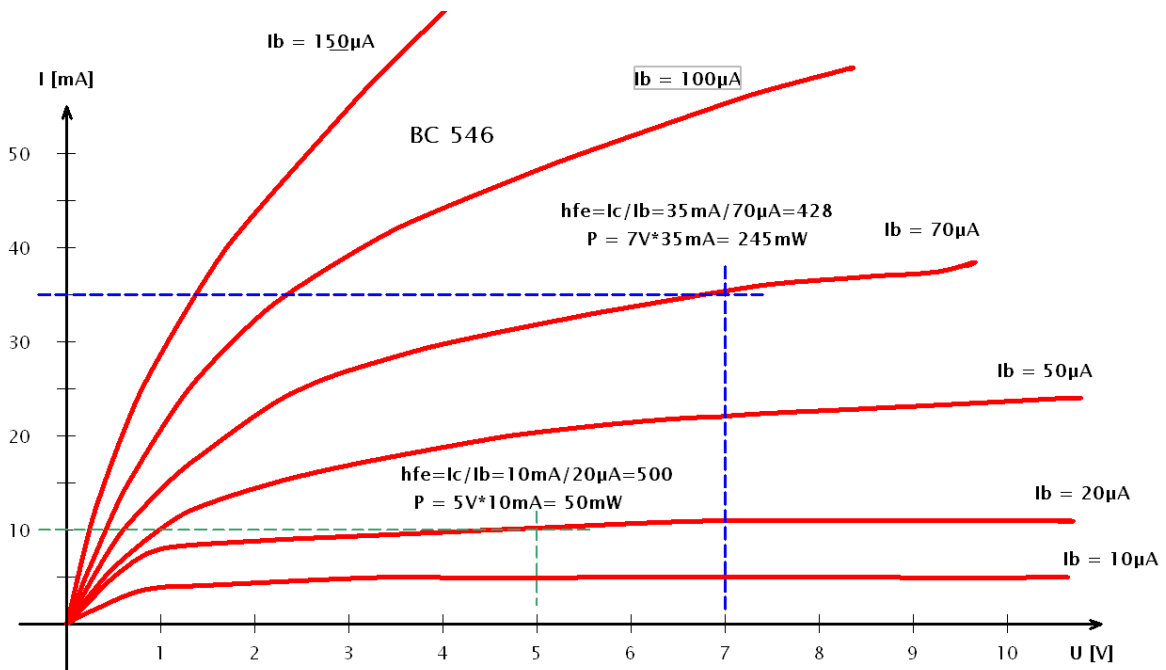
| $R_Z$ | $R_2$ | tranzistor | $I_c$ | $I_B$ | $U_{CE}$ | $U_{BE}$ |
|-------|-------|------------|-------|-------|----------|----------|
|       |       | uzavřený   |       |       |          |          |
|       |       | otevřený   |       |       |          |          |

### Tranzistor jako zesilovač

Kromě toho, že tranzistor se může nacházet ve stavu otevřený - uzavřený, jako jsme si popsali v předešlé části, může se nacházet i teoreticky v nekonečném množství stavů mezi stavem otevřený – uzavřený a to v závislosti na proudu báze tranzistoru. Čím větší proud báze, tím přechod kolektor emitor je vodivější, tudíž má menší odpor přechodu. Vztah mezi proudem báze a kolektoru je charakterizován tak zvaným zesilovacím

proudovým činitelem tranzistoru a je označován  $h_{21}$  nebo též  $h_{FE}$ .  $h_{FE} = \frac{I_c}{I_B}$ . Je to

bezrozměrné číslo, jehož velikost se liší podle typu tranzistoru. Obecně se dá říct, že čím tranzistor má menší výkon, tím větší má zesilovací proudový činitel.  $h_{21}$  je bezrozměrné číslo v rozsahu desítek až stovek. Protože proud báze je vždy menší než proud kolektoru, tranzistor se může chovat jako zesilovač. Jedním z nejdůležitějších parametrů tranzistoru, je tak zvaná výstupní Voltampérová charakteristika tranzistoru. Je to vztah mezi proudem kolektoru  $I_c$ , napětím mezi kolektorem a emitorem  $U_{CE}$ , při konstantním proudu báze  $I_B$ .



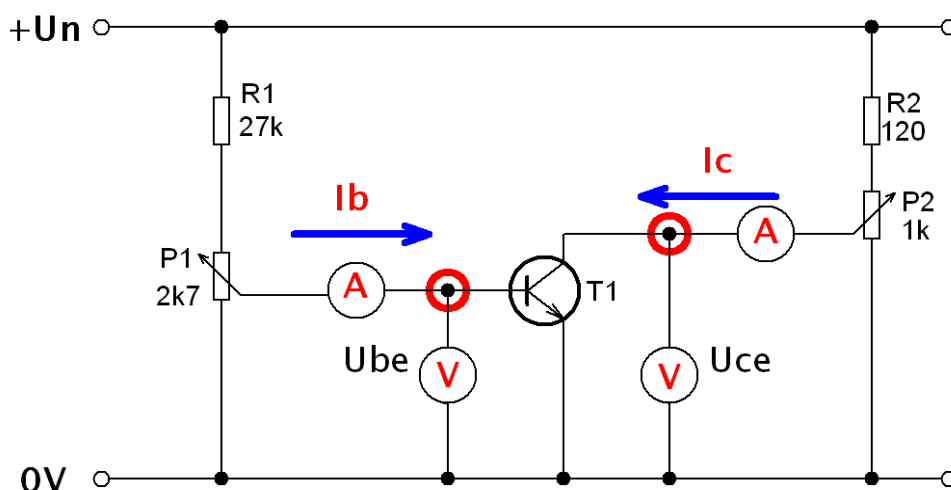
Obr. č. 11.11.

Na obrázku **Obr. č. 11. 11.** je výstupní voltampérová charakteristika tranzistoru tak zvaného univerzálního tranzistoru například BC 546. Jak ji lze používat? Například potřebujeme-li, aby proud kolektoru byl 10mA a mezi kolektorem a emitorem při tomto proudu bylo napětí 5V, potom proud báze musí být 20 $\mu$ A, ale nesmíme překročit maximální povolený ztrátový výkon. V tomto případě je ztrátový výkon tranzistoru 50mW.

**Praktická práce:**

Změřte a do sešitu zakreslete výstupní voltampérovou charakteristiku tranzistoru BC546.

**Schéma zapojení: Obr. č. 11.12.**



Obr. č. 11.12.

**Zadání:**

$U_n = 10V$ ,  $T_1 = BC546$ ,  $R_1 = 27k$ ,  $P_1 = 2k7$ ,  $P_2 = 1k$ ,  $R_2 = 120$

**Postup:**

- sestrojte obvod dle schéma
- ověřte správnou činnost elektronického obvodu  
nastavte  $P_2$  asi do poloviny své dráhy a  $P_1$  na nulovou hodnotu napětí na jezdcí  $P_1$   
připojte napájecí napětí a otáčejte  $P_2$   
musí narůstat proud báze  $I_B$  a proud kolektoru  $I_C$  až do 80mA  
po celou dobu měření je nutné hlídat teplotu tranzistoru a udržovat ji přibližně do třiceti stupňů
- odpojte odpor  $R_2$ , který zde omezoval překročení maximálního proudu kolektoru a potenciometr  $P_2$  připojte mezi svorku  $U_n$  a 0V. Za určitých okolností by  $R_2$  mohl zkreslovat měření
- potenciometrem  $P_1$  nastavte proud báze  $I_B = 20\mu A$
- potenciometrem  $P_2$  po 1V postupně zvyšujte napětí až do 10V a proud  $I_C$  zapisujte do tabulky
- po dosažení proudu  $I_C = 80mA$  měření pro daný proud báze ukončete
- toto měření opakujte pro proudy báze  $I_B = 50\mu A$ ,  $I_B = 75\mu A$ ,  $I_B = 120\mu A$ ,  $I_B = 150\mu A$
- případně měření proveďte i pro další proudy báze, a to tak, aby jednotlivé křivky pro určité proudy báze byly na V/A charakteristice rovnoměrně rozloženy
- z naměřených hodnot zhotovte graf závislosti  $I_C = f[U_{CE}]$  při  $I_B$  konst.
- spočítejte a do sešitu zapište zesilovací činitel tranzistoru pro tři pracovní body  $U_{CE} = 5V$ ,  $I_C = 10mA$ ,  $I_C = 25mA$ ,  $I_C = 40mA$ . Zesilovací činitele mezi sebou porovnejte
- daný typ tranzistoru vyhledejte v konstrukčním katalogu a naměřené hodnoty porovnejte s parametry udávanými výrobcem
- do sešitu vypište z katalogu základní parametry daného tranzistoru

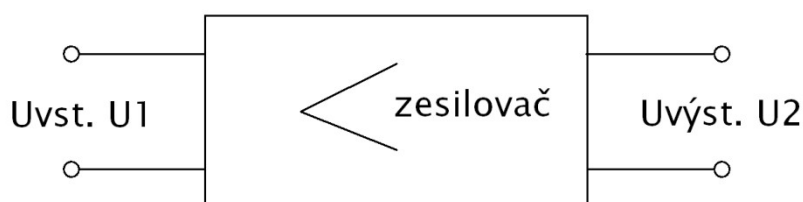
**Tabulka:**

| UCE              | 0V | 1V | 2V | 3V | 4V | 5V | 6V | 7V | 8V | 9V | 10V |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| $I_B = 20\mu A$  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| $I_B = 50\mu A$  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| $I_B = 75\mu A$  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| $I_B = 120\mu A$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| $I_B = 150\mu A$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

## Práce s decibely

Pro práci s veličinami, jejichž rozsah hodnot je veliký, je výhodné používat logaritmické měřítko. Například změna kmitočtu 100mV o 10mV je stejně významná, jako změna kmitočtu 1 000mV o 100mV. To znamená, že například v grafickém vyjádření by bylo výhodné, aby délka úsečky mezi napětím 100mV a 110mV byla stejná jako délka úsečky mezi napětím 1 000mV a 1 100mV, což platí právě pro logaritmické měřítko.

Proto je zavedena jednotka decibel s označením dB, což je poměr dvou stejných veličin a to buď napětí, proudu nebo výkonu, například na vstupu a výstupu zesilovače. Je-li výstupní veličina větší než vstupní, hovoříme o zisku a výsledek je kladný. Například +10dB. Je-li výstupní veličina menší než vstupní hovoříme o útlumu a výsledek je záporný. Například -10dB. Je-li vstupní a výstupní veličina shodná, zisk  $A_u = 1$ , potom zisk  $A_u = 0\text{dB}$ . **Obr. č. 11.13.**



**Obr. č. 11.13.**

Pro výpočet zisku nebo útlumu vstupního a výstupního výkonu platí vztah

$$A_u = 10\log.[\text{dB}, W, W]$$

Pro výpočet zisku nebo útlumu vstupního a výstupního napětí platí vztah

$$A_u = 20\log.[\text{dB}, V, V]$$

Pro výpočet zisku nebo útlumu vstupního a výstupního proudu platí vztah

$$A_u = 20\log.[\text{dB}, A, A]$$

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$\log. 1 = 0$$

$$\log. 2 = 0,3$$

$$\log. 5 = 0,7$$

$$\log. 10 = 1$$

$$\log. 100 = 2$$

$$\log. 1000 = 3$$

$$\log. 0,1 = -1$$

$$\log. 0,01 = -2$$

$$\log. 0,001 = -3$$

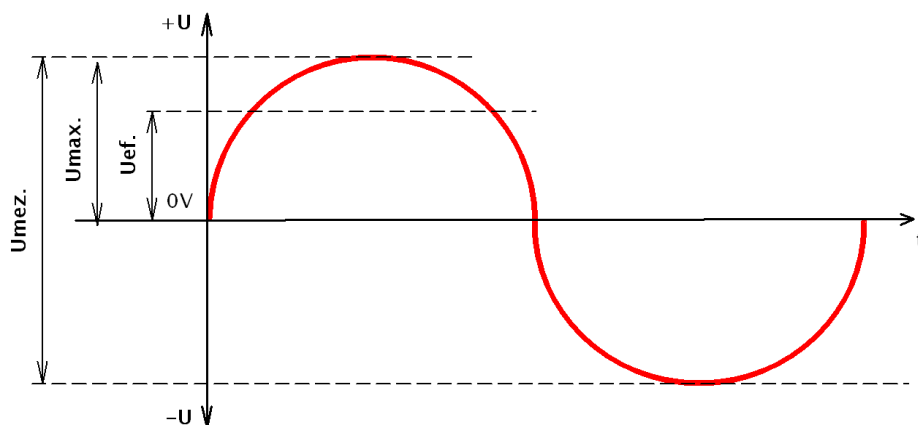
- je-li vstupní napětí na zesilovači 100mV a výstupní napětí 200mV, tedy dvojnásobné
- $A_u = 20\log.[\text{dB}, V, V] = 20\log. 2 = 20 * 0,3 = +6\text{dB}$
- je-li vstupní napětí na zesilovači 100mV a výstupní napětí 1000mV, tedy desetinásobné
- $A_u = 20\log.[\text{dB}, V, V] = 20\log. 10 = 20 * 1 = +20\text{dB}$
- je-li vstupní napětí na zesilovači 1mV a výstupní napětí 100mV, tedy stonásobné
- $A_u = 20\log.[\text{dB}, V, V] = 20\log. 100 = 20 * 2 = +40\text{dB}$

z příkladu je zřejmé, že o každý desetinásobek se zisk zvýší o 20dB



## Zesilování střídavého signálu tranzistorem

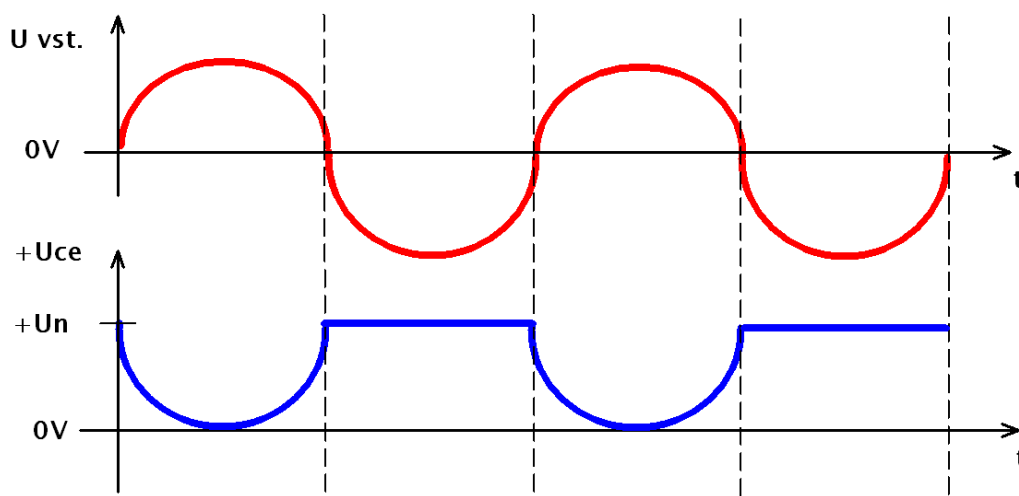
Typickým průběhem střídavého signálu je tak zvaný sinusový průběh napětí. Sinusový průběh napětí je průběh napětí, který se pravidelně mění podle matematické funkce  $\sin \alpha$ . Například z nulové hodnoty napětí narůstá až do maximální kladné hodnoty, zpět klesá k nulovému napětí a následně narůstá do maximální záporné hodnoty. Tuto část průběhu nazýváme jedna perioda střídavého signálu. Střídavý sinusový signál můžeme definovat několika veličinami. Maximálním napětím  $U_{\max.}$ , efektivním napětím  $U_{\text{ef}}$ , mezivrcholovou hodnotou  $U_{\text{mez.}}$ . A dobou periody  $T$ . **Obr. č. 11.14.**



**Obr. č. 11.14.**

Vzhledem k tomu, že vstupní voltampérová charakteristika bipolárního tranzistoru je shodná s voltampérovou charakteristikou diody, tranzistor bez příslušné úpravy není schopen zpracovávat střídavý signál mající kladnou a zápornou hodnotu napětí. Například tranzistor vodivosti NPN by zpracovával pouze kladnou polaritu střídavého signálu a tranzistor vodivosti PNP by zpracovával pouze zápornou polaritu střídavého signálu.

**Obr. Č . 11.15.** Narůstá-li vstupní kladné napětí na bázi tranzistoru NPN, tranzistor se otevírá a  $U_{\text{CE}}$  klesá. Následně kladné napětí klesá zpět k nulové hodnotě napětí, tranzistor se zpět zavírá a  $U_{\text{CE}}$  narůstá až na hodnotu  $U_n$ . Při záporné hodnotě vstupního střídavého signálu, je-li tranzistor zavřený, se více uzavřít nemůže, tudíž zápornou hodnotu střídavého signálu nezpracovává a dochází ke stoprocentnímu zkreslení.

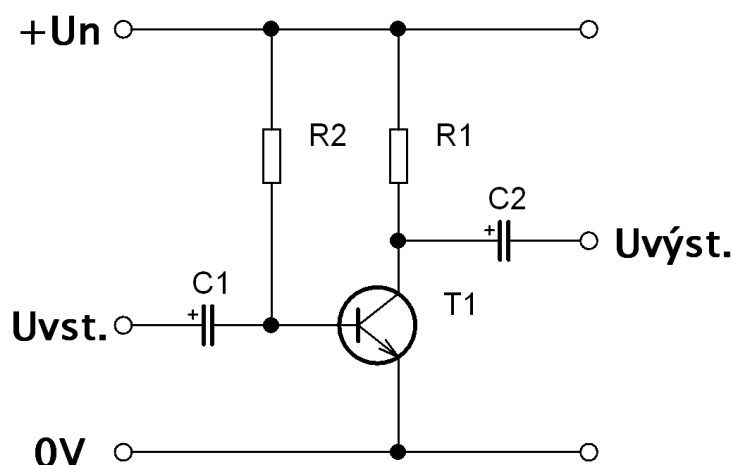


**Obr. č. 11.15.**

Aby bipolární tranzistor byl schopen zpracovávat střídavý signál, je nutné tranzistoru nastavit tak zvaný pracovní bod. Nastavením pracovního bodu rozumíme částečné otevření tranzistoru. Například tak, aby  $U_{CE}$  se rovnalo polovině napájecího napětí.  $U_{CE} = \frac{1}{2} U_n$ . Nastavit pracovní bod tranzistoru je možné několika způsoby, které mají současně určité typické elektrické vlastnosti.

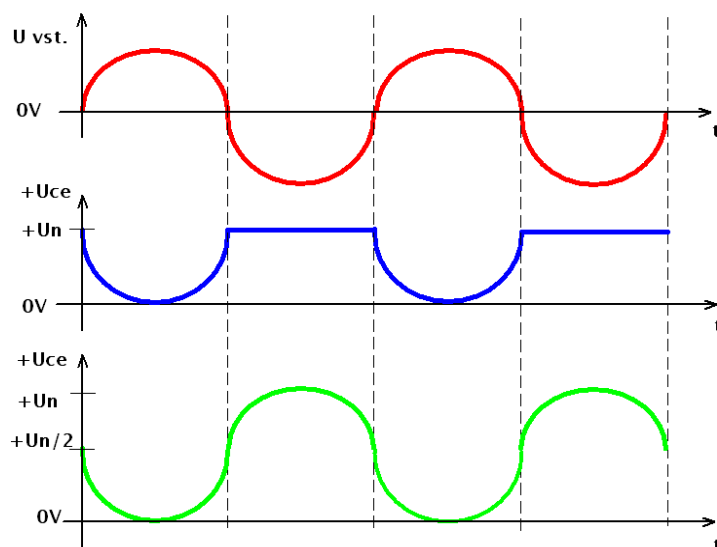
## 12. Nastavení pracovního bodu tranzistoru

Nastavení pracovního bodu tranzistoru sériovým odporem v bázi tranzistoru.  
Obr. č. 12.0.



Obr. č. 12.0.

Nastavení pracovního bodu tranzistoru se sériovým odporem v bázi tranzistoru je z elektrického hlediska velice jednoduché, ale z hlediska teplotní stabilizace je teplotně nestabilní, a proto málo používané. Případně je vhodné pro nenáročné aplikace. S narůstající kladnou půlvlnou se tranzistor otevírá a  $U_{CE}$ , nebo-li  $U_{vyst.}$  klesá až k  $U_{CE} = 0V$ . Následně kladná půlvlna klesá k nulové hodnotě napětí a  $U_{CE} = \frac{1}{2} U_n$ . Při záporné půlvlně vstupního napětí se tranzistor více uzavírá,  $U_{CE}$  narůstá až k napájecímu napětí  $U_n$ . Tranzistor zpracovává obě půlvlny vstupního napětí, ale když vstupní napětí narůstá, výstupní napětí  $U_{CE}$  klesá. Říkáme, že tranzistor v zapojení se společným emitorem otáčí fázi zpracovávaného vstupního napětí. **Obr. č. 12.1.** Červený průběh napětí je průběh vstupní napětí na tranzistoru, modře je vyznačen průběh napětí, není-li nastaven pracovní bod tranzistoru a zelenou barvou je zakreslen výstupní průběh napětí na tranzistoru s nastaveným pracovním bodem  $U_{CE} = \frac{1}{2} U_n$ .



Obr. č. 12.1.

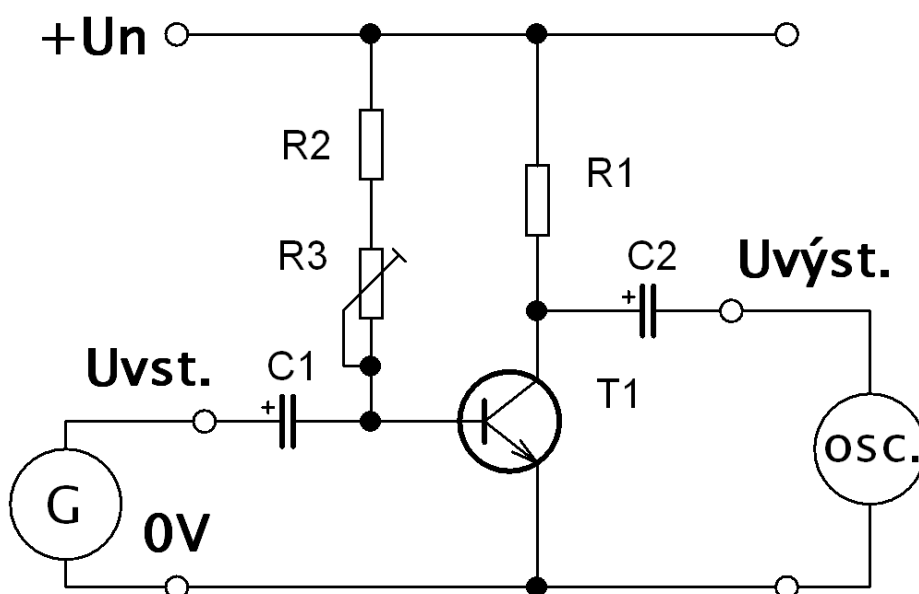
### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověř nastavení pracovního bodu tranzistoru se sériovým odporem v bázi tranzistoru. Průběhy napětí  $U_{v.st.}$  /  $U_{výst.}$  na obrazovce dvoukanálového osciloskopu zakreslete do sešitu.

### Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 5mA$ ,  $U_{CE} = 1/2U_n$ ,  $U_{BE} = 0.6V$ ,  $I_B$  = spočítejte z  $h_{21E}$ , kapacitu vazebních kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$  je nutné zvolit tak, aby v přenášeném kmitočtovém pásmu jejich impedance byla zanedbatelná. V nf kmitočtovém pásmu spolehlivě vyhoví  $C_1 = 10M$ ,  $C_2 = 10M$ ,  $T_1 = BC 546$ ,  $I_{BMax.} = 1mA$

Schéma zapojení: Obr. č. 12.2.



Obr. č. 12.2.

### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}$
- spočítejte odpory  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  dle zadání  
odpor  $R_2$  je omezující odpor, abychom nepřekročili  $I_{BMax.}$
- sestrojte obvod dle schéma
- trimrem  $R_3$  nastavte  $U_{CE}$  dle zadání
- změřte a do tabulky zapište  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $U_{CE}$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním
- spočítejte  $h_{21E}$  a porovnejte hodnotu s vypočtenou hodnotou
- do obvodu zapojte generátor a osciloskop a obvod změřte dynamicky

- na generátoru nastavte kmitočet 1kHz a výstupní napětí na generátoru nastavte na hodnotu 0V
- postupně zvyšujte úroveň napětí na generátoru a sledujte průběh napětí na osciloskopu
- do tabulky zapište úroveň napětí na osciloskopu, než začne zesilovač limitovat
- spočítejte a do tabulky zapište napěťový zisk zesilovače v decibelech

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = 15V, I_c = 10mA, I_b = 100\mu A, U_{CE} = 1/2U_n, I_{BMax.} = 1mA$

- **výpočet  $R_1$**   
 $U_{R1}$  z Kirhochova zákona  $U_{R1} = U_n - U_{CE}$   
 $U_{R1} = 15V - 7.5V = 7.5V$   
 $R_1 = \frac{U_{R1}}{I_c} = \frac{7.5V}{10mA} = 750\Omega$   
 z řady E12 ,  $R_1 = 820$

- **výpočet  $U_{R2,3}$**   
 $U_{R2,3} = U_n - U_{BE} = 15V - 0.6V = 14.4V$   
 $R_{2,3} = \frac{U_{R2,3}}{I_b} = \frac{14.4V}{0.1mA} = 144k\Omega$

- **výpočet  $R_2$**   
 odpor  $R_2$  omezuje  $I_{BMax.}$   
 $R_2 = \frac{14.4V}{1mA} = 14.4k\Omega$   
 z řady E12  $R_2 = 15k$

- **Výpočet  $R_3$**   
 $R_3 = R_{2,3} - R_2 = 144k\Omega - 14.4k\Omega = 130k\Omega$   
 z řady E12 ,  $R_3 = M15$

**Tabulka:**

|  | $I_B$ | $I_c$ | $U_{CE}$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | Zisk dB |
|--|-------|-------|----------|-------|-------|-------|---------|
| <b>zadané –<br/>vypočítané<br/>hodnoty</b> |       |       |          |       |       |       |         |
| <b>naměřené<br/>hodnoty</b>                |       |       |          |       |       |       |         |

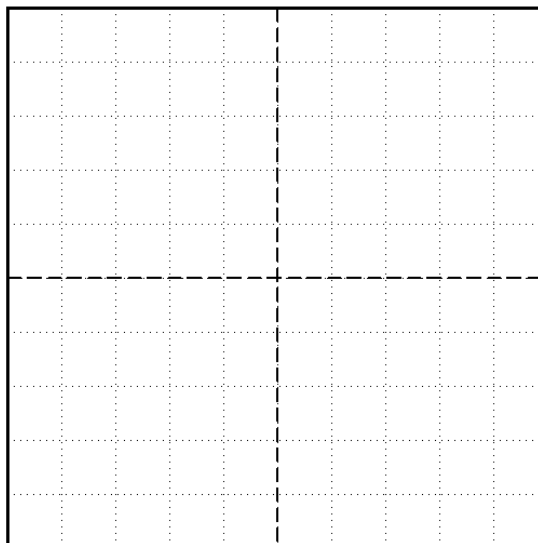
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

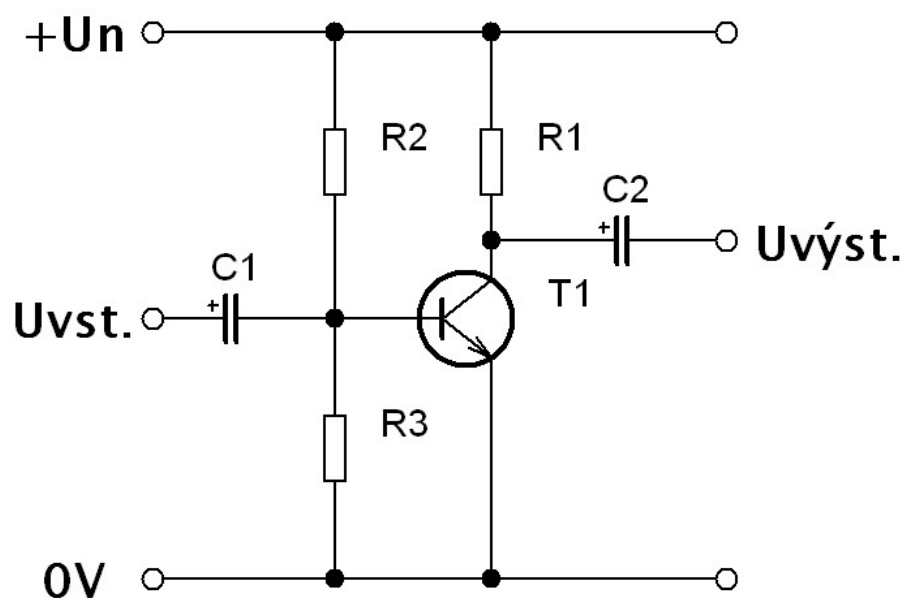
přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



### Nastavení pracovního bodu tranzistoru děličem v bázi tranzistoru

Další možností, jak nastavit pracovní bod tranzistoru je zapojení, které se nazývá zapojení s děličem v bázi tranzistoru. **Obr. č. 12.3.** Proti předešlému zapojení je obvod stabilnější hlavně v oblasti teplotní závislosti, ale jak uvidíme v následujícím zapojení teplotní stabilizace zde v tomto zapojení není spolehlivě vyřešena. Jinými slovy, zapojení je teplotně závislé a ve většině případů toto zapojení v prostředí s velkými teplotními rozdíly, by nebylo schopné spolehlivě pracovat. Stejně jako v předešlém případě tranzistor  $T_1$  se nesmí nacházet ve dvou stavech. Plně otevřený a plně uzavřený. Typický stav je, kdy  $U_{CE} = 1/2U_n$ . Proud děličem musí být pět až desetinásobně vyšší, než odebíraný proud z děliče napětí.

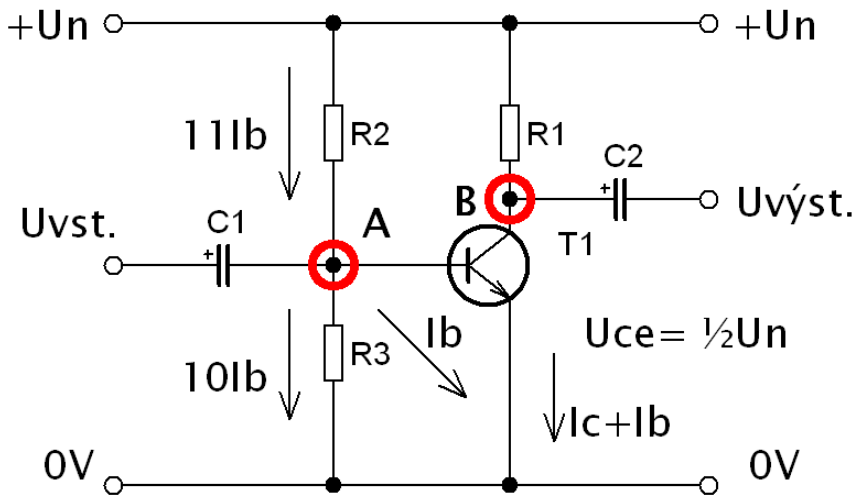


Obr. č. 12.3.

### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověř nastavení pracovního bodu tranzistoru s děličem v bázi tranzistoru. Průběhy napětí  $U_{v.st.} / U_{vyst.}$  na obrazovce dvoukanálového osciloskopu zakreslete do sešitu.

### Schéma zapojení: Obr. č. 12.4.



Obr. č. 12.4.

### Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 5mA$ ,  $U_{CE} = 1/2U_n$ ,  $U_{BE} = 0.6V$ ,  $I_B$  spočítejte z  $h_{21E}$ . Proud děličem  $I_D$  volte desetinásobný než  $I_B$ . Kapacitu vazebních kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$  je nutné zvolit tak, aby v přenášeném kmitočtovém pásmu jejich impedance byla zanedbatelná. V nf kmitočtovém pásmu spolehlivě vyhoví  $C_1 = 10M$ ,  $C_2 = 10M$ ,  $T_1 = BC 546$ . Výpočet odporů  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , proveďte rozbořem elektronického obvodu dle **Obr. č. 12.4**.

### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}$
- spočítejte odpory  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- odpor  $R_3$  případně nahradte vhodným trimrem a nastavte  $U_{CE}$  dle zadání
- změřte a do tabulky zapište  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_D$ ,  $U_{CE}$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním
- spočítejte  $h_{21E}$  a porovnejte hodnotu s vypočtenou hodnotou
- do obvodu zapojte generátor a osciloskop a obvod změřte dynamicky

- na generátoru nastavte kmitočet 10kHz a výstupní napětí na generátoru nastavte na hodnotu 0V
- postupně zvyšujte úroveň napětí na generátoru a sledujte průběh napětí na osciloskopu
- do tabulky zapište úroveň napětí na osciloskopu než začne zesilovač limitovat
- spočítejte a do tabulky zapište napěťový zisk zesilovače v decibelech

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$U_n = 15V, I_c = 10mA, I_b = 100\mu A, U_{CE} = 1/2U_n$$

#### - výpočet $R_1$

$$U_{R1} \text{ z Kirhochova zákona } U_{R1} = U_n - U_{CE}$$

$$U_{R1} = 15V - 7.5V = 7.5V$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_c} = \frac{7.5V}{10mA} = 750\Omega$$

z řady E12,  $R_1 = 820$

#### - výpočet $R_3$

odpor  $R_3$  je zapojen mezi bází a emitor tranzistoru T1, tudíž  $U_{R3} = U_{BE}$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{10I_b} = \frac{0,6V}{1mA} = 600\Omega$$

z řady E12  $R_3 = 680$

#### - výpočet $R_2$

$$U_{R2} = U_n - U_{BE} = 15V - 0.6V = 14.4V$$

$$R_2 = \frac{U_{R2,3}}{11I_b} = \frac{14,4V}{1.1mA} = 14,09k\Omega$$

z řady E12,  $R_2 = 15k$

### Tabulka:

|  | $I_B$ | $I_C$ | $U_{CE}$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | Zisk dB | $I_D$ |
|--|-------|-------|----------|-------|-------|-------|---------|-------|
| <b>zadaný –<br/>vypočítané<br/>hodnoty</b> |       |       |          |       |       |       |         |       |
| <b>naměřené<br/>hodnoty</b>                |       |       |          |       |       |       |         |       |



**Pokus:**

Pájkou ohřejte tranzistor, ale pozor, nesmíte překročit 150°C, jinak dojde ke zničení tranzistoru. Současně měřte napětí  $U_{CE}$ . Do sešitu запиšte  $U_{CE}$  před zahříváním a po zahřátí na určitou teplotu. Z pokusu je zřejmé, jak je tranzistor teplotně závislý. S narůstající teplotou při stejném proudu báze se samovolně zvyšuje proud kolektoru. A teplotní závislost není zanedbatelná neboli při určité teplotě je tranzistor plně otevřený a tudíž nemá nastavený pracovní bod a potom není schopen zpracovávat střídavý signál.

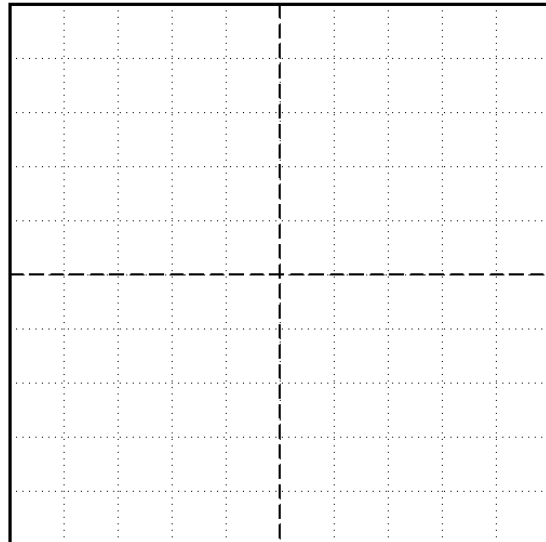
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

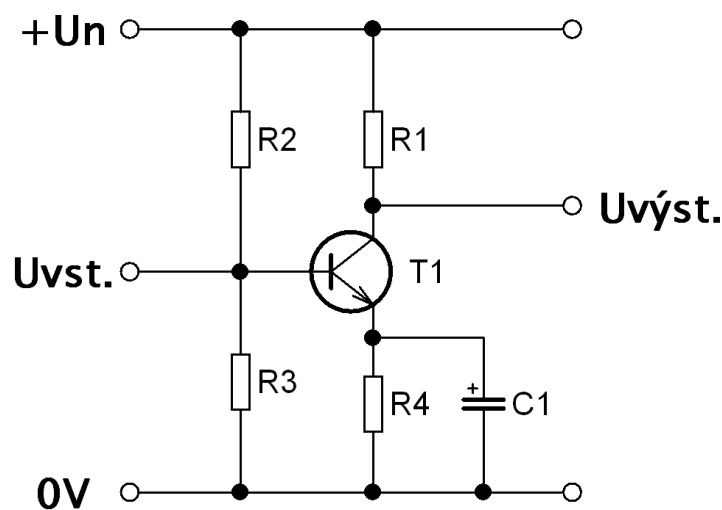
V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*

**Teplotní stabilizace pracovního bodu tranzistoru pomocí zpětné záporné proudové vazby**

Jak jsme si ukázali v předchozím zapojení, bipolární tranzistor je teplotně závislý prvek. Se zvyšující se teplotou, při stejném proudu báze narůstá proud kolektoru. Z tohoto důvodu je nutné, pro většinu aplikací, teplotně stabilizovat pracovní bod tranzistoru. Jedna z možností, které se nabízí je pomocí tak zvané záporné zpětné proudové vazby.

**Obr. č. 12.5.****Obr. č. 12.5.**

## Princip teplotní stabilizace pracovního bodu tranzistoru

V předchozích kapitolách jsme si ověřili, že tranzistor, aby mohl zpracovávat střídavý signál, musí mít nastavený pracovní bod. Tudíž tranzistorem musí protékat proud báze  $I_B$ . A jestliže protéká proud báze, potom mezi bází a emitorem musí být spád napětí 0,6V. Například jestliže je na odporu  $R_4$  je úbytek napětí 1V, potom na odporu  $R_3$  musí být úbytek napětí o 0,6V vyšší, tedy 1,6V. Toto platí, jsou-li tepelné, napěťové a proudové poměry v ustáleném stavu. Ale se zvyšující se teplotou, při stejném proudu báze se samovolně začne zvyšovat proud kolektoru  $I_C$ . To ale vede k tomu, že se na odporu  $R_4$  začne zvyšovat úbytek napětí  $U_{R4}$ , a tím se snižuje spád napětí mezi bází a emitorem  $U_{BE}$ , protože úbytek napětí na odporu  $R_3$  se s vzrůstající teplotou téměř nemění. To vede ke snižování proudu báze  $I_B$  a následně snižování proudu kolektoru na takovou hodnotu, aby mezi bází a emitorem byl spád napětí 0,6V.

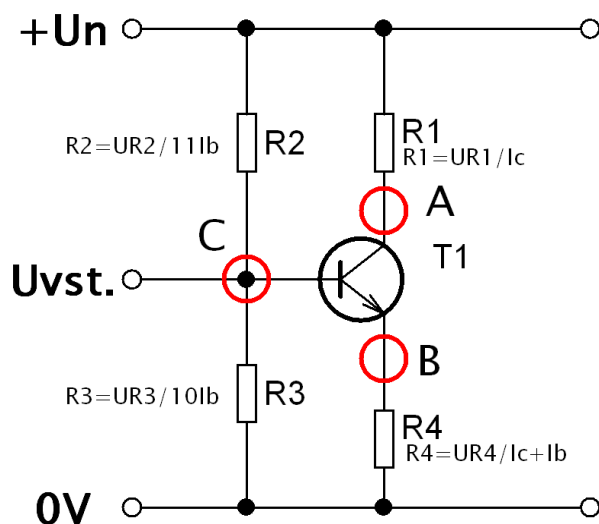
## Kondenzátor $C_1$

Aby se záporná zpětná proudová vazba neuplatňovala i při zpracovávání střídavého signálu, musí být odpor  $R_4$  přemostěn kondenzátorem  $C_1$ , a to o takové kapacitě, aby jeho impedance i při nejnižším zpracovávaném kmitočtu byla zanedbatelná. Jinak řečeno, pokud by v obvodu nebyl zapojen kondenzátor  $C_1$ , tranzistor  $T_1$  by měl malý nebo žádný napěťový zisk, v závislosti na poměru odporů  $R_1$  a  $R_4$ .

## Praktická práce:

Spočítej a měřením ověř nastavení pracovního bodu tranzistoru s teplotní stabilizací pomocí zpětné záporné proudové vazby. Průběhy napětí v bodech  $U_A$  /  $U_B$  /  $U_C$  vzájemně porovnejte na obrazovce dvoukanálového osciloskopu a průběhy napětí zakreslete do sešitu, a to ve dvou případech. S připojeným kondenzátorem  $C_1$  a bez něj.

## Schéma zapojení: Obr. č. 12.6.



Obr. č. 12.6.

## Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 5mA$ . Napětí v bodech  $U_A$  a  $U_B$  jsou vztažena vůči společné svorce 0V.  $U_B = 2V$ ,  $U_A = 6V$ .  $I_B$  spočítejte z  $h_{21E}$ . Proud děličem  $I_D$  volte desetinasobný než  $I_B$ . Kapacitu vazebních kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$  je nutné zvolit tak, aby v přenášeném kmitočtovém pásmu jejich impedance byla zanedbatelná. V nf kmitočtovém pásmu spolehlivě vyhoví  $C_1 = 10M$ ,  $C_2 = 10M$ ,  $T_1 = BC 546$ . Výpočet odporů  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  proveďte rozбором elektronického obvodu dle **Obr. č. 12.6.**

### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$
- spočítejte odpory  $R_1, R_2, R_3, R_4$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- odpor  $R_3$  případně nahraďte vhodným trimrem a nastavte  $U_{CE}$  dle zadání
- změřte a do tabulky запиšte  $I_B, I_C, I_D, U_{CE}$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním
- spočítejte  $h_{21E}$  a porovnejte hodnotu s vypočtenou hodnotou
- do obvodu zapojte generátor a osciloskop a obvod změřte dynamicky
- na generátoru nastavte kmitočet 5kHz a výstupní napětí na generátoru nastavte na hodnotu 0V
- postupně zvyšujte úroveň napětí na generátoru a sledujte průběh napětí na osciloskopu s  $C_1$
- postupně zvyšujte úroveň napětí na generátoru a sledujte průběh napětí na osciloskopu bez  $C_1$
- do tabulky запиšte úroveň napětí na osciloskopu než začne zesilovač limitovat
- spočítejte a do tabulky запиšte napěťový zisk zesilovače v decibelech s  $C_1$  a bez něj

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$U_n = 15V, I_C = 10mA, I_B = 100\mu A, U_B = 3V, U_A = 8V$$

- **výpočet  $R_1$**   
 $U_{R1}$  z Kirchohova zákona  $U_{R1} = U_n - U_{CE} - U_{R4}$   
 $U_{R1} = 15V - 5V - 3V = 7V$   
 $R_1 = \frac{U_{R1}}{I_C} = \frac{7V}{10mA} = 700\Omega$   
z řady E12,  $R_1 = 680$
- **výpočet  $R_4$**   
 $U_{R4}$  je schodné se zadaným napětím v bodě  $U_B$   
 $R_4 = \frac{U_{R4}}{I_C + I_B} = \frac{3V}{10mA} = 300\Omega$   
z řady E12  $R_3 = 330$

- **výpočet  $R_3$**

odpor  $R_3$  je zapojen mezi svorku 0V a bázi tranzistoru  $T_1$ , tudíž

$$U_{R3} = U_{R4} + U_{BE} = 3V + 0,6V = 3,6V$$

$$R_3 = \frac{UR3}{10I_b} = \frac{3,6V}{1mA} = 3600\Omega$$

z řady E12  $R_3 = 3k9$

- **výpočet  $R_2$**

$$U_{R2} = U_n - U_{R3} = 15V - 3,6V = 11,4V$$

$$R_2 = \frac{UR2}{11I_b} = \frac{11,4V}{1.1mA} = 10,36k\Omega$$

z řady E12,  $R_2 = 10k$

**Tabulka:**

|  | $I_B$ | $I_C$ | $U_{CE}$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | Zisk dB<br>s $C_1$ | Zisk dB<br>bez $C_1$ | $I_D$ |
|--|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|--------------------|----------------------|-------|
| <b>zadané –<br/>vypočítané<br/>hodnoty</b> |       |       |          |       |       |       |       |                    |                      |       |
| <b>Naměřené<br/>hodnoty</b>                |       |       |          |       |       |       |       |                    |                      |       |

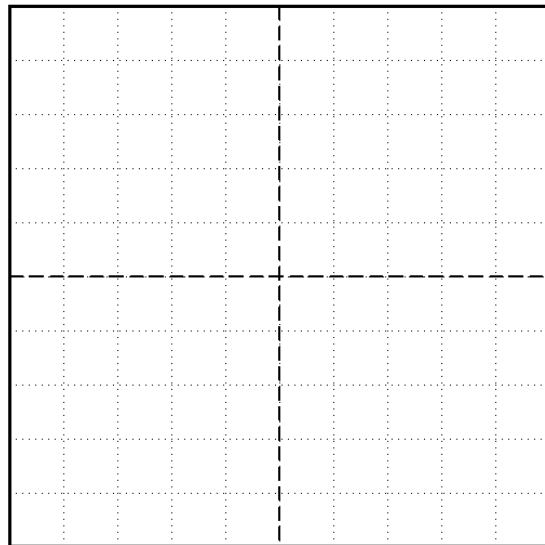
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



**Pokus:**

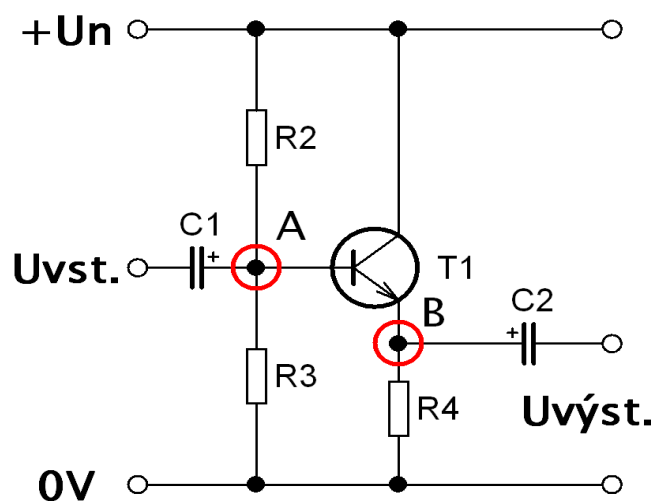
Pájkou ohřejte tranzistor se zápornou zpětnou proudovou vazbou, ale pozor, nesmíte překročit 150°C, jinak dojde ke zničení tranzistoru. Současně měřte napětí  $U_{CE}$  a proud báze  $I_B$ . Napětí  $U_{CE}$  a proud báze  $I_B$  před zahříváním a po zahřátí na určitou teplotu zapište do sešitu. Naměřené hodnoty porovnejte s měřením, kdy tranzistor nemá zapojenou zápornou zpětnou vazbu. Z pokusu je zřejmé, že pracovní bod také pohybuje, ale podstatně méně. A ještě jedna zajímavá věc. Se zahříváním tranzistoru klesá proud báze. To je důkaz, že se zvyšováním teploty při stejném proudu báze se zvyšuje proud kolektoru. Proto má-li být proud kolektoru stálý, musí se při zvýšení teploty snížit proud báze.

## Zapojení tranzistoru se společným kolektorem

Tranzistor je možné zapojit třemi různými způsoby. Tranzistor se společným emitorem, tranzistor se společným kolektorem a tranzistor se společnou bází. Každé zapojení má své specifické elektrické vlastnosti. Z nichž nejdůležitější jsou.

- vstupní odpor tranzistoru
- výstupní odpor tranzistoru
- napěťové zesílení
- proudové zesílení
- maximální zpracovávaný kmitočet

Zapojení tranzistoru se společným emitorem jsme si ukázali v předchozích kapitolách. Zapojení se společnou bází se v současné době moc nepoužívá. Jedinou výhodou tohoto zapojení bylo, že tranzistor v tomto zapojení dosahuje nejvyšších mezních kmitočetů. Ale vzhledem k současné součástkové základně je tato výhoda nepodstatná. Současné tranzistory jsou schopné pracovat na kmitočtech desítek gigaherzů. Třetím a posledním zapojení, je zapojení se společným kolektorem. Hlavní výhodou tohoto zapojení je vysoký vstupní odpor tranzistoru, ale tranzistor v tomto zapojení má napěťové zesílení menší než jedna. Oblast hlavního použití je impedanční přizpůsobení elektronických obvodů. U tranzistoru se společným emitorem jsme si ukázali, že tranzistor v tomto zapojení obrací fázi zpracovávaného signálu o  $180^\circ$ . U zapojení tranzistoru se společným kolektorem je výstupní zpracovávaný signál ve fázi se vstupním napětím. **Obr. č. 12.7.**



Obr. č. 12.7.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte nastavení pracovního bodu tranzistoru v zapojení se společným kolektorem. Průběhy napětí v bodech  $U_A$  /  $U_B$  / vzájemně porovnejte na obrazovce dvoukanalového osciloskopu a průběhy napětí zakreslete do sešitu. Spočítejte napěťové zesílení v jednotkách decibelů a запиšte do tabulky.

### Zadání:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 5mA$ . Napětí v bodu A a B jsou vztažena vůči společné svorce 0V.  $U_B = 5V$ .  $I_B$  spočítejte z  $h_{21E}$ . Proud děličem  $I_D$  volte desetinásobný než  $I_B$ . Kapacitu vazebních kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$  je nutné zvolit tak, aby v přenášeném kmitočtovém pásmu jejich impedance byla zanedbatelná. V nf kmitočtovém pásmu spolehlivě vyhoví  $C_1 = 10M$ ,  $C_2 = 10M$ ,  $T_1 = BC 546$ . Výpočet odporů  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  provedte rozбором elektronického obvodu dle **Obr. č. 12.7.**

Schéma zapojení: **Obr. č. 12.7.**

### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$
- spočítejte odpory  $R_2, R_3, R_4$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- odpor  $R_3$  případně nahradte vhodným trimrem a nastavte  $U_{CE}$  dle zadání
- změřte a do tabulky запиšte  $I_B, I_C, I_D, U_A, U_B$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním
- spočítejte  $h_{21E}$  a porovnejte hodnotu s vypočtenou hodnotou
- do obvodu zapojte generátor a osciloskop a obvod změřte dynamicky
- na generátoru nastavte kmitočet 5kHz a výstupní napětí na generátoru nastavte na hodnotu 0V
- postupně zvyšujte úroveň napětí na generátoru a sledujte průběh napětí na osciloskopu
- do tabulky запиšte úroveň napětí na osciloskopu, než začne zesilovač limitovat
- spočítejte a do tabulky запиšte napěťový zisk zesilovače v decibelech

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$U_n = 15V, I_C = 10mA, I_B = 100\mu A, U_B = 7,5V$$

- **výpočet  $R_4$**   
 $U_{R4}$  je shodné se zadaným napětím v bodě  $U_B$   
$$R_4 = \frac{U_{R4}}{I_C + I_B} = \frac{7,5V}{10mA} = 750\Omega$$
  
z řady E12  $R_4 = 820$
- **výpočet  $R_3$**   
odpor  $R_3$  je zapojen mezi svorku 0V a bázi tranzistoru  $T_1$ , tudíž  
$$U_{R3} = U_{R4} + U_{BE} = 7,5V + 0,6V = 8,1V$$
  
$$R_3 = \frac{U_{R3}}{10I_B} = \frac{8,1V}{1mA} = 8100\Omega$$
  
z řady E12  $R_3 = 8k2$
- **výpočet  $R_2$**   
$$U_{R2} = U_n - U_{R3} = 15V - 8,1V = 6,9V$$
  
$$R_2 = \frac{U_{R2}}{11I_B} = \frac{6,9V}{1.1mA} = 6,27k\Omega$$
  
z řady E12,  $R_2 = 6k8$

Tabulka:

|                        | $I_B$ | $I_C$ | $U_{CE}$ | $I_D$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | Zisk dB |
|------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| zadaný -<br>vypočítaný |       |       |          |       |       |       |       |         |
| naměřený               |       |       |          |       |       |       |       |         |

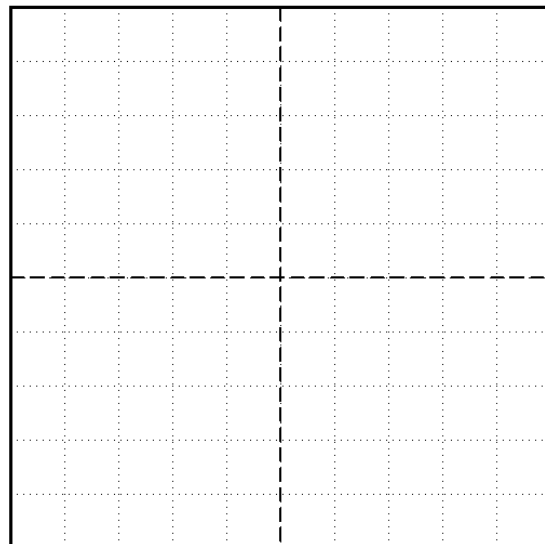
Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



## 13. Rozdílový zesilovač

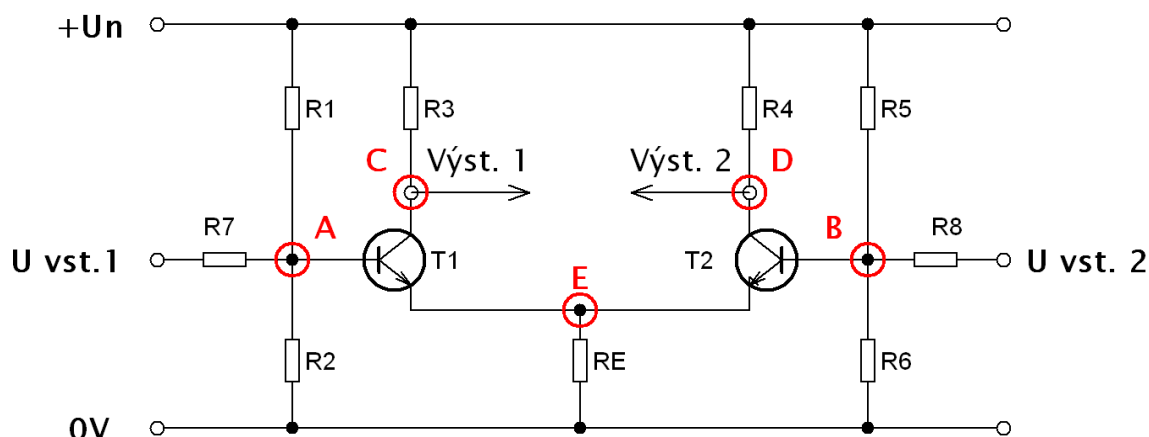
### Popis funkce:

Rozdílový zesilovač nebo se tento obvod také nazývá diferenciální zesilovač. Je to dvojice tranzistorů, které mají společný emitorový odpor, dva vstupy a dva výstupy. Rozdílový zesilovač se jmenuje proto, protože zesiluje nebo přesněji rozpozná rozdíl vstupních napětí na vstupu 1 a na vstupu 2. Jsou-li vstupní napětí shodná, tranzistory nijak nereagují. Výstupní napětí rozdílového zesilovače se nezmění. Ale například budu-li zvyšovat kladné napětí na vstupu 1, tranzistor T1 se bude otevírat, zvyšuje se jeho proud kolektoru, což má za následek zvyšování úbytku napětí na společném emitorovém odporu RE a tím zvyšování napětí v bodě „E“. Ale napětí v bodě „B“ je stejné, tím tranzistor T2 ztrácí spád napětí mezi bází a emitorem, snižuje se jeho proud do báze a T2 se uzavírá. Tím víc čím se T1 otevírá. Samozřejmě to pracuje i opačně, když se otevírá T2, tak se bude T1 zavírat. Odpory R7 a R8 se na vlastní funkci rozdílového zesilovače nijak nepodílejí, plní pouze ochranou funkci, aby nedošlo k překročení maximálního proudu báze. Obvod musí být navržen tak, aby tranzistory nebyly ani otevřeny a ani uzavřeny neboli mají nastavený určitý pracovní bod. Tento obvod se velice často používá například ve vstupních obvodech operačních zesilovačů, ale i v dalších elektronických zařízeních. Koncové nf zesilovače, stabilizované zdroje a další a další elektronická zařízení.

### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověřte rozdílový zesilovač

### Schéma zapojení: Obr. č. 13.0.



Obr. č. 13.0.

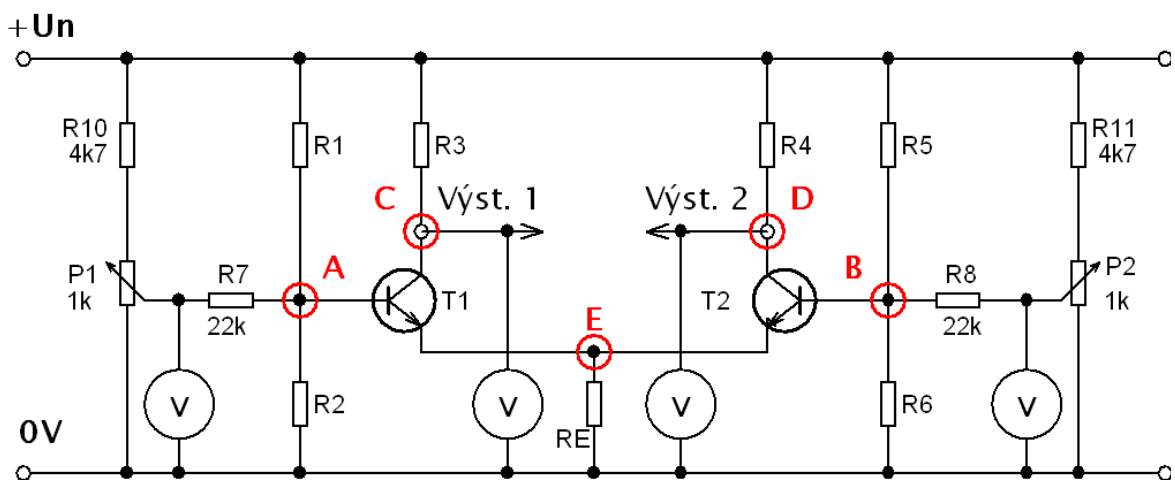
### Zadání:

napájecí napětí  $U_n = 10V$ , proud kolektoru tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$   $I_c = 5mA$   
 $I_B$  spočítejte z  $h_{21E}$  proud děličem  $I_D = 10I_B$   
napětí v bodu „E“  $U_E = 1V$  napětí v bodu „C“ a „D“  $U_C = U_D = 5V$   
všechna zadaná napětí jsou vztažena k společné svorce 0V



### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$
- spočítejte odpor  $R_E$  a odpory  $R_2 \div R_6$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- změřte a do tabulky zapište napětí v bodech „A÷ E“ a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním, případně odpory vhodně upravte
- do obvodu zapojte potenciometry  $P_1$  a  $P_2$ , **Obr. č. 13.1.**
- na jezdcí potenciometru  $P_1$  nastavte shodné napětí jako je v bodě „A“ a postupně zvyšujte napětí na vstupu 1. Zapište do tabulky pět hodnot vstupního / výstupního napětí 1 a 2 až do plného otevření tranzistoru  $T_1$
- na jezdcí potenciometru  $P_2$  nastavte shodné napětí jako je v bodě „B“ a postupně zvyšujte napětí na vstupu 2. Zapište do tabulky pět hodnot vstupního / výstupního napětí 1 a 2 až do plného otevření tranzistoru  $T_2$
- nastavte stejná vstupní napětí a porovnejte výstupní napětí tranzistoru  $T_1$  a  $T_2$



Obr. č. 13.1.

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_n = 15V$ ,  $I_{CT1} = 10mA$ ,  $I_{CT2} = 10mA$ ,  $I_{BT1} = 100\mu A$ ,  $I_{BT2} = 100\mu A$ ,  $U_E = 1,5V$ ,  $U_C = U_D = 7V$ ,  
 $I_D = 10I_B$

- **výpočet odporu  $R_E$**   
napětí na odporu  $R_E$ ,  $U_{RE}$  je shodné se zadaným napětím v bodě  $U_E$   
proud odporem  $R_E$ ,  $I_{RE} = I_{BT1} + I_{CT1} + I_{BT2} + I_{CT2} = 2 \cdot 100\mu A + 2 \cdot 10mA = 20,2mA$   
 $R_E = \frac{U_{RE}}{I_{RE}} = \frac{1,5V}{20,2mA} = 74\Omega$ , z řady E12 volím  $75\Omega$

- **výpočet odporu R<sub>3</sub>**  
z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{R3} + U_{CE} + U_{RE}$   
napětí na odporu R<sub>3</sub>,  $U_{R3} = U_n - (U_{CE} + U_{RE}) = 15V - (5,5V + 1,5V) = 8V$   
proud odporem R<sub>3</sub>,  $I_{R3} = I_C = 10mA$   
 $R_3 = \frac{UR3}{IR3} = \frac{8V}{10mA} = 800\Omega$ , z řady E12 volím 820 $\Omega$
- **výpočet odporu R<sub>4</sub>**  
odpor R<sub>3</sub> = R<sub>4</sub>
- **výpočet odporu R<sub>2</sub>**  
napětí na odporu R<sub>2</sub>,  $U_{R2} = U_{RE} + U_{BET1} = 1,5V + 0,6V = 2,1V$   
proud odporem R<sub>3</sub>,  $I_{R3} = 10I_B = 10 * 100\mu A = 1mA$   
 $R_2 = \frac{UR2}{IR2} = \frac{2,1V}{1mA} = 2\ 100\Omega$ , z řady E12 volím 2k2
- **výpočet odporu R<sub>6</sub>**  
odpor R<sub>6</sub> = R<sub>2</sub>
- **výpočet odporu R<sub>1</sub>**  
z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{R1} + U_{R2}$   
napětí na odporu R<sub>1</sub>,  $U_{R1} = U_n - U_{R2} = 15V - 2,1V = 12,9V$   
proud odporem R<sub>1</sub>,  $I_{R1} = 11I_B = 11 * 100\mu A = 1,1mA$   
 $R_1 = \frac{UR1}{IR1} = \frac{UR1}{IR1} = 11727\Omega$ , z řady E12 volím 12k
- **výpočet odporu R<sub>5</sub>**  
odpor R<sub>5</sub> = R<sub>1</sub>

Tabulka:

| bod    | A | B | C | D | E |
|--------|---|---|---|---|---|
| napětí |   |   |   |   |   |

|         | Uvst.1 |  |  |  | Uvst.2 |  |  |  |
|---------|--------|--|--|--|--------|--|--|--|
| napětí  |        |  |  |  |        |  |  |  |
| Uvýst.1 |        |  |  |  |        |  |  |  |
| Uvýst.2 |        |  |  |  |        |  |  |  |

## 14. Zdroj konstantního proudu

### Popis funkce:

Na Obr. č. 14.0. je zapojení, které se nazývá zdroj konstantního proudu. Mezi vyznačenými svorkami v kolektoru tranzistoru  $T_1$  bude protékat stálý proud, bez ohledu na velikost hodnoty zátěže, to znamená i v případě, kdy zátěž bude mít teoreticky nulový odpor. Samozřejmě, pokud by zátěž měla velký ohmický odpor, začne se proud kolektoru tranzistoru ovlivňovat dle Ohmova zákona. Typické použití je například pro nabíjení malých akumulátorů konstantním proudem nebo nabíjení kondenzátoru konstantním proudem z důvodu požadavku lineárního nárůstu napětí na kondenzátoru.

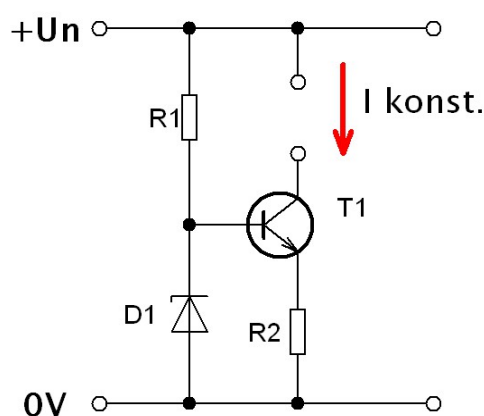
Zenerova dioda udržuje na bázi tranzistoru konstantní napětí, které je shodné se Zenerovým napětím diody  $D_1$ . Odpor  $R_1$  je současně pracovním odporem Zenerovi diody a dále jeho velikost ovlivňuje proud báze tranzistoru  $T_1$ . Odpor  $R_1$  musí být zvolen tak, aby tranzistor  $T_1$  udržoval v plně otevřeném stavu. Proud kolektoru protéká přes odpor  $R_2$  a vytváří na něm úbytek napětí. Jakmile úbytek napětí na odporu  $R_2$  plus  $U_{BE T_1}$  bude roven Zenerovu napětí, tranzistor  $T_1$  začne ztrácet spád napětí mezi bází a emitorem a začne se snižovat proud báze tranzistoru  $T_1$ , a to na takovou hodnotu, kdy bude platit

$$U_z = U_{R_2} + U_{BE T_1}.$$

### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověřte zdroj konstantního proudu s jedním tranzistorem

Schéma zapojení: Obr. č. 14.0.



Obr. č. 14.0.

### Zadání:

napájecí napětí  $U_n = 10V$ ,

konstantní proud kolektoru tranzistoru  $T_1$ ,  $I_c = 20mA$

$I_B$  spočítejte z  $h_{21E}$ , z důvodu dobrého nasycení tranzistoru  $T_1$ , volte  $2I_B$

proud Zenerovo diodou  $I_z = 10I_B$

Zenerovo napětí diody  $D_1$ ,  $U_{ZD1} = 5.1V$

všechna zadaná napětí jsou vztažena k společné svorce 0V

**Postup:**

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}$
- spočítejte odpory  $R_1$  a  $R_2$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- do obvodu kolektoru tranzistoru T1 místo spotřebiče RZ zapojte ampérmetr
- změřte a do tabulky zapište všechna napětí na tranzistoru T<sub>1</sub> a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním, případně odpory vhodně upravte
- změřte a do tabulky zapište proud kolektoru tranzistoru T<sub>1</sub> a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = 15V$ ,  $I_c = 30mA$ ,  $U_z = 5,5V$ ,  
 $I_B$  spočítejte z  $h_{21E}$ , z důvodu dobrého nasycení tranzistoru T<sub>1</sub>, volte  $2I_B$   
 všechna zadaná napětí jsou vztažena k společné svorce 0V

- **výpočet proudu báze tranzistoru T1**  
 za předpokladu že  $h_{21E} = 200$ , potom  

$$I_B = \frac{I_c}{h_{21E}} = \frac{0,03 A}{200} = 150\mu A$$

$$2I_B = 150\mu A * 2 = 300\mu A$$
- **výpočet proudu Zenerovou diodou**  
 $I_z = 10I_B = 10 * 300\mu A = 3mA$
- **výpočet odporu  $R_1$**   
 z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{R1} + U_z$   
 napětí na odporu  $R_1$ ,  $U_{R1} = U_n - U_z = 15V - 5,5V = 9,5V$   
 proud odporem  $R_1$ ,  $I_{R1} = 11I_B = 300\mu A * 11 = 3,3mA$   

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{9,5 V}{3,3 mA} = 2878\Omega$$
 z řady E12 volím 2k7
- **výpočet odporu  $R_2$**   
 $U_{R2} = U_z - U_{BET1} = 5,5V - 0,6V = 4,9V$   
 $I_{R2} = I_c + I_{BT1} = 0,03A + 300\mu A = 0,0303A$   

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{4,9 V}{0,0303 A} = 161\Omega$$
 z řady E12 volím 150 $\Omega$

**Tabulka:**

|                         | $U_z$ | $U_{R1}$ | $I_c$ | $I_z$ |
|-------------------------|-------|----------|-------|-------|
| <b>Maměřené hodnoty</b> |       |          |       |       |

### Praktická práce:

Spočítej a měřením ověřte zdroj konstantního proudu s třemi tranzistory

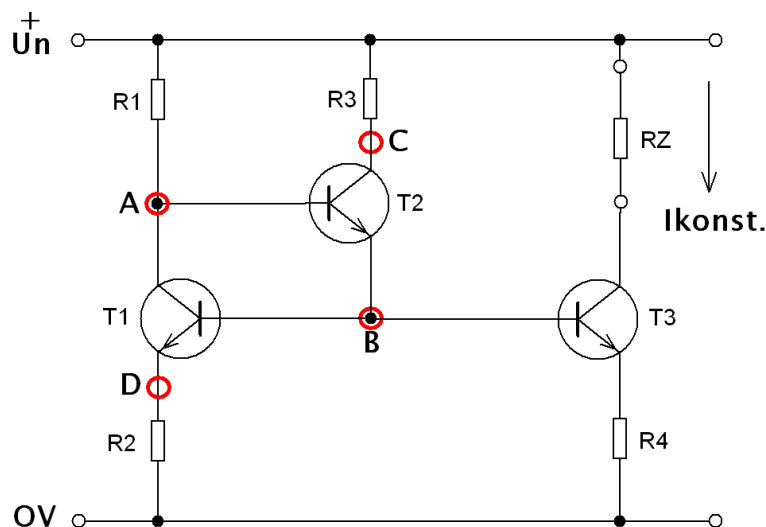
#### Popis funkce:

Na **Obr. č. 14.1.** je zapojení, které se nazývá zdroj konstantního proudu nebo také proudové zrcadlo. Mezi vyznačenými svorkami v kolektoru tranzistoru  $T_3$  bude protékat stálý proud, bez ohledu na velikost hodnoty zátěže  $R_z$ , to znamená i v případě, kdy zátěž bude mít teoreticky nulový odpor. Samozřejmě, pokud by zátěž měla velký ohmický odpor, začne se proud kolektoru tranzistoru ovlivňovat dle ohmova zákona. Typické použití je schodné jako v předchozím případě. Například pro nabíjení malých akumulátorů konstantním proudem nebo nabíjení kondenzátoru konstantním proudem z důvodu požadavku lineárního nárůstu napětí na kondenzátoru. Také toto zapojení bývá součástí vnitřního zapojení operačních zesilovačů.

Předchozí zdroj konstantního proudu využívá jako zdroj referenčního napětí Zenerovu diodu. Zapojení na **Obr. č. 14.0.** vychází z předpokladu, že Zenerovo napětí je nezávislé na změně proudu Zenerovou diodou, tak tomu však úplně není, zenerovo napětí se mění se změnou proudu. Tím dochází k určité nepřesnosti elektronického obvodu. Na **Obr. č. 14.1.** je ukázka zapojení, kdy jako zdroj referenčního napětí je použit přechod báze emitor tranzistoru  $T_2$  v podstatě vynásobený zesilovacím činitelem tohoto tranzistoru. Tím se dosáhne podstatně větší přesnosti a stability celého obvodu.

Po připojení napájecího napětí se přes odpor  $R_1$  otevře tranzistor  $T_2$ . Jakmile se  $T_2$  otevře, přivede do báze tranzistoru  $T_1$  kladné napětí, tím dojde k otevření tohoto tranzistoru. Jak se ale začne otevírat  $T_1$  tím napětí v bodě  $A$  začne klesat, což zpětně vede k uzavření  $T_2$ . Obvod musí být navržena tak, aby tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  nebyly ani otevřeny a ani uzavřeny. To z toho důvodu, aby mohli reagovat na případné změny napětí. Proud odporem  $R_Z$  současně protéká odporem  $R_4$  a vytváří na něm úbytek napětí. Toto napětí se porovnává s napětím v bodě  $B$  a na to tranzistor reaguje tak, aby platilo  $U_B = U_{R_4} + U_{BET_3}$

#### Schéma zapojení: Obr. č. 14.1.



Obr. č. 14.1.

### Zadání:

napájecí napětí  $U_n = 10V$ ,

konstantní proud kolektoru tranzistoru  $T_3$ ,  $I_c = 20mA$

$I_B$  tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$  spočítejte z  $h_{21E}$ ,

napětí v bodech „A“, „B“, „C“, „D“,  $U_A = 4,2V$ ,  $U_B = 3,6V$ ,  $U_C = 6V$ ,  $U_D = 3V$   
všechna zadaná napětí jsou vztažena k společné svorce 0V

### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$  tranzistorů  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}$
- spočítejte odpory  $R_1$  a  $R_4$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- do obvodu kolektoru tranzistoru  $T_3$  místo spotřebiče  $R_Z$  zapojte ampérmetr
- změřte a do tabulky запиšte všechna napětí na tranzistoru  $T_1$  a  $T_3$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním, případně odpory vhodně upravte
- změřte a do tabulky запиšte proud kolektoru tranzistoru  $T_3$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$U_n = 10V$ ,  $I_c = 10mA$ ,

napětí v bodech „A“, „B“, „C“, „D“,  $U_A = 4,5V$ ,  $U_B = 3,9V$ ,  $U_C = 5V$ ,  $U_D = 3,3V$   
všechna zadaná napětí jsou vztažena k společné svorce 0V

- **výpočet proudu báze tranzistoru  $T_1$**   
za předpokladu že  $h_{21E} = 200$ , potom
$$I_B = \frac{I_c}{h_{21E}} = \frac{0,01 A}{200} = 50\mu A$$
- **výpočet odporu  $R_2$**   
napětí na odporu  $R_2$ ,  $U_{R2} = U_D = 3,3V$   
proud odporem  $R_2$ ,  $I_{R2} = I_{CT1} + I_{BT1}$ . Proud báze můžeme zanedbat  $I_{CT1} = 10mA$ 
$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{3,3V}{10mA} = 330\Omega$$
z řady E12 volím  $330\Omega$
- **výpočet odporu  $R_4$**   
odpor  $R_4 = R_2$
- **výpočet odporu  $R_1$**   
z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_A + U_{R2}$   
napětí na odporu  $R_1$ ,  $U_{R1} = U_n - U_A = 10V - 4,5V = 5,5V$   
proud odporem  $R_1$ ,  $I_{R1} = I_c = 10mA$ 
$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{5,5V}{10mA} = 550\Omega$$
z řady E12 volím  $560\Omega$

– **výpočet odporu  $R_3$**

z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_C + U_{R3}$

napětí na odporu  $R_1$ ,  $U_{R3} = U_n - U_C = 10V - 5,5V = 4,5V$

proud odporem  $R_1$  je shodný s proudem báze  $T_1$ ,  $I_{R1} = 50\mu A$

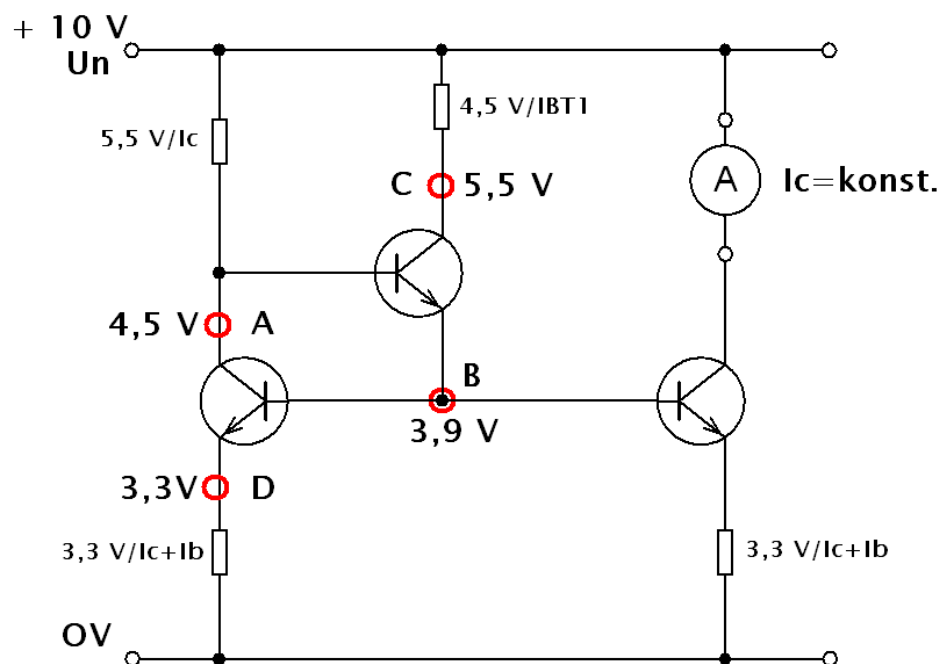
$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} = \frac{4,5V}{50\mu A} = 90k\Omega$$

z řady E12 volím M1

**Tabulka:**

|                         | $U_A$ | $U_B$ | $U_C$ | $U_C$ | $I_{CT1}$ |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| <b>Maměřené hodnoty</b> |       |       |       |       |           |

Napětové a proudové poměry v zdroji konstantního proudu **Obr. č. 14.2.**



**Obr. č. 14.2.**

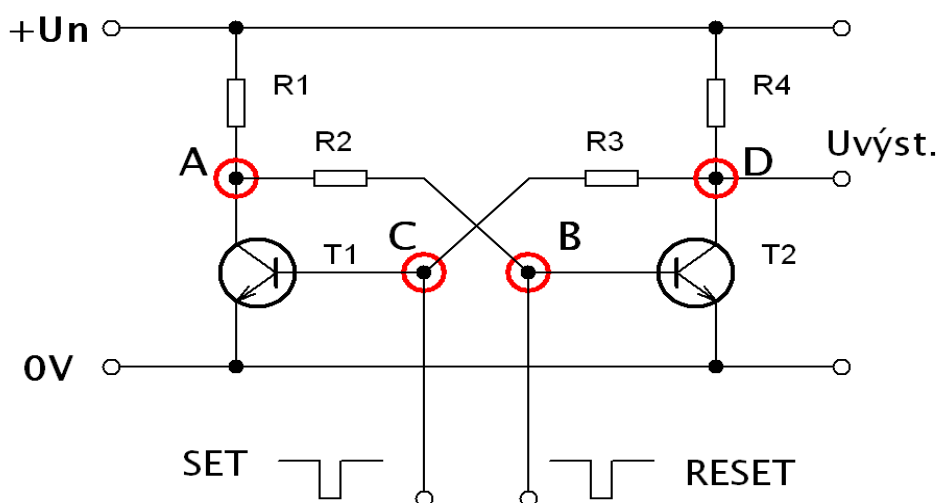
## 15. Klopné obvody

Pod názvem klopné obvody se skrývají čtyři elektronické obvody, které se nazývají. Bistabilní klopný obvod, Astabilní klopný obvod, Monostabilní klopný obvod a Schmittův klopný obvod. Každý má jinou logickou funkci, ale všechny mají jedno společné. V základní elektronické verzi se skládají ze dvou tranzistorů a dále, ve všech čtyřech zapojeních tranzistory pracují v režimu jako spínač, s tím, že nachází-li se jeden tranzistor ve vodivém stavu, druhý je uzavřen a naopak. Všechny čtyři obvody je možné realizovat nejen pomocí tranzistorů, ale například pomocí logických hradel, případně operačních zesilovačů. Vyrábí se také speciální integrované obvody například s šesti určitými klopnými obvody. Nás budou zajímat klopné obvody sestavené z tranzistorů, protože je názorně zřejmé, jak obvod pracuje.

### Bistabilní klopný obvod

Bistabilní klopný obvod BKO má dva stabilní stavy. Tranzistor  $T_1$  je otevřen,  $T_2$  uzavřen nebo  $T_1$  uzavřen a potom  $T_2$  je otevřen. V těchto stavech setrvává tak dlouho, než přijde vnější elektrický impuls, který stavy tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$  změní. Jeho použití je v oblasti číslicové techniky jako jednoduchá polovodičová paměť nebo jako binární dělič kmitočtu.

### Schéma zapojení Obr. č. 15.0.



Obr. č. 15.0.

### Popis funkce

Po připojení napájecího napětí se otevře tranzistor, který má větší zesilovací činitel, neboli je rychlejší. Předpokládejme, že je to tranzistor  $T_1$ . Proud do báze mu protéká přes odpor  $R_4$  a  $R_3$ . Tím bude napětí v bodě „A“ téměř nulové a potom bude nulové napětí i na bázi  $T_2$  a ten zůstane uzavřen. V tomto stavu může elektronický obvod setrvat libovolně dlouho. Přivedeme-li do báze tranzistoru  $T_1$  záporný impuls napětí,  $T_1$  se skokem uzavře, tím napětí v bodě „A“ bude téměř napájecí, na to se otevře  $T_2$  proudem do báze přes  $R_1$  a  $R_2$ . Tím napětí v bodě „D“ bude téměř nulové a tranzistor  $T_1$  zůstane uzavřen.



### Praktická práce:

Spočítejte a měřením odzkoušejte Bistabilní klopný obvod.

### Schéma zapojení: Obr. č. 15.1.

#### Zadání:

$I_C = 5\text{mA}$ ,  $U_n = 10\text{V}$ ,  $U_{CEsat.} = 0,1\text{V}$

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru, z důvodů dobrého nasycení tranzistorů volte hodnotu  $2I_B$ ,

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546I

#### Postup:

- vyberte dva vhodné tranzistory a změřte jejich zesilovací činitel  $h_{21E}$
- spočítejte proud báze pro zadaný proud  $I_C$
- spočítejte kolektorové odpory  $R_1$  a  $R_4$
- spočítejte odpory do báze tranzistorů  $R_2$  a  $R_3$
- z důvodu dobrého nasycení tranzistorů pro výpočet odporů volte hodnotu proudu do báze tranzistorů  $2I_b$
- sestrojte obvod a ověřte jeho funkci, otevřenému tranzistoru vodivě spojte bázi s emitorem. Na to se tranzistor musí uzavřít a druhý otevřít
- změřte a do tabulky zapiště napětí na bázi a kolektoru tranzistoru  $T_1$  a  $T_2$  a to v obou stavech

#### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$I_C = 2\text{mA}$ ,  $U_n = 12\text{V}$ ,  $U_{CEsat.} = 0,15\text{V}$ ,

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru, volte  $2I_B$

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

- **výpočet proudu báze** pro zesilovací činitel  $h_{21E} = 250$

$$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{0,002}{250} = 0,8\mu\text{A}$$

- **výpočet odporů  $R_1$  a  $R_4$**

napětí na odporu  $U_{R1} = U_n - U_{CEsat.} = 12\text{V} - 0,15 = 11,85\text{V}$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_C} = \frac{11,85\text{V}}{0,002\text{A}} = 5925\Omega$$

z řady E12 volím 5k6

$$R_1 = R_4$$

- výpočet odporů  $R_2$  a  $R_3$

napětí na odporu  $U_{R2} = U_n - U_{BE} = 12V - 0,6 = 11,4V$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{2I_b} = \frac{11,6V}{1,6\mu A} = 7250k\Omega$$

z řady E12 volím 6M8

$$R_2 = R_3$$

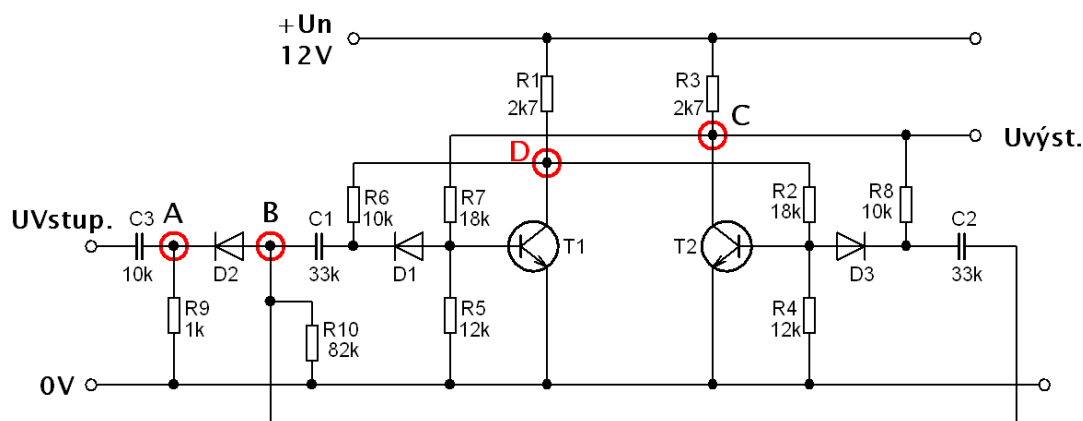
**Tabulka:**

|          | T1   | T1       | T2   | T2       |
|----------|------|----------|------|----------|
|          | báze | kolektor | báze | kolektor |
| otevřený |      |          |      |          |
| uzavřený |      |          |      |          |

**Praktická práce:**

Měřením odzkoušejte Bistabilní klopný obvod v zapojení jako dělič dvěma.

**Schéma zapojení: Obr. č. 15.1.**

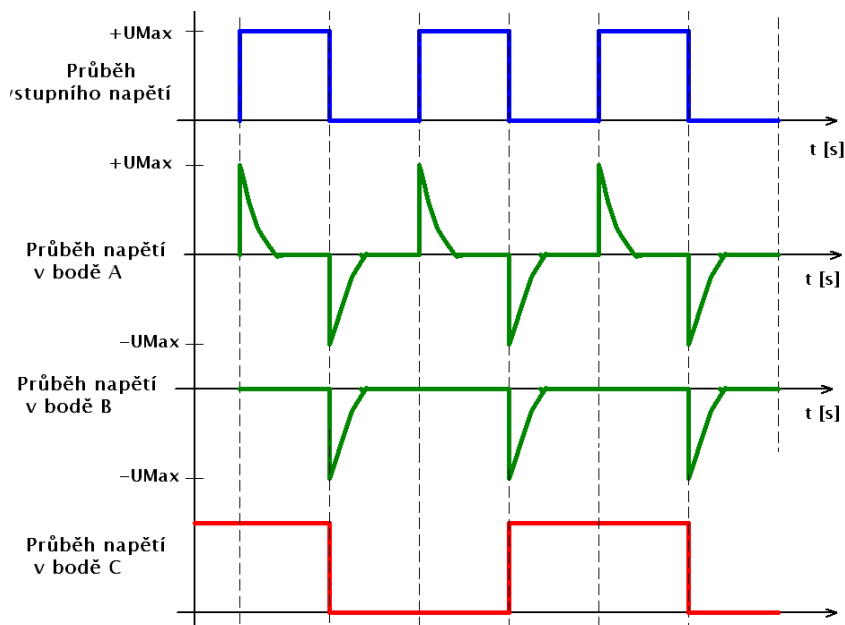


**Obr. č. 15.1.**

**Popis funkce BKO:**

Nejčastější použití bistabilního klopného obvodu je zapojení, kdy BKO pracuje jako dělič dvěma. Na obrázku **Obr. č. 15.1.** je klasické zapojení, na kterém je názorně zřejmá celková funkce a princip zapojení.

Vlastní princip funkce BKO jsme si popsali na obrázku **Obr. č. 15.0.** Tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  jsou vždy v inverzním stavu, je-li jeden otevřený, druhý je uzavřený. Pracovní body tranzistorů jsou nastaveny děliči v bázi tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$  odpory  $R_7$ ,  $R_5$  a  $R_2$ ,  $R_4$ . Na vstup BKO se přivádí obdélníkový průběh napětí, který je zpracován derivačním článkem a nastaven tak, aby průběh napětí v bodě „A“ byl shodný s průběhem napětí, který nazýváme „špičky“. **Obr. č. 15.2.** Diodou  $D_2$  jsou vybrány pouze záporné špičky, které jsou přes kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  přivedeny do báze tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ . Protože tranzistory jsou vodivosti NPN, tudíž se otvírají kladným napětím. Zápornou špičkou napětí se vždy uzavře ten tranzistor, který je otevřený a na to druhý tranzistor zareaguje otevřením. Funkce celého zapojení je zřejmá z časového diagramu **Obr. č. 15.2.**



Obr. č. 15.2.

### Postup:

- sestrojíte elektronický obvod
- změřte a do tabulky zapište napětí v bodě „D“ a „C“
- otevřenému tranzistoru vodivě spojte bázi s emitorem, ten na to musí zareagovat uzavřením. Na to se druhý tranzistor musí otevřít. Po odstranění propojky tranzistory musí zůstat v tomto stavu
- změřte a do tabulky zapište napětí v bodě „D“ a „C“
- nesouhlasí-li napětí v bodě „D“ a „C“, vhodně upravte odpory v děliči tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ . (zvětšování ohmické hodnoty tranzistorů  $R_4$  a  $R_5$ , případně zmenšování ohmické hodnoty odporů  $R_7$  a  $R_2$ , se tranzistory více otevírají)
- napětí v bodě „D“ a „C“, musí být maximálně 0.2V. (saturační napětí bipolárního tranzistoru)
- Na vstup elektronického obvodu připojte generátor obdélíkového průběhu a nastavte na něm kmitočet 1kHz s co největší amplitudou kmitočtu
- průběh napětí v bodě „A“ ověřte osciloskopem, (v bodě „A“ musí být průběh napětí „špičky“). Případně vhodně upravte odpor  $R_9$
- výstupní průběh napětí ověřte osciloskopem, případně čítačem
- do sešitu zakreslete průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu a porovnejte vzájemně průběhy napětí v bodě „A“, „B“, „C“, „D“.

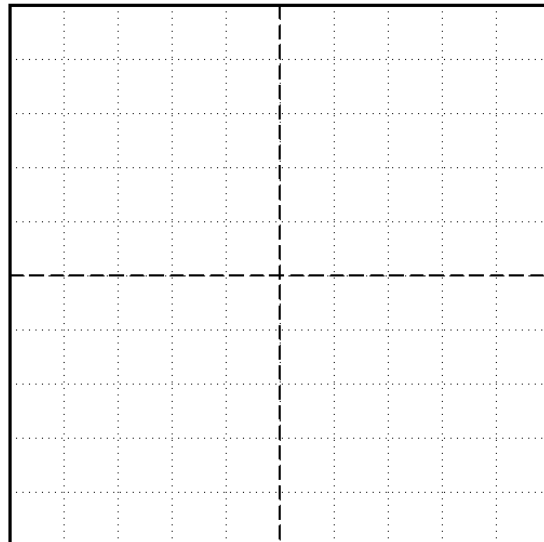
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



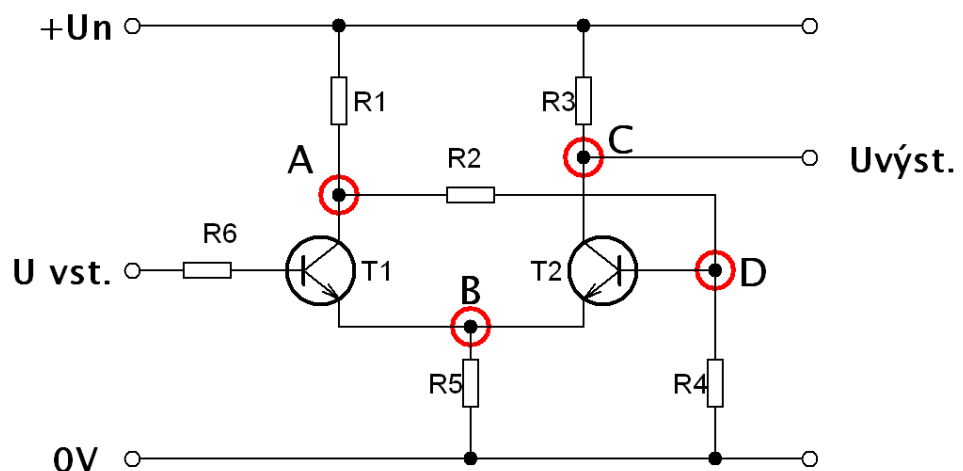
### Tabulka:

|          | T1   | T1       | T2   | T2       |
|----------|------|----------|------|----------|
|          | báze | kolektor | báze | kolektor |
| otevřený |      |          |      |          |
| uzavřený |      |          |      |          |

### Schmittův klopný obvod

Schmittův klopný obvod, SKO má dva aktivní prvky, tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  na společném emitorovém odporu. Podobně jako u BKO vždy jsou v inverzních stavech. Po připojení napájecího napětí se tranzistor  $T_2$  otevře a  $T_1$  zůstane uzavřen, přivedeme-li na vstup SKO určité napětí, tranzistory se lavinovitě překloupí do opačného stavu. Pokud napětí klesne pod danou úroveň, tranzistory se překloupí zpět do původního stavu. SKO se mimo jiné hlavně používá jako tvarovač, neboli z jakéhokoliv průběhu napětí vyrobí obdélníkový průběh napětí. Hlavní oblast použití je číslicová technika. Pomocí SKO jsou například ošetřeny všechny vstupy digitálních zařízení.

### Schéma zapojení Obr. č. 15.3.



Obr. č. 15.3.

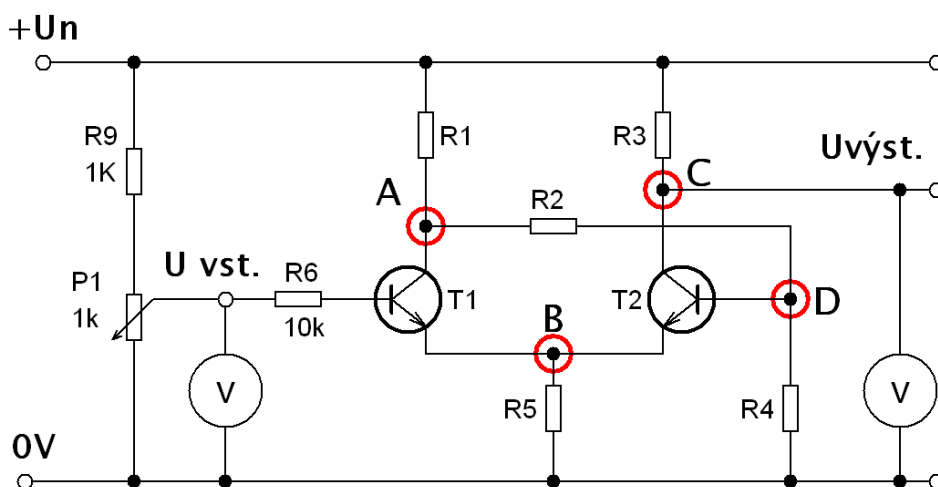
## Popis funkce SKO

Po připojení napájecího napětí se otevře tranzistor  $T_2$  přes odpor  $R_1$  děličem v bázi tranzistoru  $T_2$  a  $R_4$ . Napětí v bodě „A“ se bude blížit napájecímu napětí. Proud kolektoru tranzistoru  $T_2$  na společném emitorovém odporu  $R_5$  vytvoří určitý úbytek napětí, pro názornost předpokládejme například 1V. Postupně budeme zvyšovat vstupní napětí do báze tranzistoru  $T_1$ . Ten se ale může otevřít pouze v případě, když mu bude protékat proud báze a to je v okamžiku, je-li báze  $T_1$  o 0,6V kladnější než napětí na emitoru tranzistoru  $T_1$ . V našem případě to nastane, dosáhne-li vstupní napětí úrovně 1,6V. Následně dojde k dvěma procesům vzájemně se podporující. Jednak jak se otevírá  $T_1$  tak klesá napětí v bodě „A“, tím se snižuje proud děličem  $R_2$  a  $R_4$  a tím se snižuje napětí v bodě „D“. A jak se otevírá  $T_1$  jeho proud kolektoru postupně zvyšuje úbytek napětí na společném emitorovém odporu  $R_5$ . Tím  $T_2$  dále ztrácí spád napětí mezi bázi a emitorem. Celý proces vede k prudkému, říkáme lavinovitému překlopení tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ . Odpor  $R_6$  se má ochrannou funkci, aby nedošlo k překročení maximálního proudu báze a na funkci SKO nemá vliv. Obvod pracuje s hysterezí, to znamená, že spínací napětí je vyšší, než napětí, při které se obvod překlápí zpět do klidového stavu.

## Praktická práce:

Spočítejte a měřením odzkoušejte Schmittův klopný obvod jak staticky, to znamená měřením napětí a proudů v obvodu, tak i dynamicky pomocí generátoru a osciloskopu.

Schéma zapojení: Obr. č. 15.4.



Obr. č. 15.4.

## Zadání:

$I_C = 5\text{mA}$ ,  $U_n = 10\text{V}$ ,  $U_{CEsat.} = 0,1\text{V}$

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru

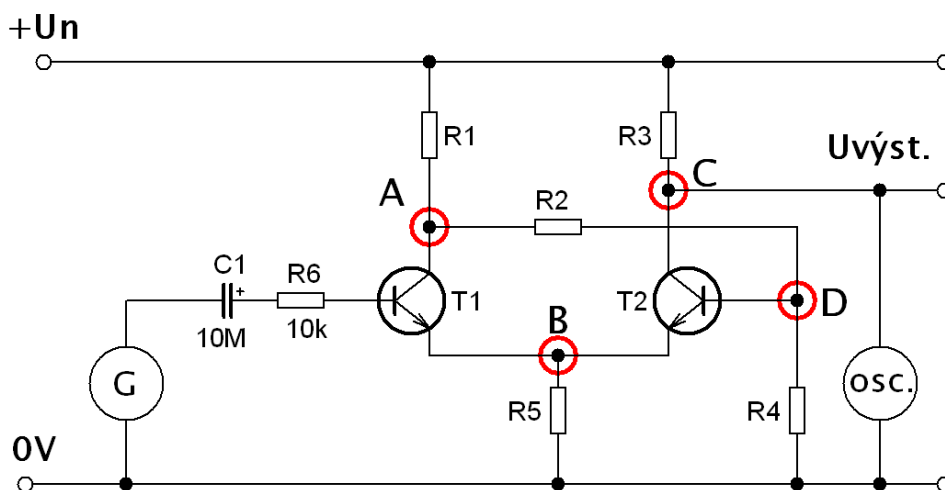
Proud děličem  $I_d = 6I_B$ ,

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

Napětí v bodě „B“  $U_B = 1\text{V}$

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1 - R_5$  dle zadání
- obvod sestavte, změřte a do tabulky zapište napětí v bodech „A“, „B“, „C“, „D“.
- nesouhlasí-li napětí se zadáním a s teorií funkce SKO, vhodně upravte příslušné odpory
- postupně zvyšujte potenciometrem  $P_1$  vstupní napětí až do okamžiku, kdy dojde k překlopení SKO. Hodnotu vstupního napětí zapište do tabulky
- postupně snižujte vstupní napětí, až do okamžiku, kdy dojde ke zpětnému překlopení SKO. Hodnotu vstupního napětí zapište do tabulky
- spočítejte hysterezi odvodu a hodnotu zapište do tabulky
- odpojte potenciometr  $P_1$  a na vstup SKO přes kondenzátor 10M připojte generátor se sinusovým průběhem napětí o kmitočtu 1kHz. **Obr. č. 15.5.**
- osciloskopem ověřte výstupní průběh napětí
- plynule nastavujte amplitudu vstupního napětí a sledujte výstupní průběh napětí na osciloskopu
- do sešitu zakreslete průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu  $U_{vst.}/U_{výst.}$



Obr. č. 15.5.

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$I_C = 2\text{mA}$ ,  $U_n = 12\text{V}$ ,  $U_{CEsat.} = 0,15\text{V}$ ,  $U_B = 0,5\text{V}$ ,

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru,

Proud děličem  $I_d = 6I_B$

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

- **výpočet proudu báze tranzistoru pro zesilovací činitel  $h_{21E} = 250$**

$$h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}, \quad I_B = \frac{I_c}{h_{21E}} = \frac{0,002 A}{250} = 8\mu A$$

- **výpočet odporu  $R_5$**

vzhledem k tomu, že je otevřen vždy jenom jeden tranzistor, potom odporem  $R_5$  teče proud 2mA a napětí na odporu  $R_5 = U_B = 0,5V$

$$R_5 = \frac{U_B}{I_c} = \frac{0,5 V}{0,002 A} = 250\Omega$$

z řady E12 volím 270 z řady E12 volím 270

- **výpočet odporů  $R_1$  a  $R_3$**

z druhého kirchohova zákona platí,  $U_n = U_{R5} + U_{CEsat.} + U_{R3}$

$$U_{R3} = U_n - (U_{R5} + U_{CEsat.})$$

$$U_{R3} = 12V - (0,5V + 0,15V) = 11,35V$$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_c} = \frac{11,35 V}{0,002 A} = 5\,675\Omega$$

z řady E12 volím 5k6

$$R_3 = R_1$$

- **výpočet odporu  $R_4$**

$$U_{R4} = U_B + U_{BET1} = 0,5V + 0,6V = 1,1V$$

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{6I_b} = \frac{1,1 V}{48\mu A} = 22\,916\Omega$$

z řady E12 volím 22k

- **výpočet odporu  $R_2$**

z druhého kirchohova zákona platí,  $U_n = U_{R4} + U_{R2} + U_{R1}$

$$U_{R2} + U_{R1} = U_n - U_{R4} = 12V - 1,1V = 10,9V$$

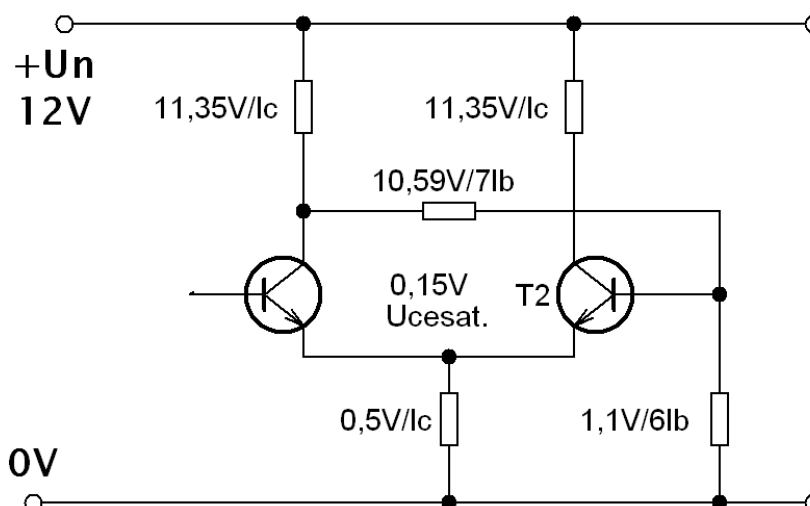
$$U_{R1} = R_1 * 7I_B = 5\,675\Omega * 56\mu A = 0,31V$$

$$U_{R2} = U_{R2} + U_{R1} - U_{R1} = 10,9V - 0,31V = 10,59V$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{7I_b} = \frac{10,59 V}{56\mu A} = 189k\Omega$$

z řady E12 volím M22

Napětové a proudové poměry v spočítaném SKO Obr. č. 15.6.

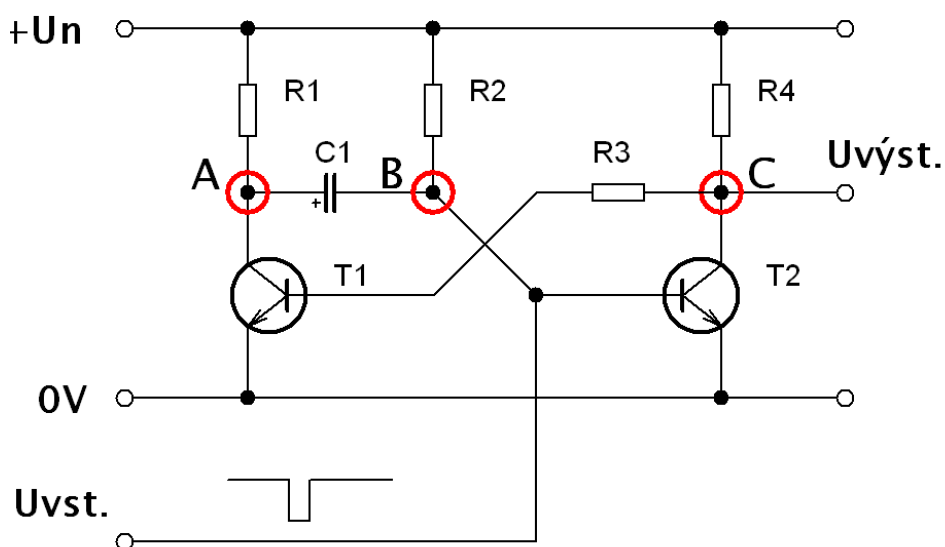


Obr. č. 15.6.

## Monostabilní klopný obvod

Monostabilní klopný obvod, MKO je elektronický obvod mající jeden stabilní stav. Skládá se ze dvou aktivních prvků, tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ . V základním stavu je tranzistor  $T_1$  uzavřen a  $T_2$  otevřen. Překlopit tranzistory do opačného stavu je možné dvěma způsoby. Kladným impulsem do báze tranzistoru  $T_1$  nebo jak je znázorněno na obrázku záporným impulsem do báze otevřenému tranzistoru  $T_2$ . Ten se uzavře a na to se tranzistor  $T_1$  otevře. Obvod se zpět překlopí po určitém čase, který je dán časovou konstantou  $\tau$ ,  $T = R_2 * C_1$ . Monostabilní klopný obvod vytvoří impuls o určité přesně definované délce  $t_1 = T = R_2 * C_1$ , která je nezávislá na délce vstupního impulsu. V podstatě je to časovač se zpožděným vypnutím. Hlavní oblast použití je oblast číslicové techniky, ale i v analogové elektronice má hojné využití.

### Schéma zapojení Obr. č. 15.7.



Obr. č. 15.7.

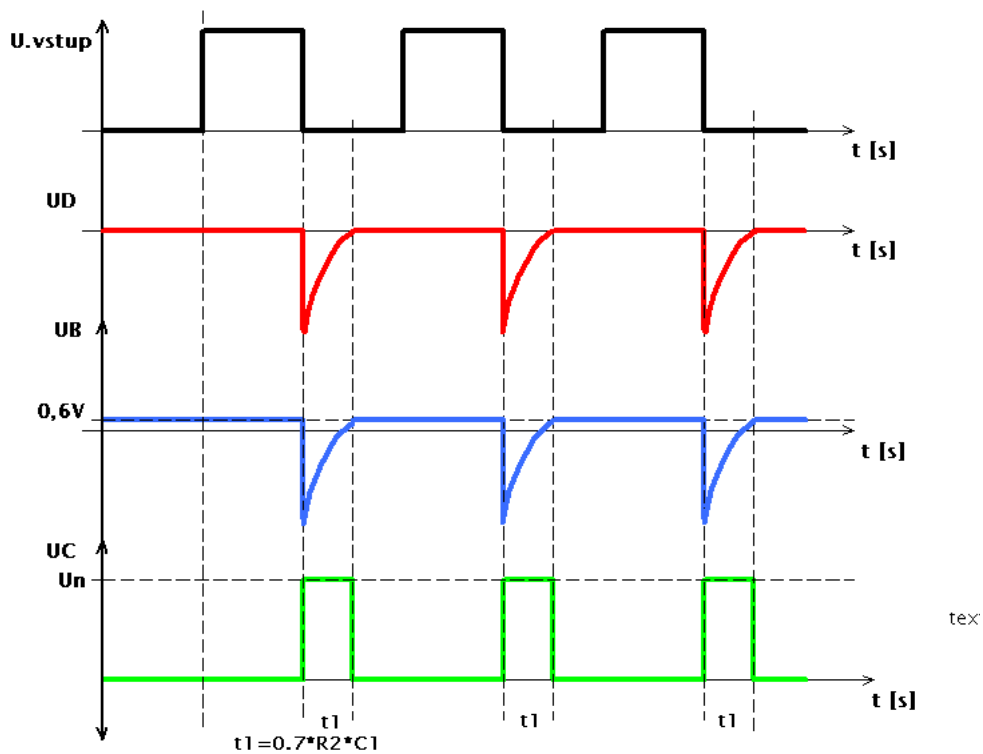
### Popis funkce MKO

Po připojení napájecího napětí se otevře tranzistor  $T_2$  přes odpor  $R_2$  proudem do báze tranzistoru  $T_2$ . Napětí v bodě „C“ bude rovno  $U_{CEsat T_2}$ . Neboli se bude blížit nulovému napětí. Z toho důvodu se nemůže otevřít tranzistor  $T_1$ . Jakmile přijde do bodu „B“ záporný impuls, tranzistor  $T_2$  se uzavře, napětí v bodě „C“ se bude rovnat téměř napájecímu napětí a na to se otevře tranzistor  $T_1$ . Napětí v bodě „A“ klesne k nule, tím se v bodě „B“ vygeneruje záporná špička napětí (viz teorie derivační články) a kondenzátor  $C_1$  se začne nabíjet přes  $R_2$  a otevřený tranzistor  $T_1$ . Jakmile v bodě „B“ dosáhne hodnota napětí úrovně 0,6V, tranzistor  $T_2$  se otevře, napětí v bodě „C“ klesne k nulové hodnotě napětí a  $T_1$  se uzavře. Doba překlopení je dána časovou konstantou  $\tau$   $T = R_2 * C_1$ . Funkce obvodu MKO je graficky znázorněna na **Obr. č. 15.8**. Je to průběh napětí v závislosti na čase v různých místech MKO označeny velkými písmeny. Průběh označený například symbolem  $U_D$  je průběh napětí v bodě „D“ a podobně. Případně je možné výstupní napětí odebrat i z bodu „A“ a tento průběh napětí je inverzní oproti průběhu napětí v bodu „C“

Dobu překlopení MKO je možné vypočítat ze vztahu

$$t_1 = 0.7 * R_2 * C_1$$



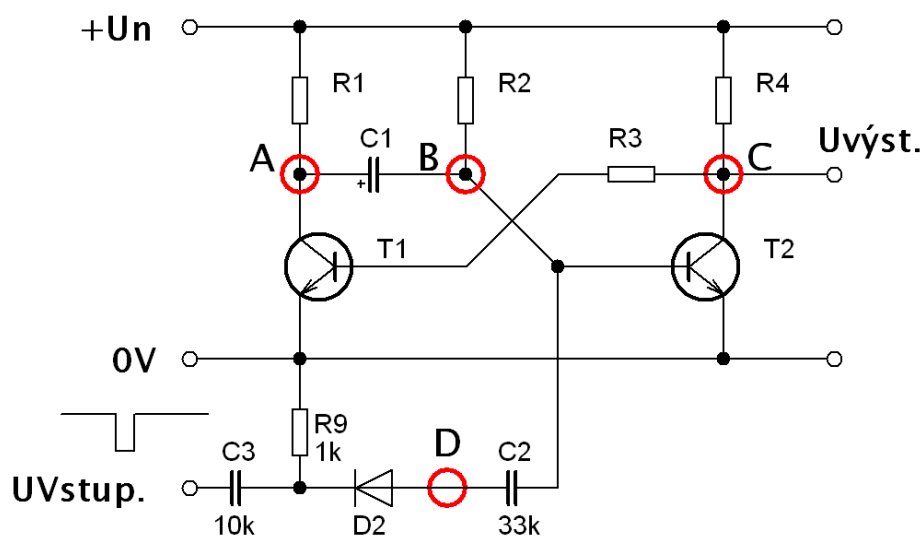


Obr. č. 15.8.

**Praktická práce:**

Spočítejte a měřením odzkoušejte Monostabilní klopný obvod jak staticky, to znamená měřením napětí a proudů, tak i dynamicky pomocí generátoru a osciloskopu.

**Schéma zapojení: Obr. č. 15.9.**



Obr. č. 15.9.

### Zadání:

$$I_C = 5\text{mA}, U_n = 10\text{V}, U_{CEsat.} = 0,1\text{V}$$

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru, z důvodů dobrého nasycení tranzistorů volte  $2I_b$

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

Doba překlopení  $t_1 = 1\text{ms}$

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1 - R_4$  dle zadání
- obvod sestavte, změřte a do tabulky zapište napětí na tranzistorech  $T_1$  a  $T_2$
- nesouhlasí-li napětí se zadáním a s teorií funkce MKO, vhodně upravte příslušné odpory
- vodivě spojte bázi s emitorem tranzistoru  $T_2$ . Ten se musí uzavřít a otevřít  $T_1$
- změřte a do tabulky zapište napětí na tranzistorech  $T_1$  a  $T_2$
- po uvolnění propojky se obvod po čase  $t_1$  musí vrátit zpět do původního stavu
- na vstup MKO připojte generátor napětí a na výstup MKO osciloskop
- na generátoru nastavte obdélníkový průběh kmitočtu s co největší amplitudou o kmitočtu 300Hz (doba periody vstupního signálu musí být delší než doba překlopení MKO,  $T > t_1$ )
- osciloskopem ověřte výstupní průběh napětí a porovnejte se zadáním
- do sešitu zakreslete průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu U<sub>vst</sub>,/ U<sub>výst</sub>

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$I_C = 2\text{mA}, U_n = 12\text{V}, U_{CEsat.} = 0,15\text{V},$$

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru, volte  $2I_B$

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

Doba překlopení  $t_1 = 0,5\text{ms}$

- **výpočet proudu báze tranzistoru pro zesilovací činitel  $h_{21E} = 150$**   $h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}$  ,

$$I_B = \frac{I_c}{h_{21E}} = \frac{0,002}{150} = 13\mu\text{A}$$

- **výpočet odporů  $R_1$  a  $R_4$**

$$\text{napětí na odporu } U_{R1} = U_n - U_{CEsat.} = 12\text{V} - 0,15 = 11,85\text{V}$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_c} = \frac{11,85\text{V}}{0,002\text{A}} = 5925\Omega$$

z řady E12 volím 5k6

$$R_1 = R_4$$

- **výpočet odporu  $R_2$**   
 napětí na odporu  $U_{R2} = U_n - U_{BE} = 12V - 0,6 = 11,4V$   
 $R_2 = \frac{UR2}{2Ib} = \frac{11,6V}{26\mu A} = 446k\Omega$   
 z řady E12 volím M47
- **výpočet kondenzátoru  $C_1$**   
 ze vztahu  $t_1 = 0.7 * R_2 * C_1$   
 $C_1 = \frac{t1}{0.7 * R2} = \frac{0.5ms}{0.7 * 446k\Omega} = 1,6nF$   
 z řady E12 volím 1k5

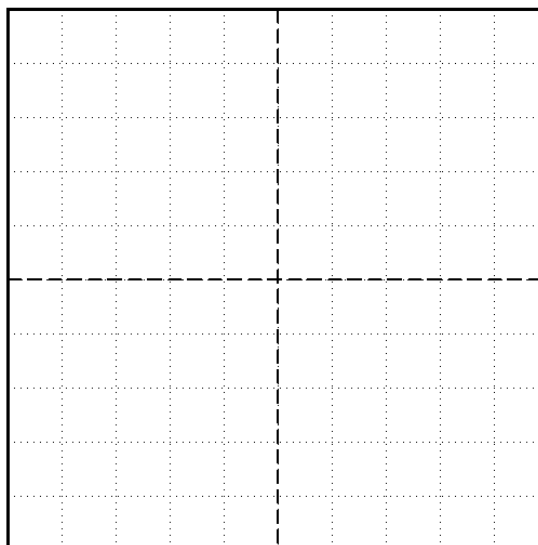
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



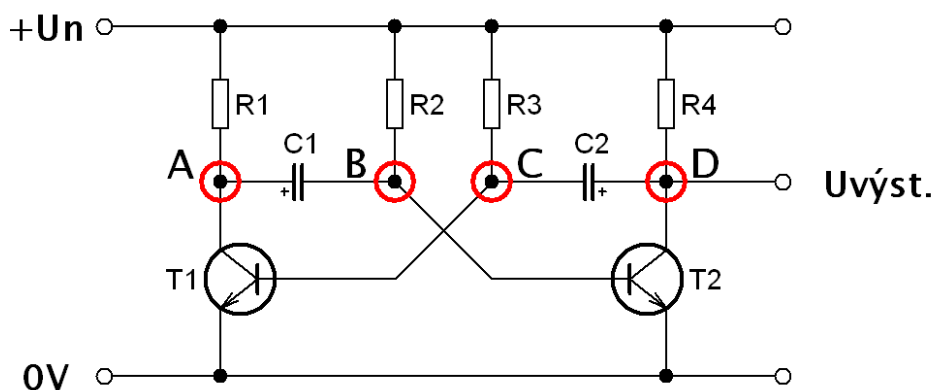
**Tabulka:**

|          | T1   | T1       | T2   | T2       |
|----------|------|----------|------|----------|
|          | báze | kolektor | báze | kolektor |
| otevřený |      |          |      |          |
| uzavřený |      |          |      |          |

**Astabilní klopný obvod**

Astabilní klopný obvod, AKO je elektronický obvod, který nemá žádný stabilní stav. Skládá se ze dvou aktivních prvků, tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ , které jsou v inverzním stavu a neustále se překlápí. Doba překlopení je dána časovou konstantou  $\tau$ . AKO se používá jako zdroj neboli generátor obdélíkového průběhu napětí. Hlavní oblast použití je v číslicové technice.

**Schéma zapojení Obr. č. 15.10.**



Obr. č. 15.10.

### Popis funkce AKO

Po připojení napájecího napětí se otevře ten tranzistor, který má větší zesilovací činitel neboli ten, který je rychlejší. Předpokládejme, že je to tranzistor  $T_1$ . Proud do báze mu protéká přes odpor  $R_3$ . Jakmile se tranzistor  $T_1$  otevře napětí v bodě „A“ klesne k nulové hodnotě a začne se nabíjet  $C_1$  přes odpor  $R_2$  a otevřený tranzistor  $T_1$ . Postupně narůstá napětí v bodě „B“ a až dosáhne hodnoty 0.6V otevře se tranzistor  $T_2$ , zápornou špičkou napětí se zavře  $T_1$  (viz teorie derivační článku) a začne se nabíjet kondenzátor  $C_2$  přes  $R_3$  a otevřený  $T_2$ . Postupně narůstá napětí v bodě „C“ a až dosáhne úrovně napětí 0.6V otevře se tranzistor  $T_1$ .

Výstupní průběh napětí je obdélkového průběhu a je možné ho odebírat i z bodu „A“. V případě, bude-li  $R_2 = R_3$  a  $C_1 = C_2$  bude mít obdélkový průběh napětí střidu 1:1.

Popřípadě je možné kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  nastavit libovolnou střidu. Pro přibližný výpočet kmitočtu AKO platí vztah

doba periody  $T =$

doba periody se skládá z doby impulsu a body mezery  $T = t_1 + t_2$

$$t_1 = 0.7 * C_1 * R_2$$

$$t_2 = 0.7 * C_2 * R_3$$

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením odzkoušejte Astabilní klopný obvod jak staticky, to znamená měřením napětí a proudů, tak i dynamicky pomocí osciloskopu.

**Schéma zapojení: Obr. č. 15.10.**

### Zadání:

$$I_C = 5\text{mA}, U_n = 10\text{V}, U_{CEsat.} = 0,1\text{V}$$

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru, z důvodů dobrého nasycení tranzistorů volte  $2I_b$

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

Kmitočet  $f = 2\text{kHz}$

Střída 1 : 3

## Postup:

- spočítejte odpory  $R_1 - R_4$  a  $C_1$  a  $C_2$  dle zadání
- obvod sestrojte a ověřte funkci AKO osciloskopem
- porovnejte kmitočet AKO se zadáním
- v případě, že se AKO po připojení napájecího napětí nerozkmitá, vhodně upravte odpory do báze tranzistorů. Jestliže jsou odpory příliš malé, potom tranzistory jsou tak nasyceny proudem báze, že záporná špička napětí není schopna tranzistor uzavřít. Nastane stav, kdy jeden tranzistor je uzavřen a druhý tranzistor otevřen. Nebo opačný případ, kdy odpory jsou příliš veliké. Potom obvod dojde do stavu, že tranzistory jsou oba částečně otevřeny, ale nejsou schopny kmitat.

## Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$I_C = 2\text{mA}$ ,  $U_n = 12\text{V}$ ,  $U_{CEsat.} = 0,15\text{V}$ ,

$I_b$  spočítejte ze zesilovacího činitele tranzistoru, volte  $2I_B$

$T_1$  a  $T_2$  jsou univerzální tranzistory malého výkonu, například BC546

kmitočet  $f = 1\text{kHz}$

střída 1 : 4

- **výpočet proudu báze tranzistoru pro zesilovací činitel  $h_{21E} = 150$**

$$h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}, \quad I_B = \frac{I_c}{h_{21E}} = \frac{0,002}{150} = 13\mu\text{A}$$

- **výpočet odporů  $R_1$  a  $R_4$**

napětí na odporu  $U_{R1} = U_n - U_{CEsat.} = 12\text{V} - 0,15 = 11,85\text{V}$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_c} = \frac{11,85\text{V}}{0,002\text{A}} = 5925\Omega$$

z řady E12 volím 5k6

$$R_1 = R_4$$

- **výpočet odporů  $R_2$  a  $R_3$**

napětí na odporu  $U_{R2} = U_n - U_{BE} = 12\text{V} - 0,6 = 11,4\text{V}$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{2I_b} = \frac{11,6\text{V}}{26\mu\text{A}} = 446\text{k}\Omega$$

z řady E12 volím M47

$$R_2 = R_3$$

- **výpočet doby periody**

$$f = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000\text{Hz}} = 1\text{ms}$$

- **výpočet doby impulsu  $t_1$  a doby mezery  $t_2$**

1ms : 5 = 0,2ms

potom  $t_1 = 0,2\text{ms}$  a  $t_2 = 0,8\text{ms}$

- **výpočet kondenzátoru  $C_1$**   
ze vztahu  $t_1 = 0.7 * R_2 * C_1$   
$$C_1 = \frac{t_1}{0.7 * R_2} = \frac{0.2\text{ms}}{0.7 * 446\text{k}\Omega} = 0,6\text{nF}$$
z řady E12 volím 680pF
- **výpočet kondenzátoru  $C_2$**   
ze vztahu  $t_2 = 0.7 * R_3 * C_2$   
$$C_2 = \frac{t_2}{0.7 * R_3} = \frac{0.8\text{ms}}{0.7 * 446\text{k}\Omega} = 2,6\text{nF}$$
z řady E12 volím 2k7

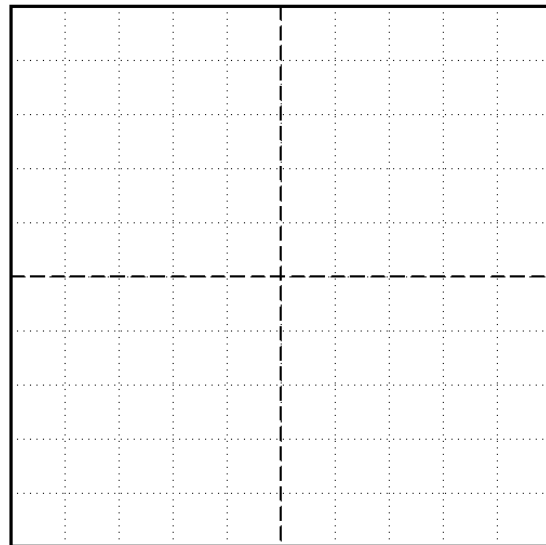
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



## 16. Stabilizované zdroje napětí

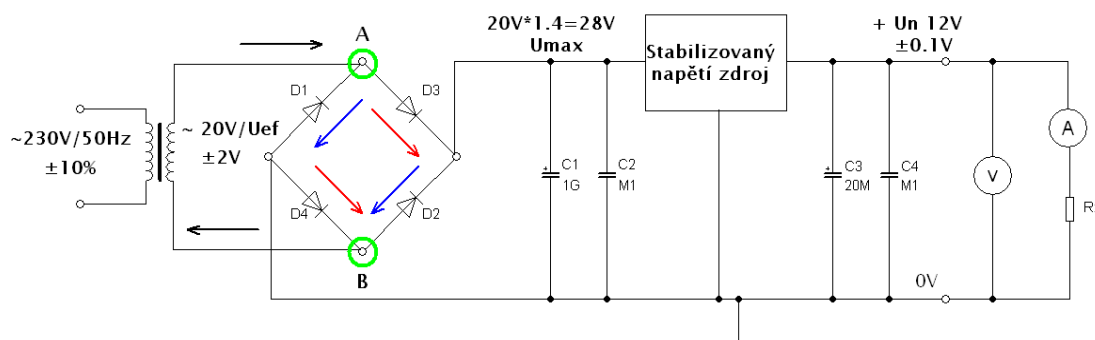
Úkolem stabilizovaného zdroje napětí je vyrobit stejnosměrné napětí s co nejmenším zvlněním, které je nezávislé na kolísání napětí na vstupu zdroje, a které je nezávislé na velikosti odebíraného proudu. Toto jsou tak náročné požadavky, které není možné beze zbytku splnit, ale můžeme se jim hodně přiblížit.

Dodavatelé elektrické energie dodávají elektrickou energii s garantovanou přesností  $\pm 10\%$ . Pro potřeby silnoproudé elektrotechniky je to dostačující přesnost, ale pro napájení elektronických zařízení již nikoli. Předpokládejme, že pro napájení elektronického zařízení budeme používat transformátor 230V / 20V. Potom na primární straně transformátoru může být napětí v rozmezí 207V – 253V. To by znamenalo, že by sekundární napětí mohlo kolísat v rozmezí 18V – 22V, a to je nepřijatelné a o zvlnění na filtračních kondenzátorech usměrňovačů ani nemluvě.

Stabilizované zdroje můžeme podle principu rozdělit na tři druhy.

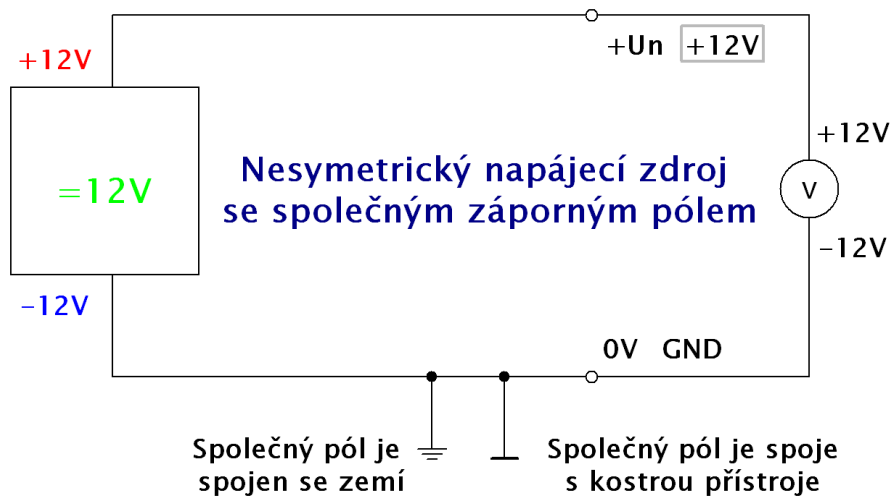
- **Paralelní regulátor**, to je stabilizovaný zdroj, kde výkonový regulační prvek je připojen k spotřebiči paralelně. Dnes se používá pouze jeden typ, je to stabilizátor se Zenerovou diodou.
- **Lineární** neboli sériové regulátory. To je stabilizovaný zdroj, kde výkonový regulační prvek je připojen k spotřebiči sériově. Používají se a jejich velkou výhodou je velmi kvalitní stejnosměrné napětí. Nevýhodou je malá účinnost těchto regulátorů. Tyto zdroje nás budou v další kapitole zajímat
- **Spínané zdroje**, v současné době je to nejpoužívanější typ stabilizovaných zdrojů s velmi dobrou účinností, ale horší kvalitou stejnosměrného napětí než u sériových regulátorů a další nevýhodou je rušení, které produkují, a které se dostává se zpět do energetické sítě a případně mohou negativně ovlivňovat činnost jiných elektronických zařízení.

Na **Obr. č. 16.0.** je znázorněno celkové zapojení lineárního stabilizovaného zdroje. Stejnosměrné napětí se získává po transformaci síťového napětí usměrněním nejčastěji můstkovým usměrňovačem a pomocí filtračního kondenzátoru C1 vyhlazeno. Pro správnou funkci lineárního regulátoru musí být vstupní napětí stabilizovaného zdroje vyšší, než požadované výstupní stabilizované napětí, běžná hodnota bývá nejméně o 3V. U jednoduchých lineárních stabilizátorů je typická vlastnost, kolísá-li na vstupu regulátoru napětí  $\pm 2V$ , na výstupu stabilizovaného zdroje bude napětí sice taky kolísat, ale do  $\pm 0,1V$ . Což pro většinu elektronických aplikací je vyhovující. Odpor  $R_z$  představuje spotřebič, který stabilizovaný zdroj napájí. Pro zvýšení kvality stejnosměrného napětí je vstup i výstup stabilizovaného zdroje ošetřen filtračními elektrolytickými kondenzátory C1, C3, a keramickými blokovacími kondenzátory C2 a C4.

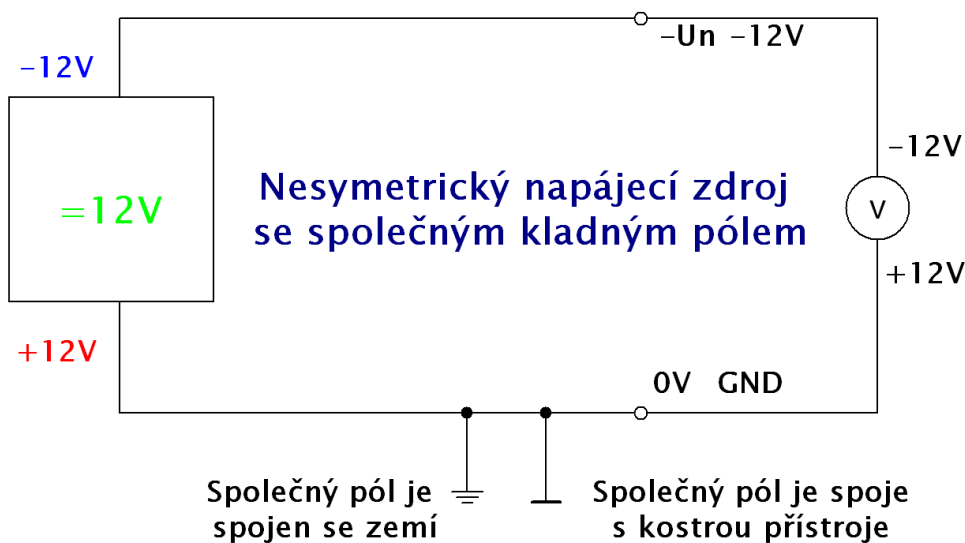


Obr. č. 16.0.

Stabilizovaný zdroj může být nesymetrický nebo ho také nazýváme unipolární, a to dvojího druhu. Se společnou svorkou zápornou **Obr. č. 16.1.** V evropských podmínkách nejčastější případ. Nebo nesymetrický zdroj se společným kladným pólem **Obr. č. 16.2.** Například japonská elektronická zařízení používají tento způsob napájení. Společná svorka bývá označována například symboly **0V**, nebo **GND**, nikoli záporným nebo kladným potenciálem. Druhý pól napájení, tak zvaný živý, bývá označován polaritou a symbolem například **+U<sub>n</sub>**, **+U<sub>ss</sub>**, **+U<sub>cc</sub>**



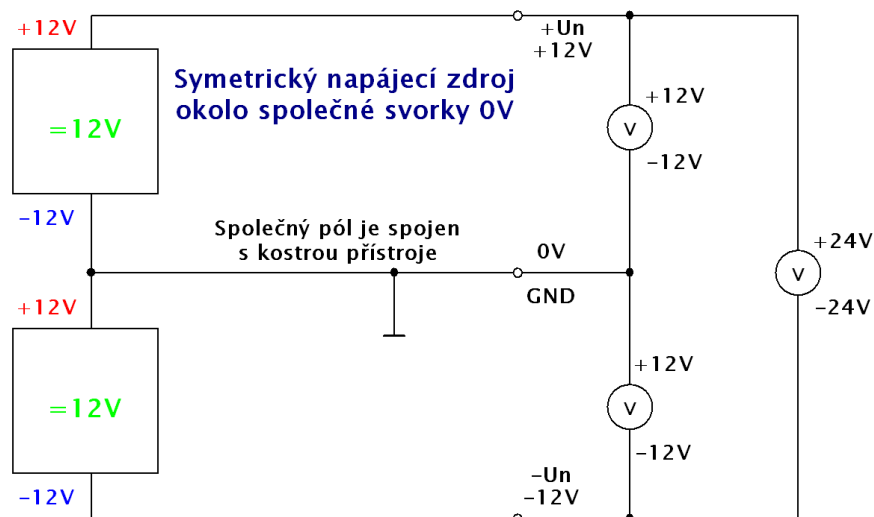
**Obr. č. 16.1.**



**Obr. č. 16.2.**

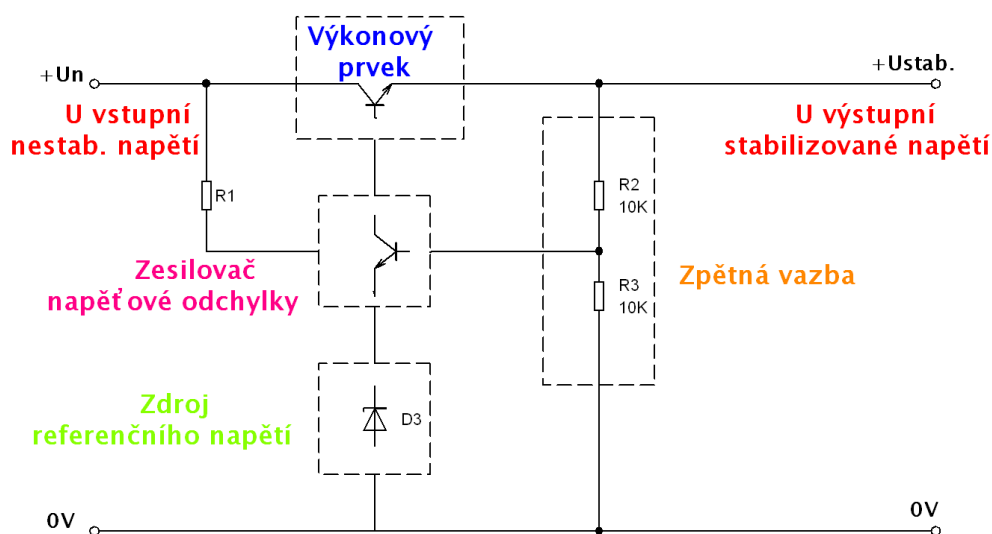
Stabilizovaný zdroj může být také symetrický nebo ho také nazýváme bipolární. V podstatě jsou to spojeny dva zdroje do série s vyvedeným středem. Toto napětí je potom symetrické kolem společné svorky. Typické použití je pro napájení operačních zesilovačů případně pro napájení koncových výkonových nf zesilovačů. **Obr. č. 16.3.**





Obr. č. 16.3.

Na Obr. č. 16.4. je principiální blokové schéma lineárního stabilizovaného zdroje. Na levé svorky  $+U_n$  a  $0V$  je přiváděno vstupní napětí z filtračního kondenzátoru usměrňovače. Výstupní stabilizované napětí je odebíráno ze svorek  $U_{stab}$  a  $0V$ . Po připojení vstupního napětí se otevře výkonový prvek přes odpor  $R_1$ , tím se na výstupu objeví napětí, které je porovnáváno v děliči napětí se zdrojem referenčního napětí, což velice často bývá Zenerova dioda. Na to zareaguje zesilovač napěťové odchylky, který zpětně přivře výkonový prvek, a to tak, aby výstupní napětí se udržovalo na požadované hodnotě. Ze základního popisu funkce lineárního regulátoru je zřejmé, že by se celý elektronický obvod mohl rozkmitat a stát se z něj oscilátor. Z toho důvodu bývá v regulačních obvodech lineárního regulátoru vhodně umístěný kondenzátor, který má za úkol potlačit případné oscilace. Typické umístění takového blokovacího kondenzátoru je mezi bázi a kolektor příslušného tranzistoru.

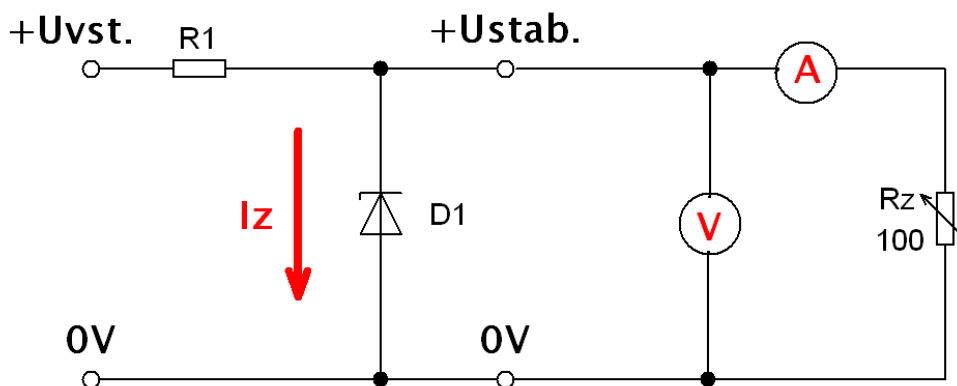


Obr. č. 16.4.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte stabilizovaný zdroj se Zenerovou diodou.

Schéma zapojení: Obr. č. 16.5.



Obr. č. 16.5.

### Zadání:

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 8V$ ,

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 5V$ ,

maximální odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje  $I_{Rzmax} = 50mA$ ,

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1$  dle zadání
- obvod sestrojte
- na vstupní svorky připojte laboratorní zdroj se stejnosměrným napětím 8V. Změřte a do tabulky zapište napětí na výstupu  $U_{stab.}$
- vstupní napětí změňte o  $\pm 2V$ . Napětí  $U_{stab.}$  zapište do tabulky
- potenciometrem  $R_z$  postupně zvyšujte odebíraný, proud ze stabilizovaného zdroje až do hodnoty  $I_{Rzmax}$ . Napětí  $U_{stab.}$  zapište do tabulky
- na vstup připojte usměrňovač napájený střídavým napětím s filtračním kondenzátorem  $C_1 = 1G$  a napětím  $U_{C1} = 8V$ , spočítejte zvlnění na kondenzátoru  $C_1$  a zvlnění na výstupu stabilizovaného zdroje  $U_{stab.}$
- hodnoty zvlnění porovnejte a zapište do tabulky

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 10V$ ,

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 7V$ ,

maximální odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje  $I_{Rzmax} = 50mA$ ,

- zvolím vhodnou Zenerovu diodu  
výkonová ztráta na Zenerově diodě  
 $P = U_{\text{stab.}} \cdot I_{\text{rzmax}} = 7\text{V} \cdot 50\text{mA} = 0.35\text{W}$ .  
Z katalogu volím Zenerovu diodu  $I_{\text{Zmax.}} > 50\text{mA}$  a  $P_{\text{max}} > 0.35\text{W}$   
například BZX83V005.0  $I_{\text{Zmax.}} = 98\text{mA}$  a  $P_{\text{max}} = 0.5\text{W}$
- výpočet odporu  $R_1$   
z druhého Kirchohova zákona platí,  $U_{\text{vst.}} = U_{R1} + U_Z$   
napětí na odporu  $R_1$   $U_{R1} = U_{\text{vst.}} - U_Z = 10\text{V} - 7\text{V} = 3\text{V}$   
 $R1 = \frac{U_{R1}}{I_{Rzmax}} = \frac{3\text{V}}{0,05\text{A}} = 60\Omega$   
z řady E12 volím  $56\Omega$   
ztrátový výkon na odporu  $R_1$   $P_{R1} = U_{R1} \cdot I_{\text{rzmax}} = 3\text{V} \cdot 0,05\text{A} = 0.15\text{W}$

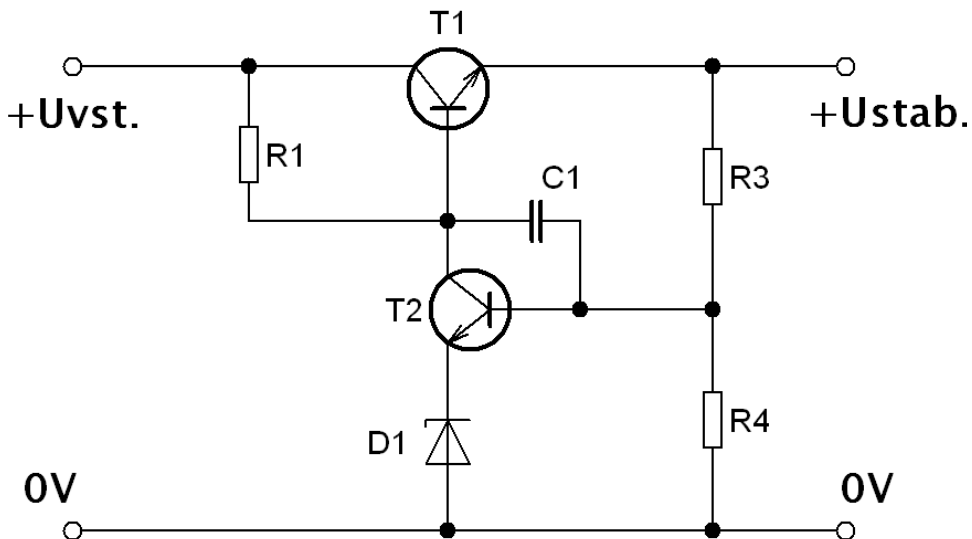
Tabulka:

|                    |                               |     |     |                                  |                     |
|--------------------|-------------------------------|-----|-----|----------------------------------|---------------------|
|                    | $U_{\text{vst.}} = 8\text{V}$ | +2V | -2V | $I_{\text{rzmax}} = 50\text{mA}$ | zvlně<br>í<br>$C_1$ |
| $U_{\text{stab.}}$ |                               |     |     |                                  |                     |

**Praktická práce:**

Spočítejte a měřením ověřte stabilizovaný zdroj s dvěma tranzistory

**Schéma zapojení: Obr. č. 16.6.**



Obr. č. 16.6.

### Popis funkce stabilizovaného zdroje:

Po připojení vstupního napětí se otevře tranzistor  $T_1$  přes odpor  $R_1$ . Teoreticky se na výstupu stabilizátoru objeví plné vstupní napětí. Začne protékat proud děličem  $R_3$  a  $R_4$ . Je-li úbytek napětí na odporu  $R_4$   $U_{R4} > U_{ZD1} + U_{BET2}$ , otevře se tranzistor  $T_2$  a do báze tranzistoru  $T_1$  začne přivádět záporné napětí. Tranzistor  $T_1$  se začne zavírat a výstupní napětí klesat. Obvod se ustálí v okamžiku, kdy  $U_{R4} = U_{ZD1} + U_{BET2}$ . Z popisu je zřejmé že poměrem odporů  $R_3$  a  $R_4$  se nastavuje hodnota stabilizovaného napětí  $U_{stab}$ . Připojíme-li na výstup stabilizátoru spotřebič, se vzrůstajícím proudem spotřebičem na  $T_1$  roste úbytek napětí, které má za následek pokles  $U_{stab}$ . Na to tranzistor  $T_1$  reaguje větším otevřením a to tak, aby  $U_{R4} = U_{ZD1} + U_{BET2}$ . Odpor  $R_1$  současně pracuje jako kolektorový odpor tranzistoru  $T_2$ . Kondenzátor zabraňuje rozkmitání stabilizovaného zdroje.  $C1 = 100nF$

### Zadání:

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 12V$ ,

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 8V$ ,

maximální odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje  $I_{Rzmax} = 250mA$ ,

Zenerova dioda  $D_1 = 5V$

z důvodů dobrého nasycení  $T_1$  volte  $2I_{BT1}$

proud báze tranzistoru  $T_2$ ,  $I_{BT2} = 30\mu A$

proud děličem  $I_D = 10I_{BT2}$

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1 - R_4$  dle zadání
- obvod sestrojte
- na vstup připojte laboratorní zdroj s napětím 12V, změřte a do tabulky запиšte napětí na výstupu  $U_{stab}$ .
- vstupní napětí změňte o  $\pm 2V$ . Napětí  $U_{stab}$  запиšte do tabulky
- potenciometrem  $R_z$  postupně zvyšujte odebíraný, proud ze stabilizovaného zdroje až do hodnoty  $I_{Rzmax}$ . Napětí  $U_{stab}$  запиšte do tabulky
- v případě, že by pokles napětí při  $I_{Rzmax}$  byl větší než 0.2V, vhodně upravte příslušné odpory
- na vstup připojte usměrňovač napájený střídavým napětím s filtračním kondenzátorem  $C_1 = 1G$  a napětím  $U_{C1} = 12V$ , spočítejte zvlnění na kondenzátoru  $C_1$  a zvlnění na výstupu stabilizovaného zdroje  $U_{stab}$  při proudu  $I_{Rzmax}$ . **Obr. č. 16.0.**
- hodnoty zvlnění porovnejte a запиšte do tabulky

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 15V$ ,

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 10V$ ,

maximální odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje  $I_{Rzmax} = 250mA$

Zenerova dioda  $D_1 = 6V$

z důvodů dobrého nasycení  $T_1$  volte  $2I_{BT1}$

proud báze tranzistoru  $T_2$   $I_{BT2} = 30\mu A$

proud děličem  $I_D = 10I_{BT2}$

- zvolím vhodný tranzistor  $T_1$

výkonová ztráta na tranzistoru  $T_1$

úbytek napětí na  $T_1$ ,  $U_{T1} = U_{vst.} - U_{stab.} = 15V - 10V = 5V$

$P_{T1} = U_{T1} * I_{rzmax} = 5V * 250mA = 1,25W$

Z katalogu volím tranzistor  $I_{Cmax} > 250mA$  a  $P_{max} > 1,25W$   
například BD135-16  $I_{Cmax} = 1,5A$  a  $P_{max} = 8W$ ,  $h_{21E} = 160$

- výpočet odporu  $R_1$

přes odpor  $R_1$  se otevírá  $T_1$ , potom musí být navržen na proud  $I_{BT1}$

$$I_{BT1} = \frac{I_c}{h_{21E}} = \frac{0,25A}{160} = 1,56mA$$

dle zadání volím  $2I_B = 3,12mA$

napětí na odporu  $R_1$ ,  $U_{R1} = U_{vst.} - U_{BET1} = 15V - 0,6V = 14,4V$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{2I_B} = \frac{14,4V}{3,12mA} = 4\,615\Omega$$

z řady E12 volím 4k7

- výpočet odporu  $R_4$

napětí na odporu  $R_4$ ,  $U_{R4} = U_{ZD1} + U_{BET2.} = 6V + 0,6V = 6,6V$

proud odporem  $R_4$  dle zadání  $I_{R4} = 6I_{BT2}$

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{10I_{BT2}} = \frac{6,6V}{10 * 30\mu A}$$

z řady E12 volím 22k

- výpočet odporu  $R_3$

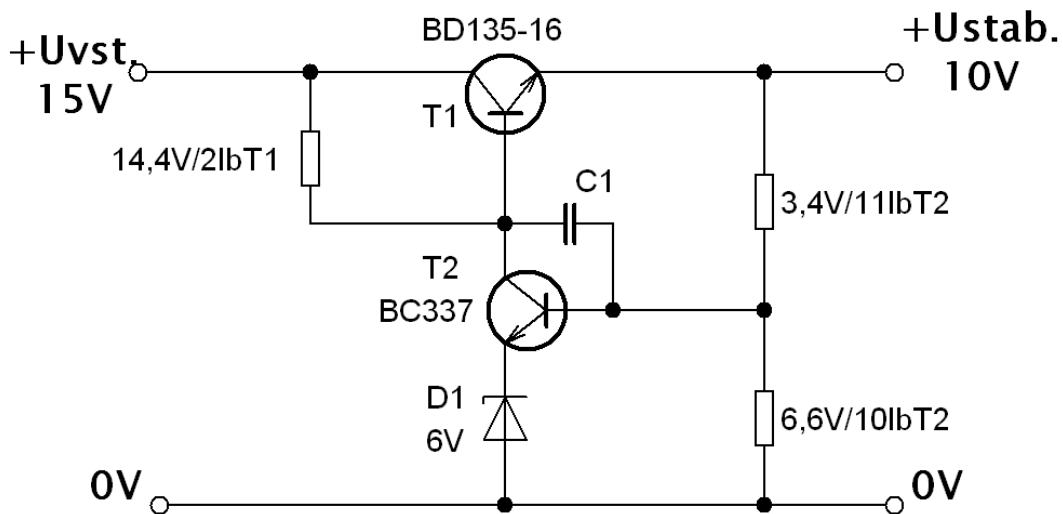
napětí na odporu  $R_3$ ,  $U_{R3} = U_{stab.} - U_{R4} = 10V - 6,6V = 3,4V$

proud odporem  $R_3$ ,  $I_{R3} = 7I_{BT2}$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{11I_{BT2}} = \frac{3,4V}{11 * 30\mu A}$$

z řady E12 volím 10k

- napěťové a proudové poměry ve spočítaném obvodu **Obr. č. 16.7.**



**Obr. č. 16.7.**

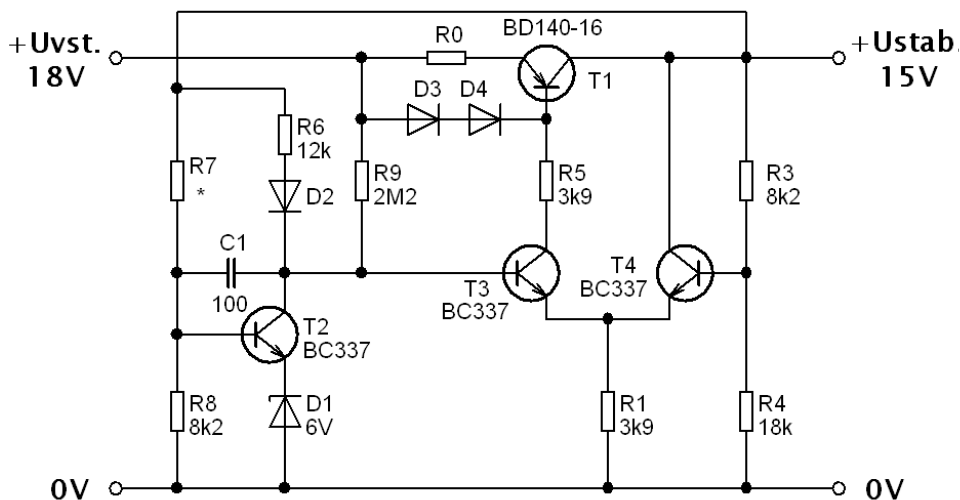
**Tabulka:**

|             |                 |       |       |                     |            |
|-------------|-----------------|-------|-------|---------------------|------------|
|             | $U_{vst.} = 8V$ | $+2V$ | $-2V$ | $I_{Rzmax} = 250mA$ | zvlně<br>í |
| $U_{stab.}$ |                 |       |       |                     | $C_1$      |

**Praktická práce:**

Spočítejte a měřením ověřte stabilizovaný zdroj s proudovou pojistkou

**Schéma zapojení: Obr. č. 16.8.**



**Obr. č. 16.8.**

**Zadání:**

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 18V$ ,

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 15V$ ,

změřte maximální proud zdroje při maximálním poklesu  $U_{stab.} - 0.2V$

spočítejte odpor elektronické proudové pojistky  $R_0$  pro  $I_{Rzmax} = 200mA$

**Popis funkce stabilizovaného zdroje s elektronickou pojistkou:**

V elektronickém obvodu je několik nových elektronických prvků, které se hojně využívají případně i v jiných elektronických konstrukcích. Tranzistor  $T_2$  s diodou  $D_1$  zde tvoří zdroj referenčního napětí. Toto zapojení má daleko lepší vlastnosti jako zdroj referenčního napětí, než samotná Zenerova dioda. Je to hlavně z toho důvodu, že koleno v oblasti Zenerova napětí není ostré, tudíž Zenerovo napětí je závislé na proudu diodou. Tato negativní vlastnost Zenerovy diody je eliminována velkým zesilovacím činitelem tranzistoru  $T_2$ . Regulátor zpětnovazebního napětí je složen z rozdílového zesilovače  $T_3$  a  $T_4$ . Zřejmě asi všechny integrované zdroje, jako například řada stabilizovaných zdrojů 78\*\* jsou vybaveny elektronickou pojistkou. V našem elektronickém obvodu je znázorněna jedna z možností, jak sestavit elektronickou proudovou pojistku. Proud tekoucí spotřebičem současně protéká i odporem  $R_0$ . Vytvoří-li tento proud na odporu  $R_0$  úbytek napětí 0,6V, diody  $D_3$  a  $D_4$  se stanou vodivými tranzistor  $T_1$  ztratí spád napětí mezi bází a emitorem, což vede k jeho uzavírání. Jakmile se odebraný proud sníží pod danou hodnotu činnost zdroje se opět obnoví. Neboli zdroj na zkrat zareaguje snížením  $U_{stab.}$

Po připojení vstupního napětí se přes odpor  $R_9$  otevře tranzistor  $T_3$ . Začne protékat proud báze  $T_1$ , který se otevírá a teoreticky se na výstupu objeví plné vstupní napětí. V tomto okamžiku začnou současně probíhat dva jevy, které se budou vzájemně ovlivňovat a porovnávat. Začne se otevírat tranzistor  $T_2$  přes dělič  $R_7$  a  $R_8$ . A začne se otevírat  $T_4$  přes dělič  $R_3$  a  $R_4$ . Obvod se ustálí v takové stavu, kdy platí, že napětí na bázích tranzistorů  $T_3$  a  $T_4$  se budou rovnat. (Viz teorie rozdílového zesilovače). Z popisu je zřejmé, že výstupní napětí je možné nastavit změnou odporů v děličích napětí  $R_7$  a  $R_8$  nebo  $R_3$  a  $R_4$ .

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_0$  dle zadání
- obvod sestrojte bez proudové pojistky
- vhodným odporem  $R_7$  nastavte výstupní napětí s přesností 0,1V (hodnota odporu  $R_7$  se bude pohybovat v jednotkách kiloohmů)
- na vstup připojte laboratorní zdroj se stejnosměrným napětím 18V, změřte a do tabulky запиšte napětí na výstupu  $U_{stab.}$
- vstupní napětí změňte o  $\pm 2V$ . Napětí  $U_{stab.}$  запиšte do tabulky
- potenciometrem  $R_z$  postupně zvyšujte odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje až do okamžiku, kdy výstupní napětí klesne o 0,2V. Velikost proudu запиšte do tabulky
- do obvodu připojte elektronickou pojistku
- potenciometrem  $R_z$  postupně zvyšujte odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje až do okamžiku, kdy výstupní napětí klesne o 0,2V. Velikost proudu запиšte do tabulky
- na vstup připojte usměrňovač napájený střídavým napětím, s filtračním kondenzátorem  $C_1 = 1G$  a napětím  $U_{C1} = 18V$ . Spočítejte zvlnění na kondenzátoru  $C_1$  a zvlnění na výstupu stabilizovaného zdroje  $U_{stab.}$  při proudu  $I_{Rzmax}$ .
- hodnoty zvlnění porovnejte a запиšte do tabulky

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 18V$ ,

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 15V$ ,

maximální odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje  $I_{Rzmax} = 250mA$

- **výpočet odporu proudové pojistky odporu  $R_0$**   
zadaný proud proudové pojistky musí na odporu  $R_0$  vytvořit úbytek napětí 0,6V  

$$R_0 = \frac{U_{R0}}{I_{Rzmax}} = \frac{0,6V}{0,25A} = 2,4\Omega$$
- **ztrátový výkon na odporu  $R_0$**   

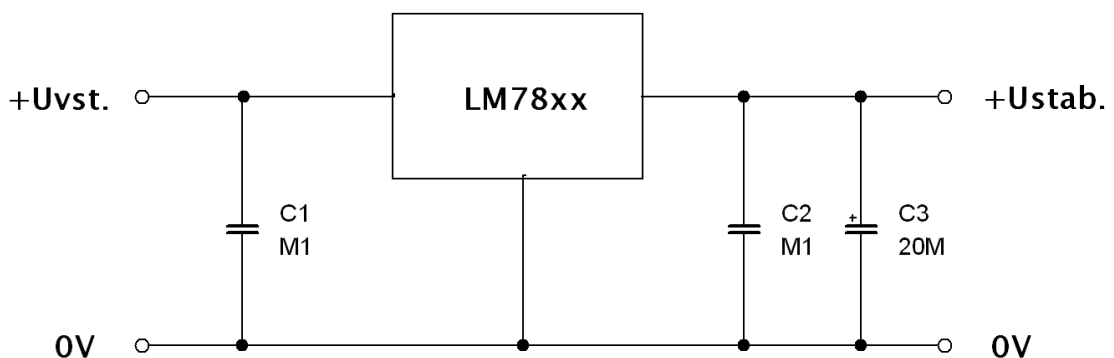
$$P_{R0} = U_{R0} * I_{Rzmax} = 0,6V * 0,25A = 0,15W$$

**Tabulka:**

|             | $U_{vst.} = 18V$ | +2V | -2V | Proud při poklesu napětí o 0,2V | zvlněn<br>í<br>C <sub>1</sub> |
|-------------|------------------|-----|-----|---------------------------------|-------------------------------|
| $U_{stab.}$ |                  |     |     |                                 |                               |

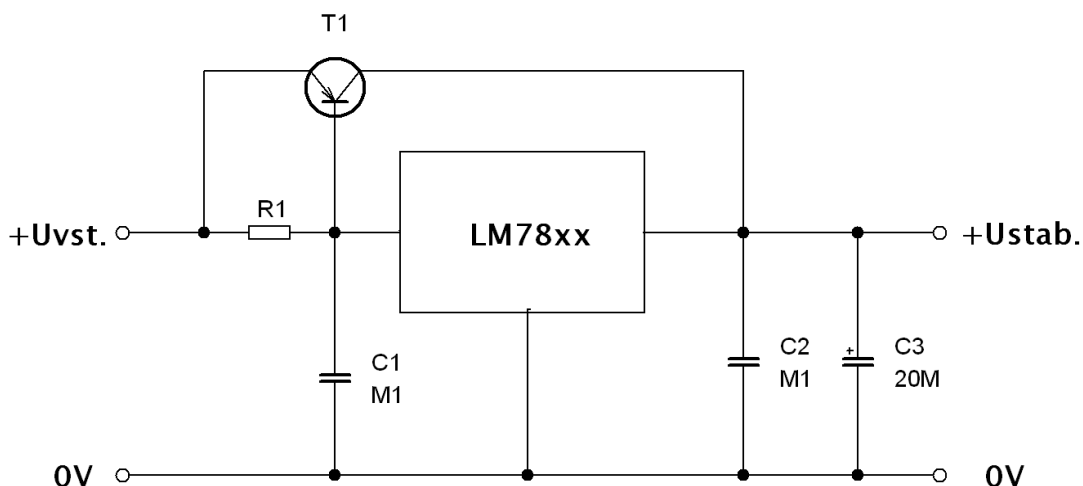
**Praktická práce:**

měřením ověřte integrovaný lineární stabilizátor řady 78\*\*

**Schéma zapojení: Obr. č. 16.9.****Obr. č. 16.9.****Popis funkce:**

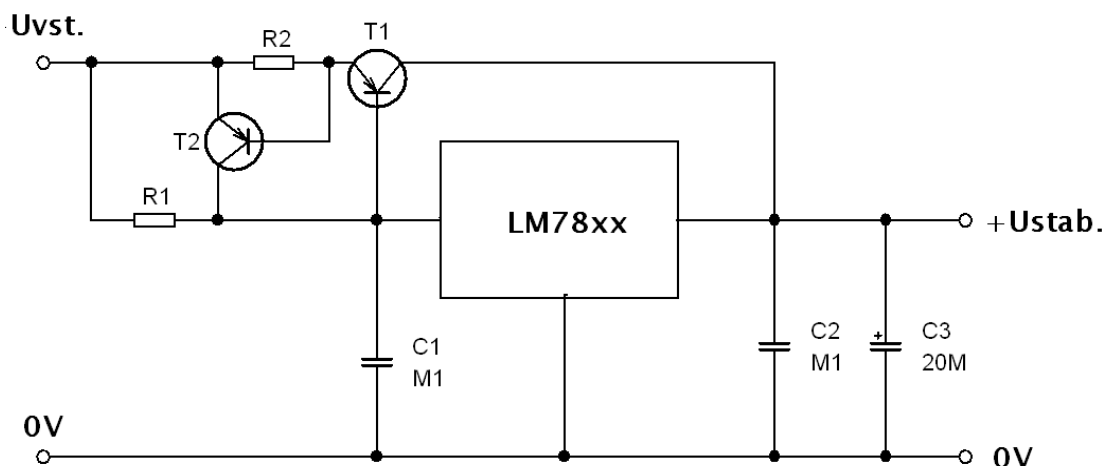
V současné době v nové konstrukci elektronického zařízení zřejmě nebude stabilizátor napětí realizovaný z jednotlivých součástek. Lineární regulátory se vyrábí v integrované podobě. Jedním z takových typických lineárních regulátorů vyráběných různými výrobci je řada zdrojů označená čísli 78\*\*. Je to regulátor kladného napětí a poslední dvě čísla znamenají hodnotu výstupního stabilizovaného napětí. Například 7805 je kladný pětivoltový stabilizátor. Řada regulátorů s označením 79\*\* jsou záporné regulátory. Tyto stabilizátory se vyrábí v rozmezí od 2.5V ÷ 24V v několika napěťových rozsazích. Pro správnou funkci regulátoru je nutné, aby bylo ošetřeno vstupní a výstupní napětí kondenzátory dle schéma. Některé regulátory „nechtějí“ pracovat, pokud se z nich neodebírá žádný proud. Stačí zátěž jednotek miliampér, aby začal správně pracovat. Na **Obr. č. 16. 10.** je zapojení, kde tranzistor T1 rozšiřuje proudové zatížení regulátoru. Proud protékající odporem R1 protéká stabilizátorem a také zátěží neboli spotřebičem. Jestliže bude na odporu R1 úbytek napětí 0.6V potom tranzistor T1 bude mít bázi zápornější (tranzistor je vodivosti PNP) než emitor o 0.6V což povede k jeho otevření. Stabilizátorem poteče maximálně takový proud, který vytvoří úbytek napětí na odporu R1 = 0,6V. Zbýlý proud zátěži poteče tranzistorem T<sub>1</sub>.





Obr. č. 16.10.

Na Obr. č. 16.11. je zapojení, kde tranzistor  $T_1$  rozšiřuje proudové zatížení regulátoru a tranzistor  $T_2$  pracuje jako proudová elektronická pojistka, která chrání především tranzistor  $T_1$ . V případě, kdy proud zátěží vytvoří na odporu  $R_2$  úbytek napětí  $0,6V$ , otevře se tranzistor  $T_2$  a tím se vyzkratuje úbytek napětí na odporu  $R_1$ . Tím tranzistor  $T_1$  ztratí spád napětí mezi bází a emitorem a tranzistor  $T_1$  se zavírá. Klesne-li proud zátěží pod určitou úroveň, činnost zdroje se opět obnoví.



Obr. č. 16.11.

**Zadání:**

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 8V$

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 5V$

proud stabilizátorem  $300mA$

změřte maximální proud zdroje při maximálním poklesu  $U_{stab.} - 0.1V$

spočítejte odpor elektronické proudové pojistky  $R_2$  pro  $I_{RZ\ max} = 1A$

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1$  a  $R_2$  dle zadání
- obvod sestrojte bez proudové pojistky
- na vstup připojte laboratorní zdroj se stejnosměrným napětím 8V změřte a do tabulky запиšte napětí na výstupu  $U_{stab.}$
- vstupní napětí změňte o  $\pm 2V$ . Napětí  $U_{stab.}$  запиšte do tabulky
- potenciometrem  $R_z$  postupně zvyšujte odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje až do okamžiku, kdy výstupní napětí klesne o 0.1V . Velikost proudu запиšte do tabulky
- pozor, při tomto měření je potřeba dbát na maximální oteplení tranzistoru. Teplota křemíkového přechodu nesmí překročit 150°C. Praxe je taková, že pokud na dané součástce udržím ruku, je vše v pořádku
- do obvodu připojte elektronickou pojistku
- potenciometrem  $R_z$  postupně zvyšujte odebíraný proud ze stabilizovaného zdroje až do okamžiku, kdy výstupní napětí klesne o 0.1V . Velikost proudu запиšte do tabulky
- na vstup připojte usměrňovač napájený střídavým napětím s filtračním kondenzátorem  $C_1 = 1G$  a napětím  $U_{C1} = 8V$ , spočítejte zvlnění na kondenzátoru  $C_1$  a zvlnění na výstupu stabilizovaného zdroje  $U_{stab.}$  při proudu  $I_{Rzmax}$ .
- hodnoty zvlnění porovnejte a запиšte do tabulky

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

vstupní napětí stabilizovaného zdroje  $U_{vst.} = 15V$

výstupní stabilizované napětí  $U_{stab.} = 12V$

proud stabilizátorem 200mA

změřte maximální proud zdroje při maximálním poklesu  $U_{stab.} - 0.1V$

spočítejte odpor elektronické proudové pojistky  $R_2$  pro  $I_{RZmax} = 1,5A$

- **dle zadání volím stabilizátor 7812 v jednoampérovém provedení**
- **výpočet odporu proudové pojistky odporu  $R_2$**   
zadaný proud proudové pojistky musí na odporu  $R_2$  vytvořit úbytek napětí 0,6

$$R_2 = \frac{UR_2}{I_{Rzmax}} = \frac{0,6V}{1,5A} = 0,4\Omega$$

- **ztrátový výkon na odporu  $R_2$**   
 $P_{R2} = U_{R2} * I_{Rzmax} = 0,6V * 1,5A = 0,9W$

- **výpočet odporu  $R_1$**   
proud stabilizátorem je zadaný na hodnotu 200mA. Tento proud musí na  $R_1$  vytvořit úbytek napětí 0,6V

$$R_1 = \frac{UR_1}{I_{stab}} = \frac{0,6V}{0,2A} = 3\Omega$$

– **ztrátový výkon na odporu  $R_1$**

$$P_{R1} = U_{R1} * I_{stab} = 0,6V * 0,2A = 0,12W$$

– **výběr tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$**

$T_2$  není nijak zatížený, tudíž postačí univerzální tranzistor malého výkonu

výpočet ztrátového výkonu na  $T_1$ ,  $P_{T1} = U_{T1} * I_{Rzmax} = 3V * 1,5A = 4,5W$

$T_1$  musí splňovat parametry  $I_C > 1,5A$ ,  $U_{CE} > 20V$ ,  $P_{totT1} > 4,5W$

– při výběru vhodné součástky je potřeba brát na zřetel, že bez chladiče se daná součástka uchladí maximálně do třetiny jmenovitého katalogového údaje. S maximálním katalogovým údajem mohu počítat při ideálním chlazení daného výkonového prvku

– z katalogu volím například

tranzistor PNP BD434,  $I_C = 4A$ ,  $P_{tot} = 36W$ ,  $U_{CEmax.} = 22V$

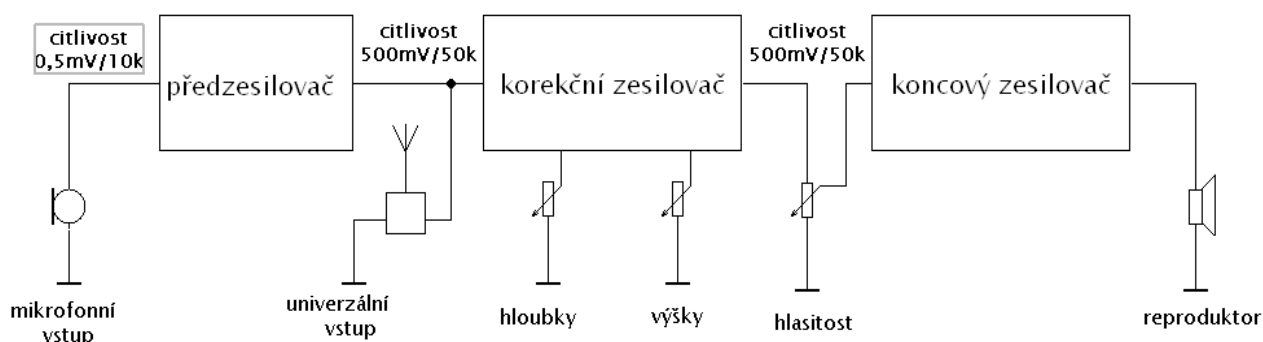
**Tabulka:**

|             | $U_{vst.} = 18V$ | +2V | -2V | Proud při poklesu napětí o 0,1V | zvlnění<br>í<br>$C_1$ |
|-------------|------------------|-----|-----|---------------------------------|-----------------------|
| $U_{stab.}$ |                  |     |     |                                 |                       |

## 17. Nízkofrekvenční zesilovač

Úkolem nízkofrekvenčního zesilovače je napětově a impedančně přizpůsobit jednotlivé vstupy zesilovače tak, aby byly schopny zpracovat signál ze zdrojů nf signálů jako je například mikrofón, případně tuner a další zdroje signálu. Tento signál dále napětově kmitočtově a výkonově zpracovat tak, aby zesilovač byl schopen vybudit příslušné sady reproduktorů s co nejmenším zkreslením.

Na Obr. č. 17.0. je nízkofrekvenční zesilovač rozdělen do tří základních bloků. Předzesilovač, korekční zesilovač a koncový zesilovač. Každá část nízkofrekvenčního zesilovače má svůj specifický úkol. V následujících kapitolách si ukážeme určitá typická zapojení jednotlivých bloků, popíšeme si jejich funkci a měřením odzkoušíme.



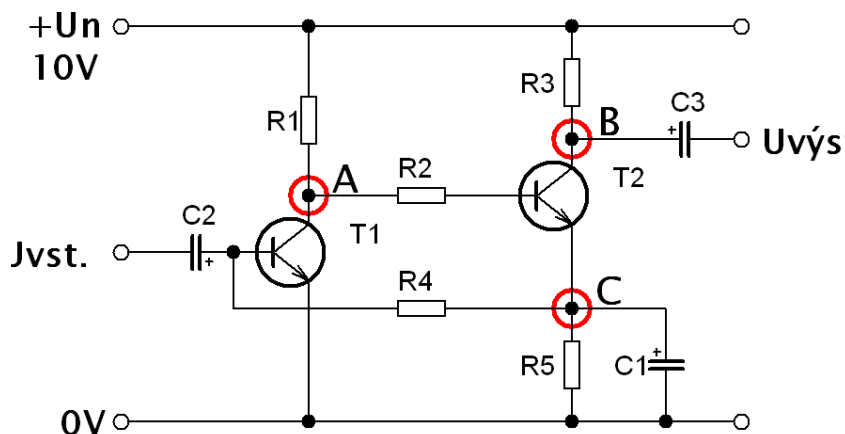
Obr. č. 17.0.

### Předzesilovač

Hlavním úkolem předzesilovače je impedančně přizpůsobit vstup zesilovače pro zdroje signálu s velmi malým výstupním napětím a signál napětově zesílit na takovou úroveň, aby byl odolný proti rušivým napětím.

Typickým zdrojem signálu připojeným na vstup předzesilovače je například mikrofón. Výstupní napětí z mikrofónu má řádově velikost několik milivolt. Předzesilovač má za úkol vstupní napětí zesílit na úroveň napětí řádově stovky milivolt. Dalším z požadavků na předzesilovač je vyrovnaná kmitočtová charakteristika. To znamená, že všechny kmitočty nf signálu v rozmezí 20Hz až 20kHz má zesilovat se stejným ziskem.

Schéma zapojení: Obr. č. 17.1.



Obr. č. 17.1.

## Popis funkce

Předzesilovač je dvoustupňový s přímou vazbou, to znamená, že pracovní body jednotlivých tranzistorů jsou na sobě závislé a vzájemně se ovlivňují. Teplotní stabilizace a stabilita zesilovače vůbec je provedena zpětnou zápornou vazbou, realizovanou odporem  $R_5$ . Aby se zpětná vazba neuplatňovala při zpracovávání střídavého signálu zpětnovazební odpor  $R_5$  je přemostěn kondenzátorem  $C_1$ . Kapacita  $C_1$  a současně kapacita vazebních kondenzátorů  $C_1$  a  $C_3$  musí mít takovou kapacitu, aby se reaktance kondenzátorů neuplatňovala ani při nejnižších zpracovávaných kmitočtech. Běžně této podmínce vyhoví kapacita  $1\mu\text{F}$  a vyšší.

Po připojení napájecího napětí se přes odpor  $R_1$  a  $R_2$  otevře tranzistor  $T_2$ . Jeho proud kolektoru protéká odporem  $R_5$  a v bodě „C“ vytváří kladný úbytek napětí. Jakmile dosáhne napětí na  $R_5$  vstupního prahového napětí  $T_1$ , začne se  $T_1$  otevírat, tím začne napětí v bodě „A“ klesat a na to  $T_2$  reaguje přivřením na takovou úroveň, aby platilo  $U_{\text{BET}1} = U_{R5}$ . Odpory  $R_1$  a  $R_3$  omezují kolektorové proudy tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ , odpory  $R_2$  a  $R_4$  omezují proudy báze tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$ .

## Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte dvoustupňový předzesilovač

### Schéma zapojení: Obr. č. 17.1.

#### Zadání:

$U_n = 10\text{V}$ ,

napětí v bodech „A“, „B“, „C“  $U_A = 5\text{V}$ ,  $U_B = 7\text{V}$ ,  $U_C = 2\text{V}$

proud kolektorů  $T_1$  a  $T_2 = 5\text{mA}$

$I_B$  spočítejte ze zesilovacího činitele  $h_{21E}$

všechna zadaná napětí jsou vztažena ke společné svorce 0V

#### Postup:

- pomocí multimetru změřte  $h_{21E}$  tranzistorů  $T_1$ ,  $T_2$ ,
- spočítejte proud báze  $I_B$  dle zadání ze vztahu  $h_{21E} = \frac{I_c}{I_b}$
- spočítejte odpory  $R_1$  a  $R_5$  dle zadání
- sestrojte obvod dle schéma
- změřte a do tabulky запиšte všechna napětí na tranzistoru  $T_1$  a  $T_2$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním, případně odpory vhodně upravte
- na vstup předzesilovače zapojte generátor sinusového průběhu napětí a výstupní napětí předzesilovače měřte osciloskopem
- na generátoru nastavte kmitočet 1kHz a postupně zvyšujte výstupní napětí na generátoru, až do okamžiku než začne předzesilovač limitovat
- spočítejte a do tabulky запиšte maximální zisk zesilovače v decibelech  $A_u = 20\log.[\text{dB}, \text{V}, \text{V}]$

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$U_n = 15V,$$

napětí v bodech „A“, „B“, „C“  $U_A = 7,5V$ ,  $U_B = 2V$ ,  $U_C = 10V$

proud kolektorů  $T_1$  a  $T_2 = 3mA$

$I_B$  spočítejte ze zesilovacího činitele  $h_{21E}$

– **výpočet proudu báze tranzistoru  $T_1$  a  $T_2$**

za předpokladu že  $h_{21E} = 200$ , potom  $I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{0,003 A}{200} = 15\mu A$

– **výpočet odporu  $R_1$**

z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{CE} + U_{R1}$

napětí na odporu  $R_1$ ,  $U_{R1} = U_n - U_{ce} = 15V - 7,5V = 7,5V$

proud odporem  $R_1$ ,  $I_{R1} = I_C = 3mA$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{7,5V}{3mA} = 2\,500\Omega, \text{ z řady E12 volím } 2k7$$

– **výpočet odporu  $R_5$**

napětí na odporu  $R_5$ ,  $U_{R5} = U_C = 2V$

proud odporem  $R_5$ ,  $I_{R5} = I_{CT2} + I_{BT2} = 3mA + 15\mu A = 3,015mA$

$$R_5 = \frac{U_{R5}}{I_{R5}} = \frac{2V}{3mA} = 666\Omega, \text{ z řady E12 volím } 680\Omega$$

– **výpočet odporu  $R_2$**

z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{R1} + U_{R2} + U_{BET2} + U_{R5}$

napětí na odporu  $R_2$ ,  $U_{R2} = U_n - (U_{R1} + U_{R5} + U_{BET2}) = 15V - (7,5V + 2V + 0,6V) = 4,9V$

proud odporem  $R_2$  je shodný s proudem báze  $T_2$ ,  $I_{R2} = 15\mu A$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{4,9V}{15\mu A} = 326k\Omega, \text{ z řady E12 volím } M33$$

– **výpočet odporu  $R_3$**

z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{R3} + U_{CET2} + U_{R5}$

napětí na odporu  $R_3$ ,  $U_{R3} = U_n - (U_{CET2} + U_{R5}) = 15V - (2V + 8V) = 5V$

proud odporem  $R_3$  je shodný s proudem kolektoru  $T_2$ ,  $I_{R3} = 3mA$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} = \frac{5V}{3mA} = 1\,666\Omega, \text{ z řady E12 volím } 1k5$$

– **výpočet odporu  $R_4$**

z druhého Kirchohova zákona  $U_n = U_{R3} + U_{CET2} + U_{R4} + U_{BET2}$

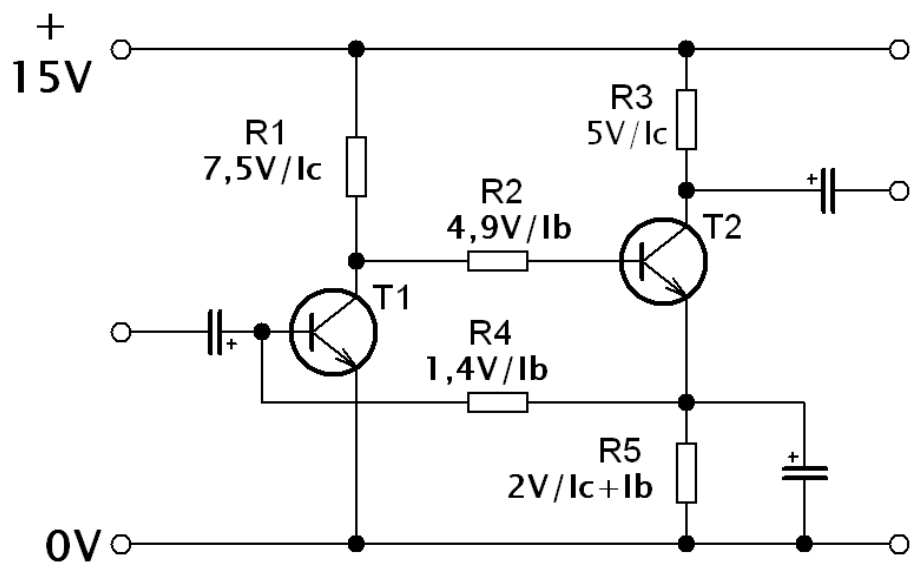
napětí na odporu  $R_4$ ,  $U_{R4} = U_n - (U_{R3} + U_{CET2} + U_{BET2}) =$

$$= 15V - (5V + 8V + 0,6V) = 1,4V$$

proud odporem  $R_4$  je shodný s proudem báze  $T_1$ ,  $I_{R4} = 15\mu A$

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{I_{R4}} = \frac{1,4V}{15\mu A} = 93k\Omega, \text{ z řady E12 volím } M1$$

– napěťové a proudové poměry v elektronickém obvodu **Obr. č. 17.2.**



Obr. č. 17.2.

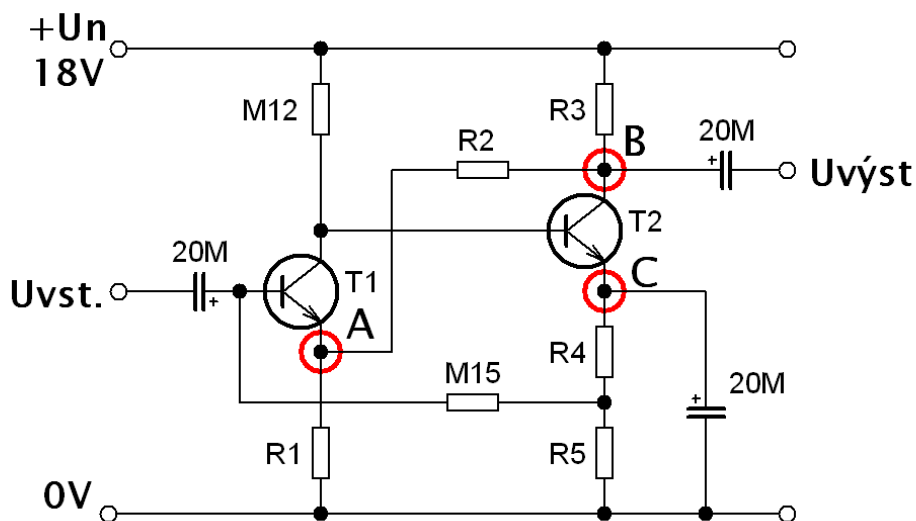
Tabulka:

|                      | T <sub>1</sub> |   |   | T <sub>2</sub> |   |   |
|----------------------|----------------|---|---|----------------|---|---|
|                      | E              | B | K | E              | B | K |
| naměřené hodnoty [V] |                |   |   |                |   |   |

**Praktická práce:**

Měřením ověřte univerzální dvoustupňový předzesilovač

Schéma zapojení: Obr. č. 17.3.



Obr. č. 17.3.

### Popis funkce:

Univerzální předzesilovač je dvoustupňový s přímou vazbou. Teplotní stabilita i stabilita při výměně tranzistorů je zajištěna zpětnou vazbou přes odpor M15. Šířka kmitočtového pásma v rozmezí 20Hz ÷ 20kHz je v maximálním poklesu – 3dB. Zisk univerzálního předzesilovače je možné nastavit v rozmezí 10dB ÷ 40dB. Na **Obr. č. 17.4.** jsou zadány hodnoty součástek pro zisk 10dB, 20dB, 30dB, 40dB. Za povšimnutí stojí hodnoty odporu  $R_2$ , pro jednotlivá zesílení. Tento odpor má na zisk zesilovače rozhodující význam. Odparem  $R_2$  se přivádí z výstupu tranzistoru  $T_2$  do emitoru tranzistoru  $T_1$  kladné napětí, který na odporu  $R_1$  vytváří určitý úbytek napětí. Čím je napětí na odporu  $R_1$  větší, tím má tranzistor  $T_1$  menší zisk. V podstatě se tímto nastavuje tranzistoru  $T_1$  velikost záporné zpětné proudové vazby.

Po připojení napájecího napětí se přes odpor M12 otevře tranzistor  $T_2$ . Jeho proud kolektoru protéká odparem  $R_5$  a vytváří na něm kladný úbytek napětí. Jakmile dosáhne napětí na  $R_5$  vstupního prahového napětí  $T_1$  a úbytku napětí na odporu  $R_1$  začne se  $T_1$  otevírat, tím začne napětí na kolektoru  $T_1$  klesat a na to  $T_2$  reaguje přivřením na takovou úroveň, aby platilo  $U_{R5} = U_{BET1} + U_{R1}$ . Odpor  $R_4$  a  $R_5$  pracují jako záporná zpětná proudová vazba tranzistoru  $T_2$ . Tyto odpory mají zásadní vliv na teplotní stabilizaci tranzistoru  $T_2$  a tím celého předzesilovače.

| <b>A<sub>u</sub>[dB]</b>  | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>30</b> | <b>40</b> |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>R<sub>1</sub> [kΩ]</b> | 4,7       | 1,5       | 15        | 1,0       |
| <b>R<sub>2</sub> [kΩ]</b> | 12        | 15        | 56        | 180       |
| <b>R<sub>3</sub> [kΩ]</b> | 1,8       | 2,2       | 2,2       | 2,2       |
| <b>R<sub>4</sub> [Ω]</b>  | 470       | 560       | 330       | 680       |
| <b>R<sub>5</sub> [Ω]</b>  | 1200      | 470       | 270       | 220       |
| <b>U<sub>A</sub> [V]</b>  | 3,4       | 0,97      | 0,4       | 0,15      |
| <b>U<sub>B</sub> [V]</b>  | 10,8      | 9,3       | 9,3       | 9,7       |
| <b>U<sub>C</sub> [V]</b>  | 5,6       | 3,5       | 2,3       | 3,4       |

**Obr. č. 17.4.**

### Postup:

- postupně sestrojte obvod dle schéma pro zisk  $A_u = 10\text{dB}$ ,  $A_u = 20\text{dB}$ ,  $A_u = 30\text{dB}$ ,  $A_u = 40\text{dB}$
- změřte a do tabulky запиšte všechna napětí na tranzistoru  $T_1 + T_2$  a porovnejte naměřené hodnoty se zadáním, případně odpory vhodně upravte
- na vstup předzesilovače zapojte generátor sinusového průběhu napětí a výstupní napětí předzesilovače měřte osciloskopem
- na generátoru nastavte kmitočet 1kHz a postupně zvyšujte výstupní napětí na generátoru, až do okamžiku než začne předzesilovač limitovat
- spočítejte a do tabulky запиšte maximální zisk zesilovače v decibelech pro jednotlivé zapojení

$$A_u = 20\log.[\text{dB}, \text{V}, \text{V}]$$



**Tabulka:**

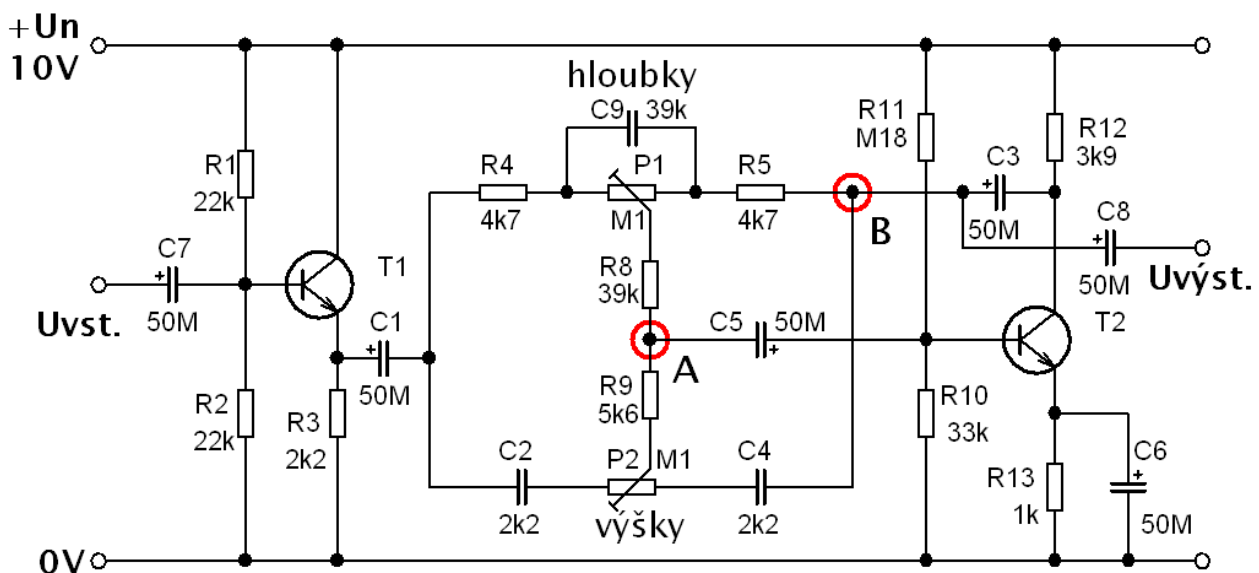
| naměřené hodnoty      | T <sub>1</sub> |   |   | T <sub>2</sub> |   |   |
|-----------------------|----------------|---|---|----------------|---|---|
|                       | E              | B | K | E              | B | K |
| A <sub>u</sub> = 10dB |                |   |   |                |   |   |
| A <sub>u</sub> = 20dB |                |   |   |                |   |   |
| A <sub>u</sub> = 30dB |                |   |   |                |   |   |
| A <sub>u</sub> = 40dB |                |   |   |                |   |   |

**Korekční zesilovač**

Korekční zesilovač je elektronický obvod, který umožňuje obsluhu elektronického zařízení vhodně upravovat kmitočtovou charakteristiku nf zesilovače, případně jiných zařízení, například směšovacích, nahrávacích zařízení a podobně. Nejjednodušší korekční zesilovače mívají jeden případně dvě regulovaná pásma kmitočtů, nejčastěji označovány jako hloubky a výšky. Za hloubky neboli nízké kmitočty se považují kmitočty od 20Hz do 1kHz, vysoké kmitočty jsou od 1kHz do 20kHz. Profesionální nahrávací zařízení mívají možnost korigovat kmitočtovou charakteristiku ve více kmitočtových pásmech v rozmezí od 20Hz do 20kHz. Taková zařízení se nazývají equalizéry.

Korekční zesilovač má nastavenou vstupní citlivost řádově na stovky milivolt, typicky 500mV. Jsou-li všechny korekční prvky, nejčastěji potenciometry, „uprostřed své dráhy“, zisk zesilovače se rovná na všech kmitočtech A<sub>u</sub> = 0dB neboli nezesiluje, potom výstupní napětí bude také 500mV. Posunem určitého korekčního prvku dochází k potlačení nebo zdůraznění určitého spektra kmitočtů, a to až o ± 20dB.

**Schéma zapojení: Obr. č. 17.5.**



**Obr. č. 17.5.**

## Popis funkce

Na **Obr. č. 17.5** je typické zapojení korekčního zesilovače, který je schopen korigovat kmitočty ve dvou pásmech. Vysoké a nízké kmitočty to je výšky a hloubky. Střední kmitočty reprezentované kmitočtem kolem 1kHz, tímto korekčním zesilovačem korigovat nejdu, tudíž na těchto kmitočtech je zisk roven přibližně jedné. Tranzistor  $T_1$  je v zapojení se společným kolektorem, má napěťové zesílení menší než jedna. Na kmitočtové charakteristice zesilovače se nijak nepodílí, pouze upravuje, zvyšuje, vstupní impedanci zesilovače. Tranzistor  $T_2$  je v zapojení se společným emitorem a je schopen pracovat se svým největším možným zesílením. Zesiluje ty kmitočty, které jsou přivedeny z bodu „A“ přes  $C_5$  do báze  $T_2$ . Potenciometr  $P_1$  upravuje nízké kmitočty, protože kondenzátor  $C_9 = 39\text{nF}$  znamená pro vysoké kmitočty zkrat, tudíž se do bodu „A“ nedostanou a potom nemohou být zesíleny. Je-li  $P_1$  v levé části potenciometru dochází ke zdůrazňování nízkých kmitočtů, je-li v pravé části potenciometru dochází k potlačování nízkých kmitočtů a to na okrajích kmitočtového pásma až o  $\pm 20\text{dB}$

Potenciometrem  $P_2$  se korigují vysoké kmitočty, protože kondenzátory  $C_2$  a  $C_4 = 2,2\text{nF}$  mají pro nízké kmitočty příliš vysokou impedanci na to, aby měli možnost se uplatnit v bodě „A“. Je-li  $P_2$  v levé části potenciometru, dochází ke zdůrazňování vysokých kmitočtů, je-li  $P_2$  v pravé části potenciometru dochází k potlačování vysokých kmitočtů a to na okrajích kmitočtového pásma až o  $\pm 20\text{dB}$

## Praktická práce:

Měřením ověřte korekční zesilovač.

Změřte a graficky znázorněte kmitočtovou charakteristiku korekčního zesilovače, a to pro stav, kdy nízké kmitočty jsou potlačeny nebo zdůrazněny. A následně pro stav, kdy jsou vysoké kmitočty potlačeny a potom zdůrazněny.

## Schéma zapojení: Obr. č. 17.5.

### Postup:

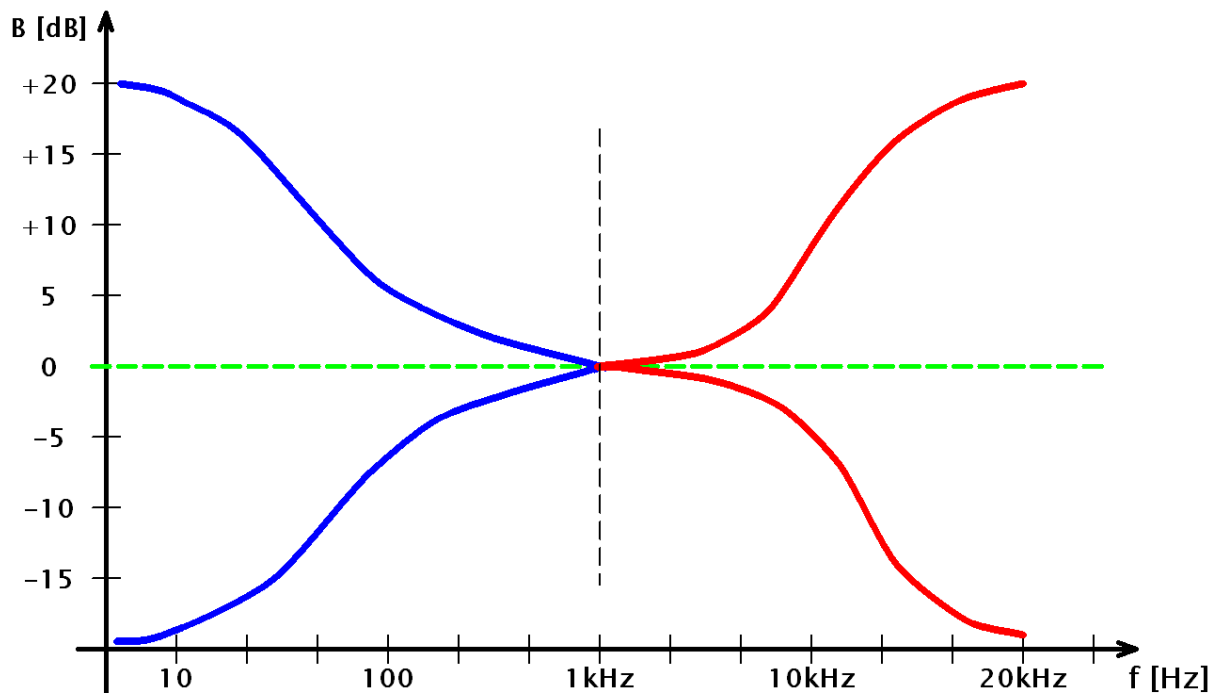
- sestrojte obvod dle schéma
- změřte a do tabulky zapište všechna napětí na tranzistoru  $T_1 + T_2$ , posuďte, jestli naměřená napětí jsou správná, případně odpory vhodně upravte
- na vstup korekčního zesilovače zapojte generátor sinusového průběhu napětí a výstupní napětí zesilovače měřte osciloskopem
- na generátoru nastavte výstupní napětí 200mV a po celou dobu měření kmitočtové charakteristiky je nutné tuto velikost napětí dodržovat
- potenciometr  $P_2$  nastavte do poloviny své dráhy
- postupně na vstupu zesilovače nastavujte kmitočty 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1 000Hz a to v případě, kdy je potenciometr  $P_1$  v levém kraji své dráhy a potom v pravém kraji své dráhy
- naměřené hodnoty výstupního napětí zapisujete do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište zisk zesilovače v decibelech pro jednotlivá měření  
$$A_u = 20 \log. \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{dB}, \text{V}, \text{V}]$$

- potenciometr P1 nastavte do poloviny své dráhy
- postupně na vstupu zesilovače nastavujte kmitočty 1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, 12kHz, 15kHz, 20kHz, a to v případě, kdy je potenciometr P2 v levém kraji své dráhy a potom v pravém kraji své dráhy
- naměřené hodnoty výstupního napětí zapisujete do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište zisk zesilovače v decibelech pro jednotlivá měření  

$$A_u = 20 \log. \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{dB}, \text{V}, \text{V}]$$
- z naměřených hodnot zakreslete graf závislosti  $f = f [A_u] [\text{Hz}, \text{dB}]$

**Příklad pro zhotovení grafu:**

Modře jsou znázorněny nízké kmitočty, stav kdy P1 je v levé a potom v pravé krajní poloze  
Červeně jsou znázorněny vysoké kmitočty, stav kdy P2 je v levé a potom v pravé krajní poloze.  
Zeleně je znázorněn stav, kdy P1 a P2 jsou uprostřed své dráhy.



Tabulka:

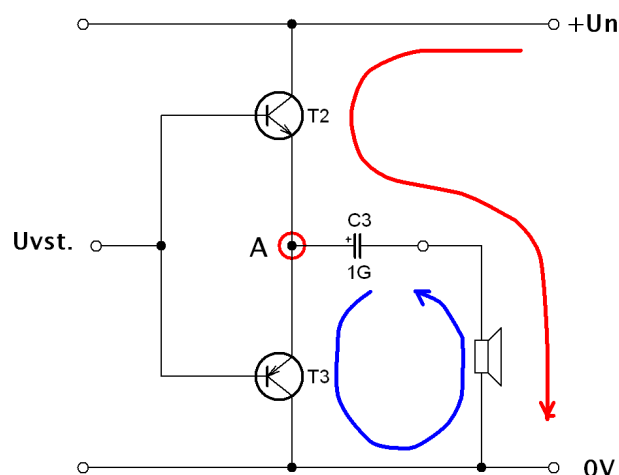
|                      | T <sub>1</sub> |   |   | T <sub>2</sub> |   |   |                |
|----------------------|----------------|---|---|----------------|---|---|----------------|
|                      | E              | B | K | E              | B | K | U <sub>A</sub> |
| naměřené hodnoty [V] |                |   |   |                |   |   |                |

| Hz                    | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|-----------------------|----|----|----|-----|-----|-----|------|
| U <sub>výst</sub> [V] |    |    |    |     |     |     |      |
| A <sub>u</sub> [dB]   |    |    |    |     |     |     |      |
| U <sub>výst</sub> [V] |    |    |    |     |     |     |      |
| A <sub>u</sub> [dB]   |    |    |    |     |     |     |      |

| kHz      | 1kHz | 2kHz | 5kHz | 10kHz | 12kHz | 15kHz | 20kHz |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Uvýt [V] |      |      |      |       |       |       |       |
| Au [dB]  |      |      |      |       |       |       |       |
| Uvýt [V] |      |      |      |       |       |       |       |
| Au [dB]  |      |      |      |       |       |       |       |

### Koncový zesilovač:

Koncový zesilovač je zařízení, které má za úkol zpracovaný signál předešlymi obvody výkonově zesílit na takovou úroveň, aby byl schopen vybudit příslušné reproduktory. Všechny zesilovače, které jsme dosud měřili, pracovaly ve třídě „A“. To je elektrické zapojení, kde vlastní výkonový prvek má nastaven pracovní bod uprostřed převodové charakteristiky. Signálem se potom více otevírá, případně zavírá. Tento způsob zesilování signálu má spoustu výhod, ale pro zesilování výkonu jednu velkou nevýhodu. Velmi malou účinnost a pro výkonové zesilovače je toto zapojení naprosto nevhodné. Typické zapojení výkonového zesilovače je ve třídě „B“, případně ve třídě „AB“. To je elektrické zapojení, kdy koncový stupeň je osazen dvěma výkonovými prvky, z nichž jeden zpracovává kladnou půlvlnu a druhý zápornou půlvlnu. Pokud zesilovač není buzen signálem, koncovým stupněm neteče žádný proud, případně vzhledem k zpracovávaným výkonům velmi malý. Na **Obr. č. 17.6** je principiální schéma koncového stupně nf zesilovače zapojeného ve třídě „B“ s nesymetrickým napájecím napětím. Tranzistory T2 a T3 musí mít nastaveny pracovní body tak, aby v době „A“ byla úroveň napětí rovna polovině napájecího napětí. Přejde-li na vstup kladná půlvlna, otevře se tranzistor T2 a kondenzátor C3 se nabije na plné napájecí napětí přes cívku reproduktoru tak, jak je znázorněno červenou křivkou. Při záporné půlvlně se otevře tranzistor T3 a kondenzátor C3 se vybije do reproduktoru. Jestliže předpokládáme, že proud teče od kladného pólu k zápornému, tak potom na obrázku je zřejmé, že vybíjecí proud kondenzátoru C3 teče opačným směrem, než když byl otevřen tranzistor T2. Tímto způsobem se obě půlvlny, kladná a záporná na reproduktoru opět spojí.



Obr. č. 17.6.

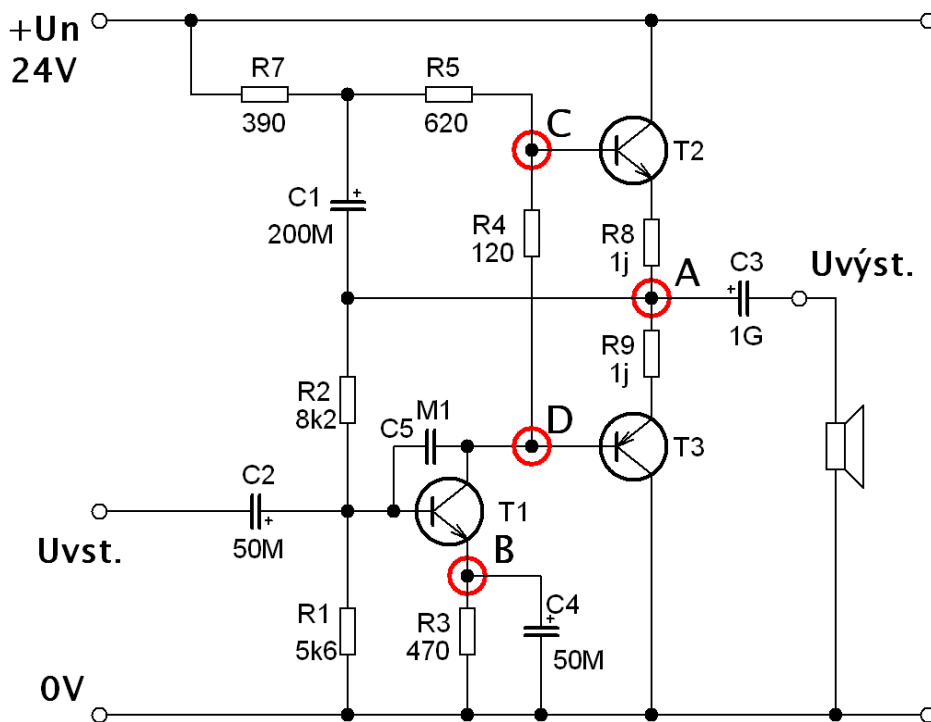
### Praktická práce:

Měřením ověřte koncový nízkofrekvenční zesilovač.

Spočítejte jeho maximální výkon pro zadané napájecí napětí a odpor  $R_z = 4\Omega$

Změřte a graficky znázorněte kmitočtovou charakteristiku koncového zesilovače při jedné třetině jeho maximálního výkonu a při kmitočtu 1kHz.

### Schéma zapojení: Obr. č. 17.7.



Obr. č. 17.7.

### Popis funkce

Na Obr. č. 17.7. je jednoduché zapojení koncového zesilovače. Toto zapojení není příliš vhodné pro skutečný nf zesilovač, hlavně z důvodů nízké stability, ale jako ukázka funkce koncového zesilovače je velice zajímavý. Tranzistor  $T_1$  pracuje jako budící stupeň. V této pozici vyhoví univerzální typ malého výkonu, například BC 546. Tranzistory  $T_2$  a  $T_3$  pracují ve třídě AB a každý zpracovává jednu půlvlnu střídavého signálu. Pracovní bod celého zesilovače, musí být nastaven tak, aby v bodě „A“ byla nastavena polovina napájecího napětí. Vzhledem k tomu, že zesilovač tohoto typu při napájení 24V teoreticky může dosáhnout až 17W výkonu na  $R_z = 4\Omega$ , musí být patřičně dimenzovány koncové tranzistory  $T_2$  a  $T_3$ . Lze použít například pár tranzistorů BD241 a BD242.

Po připojení napájecího napětí se přes odpory  $R_7$  a  $R_5$  otevře tranzistor  $T_2$ . V bodě „A“ se teoreticky objeví plné napájecí napětí. Na to začne protékat proud děličem  $R_2$  a  $R_1$ , který otevírá tranzistor  $T_1$ . Tím se přivede záporné napětí do báze tranzistoru  $T_3$ , ten se otevírá, a tím v bodě „A“ klesá napětí a  $T_1$  se zpětně zavírá. Hodnotu napětí v bodě „A“ je možné nastavit změnou odporů v děliči tranzistoru  $T_1$ . Zvětšováním  $R_1$  nebo zmenšováním  $R_2$  napětí v bodě „A“ bude klesat. Kondenzátor  $C_5$  brání rozkmitání zesilovače. Odpory  $R_8$  a  $R_9$  slouží jako elektronická proudová pojistka a na vlastní funkci zesilovače se nepodílí. Se vzrůstajícím proudem kolektoru tranzistorů  $T_2$  a  $T_3$  roste úbytek napětí na rezistorech  $R_8$  a  $R_9$ , ale napětí v bodech „C“ a „D“ je stálé. Tím se zmenšuje úbytek napětí mezi bází a emitorem, což vede ke snížení proudu báze a následnému snížení proudu kolektoru tranzistorů  $T_2$  a  $T_3$ .

## Postup:

- sestrojte obvod dle schéma
- vodivě propojte vstupní svorku se společnou svorkou 0V, aby nedocházelo k vybuzení a zakmitávání zesilovače
- změřte a do tabulky zapište všechna napětí na tranzistoru  $T_1 + T_3$ , posuďte zda-li naměřená napětí jsou správná, případně odpory vhodně upravte. Rozhodující je napětí v bodě „A“, kde musí být polovina napájecího napětí a napětí v bodě „B“ asi 4,5V
- ověřte osciloskopem, zdali obvod nekmitá, případně kondenzátory M1 doplňte i k tranzistorům T2 a T3
- na vstup koncového zesilovače zapojte generátor sinusového průběhu napětí a výstupní napětí zesilovače měřte osciloskopem
- na generátoru nastavte kmitočet 1kHz a výstupní napětí 0V. Postupně napětí na generátoru zvyšujte, až do plného vybuzení zesilovače, kdy koncové tranzistory T2 a T3 začnou limitovat
- spočítejte maximální výkon zesilovače  $P_{Rz} = U_{ef}^2/R_z$
- změřte potřebné vstupní napětí pro vybuzení zesilovače na jednu třetinu maximálního výkonu při kmitočtu 1kHz
- postupně na vstupu zesilovače nastavujte kmitočty 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1 000Hz a to při jedné třetině maximálního výkonu zesilovače
- postupně na vstupu zesilovače nastavujte kmitočty 1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, 12kHz, 15kHz, 20kHz, a to při jedné třetině maximálního výkonu zesilovače
- naměřené hodnoty výstupního výkonu zapisujete do tabulky
- z naměřených hodnot zhotovte graf kmitočtové závislosti  $f = f [ P ] [ \text{Hz}, \text{W} ]$
- při měření sledujte napěťové zkresení zesilovače

## Příklad výpočtu výkonu zesilovače:

$U_n = 24\text{V}$ ,

naměřená napětí v bodech „A“, „B“, „C“, „D“  $U_A = 12\text{V}$ ,  $U_B = 4,5\text{V}$ ,  $U_C = 12,6\text{V}$ ,

$U_D = 11,4\text{V}$

naměřené napětí osciloskopem na  $R_z = 4\Omega$ , při  $f = 1\text{kHz}$ ,  $U_{mez.} = 15\text{V}$

### – výpočet $U_{ef}$

je-li  $U_{mez.} = 15\text{V}$ , potom  $U_{max} = 0,5 * U_{mez.} = 0,5 * 15\text{V} = 7,5\text{V}$ ,

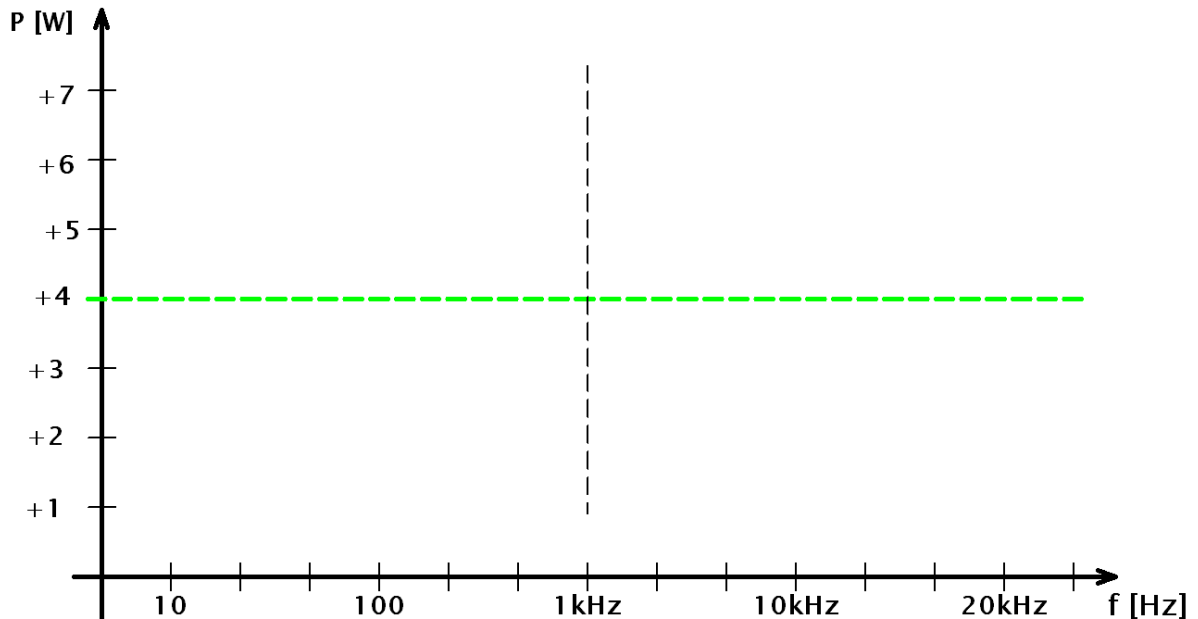
$U_{ef} = U_{max} * 0,7 = 7,5\text{V} * 0,7 = 5,25\text{V}$

– **výpočet výkonu zesilovače**

$$P = U_{ef}^2 / R_z = 5,25V^2 / 4\Omega = 6,89W$$

**Příklad pro zhotovení grafu:**

Na grafu je zelenou čárkovanou čarou znázorněna kmitočtová charakteristika ideálního koncového zesilovače při výkonu 4W do činné zátěže. Ve skutečnosti to tak není. Na okrajích kmitočtových pásem zisk neboli výkon zesilovače klesá, a to obzvláště při nízkých kmitočtech. Běžně se uvádí pokles o -3dB.



**Tabulka:**

|                         | T <sub>1</sub> |      |      | T <sub>2</sub> |       |       | T <sub>3</sub> |   |
|-------------------------|----------------|------|------|----------------|-------|-------|----------------|---|
|                         | E              | B    | K    | E              | B     | K     | E              | B |
| <b>naměřené hodnoty</b> |                |      |      |                |       |       |                |   |
| <b>Hz</b>               | 10             | 20   | 50   | 100            | 200   | 500   | 1000           |   |
| <b>P<sub>Rz</sub></b>   |                |      |      |                |       |       |                |   |
| <b>kHz</b>              | 1kHz           | 2kHz | 5kHz | 10kHz          | 12kHz | 15kHz | 20kHz          |   |
| <b>P<sub>Rz</sub></b>   |                |      |      |                |       |       |                |   |

## 18. Operační zesilovače

Operační zesilovač (zkratka OZ) je univerzální stejnosměrně vázaný zesilovací analogový elektronický obvod, jenž je základním prvkem analogových elektronických systémů.

Operační zesilovače byly původně vyvinuty pro realizaci matematických operací (odtud pak jejich název) v éře analogových počítačů.

První operační zesilovače byly konstruovány z elektronek a později se přešlo na diskrétní polovodičové součástky. Dnešní operační zesilovače jsou téměř výhradně konstruovány jako integrované obvody, přičemž často jeden takový obvod sdružuje několik OZ. První integrované operační zesilovače pocházejí z konce 60. let 20. století. Vůbec první byl obvod  $\mu A709$ , ale ten byl brzy vytlačen obvodem  $\mu A741$ , který je naprostou klasikou ve světě operačních zesilovačů a vyrábí jej mnoho firem v mnoha provedeních dodnes. Oba dva uvedené typy jakož i řada dalších OZ jsou konstruovány pouze z bipolárních tranzistorů. Teprve v 70. letech se začaly v OZ používat unipolární tranzistory. Tyto součástky výrazně zlepšují parametry OZ, takže se téměř blíží ideálnímu OZ. Konstrukce mnohých OZ vybavených unipolárními tranzistory ovšem stále vychází z klasického obvodu 741, u něhož je pouze několik bipolárních tranzistorů zaměněno za unipolární.

Operační zesilovač je v podstatě diferenciální neboli rozdílový zesilovač, který má dva vstupy, invertující a neinvertující a jeden výstup. Signál přivedený na invertující vstup je zpracován na výstupu s otočenou fází o 180 stupňů. Signál přivedený na neinvertující vstup je zpracován ve fázi. Přivádíme-li současně napětí na oba vstupy výstupní napětí je potom dané rozdílem vstupních napětí. Invertující vstup je označován znaménkem „-“, neinvertující vstup je označován znaménkem „+“.

Operační zesilovač bývá nejčastěji napájen symetrickým napájecím napětím, a to z toho důvodu, aby výstupní napětí mohlo nabývat kladných a záporných hodnot vůči svorce 0V. Neboli abychom nemuseli operačnímu zesilovači nastavovat pracovní bod, tak jak jsme si ukázali u tranzistorových obvodů.

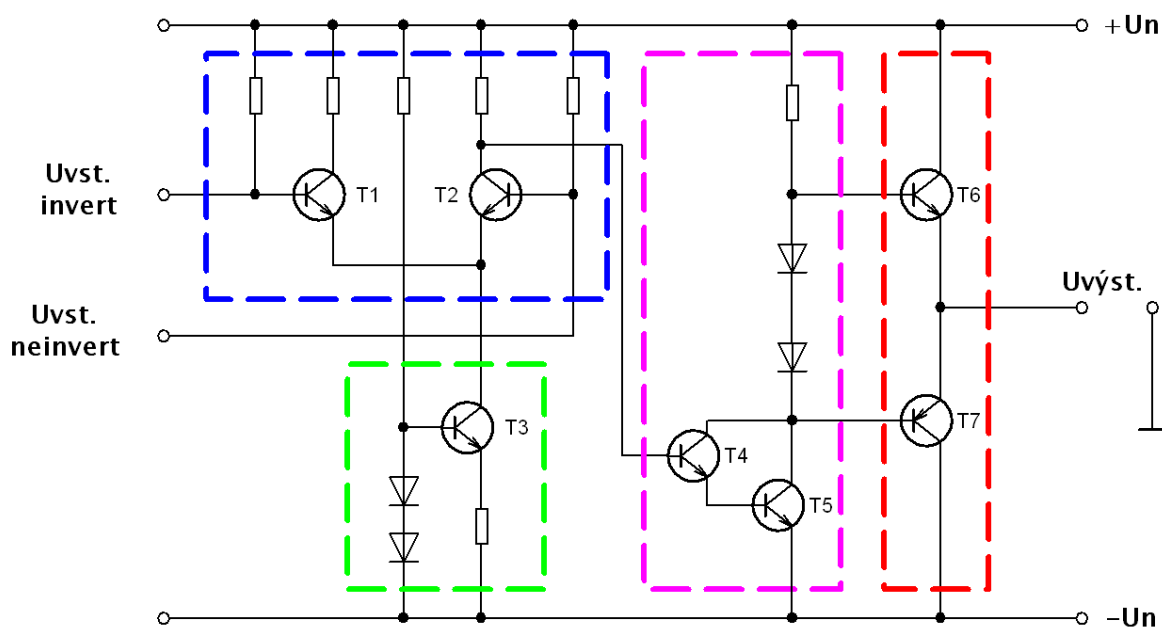
Operační zesilovač je často v praxi pro výpočty nahrazován ideálním operačním zesilovačem, jehož základní vlastnosti jsou:

| Ideální OZ                          | skutečné, reálné hodnoty OZ |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| nekonečně velký vstupní odpor       | větší než 1M $\Omega$       |
| nulový výstupní odpor               | řádově stovky ohmů          |
| nekonečně velké zesílení            | asi 10 <sup>5</sup> a větší |
| nulové ofsetové napětí              | lepší než 0,1V              |
| nekonečnou šířku kmitočtového pásma | běžně stovky kiloherz       |
| nulový šum                          |                             |
| nulové zpoždění průchodu signálu OZ |                             |

Ideálních vlastností OZ není možné dosáhnout, ale v mnoha případech se k nim blížíme s dostatečnou přesností. Asi největší slabinou OZ ze všech parametrů je šířka kmitočtového pásma, kde kmitočtová charakteristika univerzálního OZ je totožná s dolní kmitočtovou propustí. To znamená, že do určitého kmitočtu tak zvaného mezního je, označován  $f_g$ , má univerzální OZ stálé zesílení 10<sup>5</sup>, což je bohatě postačující, ale se zvyšujícím se kmitočtem klesá zisk OZ o 6dB na oktávu, až na kmitočtu označovaném  $f_t$  má zesílení rovno jedné, tehdy už nezesiluje.

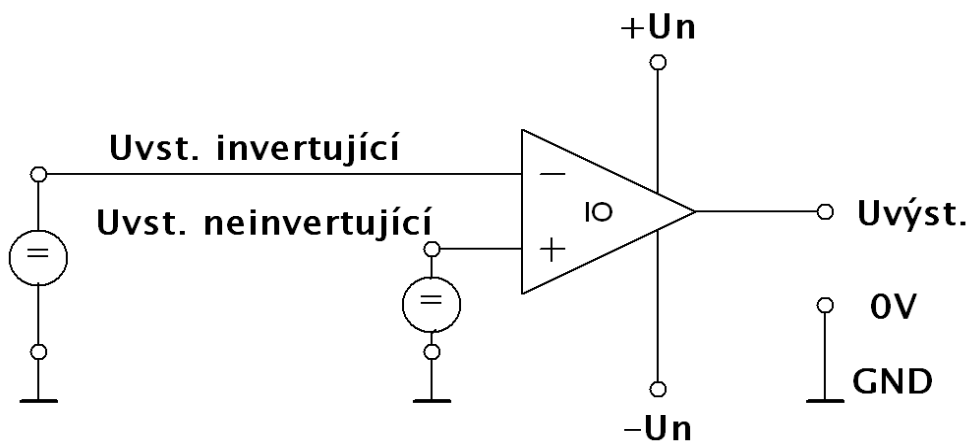


Na **Obr. č. 18.0.** je znázorněno zjednodušené vnitřní zapojení OZ. My už všechny části obvodu známe, už jsme je zapojovali a měřili. Modře orámované tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  je rozdílový zesilovač. Do bází těchto tranzistorů jsou připojeny invertující a neinvertující vstup OZ. Zeleně orámovaný tranzistor  $T_3$  je zdroj konstantního proudu. Má za úkol udržovat na emitorech tranzistorů  $T_1$  a  $T_2$  konstantní teplotně nezávislé napětí. Purpurovou barvou je označen budící stupeň koncového zesilovače a tranzistory  $T_6$  a  $T_7$  jsou koncové tranzistory zesilovače ve třídě AB.



**Obr. č. 18.0.**

Na **Obr. č. 18. 1.** je schematická značka operačního zesilovače s popsány jednotlivými vývody. Některé typy OZ mají ještě kompenzační vstupy napěťové nesymetrie, případně kompenzační vstup kmitočtu. V principiálních schématech většinou nejsou uváděny a ani nebývají kresleny vstupy pro napájení. Bere se jako samozřejmost, že OZ je napájen symetrickým napětím. Ale ne vždy to tak musí být. Jsou vyvinuty OZ, které jsou speciálně určeny pro nesymetrické napájení. Není to typické a potom samozřejmě musí být napájení příslušně označeno.

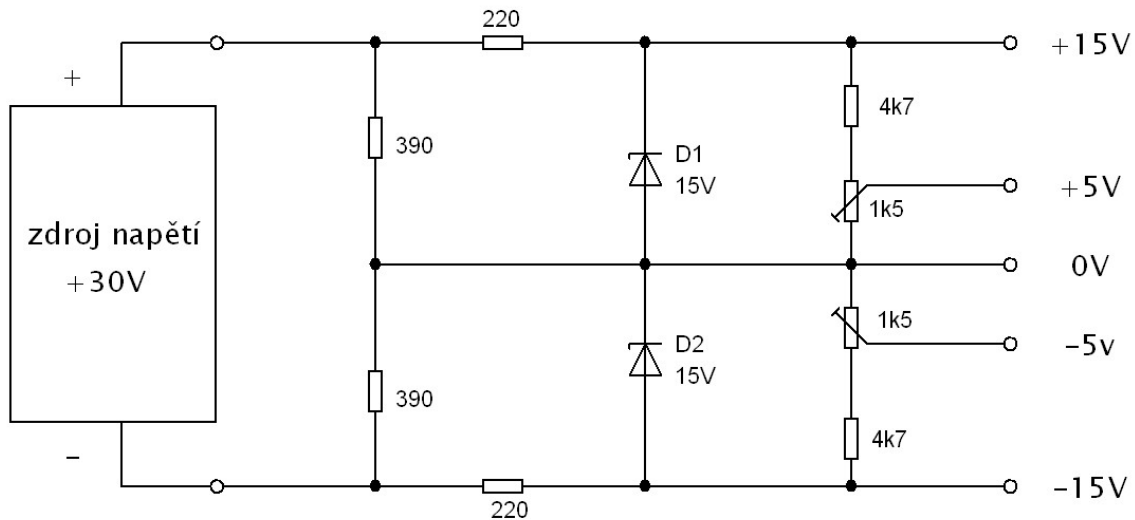


**Obr. č. 18. 1.**

## Základní funkce OZ

1. Přivedeme-li na invertující vstup například kladné napětí, výstupní napětí bude záporné
2. Přivedeme-li na neinvertující vstup kladné napětí, výstupní napětí bude kladné.
3. Přivedeme-li na oba vstupy napětí stejné velikosti i polarity, tak potom výstupní napětí je nulové

## Schéma zapojení symetrického zdroje pro měření na OZ. Obr. č. 18.2.



Obr. č. 18.2.

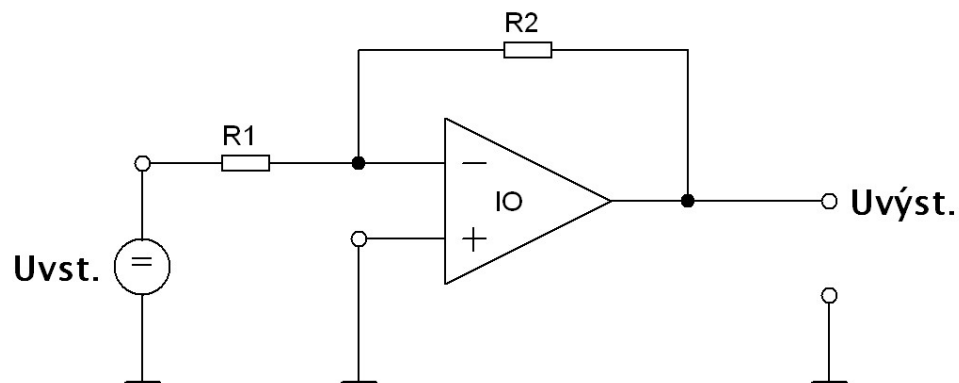
## Invertující operační zesilovač

Invertující operační zesilovač je jedno z nejpoužívanějších zapojení. Obr. č. 18.3. Na výstupu OZ se objeví vstupní napětí vynásobené napěťovým zesílením  $A_u$  neboli ziskem OZ, ale s obrácenou fází o  $180^\circ$ . Velikost zesílení je daná poměrem odporů  $R_2$  a  $R_1$ ,

$$A_u = \frac{R_2}{R_1}$$

Ovšem pozor - tento vzorec platí jen tehdy, je-li zdrojem signálu obvod s nulovým vnitřním odporem (tedy obvod, chovající se jako ideální zdroj napětí).

Pro výstupní napětí platí vztah  $U_{\text{výst}} = - U_{\text{vst}} * \frac{R_2}{R_1}$



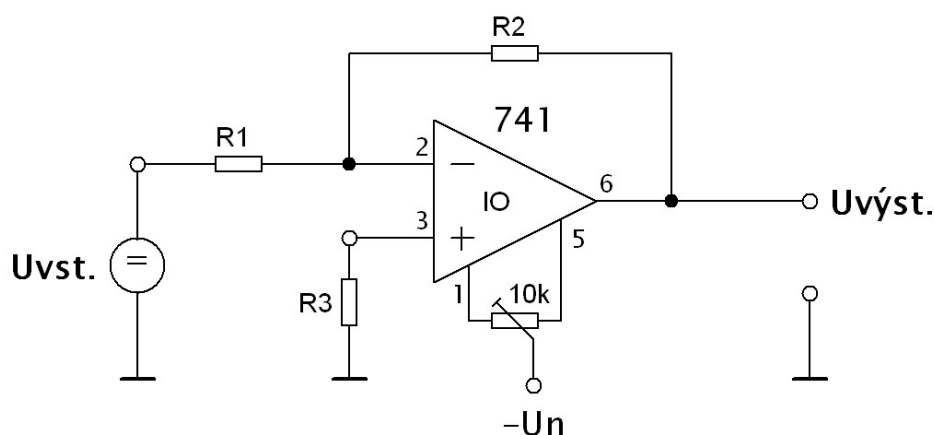
Obr. č. 18.3.

Vstupní impedance je shodná s ohmickou hodnotou odporu  $R_1$ .  $Z_{vst} = R_1$ . Protože OZ se snaží mezi vstupy udržet nulové napětí (viz teorie rozdílového zesilovače) potom na invertujícím vstupu je tak zvaná plovoucí zem nebo říkáme, že v tomto bodě je virtuální nula. Při výpočtu odporů  $R_1$  a  $R_2$  si odpor  $R_1$  zvolíme a druhý dopočteme dle zadání. Odpor  $R_1$  nejčastěji volíme jednotky až desítky kiloohmů.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte invertující operační zesilovač

Schéma zapojení: Obr. č. 18.4.



Obr. č. 18.4.

### Zadání:

$$U_n = \pm 15V,$$

$$\text{napěťový zisk } A_u = 2$$

vstupní napětí v rozsahu  $-2V \div +2V$

$$R_1 = 10k\Omega$$

### Popis funkce:

Vlastní OZ je popsán v předešlé kapitole. Tento obvod je doplněn odporem  $R_3$ , který pracuje jako kompenzace proudové nesymetrie OZ. Na vlastní činnosti OZ se nijak nepodílí. Pro malá zesílení se volí  $R_3 = R_1$ . V zapojení je použit snad nejpoužívanější a nejznámější OZ  $\mu A741$ . Je zde použita kompenzace napěťové nesymetrie dle katalogu výrobce na vývodech OZ 1 a 5 trimrem 10k.

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

$$A_u = \frac{R_2}{R_1}$$

- spočítejte a do tabulky napište teoretická výstupní napětí v rozsahu  $-2V \div +2V$  po  $0,2V$

$$U_{výst} = -U_{vst} * \frac{R_2}{R_1}$$

- sestrojte obvod dle schéma

- vstupní svorku vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové. V opačném případě nulové výstupní napětí nastavte trimrem 10k
- postupně nastavujte vstupní napětí -2V ÷ +2V po 0,2V
- změřte a do tabulky zapište výstupní napětí a porovnejte s teoretickými hodnotami
- na vstup OZ připojte generátor tvarových průběhů a ověřte činnost OZ při různých kmitočtech od 10Hz až do 1MHz, ale i různých typů průběhů napětí
- určete, v jakém kmitočtovém rozmezí by bylo reálné použití daného OZ

### Tabulka:

|               |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|---------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Napětí vstup. | -2V | -1,8V | -1,6V | -1,4V | -1,2V | -1,0V | -0,8V | -0,6V | -0,4V | -0,2V | 0,0V | 0,0V |
| spočítané     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| naměřené      |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |

|               |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Napětí vstup. | 0,0V | +0,2V | +0,4v | +0,6V | +0,8V | +1,0V | -1,2V | +1,4V | +1,6V | +1,8V | +2,0V | 0,0V |
| spočítané     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| naměřené      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

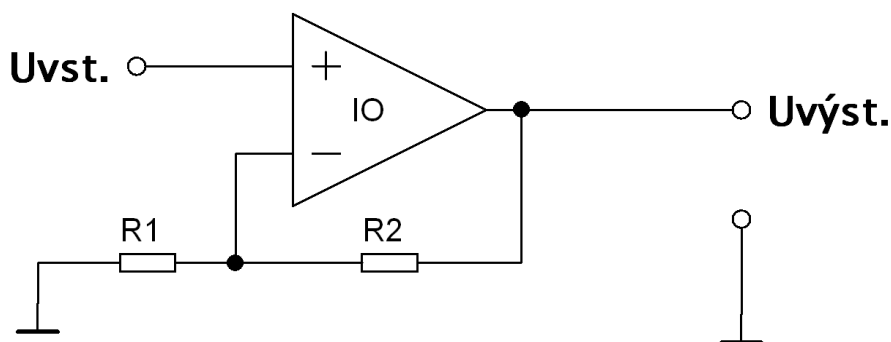
### Neinvertující operační zesilovač

Výstupní napětí neinvertujícího zesilovače je ve fázi se vstupním napětím. Zisk neinvertujícího zesilovače je dán vztahem. **Obr. č. 18.5.**

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Pro výstupní napětí potom platí.

$$U_{\text{výst}} = U_{\text{vst}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$



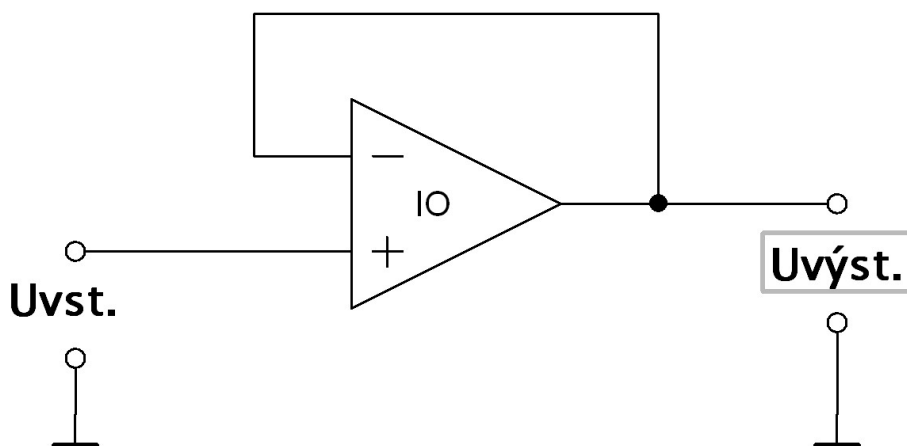
Obr. č. 18.5.

Z matematických vztahů je zřejmé, že neinvertující zesilovač má zisk vždy větší než jedna. Hlavní výhodou tohoto zapojení je velký vstupní odpor, který je nezávislý na ohmických hodnotách odporů  $R_1$  a  $R_2$ . Reálná hodnota vstupního odporu je  $1\text{M}\Omega \div 10\text{T}\Omega$ . Hodnotu odporu  $R_1$  volíme nejčastěji v jednotkách, případně desítkách kiloohmů.

Zvláštním případem neinvertujícího zesilovače je sledovač napětí. **Obr. č. 18.6.** Napěťový zisk je roven jedné a napětí vstupní a výstupní je ve fázi. Má velmi velkou vstupní impedanci,  $1\text{M}\Omega \div 10\text{T}\Omega$ , a malou výstupní impedanci. Sledovač se používá pro oddělení vysokoimpedančního vstupu a nízkoimpedančního výstupu.

$$U_{\text{výst.}} = U_{\text{vst.}}$$

$$Z_{\text{vst.}} = \text{nekonečno}$$



**Obr. č. 18.6.**

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte neinvertující operační zesilovač

### Schéma zapojení: Obr. č. 18.5.

#### Zadání:

$$U_n = \pm 15\text{V},$$

$$\text{napěťový zisk } A_u = 2$$

vstupní napětí v rozsahu  $-2\text{V} \div +2\text{V}$

$$R_1 = 10\text{k}\Omega$$

#### Popis funkce:

V zapojení použijte OZ  $\mu\text{A}741$  s kompenzací napěťové nesymetrie dle katalogu výrobce na vývodech OZ 1 a 5 trimrem  $10\text{k}$ .

#### Postup:

- spočítejte odpory  $R_1$ ,  $R_2$

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- spočítejte a do tabulky napište teoretická výstupní napětí v rozsahu  $-2\text{V} \div +2\text{V}$  po  $0,2\text{V}$

$$U_{\text{výst.}} = U_{\text{vst.}} * 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- sestrojte obvod dle schéma
- vstupní svorku vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové. V opačném případě nulové výstupní napětí nastavte trimrem 10k
- postupně nastavujte vstupní napětí -2V ÷ +2V po 0,2V
- změřte a do tabulky zapište výstupní napětí a porovnejte s teoretickými hodnotami
- na vstup OZ připojte generátor tvarových průběhů a ověřte činnost OZ při různých kmitočtech od 10Hz až do 1MHz, ale i různých typů průběhů napětí
- určete, v jakém kmitočtovém rozmezí by bylo reálné použití daného OZ

#### Tabulka:

|               |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|---------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Napětí vstup. | -2V | -1,8V | -1,6V | -1,4V | -1,2V | -1,0V | -0,8V | -0,6V | -0,4V | -0,2V | 0,0V | 0,0V |
| spočítané     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| naměřené      |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |

|               |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Napětí vstup. | 0,0V | +0,2V | +0,4v | +0,6V | +0,8V | +1,0V | +1,2V | +1,4V | +1,6V | +1,8V | +2,0V | 0,0V |
| spočítané     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| naměřené      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

#### Rozdílový zesilovač

Rozdílový zesilovač můžeme v literatuře nalézt taky pod názvem diferenciální zesilovač. Zpracovává napětí současně z obou vstupů. Jsou-li vstupní napětí nesouhlasná polaritou hodnoty napětí sečte a vynásobí ziskem OZ. Jsou-li polaritou souhlasná, napětí od sebe odečte a výsledek vynásobí ziskem OZ. **Obr. č. 18.7.**

$$A_u = \frac{R_2}{R_1}$$

Vztah pro výpočet výstupní napětí.

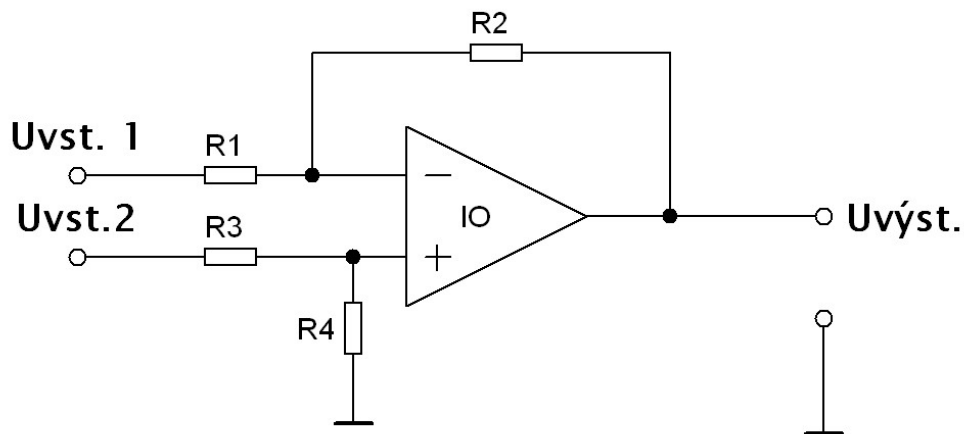
$$U_{\text{výst.}} = (U_{\text{vst.2}} - U_{\text{vst.1}}) \frac{R_2}{R_1}$$

K vytvoření pracovních podmínek obou vstupů je třeba aby  $R_1 = R_3$ ,  $R_2 = R_4$ . Pak se jako užitečný signál uplatní pouze rozdíl vstupních napětí a rušivé signály jsou potlačeny. Diferenciální zesilovač obvykle vyžaduje kompenzaci napěťové nesymetrie.

#### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte rozdílový zesilovač

**Schéma zapojení: Obr. č. 18.7.**



Obr. č. 18.7.

**Zadání:**

$U_n = \pm 15V$ ,  
 napěťový zisk  $A_U = 1$   
 vstupní napětí v rozsahu  $-2V \div +2V$   
 $R_1 = 10k\Omega$

**Popis funkce:**

V zapojení použijte OZ  $\mu A741$  s kompenzací napěťové nesymetrie dle katalogu výrobce na vývodech OZ 1 a 5 trimrem 10k.

**Postup:**

- spočítejte odpory  $R_1 \div R_4$
- $$A_u = \frac{R_2}{R_1}$$
- spočítejte a do tabulky napište teoretická výstupní napětí pro vstupní napětí v rozsahu  $-2V \div +2V$  dle tabulky
- $$U_{výst.} = (U_{vst.2} - U_{vst.1}) \frac{R_2}{R_1}$$
- sestrojte obvod dle schéma
  - vstupní svorky invertujícího a neinvertujícího vstupu vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové. V opačném případě nulové výstupní napětí nastavte trimrem 10k
  - postupně nastavujte vstupní napětí  $-2V \div +2V$  dle tabulky
  - změřte a do tabulky zapište výstupní napětí a porovnejte s teoretickými hodnotami
  - na vstup OZ připojte dva generátory tvarových průběhů a ověřte činnost OZ při různých kmitočtech od 10Hz až do 1MHz, ale i různých typů průběhů napětí

### Příklad výpočtu elektrického obvodu:

$$U_n = \pm 15V,$$

$$\text{napěťový zisk } A_U = 2$$

vstupní napětí v rozsahu  $-2V \div +2V$

$$R_1 = 10k\Omega$$

$$U_{vst.1} = -1V \text{ a } U_{vst.2} = +1V$$

- výpočet odporu  $R_2$

$$A_U = \frac{R_2}{R_1}, \quad R_2 = A_U * R_1 = 2 * 10k\Omega = 20k\Omega$$

$$R_4 = R_2, \quad R_3 = R_1$$

- výpočet výstupního napětí

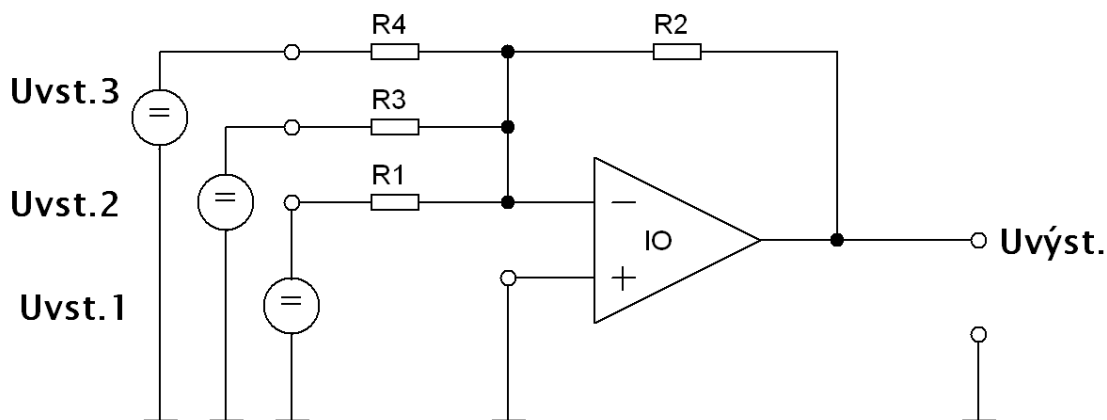
$$U_{výst.} = (U_{vst.2} - U_{vst.1}) \frac{R_2}{R_1} = [+1V - (-1V)] \frac{20k}{10k} = +2V * 2 = 4V$$

### Tabulka:

|                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| U <sub>vst.1</sub> | +1V | -1V | +1V | -1V | +2V | +1V | -2V | +2V | -1V |
| U <sub>vst.2</sub> | +1V | -1V | -1V | +1V | +1V | +2V | +1V | -1V | -2V |
| U <sub>výst.</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| U <sub>výst.</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

### Sčítací zesilovač

Sčítací operační zesilovač nebo jiným názvem sumátor sčítá napětí na jednotlivých vstupech, přičemž výstupní napětí je fázově otočeno o 180 stupňů. **Obr. č. 18.8.**



**Obr. č. 18.8.**

Sčítací zesilovač má obdobné vlastnosti jako invertující zesilovač. Zesílení pro jednotlivé vstupy je dáno poměrem odporu  $R_2$  a vstupních odporů. Vstupní impedance určitého vstupu je rovna hodnotě vstupního odporu. Pokud je polarita jednotlivých vstupních napětí stejná, potom se jednotlivá vstupní napětí vynásobí ziskem pro daný vstup a na výstupu OZ se vstupní napětí sečtou s opačnou fází.



$$\text{Zesílení Uvst.1 je } A_{u1} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{Zesílení Uvst.2 je } A_{u2} = \frac{R_2}{R_3}$$

$$\text{Zesílení Uvst.3 je } A_{u3} = \frac{R_2}{R_4}$$

$$\text{Potom platí. } U_{\text{výst.}} = - \left( \frac{R_2}{R_1} * U_1 + \frac{R_2}{R_3} * U_2 + \frac{R_2}{R_4} * U_3 \right)$$

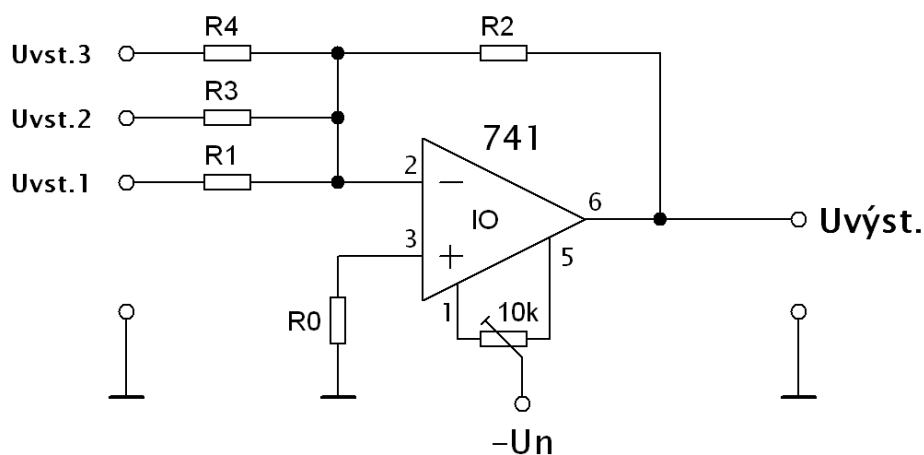
Nečastěji se používá sčítací zesilovač pro  $A_u = 1$  na všech vstupech stejné. Potom platí.

$$R_2 = R_1 = R_3 = R_4$$

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte sčítací operační zesilovač

Schéma zapojení: Obr. č. 18.9.



Obr. č. 18.9.

### Popis funkce:

V zapojení použijte OZ  $\mu A741$  s kompenzací napěťové nesymetrie dle katalogu výrobce na vývodech OZ 1 a 5 trimrem 10k. Obvod je doplněn kompenzací proudové nesymetrie odporem  $R_0$ . Pro malá zesílení se  $R_0$  volí shodné s  $R_1$ .  $R_0 = R_1$

### Zadání:

$$U_n = \pm 15V,$$

napěťový zisk na všech vstupech stejné  $A_u = 2$

vstupní napětí v rozsahu  $-2V \div +2V$

$$R_1 = 10k\Omega$$

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_2 \div R_4$

$$A_u = \frac{R_2}{R_1}$$

- spočítejte a do tabulky napište teoretická výstupní napětí pro vstupní napětí v rozsahu -2V ÷ +2V dle tabulky  

$$U_{\text{výst.}} = - \left( \frac{R_2}{R_1} * U_1 + \frac{R_2}{R_3} * U_2 + \frac{R_2}{R_4} * U_3 \right)$$
- sestrojte obvod dle schéma
- vstupní svorky sčítacího operačního zesilovače vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové. V opačném případě nulové výstupní napětí nastavte trimrem 10k
- postupně nastavujte napětí na jednotlivých vstupech dle tabulky
- změřte a do tabulky zapište výstupní napětí a porovnejte s teoretickými hodnotami
- na vstup OZ připojte dva generátory tvarových průběhů a ověřte činnost OZ při různých kmitočtech od 10Hz až do 1MHz, ale i různých typů průběhů napětí

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = \pm 15V$ ,  
 napěťový zisk  $A_u = 1$   
 vstupní napětí v rozsahu -2V ÷ +2V  
 $R_1 = 10k\Omega$   
 $U_{\text{vst.1}} = -1V$  ,  $U_{\text{vst.2}} = +1V$  ,  $U_{\text{vst.3}} = +1V$

- **výpočet odporu  $R_2$**   
 $A_u = \frac{R_2}{R_1}$  ,  $R_2 = A_u * R_1 = 1 * 10k\Omega = 10k\Omega$   
 $R_4 = R_2 = R_3 = R_1$

- **výpočet výstupního napětí**  

$$U_{\text{výst.}} = - \left( \frac{R_2}{R_1} * U_1 + \frac{R_2}{R_3} * U_2 + \frac{R_2}{R_4} * U_3 \right) =$$

$$= 1 * (-1V) + 1 * (+1V) + 1 * (+2V) = +2V$$

**Tabulka:**

|                          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>U<sub>vst.1</sub></b> | <b>+1V</b> | <b>-1V</b> | <b>+1V</b> | <b>-1V</b> | <b>+2V</b> | <b>-</b>   | <b>-</b>   | <b>-</b>   | <b>-</b>   |
| <b>U<sub>vst.2</sub></b> | <b>+1V</b> | <b>-1V</b> | <b>+1V</b> | <b>-1V</b> | <b>+2V</b> | <b>+1V</b> | <b>-2V</b> | <b>+2V</b> | <b>-1V</b> |
| <b>U<sub>vst.3</sub></b> | <b>+1V</b> | <b>-1V</b> | <b>-1V</b> | <b>+1V</b> | <b>+1V</b> | <b>+2V</b> | <b>+1V</b> | <b>-1V</b> | <b>-2V</b> |
| <b>U<sub>výst.</sub></b> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>U<sub>výst.</sub></b> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

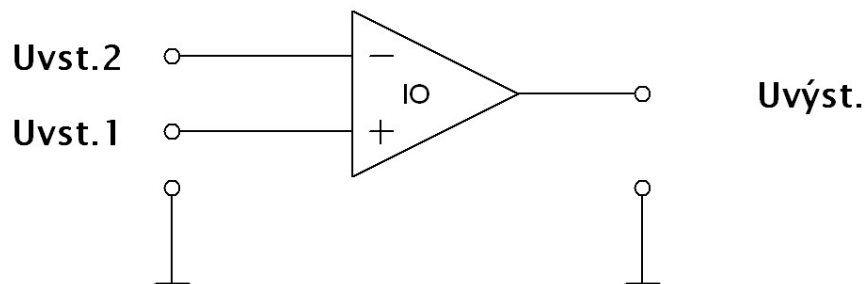
**Komparátor**

Komparátor porovnává napětí přivedená na invertující a neinvertující vstup. Pokud je vyšší napětí na neinvertujícím vstupu, je na výstupu kladné saturační napětí operačního zesilovače, je li vyšší napětí na invertujícím vstupu, je výstupní napětí záporné saturační napětí operačního zesilovače. U běžných operačních zesilovačů je saturační napětí výstupu řádově o jeden volt nižší než je napětí napájecí. **Obr. č. 18.10.**

Speciální tzv. rail-to-rail operační zesilovače jsou ovšem konstruovány tak, aby výstupní napětí mohlo dosahovat téměř hodnot napětí napájecího. Přeběh z jedné saturace do opačné je velice rychlý, protože v tomto zapojení operační zesilovač pracuje s maximálním napěťovým zesílením. Typická hodnota je  $A_u = 10^5$ . Pro výpočet platí vztah

$$U_{\text{sat.}+} = U_{\text{vst.1}} > U_{\text{vst.2}}$$

$$U_{\text{sat.}-} = U_{\text{vst.2}} > U_{\text{vst.1}}$$

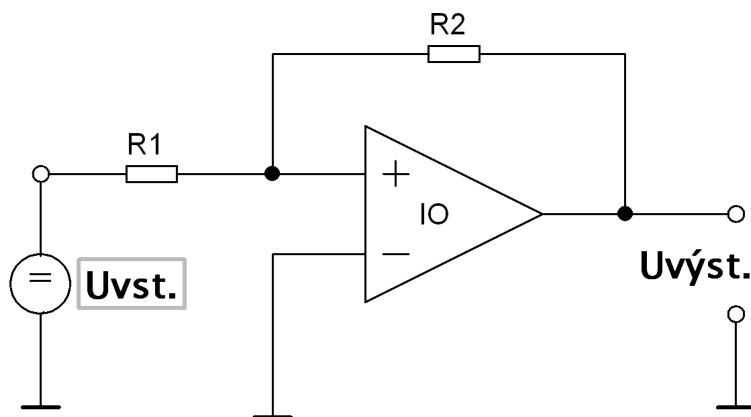


Obr. č. 18.10.

### Schmittův klopný obvod

Schmittův klopný obvod je speciální komparátor, který má napěťovou hysterezi. Hystereze je rozdíl napětí mezi překlápěcím napětím z jedné saturace do druhé. To znamená, že jeho výstup je závislý nejen na hodnotě vstupního napětí, ale i na jeho původním stavu. Podobně jako obyčejný komparátor s operačním zesilovačem, i Schmittův klopný obvod dosahuje na výstupu kladného nebo záporného saturačního napětí. Pokud je na výstupu například kladné saturační napětí, nedojde k překlapaní Schmittova obvodu při pouhém splnění podmínky  $U_{\text{vst.1}} > U_{\text{vst.2}}$  jako u komparátoru, ale teprve až rozdíl obou napětí dosáhne prahové hodnoty. Podobně pokud je nyní na výstupu záporné saturační napětí, může dojít ke zpětnému překlapaní Schmittova obvodu teprve až v momentě, kdy  $U_{\text{vst.2}} > U_{\text{vst.1}}$  je o více než je hystereze obvodu. **Obr. č. 18.11.** Hystereze obvodu „H“ je možné spočítat ze vztahu

$$\pm H = \pm U_{\text{sat.}} \left( \frac{R2}{R1} \right)$$



Obr. č. 18.11.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte komparátor a Schmittův klopný obvod

Schéma zapojení: Obr. č. 18.10. Obr. č. 18.11.

### Zadání:

$$U_n = \pm 15V,$$

hystereze Schmittova klopného obvodu  $\pm H = 3V$

$$R_2 = 10k\Omega$$

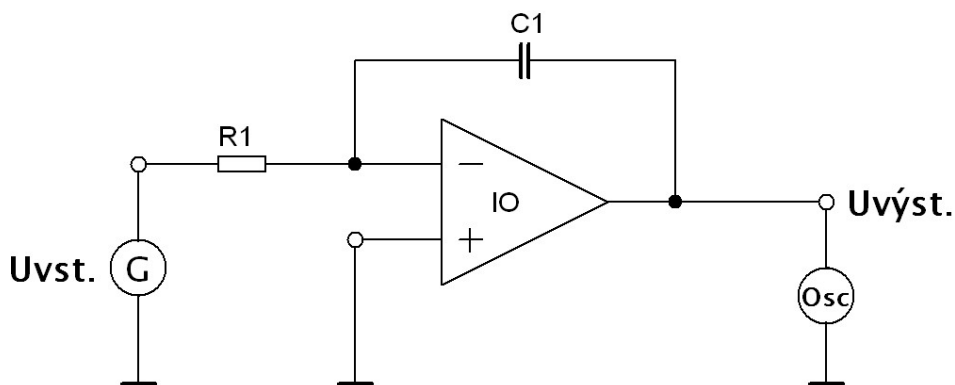
### Integrační operační zesilovač

Také se nazývá Millerův integrátor. **Obr. č. 18.12.** Funkce integračního zesilovače je v podstatě shodná jako u integračního pasivního článku, který jsme již v předešlé kapitole měřili, ale s tím rozdílem, že integrační pasivní článek nemůže mít výstupní napětí větší než vstupní. To u integračního zesilovače neplatí. Výstupní napětí Integračního operačního zesilovače může být téměř shodné s napájecím napětím. Po připojení vstupního napětí výstupní napětí postupně narůstá rychlostí, která je dána časovou konstantou  $T = R_1 * C_1$  až do saturačního napětí výstupu. V případě, bude-li vstupní napětí obdélníkového průběhu je možné toto zapojení používat například při výrobě trojúhelníkového průběhu napětí nebo toto může pracovat jako časovač se zpožděným zapnutím.

Podobně jako integrační článek i toto zapojení lze použít jako dolní frekvenční propust v případě, že vstupní napětí má sinusový průběh. V zjednodušeném případě lze toto

zapojení považovat jako invertující operační zesilovač se ziskem  $A_u = \frac{X_{C1}}{R1}$ . Ovšem

zisk  $A_u$  bude platit vždy pouze pro jeden kmitočet. Protože kapacitní reaktance se vzrůstajícím kmitočtem klesá, potom se vzrůstajícím kmitočtem bude, bude klesat zisk  $A_u$  integračního operačního zesilovače.



Obr. č. 18.12.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte integrační operační zesilovač jako dolní propust.

Schéma zapojení: Obr. č. 18.12.

**Zadání:**

$$U_n = \pm 15V,$$

$$R_1 = 10k\Omega$$

integrační operační zesilovač navrhnete tak, aby při kmitočtu 1kHz měl zisk  $A_u = 1$

**Postup:**

- spočítejte kondenzátor  $C_1$

$$A_u = \frac{X_{c1}}{R1}$$

- sestrojte obvod dle schéma
- vstupní svorky integračního operačního zesilovače vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové. V opačném případě nulové výstupní napětí nastavte trimrem 10k
- na vstup integračního operačního zesilovače zapojte generátor sinusového průběhu napětí a výstupní napětí operačního zesilovače měřte osciloskopem
- na generátoru nastavte výstupní napětí 200mV a po celou dobu měření kmitočtové charakteristiky je nutné tuto velikost napětí udržovat na konstantní hodnotě.
- postupně na vstupu operačního zesilovače nastavujte kmitočty 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1 000Hz
- naměřené hodnoty výstupního napětí zapisujete do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište zisk zesilovače v decibelech pro jednotlivá měření  $A_u = 20\log.[\text{dB}, \text{V}, \text{V}]$
- postupně na vstupu operačního zesilovače nastavujte kmitočty 1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 50kHz, 100kHz,
- naměřené hodnoty výstupního napětí zapisujete do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište zisk zesilovače v decibelech pro jednotlivá měření  $A_u = 20\log.[\frac{U2}{U1} \text{ dB}, \text{V}, \text{V}]$
- z naměřených hodnot zakreslete graf závislosti  $f = f [A_u] [\text{Hz}, \text{dB}]$

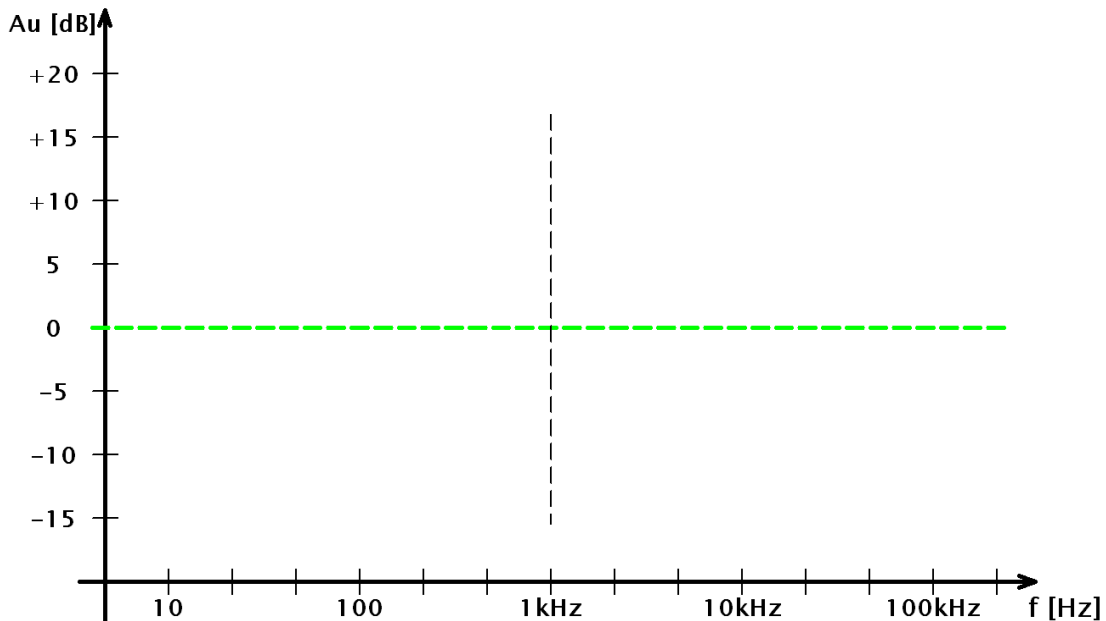
**Tabulka:**

| Hz                    | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|-----------------------|----|----|----|-----|-----|-----|------|
| U <sub>vyst</sub> [V] |    |    |    |     |     |     |      |
| A <sub>u</sub> [dB]   |    |    |    |     |     |     |      |

| kHz                   | 1kHz | 2kHz | 5kHz | 10kHz | 10kHz | 50kHz | 100kHz |
|-----------------------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| U <sub>vyst</sub> [V] |      |      |      |       |       |       |        |
| A <sub>u</sub> [dB]   |      |      |      |       |       |       |        |

### Příklad pro zhotovení grafu:

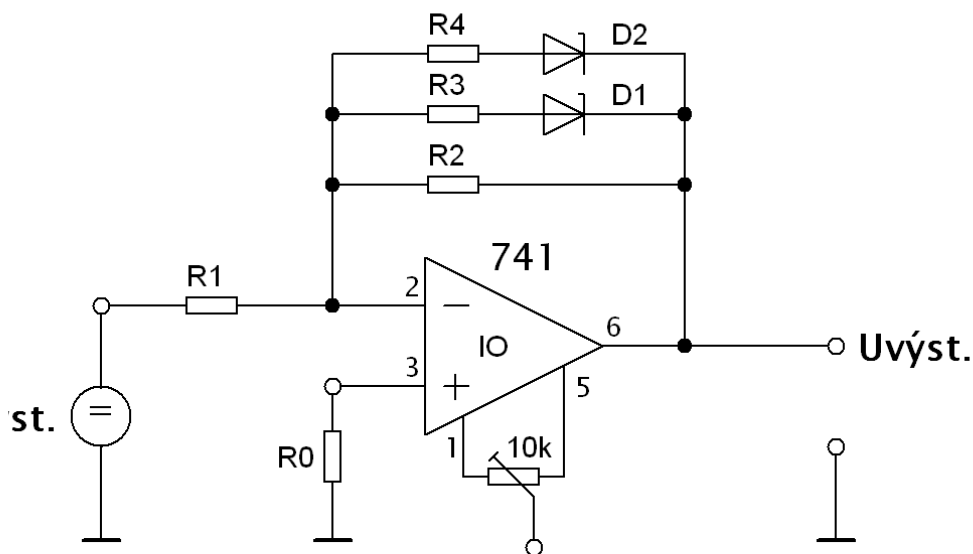
Na grafu je zelenou čárkovanou čarou znázorněn zisk operačního zesilovače  $A_u = 1$ . Dle zadání OZ by měl mít tento zisk při 1kHz. Při kmitočtech nižších bude zisk narůstat a při kmitočtech nižších bude zisk klesat se strmostí 10dB/dek.



### Omezovač zesílení

Toto zapojení můžeme v literatuře najít taky pod názvem tvarovač. Jde o elektronické zapojení, které má různý napěťový zisk při různém vstupním napětí. **Obr. č. 18.13.**

V našem případě jsou to tři různá napěťová zesílení, která jsou daná odpory  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  a Zenerovými diodami  $D_1$  a  $D_2$ . Toto zapojení pracuje pouze pro kladná vstupní napětí a používají se v případě, je-li nutné upravit napěťový průběh signálu. Typické použití je při elektronické výrobě sinusového průběhu signálu.



Obr. č. 18.13.

Do Zenerova napětí diody  $D_1$  má OZ zisk daný poměrem odporů  $R_2$  a  $R_1$ . Jakmile výstupní napětí OZ překročí Zenerovo napětí diody  $D_1$ , potom se k odporu  $R_2$  připojí paralelně odpor  $R_3$ , tudíž zisk zesilovače klesne, protože je dán poměrem paralelní kombinace odporů  $R_{2,3}$  a  $R_1$ . Obdobně tomu bude, až výstupní napětí dosáhne napětí Zenerovy diody  $D_2$ .

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte omezovač napětí s operačním zesilovačem.

**Schéma zapojení: Obr. č. 18.13.**

#### Zadání:

$$U_n = \pm 15V$$

$$R_1 = 10k\Omega$$

Omezovací operační zesilovač navrhnete tak, aby pro výstupní napětí od 0V ÷ 5V měl zesílení  $A_{u1} = 2$ . Od 5V do 8V měl zesílení  $A_{u2} = 1$  a od 8V měl zesílení  $A_{u3} = 0.66$

#### Postup:

- spočítejte odpory  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$

$$A_{u1} = \frac{R_2}{R_1} = 2$$

$$A_{u2} = \frac{R_{2,3}}{R_1} = 1$$

$$A_{u3} = \frac{R_{2,3,4}}{R_1} = 0,66$$

- sestrojte obvod dle schéma zapojení
- vstupní svorky omezovacího operačního zesilovače vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové. V opačném případě nulové výstupní napětí nastavte trimrem 10k
- na vstup omezovacího operačního zesilovače zapojte zdroj proměnného stejnosměrného napětí
- Voltmetrem měřte výstupní napětí
- postupně na vstupu operačního zesilovače nastavujte napětí v rozmezí 0V ÷ 12V
- naměřené hodnoty výstupního napětí zapisujete do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište zisk zesilovače
- z naměřených hodnot zakreslete graf závislosti  $U_{vst.} = f U_{výst.} [V]$

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

$U_n = \pm 15V,$

$R_1 = 10k\Omega$

Omezovací operační zesilovač navrhnete tak, aby pro výstupní napětí od 0V ÷ 4V měl zesílení  $A_{u1} = 2$ . Od 4V ÷ 7V,  $A_{u2} = 1$  a od 7V měl  $A_{u3} = 0.66$

- **výpočet odporu  $R_2$** 

$$2A_{u1} = \frac{R_2}{R_1}, \quad R_2 = 2 * A_u * R_1 = 2 * 10k\Omega = 20k\Omega$$

- **výpočet odporu  $R_3$** 

paralelní kombinace odporů  $R_{2,3}$  pro zesílení  $A_{u2} = 1$

$$A_{u2} = \frac{R_{2,3}}{R_1}, \quad R_{2,3} = A_{u2} * R_1 = 1 * 10k\Omega = 10k\Omega$$

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{2,3}} - \frac{1}{R_2}$$

$$R_3 = 20k\Omega$$

- **výpočet odporu  $R_4$** 

paralelní kombinace odporů  $R_{2,3,4}$  pro zesílení  $A_{u3} = 0,66$

$$A_{u3} = \frac{R_{2,3,4}}{R_1}, \quad R_{2,3,4} = A_u * R_1 = 0,66 * 10k\Omega = 6,6k\Omega$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{R_{2,3,4}} - \frac{1}{R_{2,3}}$$

$$R_4 = 20k\Omega$$

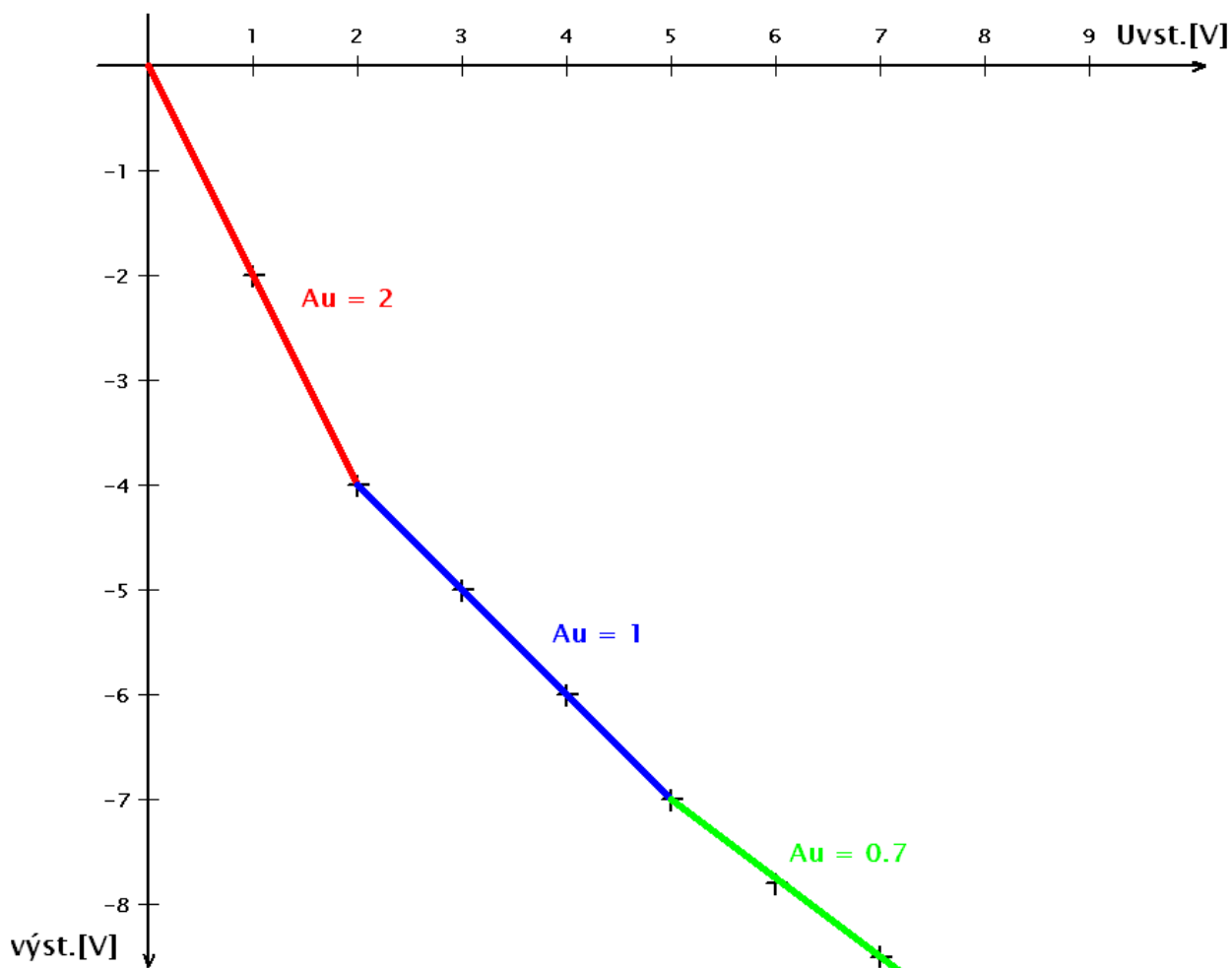
**Tabulka:**

| $U_{vst.}$<br>[V]  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| $U_{výst.}$<br>[V] |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| Zisk<br>[ $A_u$ ]  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

**Příklad pro zhotovení grafu:**

Na grafu je červenou čarou znázorněn zisk operačního zesilovače  $A_u = 2$ , modrou čarou je znázorněn zisk operačního zesilovače  $A_u = 1$  a zelenou zisk operačního zesilovače  $A_u = 0,7$



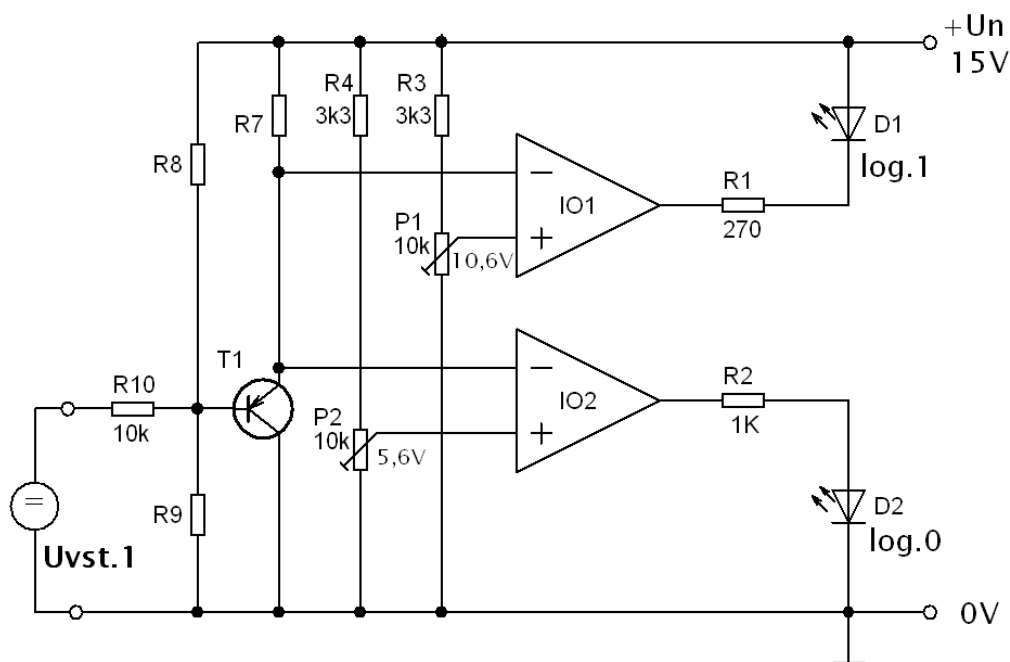


### Logická sonda s operačními zesilovači

Na **Obr. č. 18.14.** je logická sonda se dvěma operačními zesilovači. S výhodou se zde nabízí použít dvojitý operační zesilovač například MA1458. Logická sonda je určena pro měření logických úrovní log. 0 nebo log. 1. Například technologie TTL, kde se používá jednotné napájecí napětí  $U_n = 5V$  nebo technologie CMOS, kde hodnota napájecího napětí není přesně definovaná. Nejčastěji bývá 12V nebo 15V. U technologie CMOS platí, že vstupní napětí do jedné třetiny napájecího napětí, se považuje za úroveň logické nuly a vstupní napětí od dvou třetin napájecího napětí se považuje za úroveň napětí logické jedničky. Potom při napájení  $U_n = 15V$  vstupní napětí od  $0V \div 5V$  logická sonda vyhodnotí jako úroveň logické nuly a od vstupního napětí  $10V \div 15V$  logická sonda vyhodnotí jako úroveň logické jedničky. Dioda D1 signalizuje úroveň logické nuly a dioda D2 signalizuje úroveň logické jedničky. Je-li vstupní napětí v rozmezí  $5V \div 10V$  nebo není-li na vstup logické sondy připojeno žádné vstupní napětí nesvítí žádná LED dioda. Operační zesilovače jsou napájeny nesymetrickým napájecím napětím, tudíž výstup operačních zesilovačů může nabývat pouze kladných hodnot. Je-li na výstupu IO1 napětí blíží se saturaci, potom dioda D1 se nemůže rozsvítit, protože anodou je připojena také ke kladnému pólu napájecího napětí. U operačního zesilovače IO2 je tomu přesně naopak neboli dioda D2 se rozsvítí v případě, je-li IO2 v saturaci, protože katoda diody D2 je připojena k zápornému pólu. Na neinvertujícím vstupu IO1 je trimrem P1 nastaveno napětí 10,6V a na neinvertujícím vstupu IO2 je trimrem P2 nastaveno napětí 5,6V. Tranzistor T1

je univerzální typ malého výkonu a není-li na vstupu připojeno žádné napětí, musí být nastaven tak, aby na kolektoru tranzistoru T1 bylo napětí v rozmezí  $5,6V \div 10,6V$ . To je stav, kdy nebude svítit žádná LED.

Protože OZ pracují, jako komparátory není nutné kompenzovat napěťovou nesymetrii operačních zesilovačů. Dále je nutné počítat s faktem, že OZ na výstupu nebude mít plné napájecí napětí a i výstupní napětí OZ nebude úplně nulové.



Obr. č. 18.13.

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte logickou sondu s operačními zesilovači.

**Schéma zapojení: Obr. č. 18.13.**

### Zadání:

$U_n = +15V$

Pro vstupní napětí od  $0V \div 5V$  bude svítit dioda D2.

Pro vstupní napětí od  $10V \div 15V$  bude svítit dioda D1.

### Postup:

- spočítejte odpory  $R_7$ ,  $R_8$ ,  $R_9$ , případně zapojení vhodně upravte tak, aby obvod vyhovoval zadání
- sestrojte obvod dle schéma zapojení
- invertující a neinvertující vstupy IO1 a IO2 vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí. Mělo by být nulové
- nastavte trimry P1 a P2 zadaná napětí na neinvertujících vstupech OZ

- na kolektoru tranzistoru T1 nastavte zadané napětí. Pro nastavení použijete místo odporu R9 vhodný odporový trimr
- Voltmetrem měřte výstupní napětí
- postupně na vstupu logické sondy nastavujte napětí v rozmezí 0V ÷ 15V
- vstupní napětí a stav LED diod zapisujete do tabulky

#### Tabulka:

| U <sub>vst.</sub><br>[V] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| LED<br>D <sub>1</sub>    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| LED<br>D <sub>2</sub>    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

#### Převodník teplotního snímače Pt 100 na napětí 0V ÷ 1V

Na Obr. č. 18.14. je zapojení teploměru, jehož snímačem teploty je často používaný platinový termistor Pt100. Tento snímač má z elektrického hlediska jednu velkou výhodu, a to je to, že jeho průběh se zvyšující se teplotou můžeme považovat za lineární. Při teplotě 0°C má odpor přesně 100Ω a každých 10°C se zvýší o 3,9Ω. Potom při teplotě 100°C by měl mít 139Ω. Ve skutečnosti má 138,5Ω. Tento jev velice usnadňuje konstrukci poměrně velice přesného teploměru, kde s výhodou lze použít operační zesilovače. Obvod je nastaven tak, aby při 0°C bylo výstupní napětí 0V. Při 100°C bude výstupní napětí +1V. Bude-li teplota nižší než 0°C, výstupní napětí bude záporné. Zobrazovací jednotkou může být například digitální zobrazovací panel, který měří napětí. Termistor Pt 100 se používá pro průmyslová měření teploty v rozsahu -200°C ÷ +300 °C, tudíž například pro měření venkovní teploty bohatě vyhoví s přesností ±1 °C.

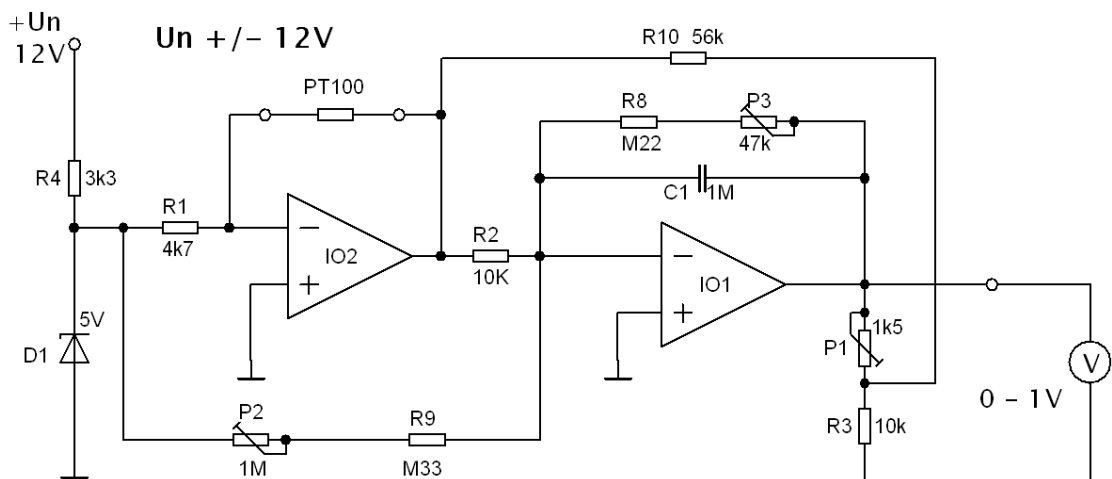
Elektronický obvod se skládá ze dvou operačních zesilovačů. Operační zesilovač IO2 je invertující operační zesilovač, který má vstupní napětí pevně nastavené Zenerovou diodou D1. Ve zpětné vazbě OZ IO2, která je rozhodující pro jeho zesílení je zapojen termistor Pt 100. Tím se bude na výstupu IO2 měnit napětí v závislosti na teplotě. Operační zesilovač IO1 je sčítací operační zesilovač v kombinaci s dolní propustí nebo ho můžeme také nazvat integrátor. Na jeho vstupu se porovnává napětí z výstupu IO2 s napětím na Zenerovo diodě D1. Zisk IO1 je možné nastavit trimrem P3. Stabilita proti rozkmitání celého obvodu je zabezpečena kondenzátorem C1.

Z hlediska kvalitní funkce je nutné v zapojení použít OZ, který umožňuje kompenzovat napěťovou nesymetrii. Dobře se osvědčil například  $\mu$ A 741 nebo TL 071

#### Praktická práce:

Nastavte a měřením odzkoušejte převodník teplota na změnu napětí.

#### Schéma zapojení: Obr. č. 18.14.



Obr. č. 18.14.

### Zadání:

Napájecí napětí symetrické  $U_n = +12V$

Změřte a nastavte elektronický obvod pro teploty  $0^{\circ}C \div +100^{\circ}C$

### Postup:

- sestrojte obvod dle schéma zapojení
- invertující a neinvertující vstupy IO1 a IO2 vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí
- vhodným zapojením dle katalogu výrobce pro určitý typ OZ vykompenzujte napěťovou nesymetrii OZ
- do obvodu místo termistoru Pt 100 zapojte odporovou dekádu
- na odporové dekádě nastavte hodnotu odporu pro teplotu  $0^{\circ}C$
- trimrem P1 nastavte výstupní napětí na hodnotu 0V
- na dekádě nastavte odpor, který odpovídá teplotě  $35^{\circ}C$  a výstupní napětí 0,35V nastavte trimrem P2
- trimmer P3 nastavte výstupní napětí 1V pro teplotu  $100^{\circ}C$
- postup několikrát opakujte, až změny výstupního napětí pro jednotlivé teploty budou zanedbatelné
- odporovou dekádou postupně natavujte teplotu  $0^{\circ}C \div +100^{\circ}C$  po  $5^{\circ}C$  a naměřené výstupní napětí zapisujte do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište přesnost měření v procentech

### Příklad výpočtu chyby měření:

- předpokládejme, že jsme měřili teplotu 35°C. Výstupní napětí by potom mělo být 0,35V, ale my jsme naměřili 0,36V o 0.01V větší, což teoreticky odpovídá teplotě 37°C
- výpočtem zjistíme, že teplota je větší přibližně o +2,8% než skutečná teplota.

### Tabulka:

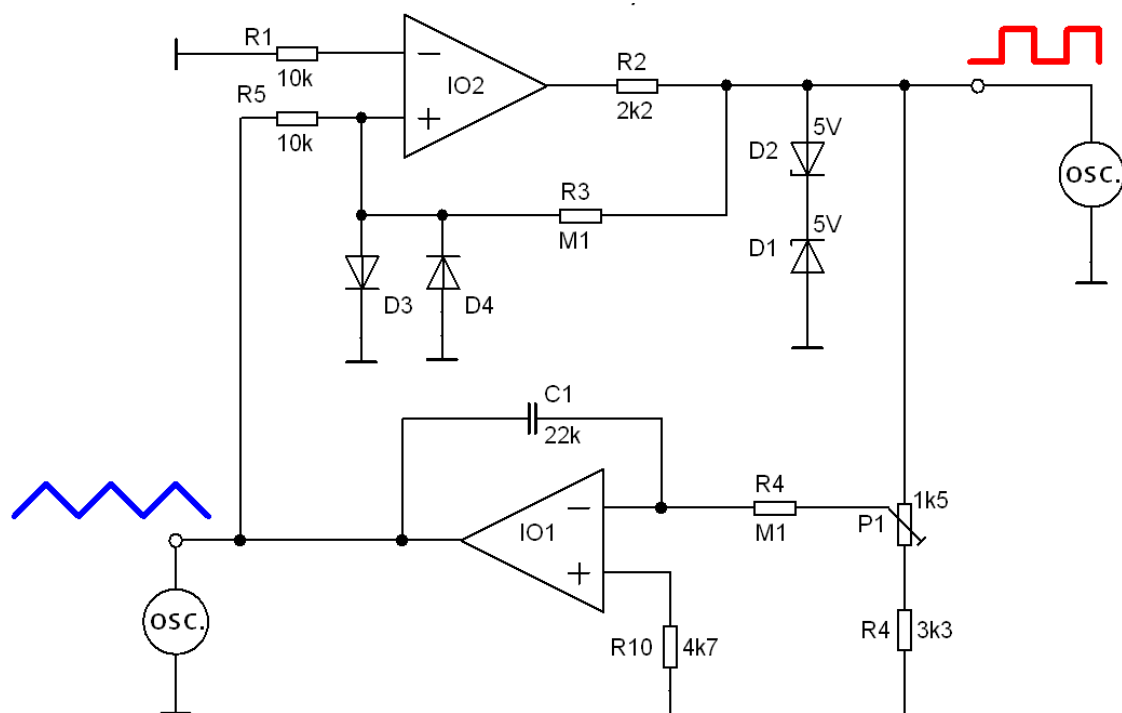
|                           |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| t [°C]                    | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| R [Ω]                     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| U <sub>výst.</sub><br>[Ω] |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| %                         |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

|                           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| t [°C]                    | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| R [Ω]                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| U <sub>výst.</sub><br>[Ω] |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| %                         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

### Generátor pravoúhlých a trojúhelníkových kmitů

Zapojením Schmittova klopného obvodu a integrátoru lze vytvořit generátor pravoúhlých a trojúhelníkových kmitů. Dosáhne-li výstupní napětí z integrátoru úroveň překlápěcího napětí Schmittova klopného obvodu, SKO se překlápí do opačného stavu. Tím bude na výstupu SKO opačná polarita napětí a integrace začne probíhat opačným směrem až do dosažení další překlápěcí úrovně SKO. Perioda překlápění závisí především na časové konstantě integrátoru  $T = C1 * R4$ . **Obr. č. 18.15.**

Potenciometrem P1 je možné v určitém omezeném rozsahu plynule měnit kmitočet, protože tímto potenciometrem na invertujícím vstupu integrátoru měníme hodnotu napětí a tím počáteční napěťovou úroveň integrace. Změnou hodnoty odporu R4 je možné nastavit rozpětí změny kmitočtu. Největší změna kmitočtu bude v případě, kdy odpor R4 bude mít nulovou ohmickou hodnotu. Na kmitočet pravoúhlých a obdélníkových kmitů má dále vliv hystereze Schmittova klopného obvodu. Obdélníkové průběhy napětí je možné odebírat z výstupu SKO a trojúhelníkový průběh napětí odebíráme z výstupu integrátoru. V elektronickém obvodu je ukázka, jak omezit amplitudu výstupního obdélníkového napětí dvěma Zenerovými diodami D1 a D2. V našem případě na úroveň 5V. Odpor R2 je pracovní odpor Zenerových diod. Diody D3 a D4 omezují hodnotu napětí na neinvertujícím vstupu SKO na hodnotu 0,6V. Pracují zde jako ochrana vstupu před nežádoucím přepětím na neinvertujícím vstupu SKO.



Obr. č. 18.15.

**Praktická práce:**

Nastavte a měřením odzkoušejte generátor tvarových kmitů.

**Schéma zapojení: Obr. č. 18.15.**

**Zadání:**

Napájecí napětí symetrické  $U_n = +12V$ .

Generátor tvarových kmitů nastavte tak, aby kmitočet bylo možné plynule měnit v rozmezí 500HZ ÷ 1,5kHz.

Vhodný operační zesilovač je například  $\mu A741$  nebo TL071.

**Postup:**

- sestrojte obvod dle schéma zapojení
- elektricky oddělte jednotlivé operační zesilovače od sebe tak, aby se nemohli rozkmitat
- invertující a neinvertující vstupy IO1 a IO2 vodivě spojte se svorkou 0V a ověřte výstupní napětí
- vhodným zapojením dle katalogu výrobce pro určitý typ OZ vykompenzujte napěťovou nesymetrii OZ
- ověřte správnou elektrickou činnost jednotlivých operačních zesilovačů
- po elektrickém propojení obvodu dle schéma ověřte osciloskopem výstupní průběhy napětí

- změřte a do tabulky zapište minimální a maximální kmitočet s danými součástkami
- změřte a do tabulky zapište napětí U<sub>šš</sub> pro minimální a maximální kmitočet
- nastavte generátor tvarových kmitů tak, aby nejnižší kmitočet byl 500Hz a nejvyšší kmitočet byl 1,5kHz
- změřte a do tabulky zapište napětí U<sub>šš</sub> pro minimální a maximální kmitočet
- postupnou změnou kondenzátoru C1 změřte a do tabulky zapište maximální minimální kmitočet generátoru
- změřte a do tabulky zapište napětí U<sub>šš</sub> pro minimální a maximální kmitočet
- do sešitu zakreslete průběh napětí na obrazovce dvoukanalového osciloskopu průběhů obdélník a trojúhelník
- průběhy mezi sebou vzájemně porovnejte při různých kmitočtech a do sešitu zapište příčiny změny tvarů daných průběhů

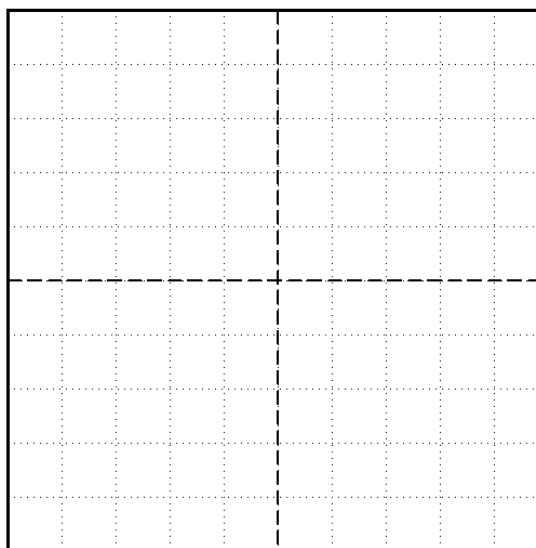
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*

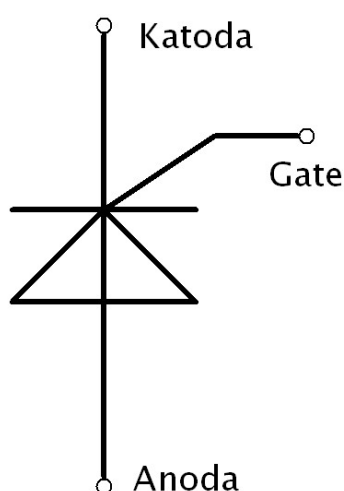


|                                  | Základní zapojení |            | Max./ Min.<br>Kmitočet<br>generátoru |
|----------------------------------|-------------------|------------|--------------------------------------|
|                                  | Min. [Hz]         | Max.. [Hz] | Min. [Hz]                            |
| <b>Frekvence</b>                 |                   |            |                                      |
| <b>Napětí U<sub>šš</sub> [V]</b> |                   |            |                                      |

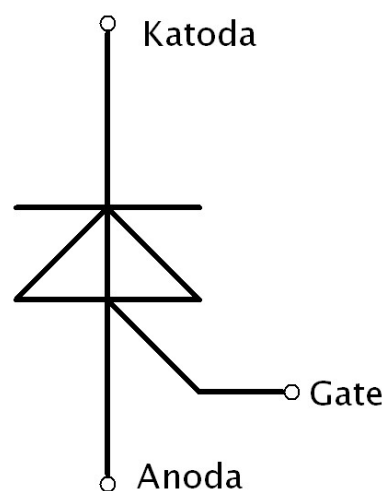
## 19. Obvody s tyristory

### Tyristor

Tyristor je čtyřvrstvý polovodičový prvek mající tři elektrody, které nazýváme Anoda, Katoda a Gate. Gate, můžeme také v literatuře najít pod názvem Mřížka. Rozlišujeme dva základní typy tyristorů podle vodivosti a to tyristor vodivosti NPNP. Jeho značka je na **Obr. č. 19.0.** a tyristor vodivosti PNP. Jeho značka je na **Obr. č. 19.1.**



**Obr. č. 19.0.**



**Obr. č. 19.1.**

Tyristory vodivosti PNP se používají výjimečně. V současné době se téměř výhradně používají tyristory NPNP. Z elektrického hlediska je tyristor definován dvěma základními veličinami.

- Maximálním proudem mezi anodou a katodou, nazýváme ho proud tyristoru a nejčastěji se označuje  $I_T$ . V současné době se běžně vyrábí tyristory pro proudy mezi anodou a katodou o velikosti jednotek, ale také až s hodnotami stovek ampér.
- A maximálním napětí mezi anodou a katodou tyristoru. Nejčastěji se označuje  $U_T$ . V současné době se běžně vyrábí tyristory s napětím mezi anodou a katodou s hodnotami až desítky kilovolt.

### Funkce tyristoru

Tyristor má podobné vlastnosti jako dioda. Má-li tyristor na anodě kladné napětí a katodě záporné napětí chová se jako vodič, ale za podmínek, že na gate v určitém okamžiku přišel kladný impuls vůči katodě. Říkáme, že tyristor sepnul nebo že se dostal do vodivého stavu. Ve vodivém stavu avšak zůstane, i když napětí na gate pominulo. Zpět do nevodivého stavu se dostane až po přerušení proudu mezi anodou a katodou. Při opačné polaritě mezi anodou a katodou, tedy na anodě záporné napětí a na katodě kladné napětí, se tyristor chová vždy jako nevodič bez ohledu na napětí na gate.

V současné době se běžně vyrábí tyristory pro proudy mezi anodou a katodou až stovky ampér.

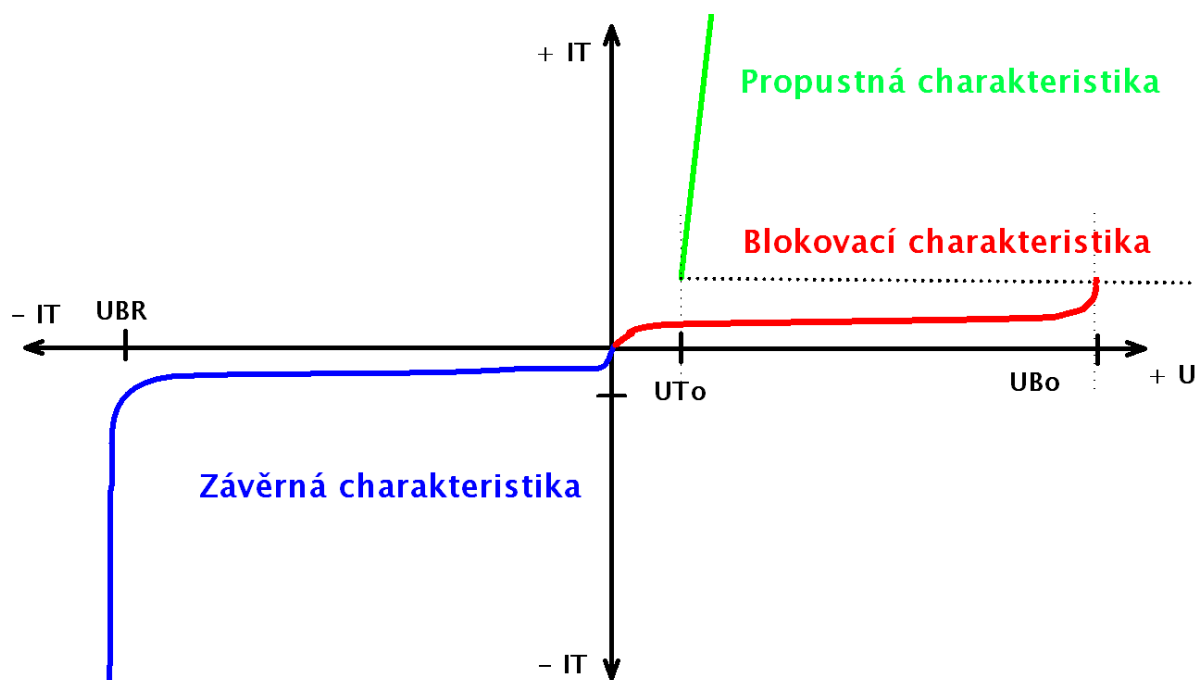


Z elektrického hlediska se tyristor může nacházet ve třech různých stavech.

- Propustný stav, to je stav, kdy tyristorem mezi anodou a katodou protéká proud.
- Závěrný stav, to je stav, kdy anoda a katoda je polarizovaná v nevodivém směru.
- Blokovací stav, to je stav, kdy anoda a katoda je sice polarizovaná ve vodivém směru, ale mezi anodou a katodou neprotéká žádný proud.

### Voltampérová charakteristiky tyristoru

Vlastnosti polovodičových součástek se nejčastěji znázorňují pomocí voltampérové charakteristiky. Voltampérová charakteristika tyristoru je na **Obr. č. 19.2.**



Obr. č. 19.2.

Voltampérová charakteristika se skládá ze tří částí. Propustná charakteristika, na obrázku je znázorněna zelenou barvou. Blokovací charakteristika, na obrázku je znázorněna červenou barvou a závěrná charakteristika, na obrázku je znázorněna modrou barvou. Tyto charakteristiky graficky zobrazují tři základní stavy, jak jsme si je popsali v předchozí stati.

#### Propustná charakteristika tyristoru

Propustná charakteristika znázorňuje stav, kdy je tyristor polarizován v propustném směru a kdy tyristorem protéká proud. Na této charakteristice je význačný bod označený  $U_{T0}$ . Je to tak zvané prahové napětí tyristoru neboli jinými slovy, úbytek napětí na tyristoru v propustném směru. Typická hodnota prahového napětí tyristoru  $U_{T0} = 1V$

#### Závěrná charakteristika tyristoru

Závěrná charakteristika znázorňuje stav, kdy je tyristor polarizován v závěrném směru, neboli tyristorem neprotéká žádný proud. Na této charakteristice je význačný bod označený  $U_{BR}$ . Je to tak zvané průrazné napětí tyristoru. Po překročení tohoto napětí dojde k prudkému nárůstu proudu v závěrném směru a k trvalé destrukci tyristoru.

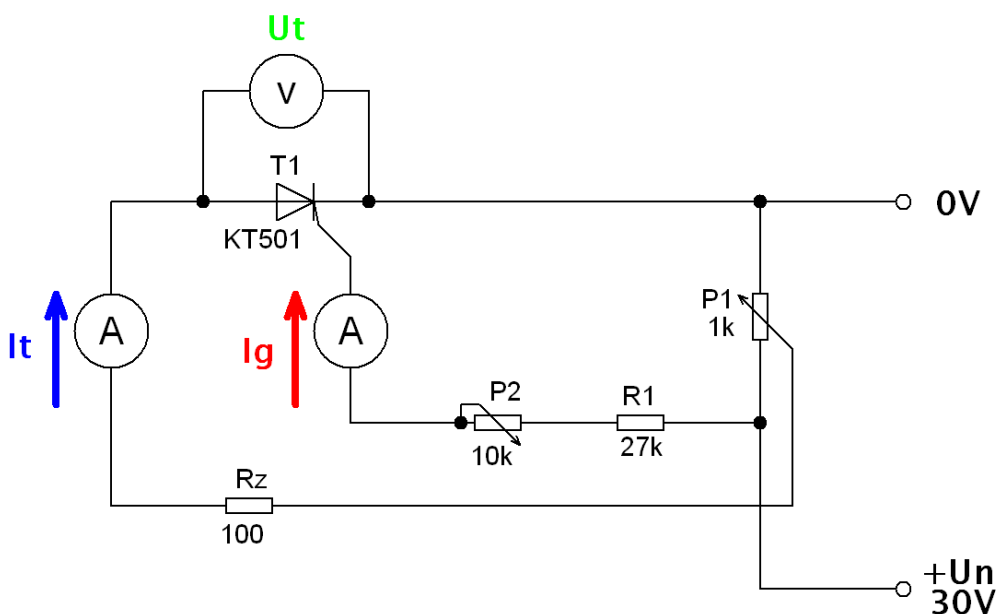
## Blokovací charakteristika tyristoru

Blokovací charakteristika znázorňuje stav, kdy je tyristor polarizován v propustném směru, ale tyristorem neprotéká žádný proud. Na této charakteristice je význačný bod označený  $U_{B0}$ . Je to tak zvané blokovací napětí tyristoru. Po překročení tohoto napětí dojde k samovolnému sepnutí tyristoru. Neboli tyristor se dostane do vodivého stavu, aniž by byl sepnut impulsem na gatu. Tento jev je negativní vlastnost tyristoru. Ve skutečnosti, ale neovlivní činnost tyristoru. Blokovací napětí totiž bývá vyšší, než je průrazné napětí tyristoru neboli je v oblasti, kde se tyristor už nemůže používat.

### Praktická práce:

Změřte a do sešitu zakreslete voltampérovou charakteristiku tyristoru

### Schéma zapojení: Obr. č. 19.3.



Obr. č. 19.3.

### Zadání:

Napájecí napětí nesymetrické  $U_n = +30V$ .

$T_1 = KT501$ ,  $R_1 = 27k$ ,  $P_1 = 1k$  výkonový drátový,  $P_2 = 10k$ ,  $R_z = 100$

### Postup:

- sestrojte obvod dle schéma na **Obr. č. 19.3.**

– ověřte správnou činnost elektronického obvodu  
nastavte  $P_1$  asi do poloviny své dráhy a  $P_2$  na maximální ohmickou hodnotu  
připojte napájecí napětí a otáčejte  $P_2$

tyristor musí v určitém okamžiku sepnout a proud  $I_T$  nesmí překročit 0,5A  
po celou dobu měření je nutné hlídat teplotu tyristoru a udržovat ji přibližně do třiceti stupňů

- napětí mezi anodou a katodou postupně nastavujte od 0V ÷ 30V po jednom voltu
- toto měření postupně opakujte pro proudy  $I_G = 0A$ ,  $I_G = 0,9mA$ ,  $I_G = 1mA$ ,  
 $I_G = 1,1mA$ ,  $I_G = 1,2mA$ ,  $I_G = 1,5mA$

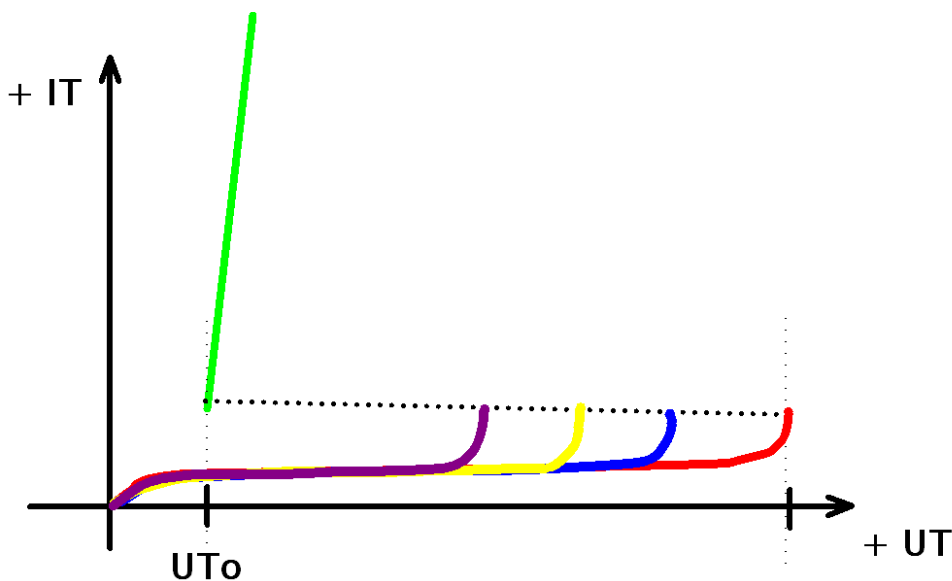
- naměřené hodnoty zapisujte to tabulky
- v případě, když tyristor sepne, pro každé další měření je potřeba přerušit proud mezi anodou a katodou. Tím dosáhneme vypnutí tyristoru
- měření provádějte do proudu tyristoru  $I_{tmax.} = 300mA$

**Tabulka:**

| $U_t[V]$    | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
|-------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $I_g = 0,0$ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $I_g = 0,9$ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $I_g = 1,0$ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $I_g = 1,1$ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $I_g = 1,2$ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $I_g = 1,5$ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

### Ukázka konstrukce VA charakteristiky

Pro každý proud gatu zhotovte zvláštní křivku, tak jak je to barevně znázorněno na **Obr. č. 19.4.** Z VA charakteristiky je zřejmé, že velikost proudu gatu má vliv při jakém napětí mezi anodou a katodou tyristor sepne. Čím větší proud gatu, tím sepne při nižším napětí. Tento jev je potřeba brát v úvahu při konstrukci elektronických obvodů s tyristory.



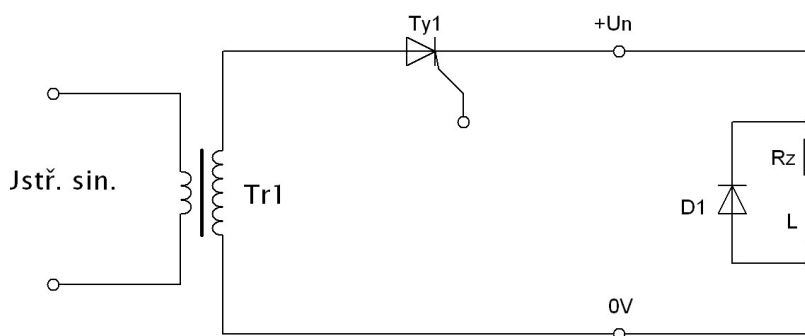
**Obr. č. 19.4.**

### Fázové řízení usměrňovačů

Hlavní oblast použití tyristorů je v oblasti řízení stejnosměrných výkonů, jako například stejnosměrných trakčních motorů lokomotiv a podobných strojů. Tyto elektronické silové obvody se nazývají řízené usměrňovače. Nabízí se několik různých konstrukčních variant, z nichž si ukážeme a vyzkoušíme základní typy.

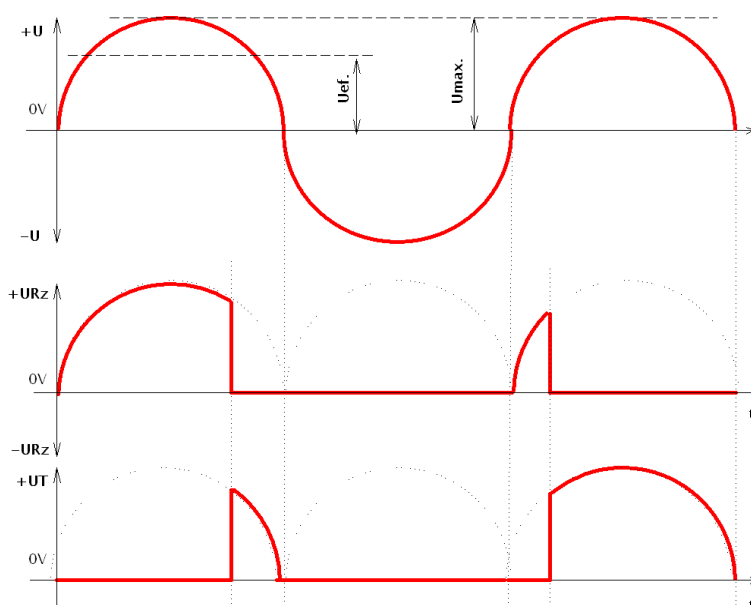
## Jednocestný řízený usměrňovač

Na **Obr. č. 19.5.** je blokové schéma jednocestného řízeného usměrňovače. Tyristor se chová jako podobně jako dioda, tudíž toto zapojení bude mít podobné vlastnosti jako jednocestný usměrňovač, ale s tím, že my můžeme tyristor zapnout v libovolném okamžiku. Například na začátku kladné půlvlny, potom výkon na odporu  $R_Z$  bude poloviční nebo také tyristor můžeme zapnout na konci kladné půlvlny, potom bude výkon nulový, protože odporem  $R_Z$  nepoteče žádný proud. Záporná půlvlna nebude vůbec zpracovávána. Z toho vyplývá, že jednocestný řízený usměrňovač je schopen řídit výkon na zátěži  $R_Z$  od 0 do 50% maximálního výkonu.



**Obr. č. 19.5.**

Funkce jednocestného řízeného usměrňovače je graficky znázorněna na **Obr. č. 19.6.** Na vodorovných osách je vynášen čas. Na prvním grafu je znázorněn průběh střídavého sinusového napětí na sekundární straně transformátoru  $Tr1$ . Na druhém grafu je znázorněn průběh napětí na tyristoru. Pokud je tyristor uzavřen, narůstá na něm napětí, až do okamžiku, kdy dojde k sepnutí tyristoru. Od této doby je na tyristoru prahové napětí  $U_{T0}$  (přibližně 1V). Tyristor se vypne v okamžiku, kdy sinusovka projde nulou, v tom okamžiku zanikne proud mezi anodou a katodou. Záporná půlvlna není vůbec zpracovávána. Tyristor je možné uvést do vodivého stavu kdykoli v průběhu kladné půlvlny střídavého signálu. Na časovém diagramu jsou znázorněny dva okamžiky, na začátku a na konci kladné půlvlny.

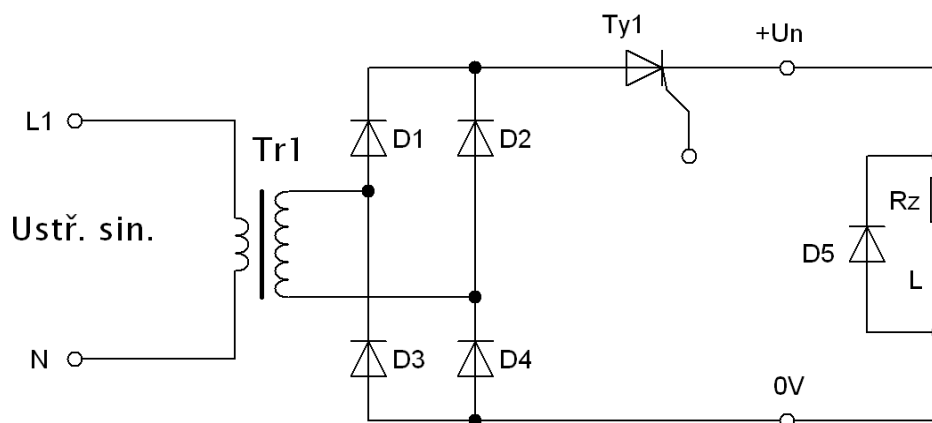


**Obr. č. 19.6.**

Na třetím grafu je znázorněn průběh napětí na zátěži RZ neboli na spotřebiči. V okamžiku, kdy tyristor sepne, začne zátěž protékat proud. V první kladné půlvině byl spotřebič zapnut až na konci půlvině, tudíž v první půlvině měl spotřebič menší výkon, než ve druhé kladné půlvině, kdy byl tyristor zapnut na začátku kladné půlvině.

### Dvoucestný řízený usměrňovač

Dvoucestný řízený usměrňovač může být realizován několika způsoby. Může být vícefázový, nejčastěji třífázový anebo jednofázový. Jednofázový opět může být realizován několika způsoby. Ze dvou tyristorů a dvou diod nebo případně za čtyř tyristorů. Nabízí se ještě jedna možnost, jak je zřejmé z **Obr. č. 19.7.** a to čtyři diody a jeden tyristor.

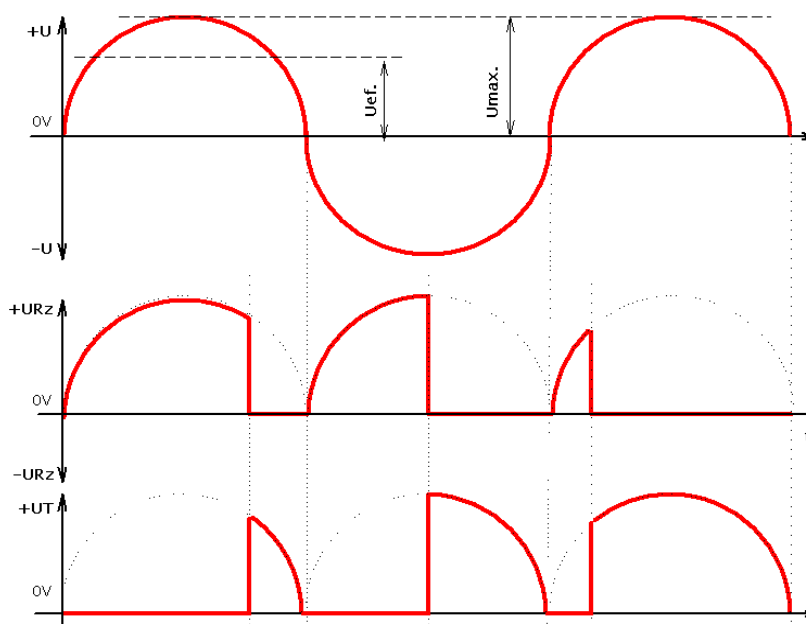


**Obr. č. 19.7.**

Činnost dvoucestného řízeného usměrňovače je graficky znázorněna na **Obr. č. 19.8.**

Usměrňovač je schopen řídit obě půlvině střídavého signálu a výkon na zátěži RZ je potom možné řídit v rozsahu 0 až 100% maximálního výkonu.

Je potřeba ale brát v úvahu, že tento průběh napětí má sice jenom jednu polaritu, ale se stejnosměrným napětím nemá nic společného. Tyto průběhy napětí jsou vhodné například pro řízení otáček stejnosměrných motorů nebo řízení osvětlení a podobně.



**Obr. č. 19.8.**

### Praktická práce:

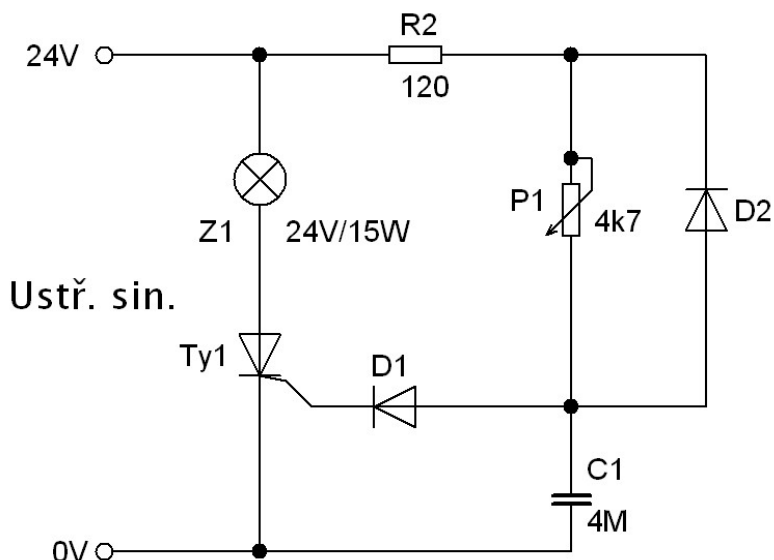
Nastavte a měřením odzkoušejte jednocestný řízený usměrňovač

Schéma zapojení: Obr. č. 19.9.

### Zadání:

Napájecí napětí střídavé  $U_n = 24V$ .

$T_1 = KT501$ , diody D1 a D2 usměrňovací, C1 svitkový



Obr. č. 19.9.

### Popis funkce obvodu:

Tyristor  $Ty_1$  spíná žárovku  $Z_1$  a tím reguluje její svit v rozmezí 0 až 50% jejího maximálního výkonu. Při kladné půlvlně se nabíjí kondenzátor  $C_1$  přes odpor  $R_2$  a potenciometr  $P_1$ . Až se nabije na hodnotu  $U_{C1} = U_{TOD1} + U_{GT}$  kondenzátor  $C_1$  se vybije do gateu tyristoru. Na to tyristor sepne a bude sepnut až do okamžiku, kdy se přeruší proud mezi anodou a katodou, to je do doby, kdy skončí kladná půlvlna. Při záporné půlvlně se  $C_1$  přebije na opačnou polaritu přes diodu  $D_2$ . Doba sepnutí od začátku kladné půlvlny je dána časovou konstantou  $\tau = P_1 \cdot C_1$ , je jí tedy možné změnou hodnoty potenciometru měnit.

### Postup:

- sestrojte obvod dle schéma
- ověřte činnost obvodu vizuálně a pomocí osciloskopu
- obvod nastavte změnou hodnoty kondenzátoru  $C_1$  případně potenciometru  $P_1$  a odporem  $R_2$  tak, aby svit žárovky šel regulovat v co nejširším rozsahu
- zakreslete do sešitu průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na tyristoru přibližně při polovině svitu žárovky

- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na kondenzátoru  $C_1$  přibližně při polovině svitu žárovky
- porovnejte naměřené průběhy napětí s teorií o řízených jednocestných usměrňovačích

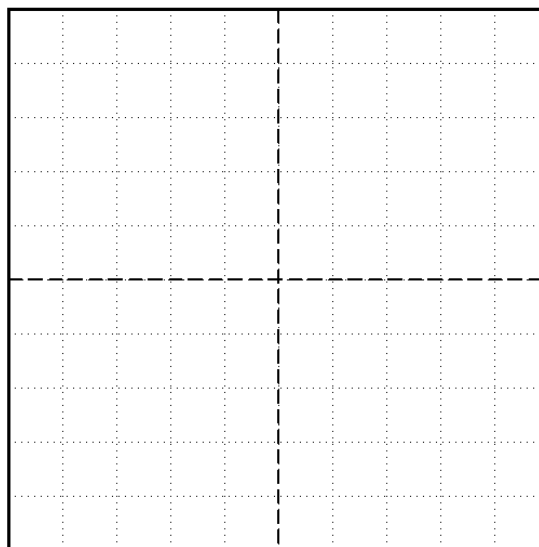
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



**Praktická práce:**

Nastavte a měřením odzkoušejte antiparalelní zapojení dvou tyristorů

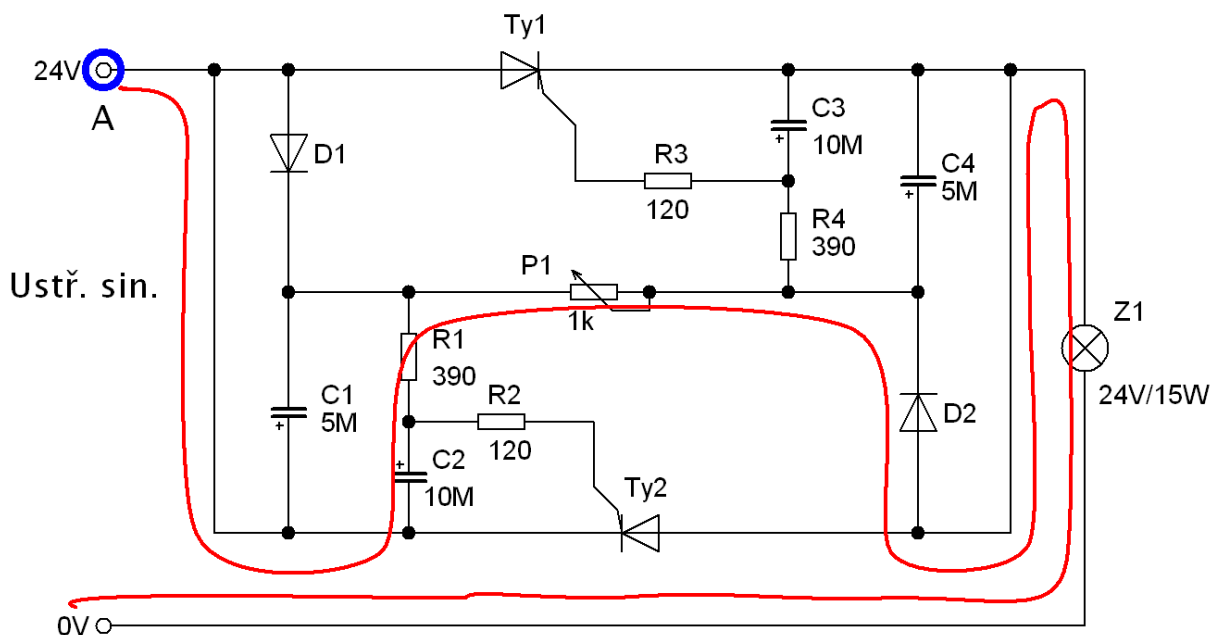
**Schéma zapojení: Obr. č. 19.9.**

**Zadání:**

Napájecí napětí střídavé  $U_n = 24V$ .

$T_1 = KT501$ ,  $T_2 = KT501$ , diody D1 a D2 usměrňovací

**Popis funkce obvodu** Zapojení obsahuje dva antiparalelně zapojené tyristory, z nichž každý zpracovává jednu půlvlnu. Tímto zapojením je možné řídit jas žárovky od 0 až do 100% maximálního výkonu. Na spotřebiči je kladná i záporná půlvlna, tudíž je na žárovce střídavé napětí.



Obr. č. 19.9.

Při kladné půlvlně v bodě „A“ se přes diodu  $D_1$  a potenciometr  $P_1$  a odpor  $R_4$  nabíjí kondenzátor  $C_3$ . Až se nabije na prahové napětí  $U_{GTy1}$  sepne tyristor  $Ty_1$ . Při opačné půlvlně se obdobným způsobem nabíjí kondenzátor  $C_2$  přes potenciometr  $P_1$ , diodu  $D_2$  a spíná tyristor  $Ty_2$ , tak jak je na obrázku znázorněno červenou křivkou.

### Postup:

- sestrojte obvod dle schéma
- ověřte činnost obvodu vizuálně a pomocí osciloskopu
- obvod nastavte změnou hodnoty kondenzátoru  $C_2$  a  $C_3$  případně potenciometrem  $P_1$  tak, aby svit žárovky šel regulovat v co nejširším rozsahu
- zakreslete do sešitu průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na tyristoru přibližně při polovině svitu žárovky
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na kondenzátoru  $C_2$  přibližně při polovině svitu žárovky
- porovnejte naměřené průběhy napětí s teorií o řízených jednocestných usměrňovačích



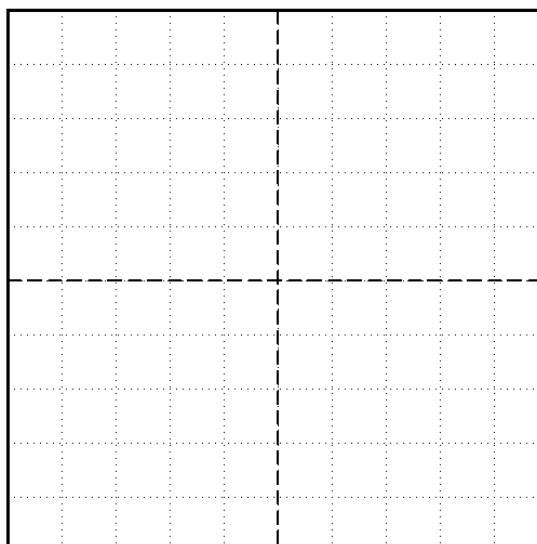
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



### Praktická práce:

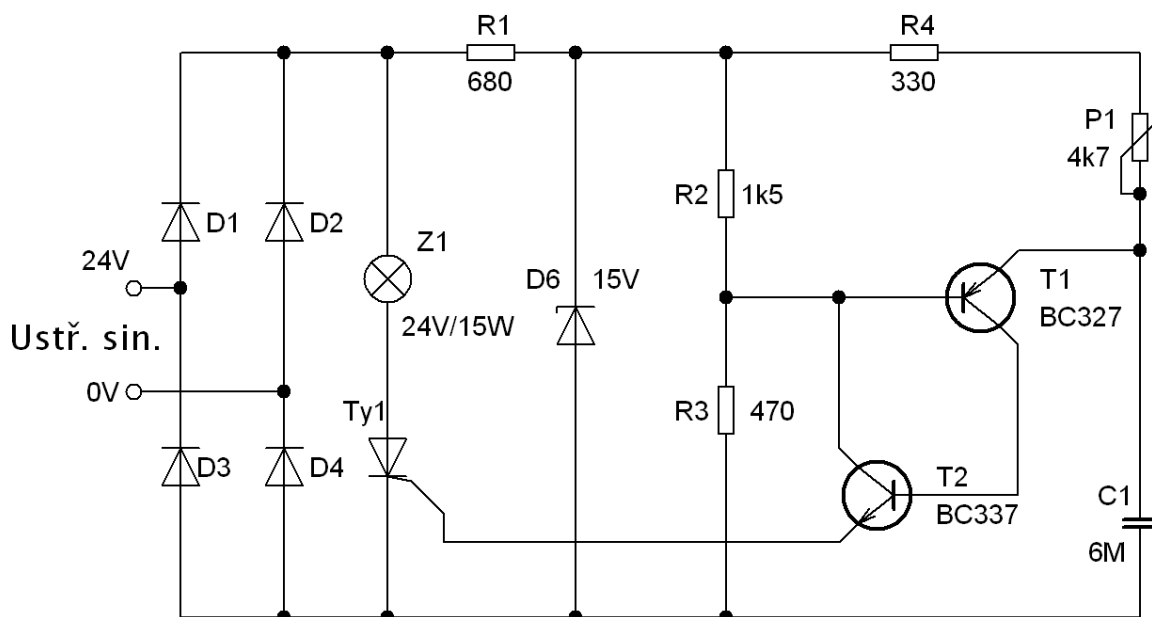
Nastavte a měřením odzkoušejte dvoucestný řízený usměrňovač

Schéma zapojení: Obr. č. 19.10.

### Zadání:

Napájecí napětí střídavé  $U_n = 24V$ .

$Ty_1 = KT501$ , diody  $D1 \div D4$  usměrňovací,  $C1$  svitkový



Obr. č. 19.10.

### Popis funkce obvodu:

Na **Obr. č. 19.10.** je schéma dvoucestného řízeného usměrňovače. Jeho silová část se skládá ze čtyř diod, které střídavé sinusové napětí usměrní na tepavé napětí a tyristor  $Ty_1$  spíná zátěž v našem případě žárovku dle potřeby. Regulace výkonu je v rozmezí 0 až 100% maximálního výkonu. Případně toto zapojení je možné použít i jako nabíječku olověných akumulátorů. Tímto zapojením je možné na akumulátoru nastavit libovolný proud, který bude nezávislý na narůstajícím napětí na akumulátoru.

Zenerovou diodou  $D_6$  je na řídicí části udržováno konstantní úroveň napětí. Při každém náběhu půlplny se kondenzátor  $C_1$  nabíjí přes potenciometr  $P_1$ . Jakmile je na emitoru tranzistoru  $T_1$  napětí kladnější o 0,6V než na jeho bázi, tedy na děliči napětí  $R_2$  a  $R_3$ , tranzistor  $T_1$  se otevře, tím se přivede kladné napětí do báze tranzistoru  $T_2$ , ten se otevírá a  $C_1$  se vybije do gatu tyristoru, který se otevře. Jakmile se vybije kondenzátor  $C_1$ , tím klesne napětí na emitoru  $T_1$  a tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  se uzavřou. Tyristor bude otevřen až do přerušení proudu mezi anodou a katodou. To nastane, když tepavé napětí klesne k nule. Při další půlplně se jev opakuje. Doba sepnutí je dána časovou konstantou  $\tau$ ,  $T = P_1 * C_1$ , je ji tedy možné změnou hodnoty potenciometru měnit.

### Postup:

- sestrojte obvod dle schéma
- ověřte činnost obvodu vizuálně a pomocí osciloskopu
- obvod nastavte změnou hodnoty kondenzátoru  $C_1$  případně potenciometrem  $P_1$  tak, aby svit žárovky šel regulovat v co nejširším rozsahu
- zakreslete do sešitu průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na tyristoru přibližně při polovině svitu žárovky
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na kondenzátoru  $C_1$  přibližně při polovině svitu žárovky
- porovnejte naměřené průběhy napětí s teorií o řízených jednocestných usměrňovačích

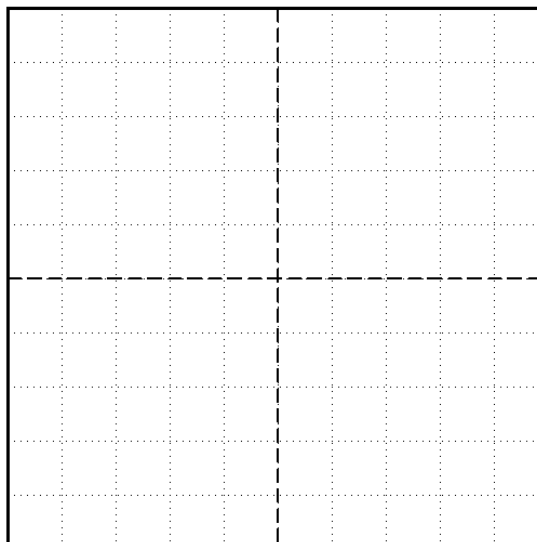
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



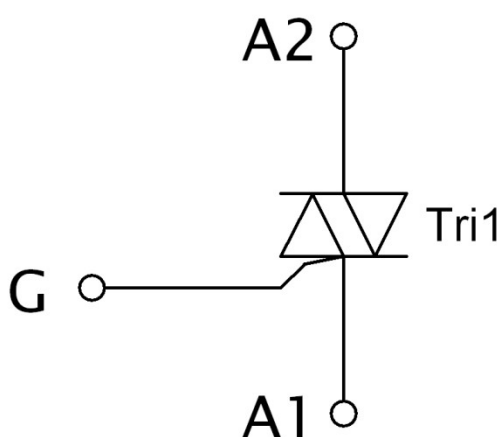
## 20. Triak a Diak

Triak je polovodičový spínací prvek schopný vést elektrický proud oběma směry. Vlastnosti triaku přibližně odpovídají vlastnostem dvou antiparalelně zapojených tyristorů, u kterých jsou řídicí elektrody propojeny v jednu. Triaky jsou konstruovány pro běžná napětí v rozvodných sítích a pro proudy do několika až desítek ampér. Hlavní použití je v oblasti regulace střídavého výkonu osvětlení, regulace otáček komutátorových střídavých motorů praček, vrtaček a podobných elektrických spotřebičů. Hlavní výhodou je jednoduché zapojení do elektrických obvodů. Triak má tři elektrody. Dvě výkonové elektrody, označené A1 a A2, případně v některých katalogách se značí písmeny S1 a S2. A jednu řídicí elektrodu podobně jako u tyristoru označenou písmenem G, ze slova gate. Triak může pomocí impulsu na gate sepnout při jakékoliv polaritě mezi elektrodami A1 a A2, ale pro práci s elektronickými obvody s triaky je důležité vědět, že sepnout může pouze tehdy, má-li spád napětí mezi gatem a elektrodou A1. Neboli nelze zaměnit mezi sebou elektrodu A1 a A2. **Obr. č. 20.0.**

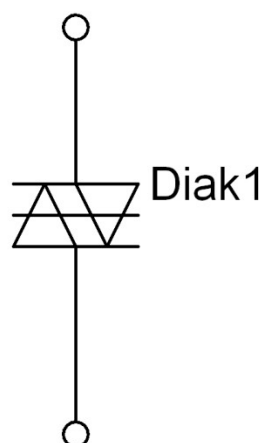
### Diak

Diak je polovodičový spínací prvek schopný vést elektrický proud oběma směry, ale jen od určité hodnoty napětí. Diak se od triaku liší tím, že nemá řídicí elektrodu a je tedy ovládán jen napětím mezi elektrodami. Je možné ho používat v obou polaritách napětí, ale na rozdíl od triaku se nedá řídit. Nejdůležitějším parametrem je tedy spínací napětí značené většinou  $U_{B0}$ , jehož hodnota se pohybuje řádech desítek voltů. Po překročení tohoto napětí diak začne vést s tím, že na diaku naměříme prahové napětí, které má hodnoty jednotek volt. Protože u diaku nezáleží na polaritě napětí na vývodech součástky není potřebné označovat vývody.

Nejčastěji se používá jako přepětíová ochrana nebo také jako pomocné součástka v elektrických obvodech s triaky. **Obr. č. 20.1.**



Obr. č. 20.0.

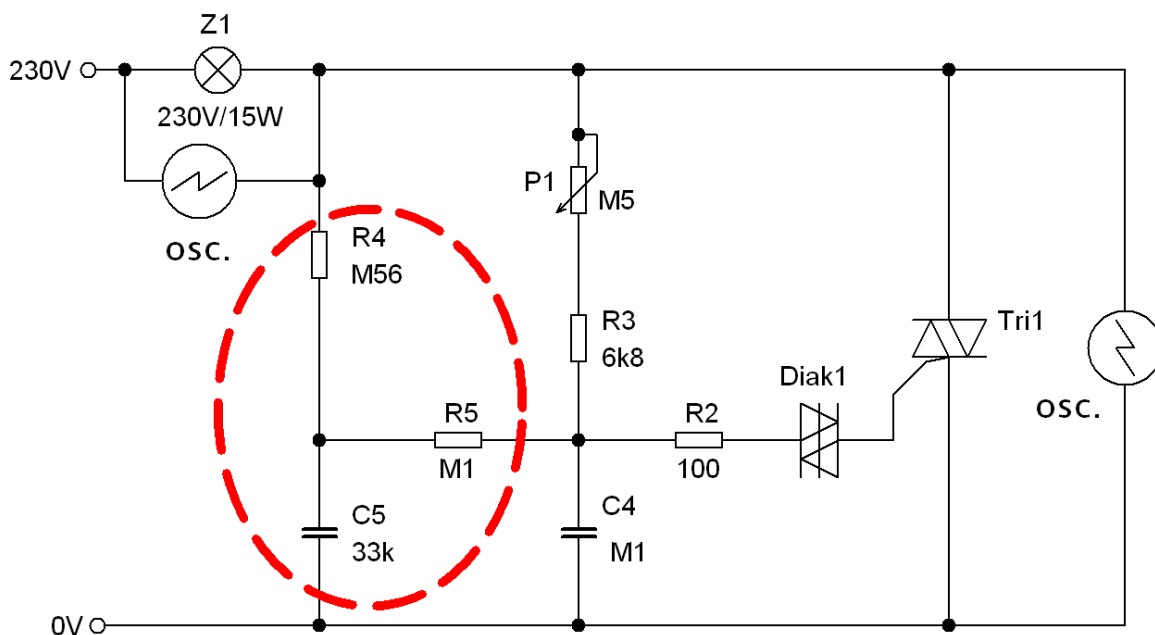


Obr. č. 20.1.

## Praktická práce:

Měřením odzkoušejte regulátor střídavého výkonu s triakem

### Schéma zapojení: Obr. č. 20.2.



Obr. č. 20.2.

### Zadání:

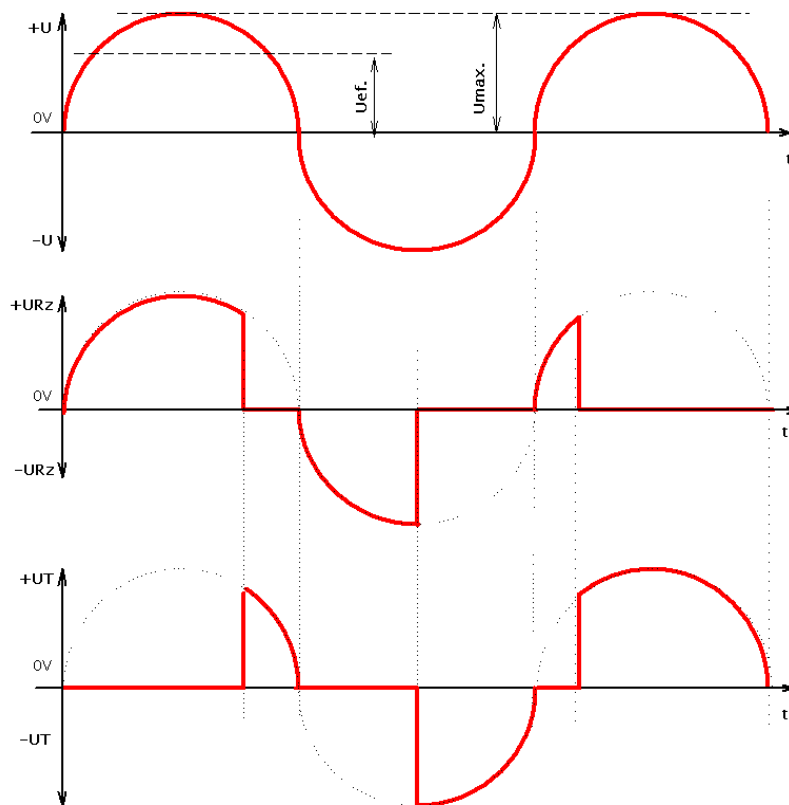
Napájecí napětí střídavé  $U_n = 230V/50HZ$ .

Tri1 s hodnotami jednotek ampér a napětím 400V, kondenzátor C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> svitkový pro napětí 400V, diak D1 s blokovacím napětím přibližně 30V.

### Popis funkce obvodu:

Po připojení napájecího napětí se začne nabíjet kondenzátor C<sub>4</sub> přes P<sub>1</sub> a R<sub>3</sub>. Jakmile dosáhne na kondenzátoru napětí, které se rovná blokovacímu napětí diaku a přechodu mřížky triaku G elektrody A<sub>1</sub>, potom se kondenzátor C<sub>4</sub> vybije do mřížky triaku, ten se otevře a zůstane otevřený až do okamžiku, kdy se přeruší proud mezi elektrodou A<sub>1</sub> a A<sub>2</sub>. To je v okamžiku, když sinusovka prochází nulou. Děj se takto neustále opakuje při obou polaritách. Potom na žárovce bude střídavé napětí a její výkon je možné řídit od 0 až do 100% maximálního výkonu. Součástky orámovány červeně, se na vlastní funkci obvodu nijak nepodílí. Jsou to odrušovací prvky, které mají zabránit pronikání rušení zpět do sítě a tím rušit jiné elektronické obvody. Typické spotřebiče, které jsou na toto rušení náchylné je například rádio, televize a další elektronická zařízení. Teoretické průběhy napětí v daném obvodu jsou znázorněny na Obr. č. 20.3.

Na prvním grafu je znázorněn sinusový průběh vstupního napětí. Na druhém grafu je znázorněn průběh napětí na zatěžovacím odporu R<sub>Z</sub>, v našem případě je to žárovka a na třetím průběhu je znázorněn průběh napětí na triaku. V případě, že žárovka nebude vůbec svítit, triak tedy neseplul, potom třetí průběh bude shodný s prvním a na druhém průběhu bude vodorovná čára. To je okamžik, kdy žárovkou neprotéká žádný proud.



Obr. č. 20.3.

### Postup:

- sestrojte obvod dle schéma
- ověřte činnost obvodu vizuálně a pomocí osciloskopu
- obvod nastavte změnou hodnoty kondenzátoru  $C_4$  případně potenciometrem  $P_1$  tak, aby svit žárovky šel regulovat v co nejširším rozsahu
- zakreslete do sešitu průběh napětí na obrazovce dvoukanálového osciloskopu
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na tyristoru přibližně při polovině svitu žárovky
- průběh napětí na žárovce a průběh napětí na kondenzátoru  $C_2$  přibližně při polovině svitu žárovky
- porovnejte naměřené průběhy napětí s teorií o řízených jednocestných usměřovačích

**Pozor:**

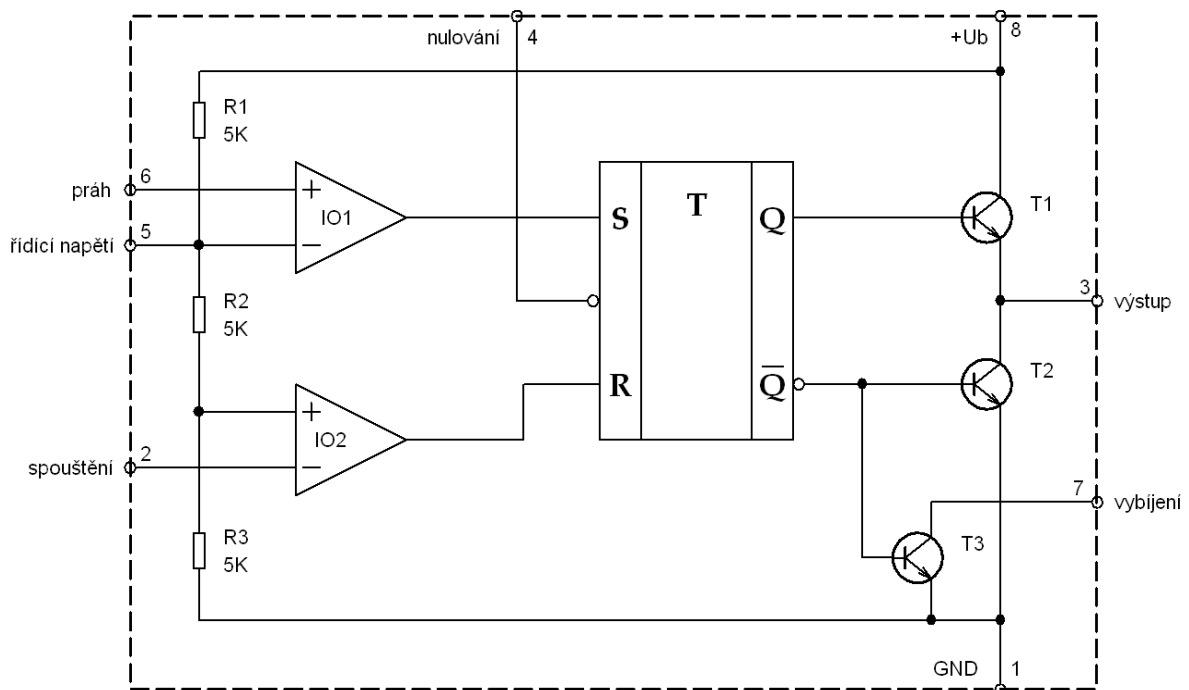
Z ohledu na bezpečnost je nutné dbát na to, aby obvod při měření byl napájen přes oddělovací transformátor. Z ohledu na vyhlášku padesát, dle které osoby bez elektrotechnické kvalifikace nesmí provádět měření na zařízení napájené napětím nebezpečným, je nutné provádět měření pod přímým dozorem osoby s potřebnou elektrotechnickou kvalifikací.

## 21. Časovač NE555

Časovač 555 je jedním z nejzajímavějších integrovaných obvodů společně s operačními zesilovači. Je to kombinace analogových a číslicových obvodů na jediném čipu. Časovač 555, ať už jako zdroj časových úseků nebo jako oscilátor se mnohokrát osvědčil ve stovkách různých zapojení. Znalost jeho funkce je důležitá nejen pro konstruktéry, nýbrž pro elektroniky a další odborníky. Integrovaný obvod všeobecně označovaný 555 byl vyvinut jako taktovač, anglickým slovem označovaný jako timer. Byl vyvinut v roce 1972 pomocí bipolárních tranzistorů, později byly bipolární tranzistory nahrazeny technologií CMOS.

Jeho zapojení se skládá z napěťového děliče, ze dvou komparátorů, z paměťového klopného obvodu a výkonového koncového stupně.

Skládá se ze dvou operačních zesilovačů, z nichž  $IO_1$  má děličem napětí na invertujícím vstupu nastaveno dvě třetiny napájecího napětí a  $IO_2$  má na neinvertujícím vstupu nastaveno jednu třetinu napájecího napětí. RS klopný paměťový obvod vyhodnocuje logický stav  $IO_1$  a  $IO_2$  a pracuje s předností resetu. Na výstupu RS klopného obvodu jsou zapojeny výstupní tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  v zapojení s tak zvaným otevřeným kolektorem. Z nichž může být pouze jenom jeden v otevřeném stavu. Je-li to tranzistor  $T_1$ , potom na výstupu je přivedeno napájecí napětí, je-li otevřen  $T_2$ , na výstupu je nulové napětí. Na vývod č.4 je vyvedeno nulování obvodu to je stav, kdy výstup č.3 je bez napětí bez ohledu na stav ostatních vstupů. Integrovaný obvod se resetuje logickou nulou, tudíž pro správnou funkci určitého elektronického obvodu s 555, musí být vývod č.4 připojen k napájecímu napětí. Vývod č. 7 je pomocný výstup, který má stejnou logiku jako výstup č.3. Používá se nejčastěji k ovládnání vstupů časovače 555. **Obr. č. 21.0.**



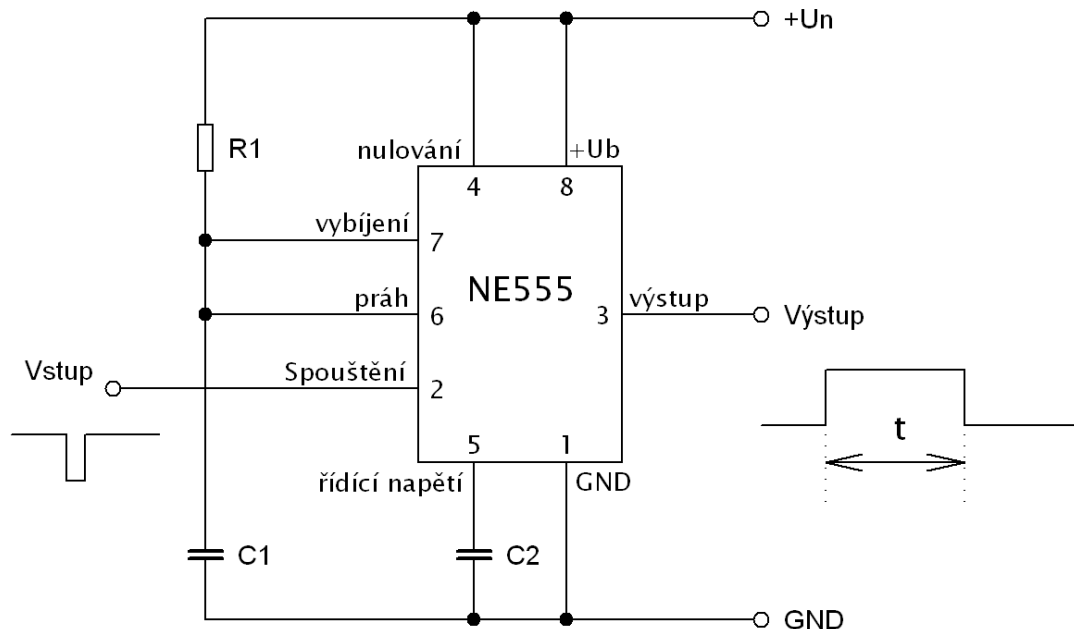
Obr. č. 21.0.

## Monostabilní klopný obvod s Ne555

### Praktická práce:

Spočítejte a měřením ověřte monostabilní klopný obvod s IO 555

Schéma zapojení: Obr. č. 21.1.



Obr. č. 21.1.

### Zadání:

Napájecí napětí unipolární  $U_n = 12V$ .

Doba překlopení MKO  $t_1 = 5s$ ,  $t_2 = 1ms$ ,

blokovací kondenzátor  $C_2 = 10k$

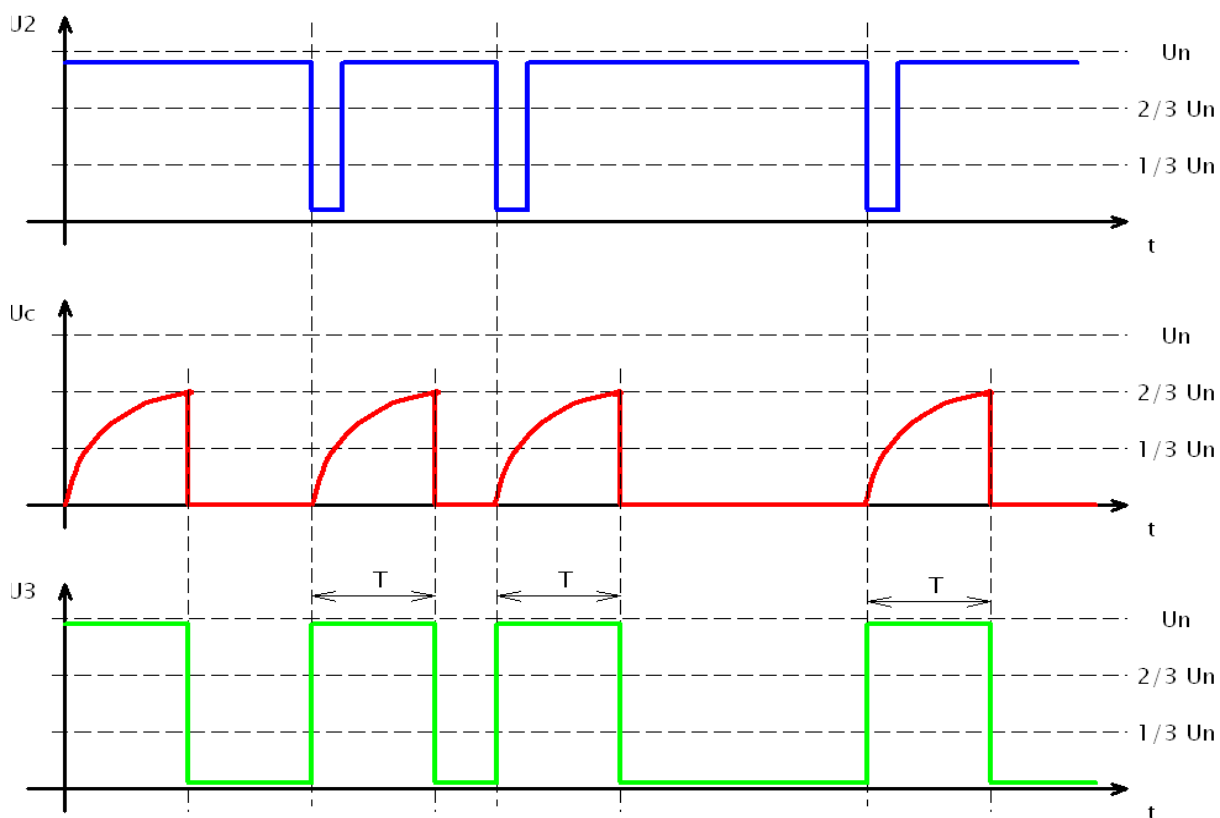
### Popis funkce obvodu:

Monostabilní klopný obvod je elektronický obvod, který se nachází v určitém stavu. Po příchodu vnějšího elektrického impulsu se MKO překlápí a po určitém čase, který je dán časovou konstantou  $T = R_1 * C_1$  se překlápí zpět do původního stavu, bez ohledu na to, v jakém stavu se nachází úroveň vstupů.

V okamžiku připojení napájecího napětí je na vstupu č. 6 nulové napětí a na vstupu č. 2 napájecí. Tím je na výstupu MKO napájecí napětí. Následně se začne nabíjet kondenzátor C1. Až dosáhne dvě třetiny napájecího napětí obvod se překlápí a výstupní napětí bude nulové. Jakmile na vstupu č. 2 klesne napětí obvod se překlápí, výstup přejde do logické jedničky, ale jenom na dobu, než se C1 nabije na dvě třetiny napájecího napětí. Pomocný výstup č. 7 je spojen se vstupem č. 6 a složí k vybíjení kondenzátoru C1.

Výstupní impulsy mají amplitudu téměř shodnou s napájecím napětím a dobu překlopení t je možné spočítat ze vztahu  $t = 1,1 * R_1 * C_1$  s tím, že R1 nebo C1 si zadáme a druhý prvek dopočítáme. Funkce obvodu je názorně vidět na **Obr. č. 21.1.**





Obr. č. 21.1.

**Postup:**

- obvod spočítejte pro obě zadané varianty, kdy  $t_1 = 5\text{s}$  a kdy  $t_2 = 1\text{ms}$
- napřed zvolte vhodný kondenzátor a dopočítejte odpor
- sestrojte obvod dle schéma
- ověřte činnost obvodu vizuálně pomocí Voltmetru a pomocí osciloskopu
- v případě, kdy  $t_1 = 5\text{s}$  obvod odměřte pomocí Voltmetru
- v případě, kdy  $t_2 = 1\text{ms}$  obvod odměřte pomocí generátoru a osciloskopu
- pro měření s generátorem a osciloskopem nastavte na generátoru co největší amplitudu obdélníkového průběhu a vhodný kmitočet vzhledem k zadanému času  $t_2 = 1\text{ms}$
- průběh napětí  $U_{\text{vst}}$  /  $U_{\text{výst.}}$  na obrazovce dvoukanálového osciloskopu zakreslete do sešitu

**Příklad výpočtu elektrického obvodu:**

Napájecí napětí unipolární  $U_n = 12V$ .

Doba překlopení MKO  $t = 2ms$ ,

Blokovací kondenzátor  $C_2 = 10k$

- zvolím si pro zadaný čas překlopení  $t = 2ms$ , kondenzátor  $C_1 = 100nF$

- výpočet odporu  $R_1$

ze vzorce  $t = 1,1 * R_1 * C_1$

$$R_1 = \frac{t}{1,1 * C_1} = \frac{0,002}{1,1 * 0,0000001} = 18k\Omega$$

- zvolím vhodný kmitočet generátoru

spočítám kmitočet odpovídající času překlopení  $t = 2ms$

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,002s} = 500Hz$$

logickou úvahou zjistím, že na generátoru nesmí být kmitočet vyšší než 500Hz.

například vyhoví kmitočet s délkou periody 8ms

na generátoru nastavím kmitočet  $f = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,008s} = 125Hz$

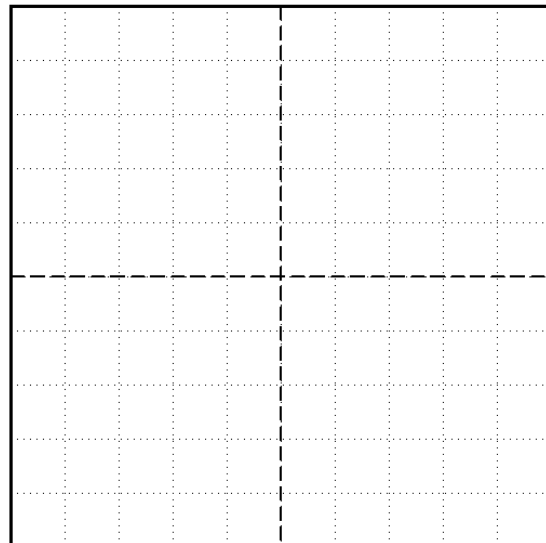
**Obrazovka osciloskopu:**

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

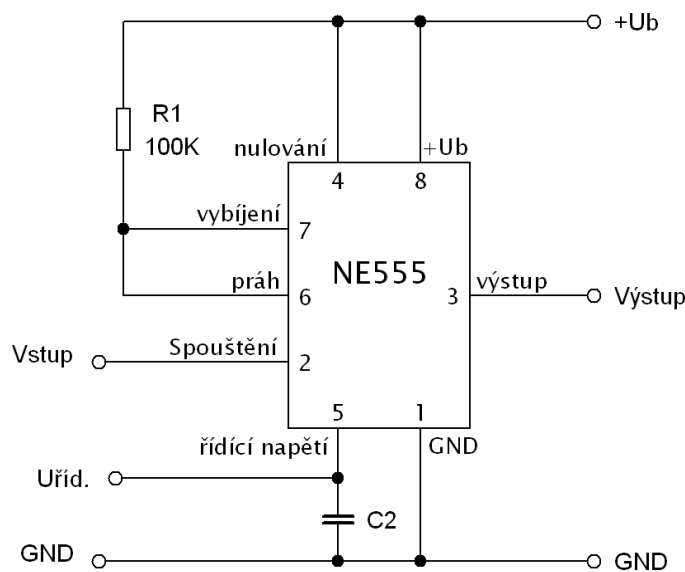
čas / dílek \*\*\*\*



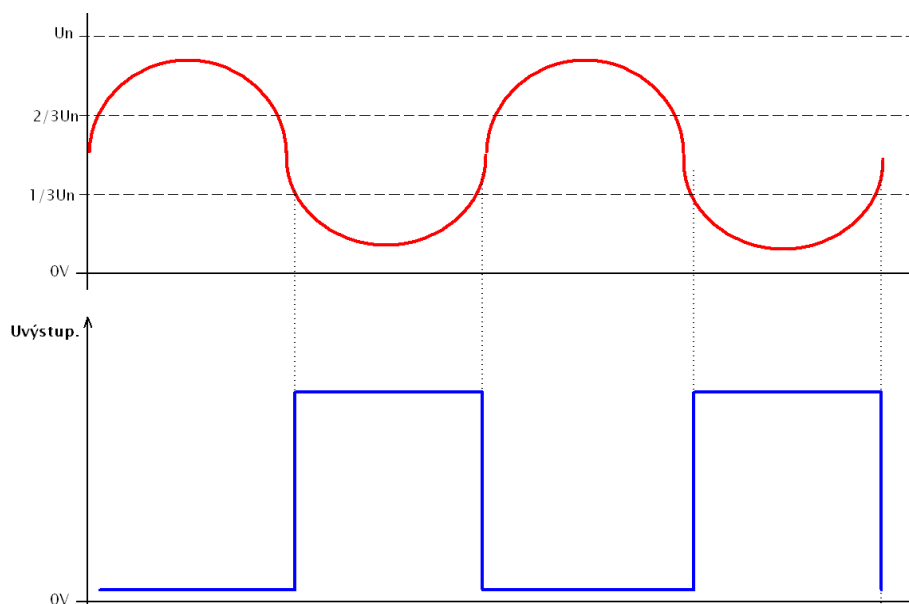
## Schmittův klopný obvod s NE555

### Popis funkce obvodu:

Schmittův klopný obvod je elektronický obvod, jehož úkolem je vyrobit z jakéhokoliv vstupního průběhu napětí obdélníkový průběh napětí. Tedy průběh odpovídající digitálnímu signálu. Proto také většina digitálních zařízení má na vstupech SKO. Na **Obr. č. 21.1.** je jednoduché zapojení, které využívá dolního komparátoru. Jestliže poklesne napětí na vstupu č. 2 pod prahové napětí komparátoru IO2, přepne spodní komparátor IO2 vnitřní klopný obvod a na výstupu časovače, vývod č. 3, se skokem objeví téměř napájecí napětí. Překročí-li vstupní napětí prahové napětí, vnitřní klopný obvod se překlápí zpět a na výstupu bude téměř nulové napětí. Protože překlápěcí napětí je stejné, jako sklápěcí napětí obvod vykazuje nepatrnou hysterezi. Odpovídající průběhy napětí jsou na **Obr. č. 21.2.**

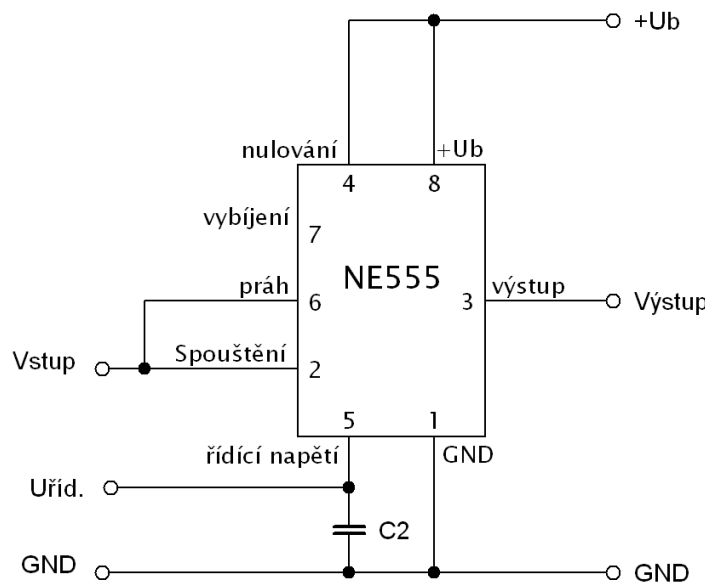


Obr. č. 21.1.

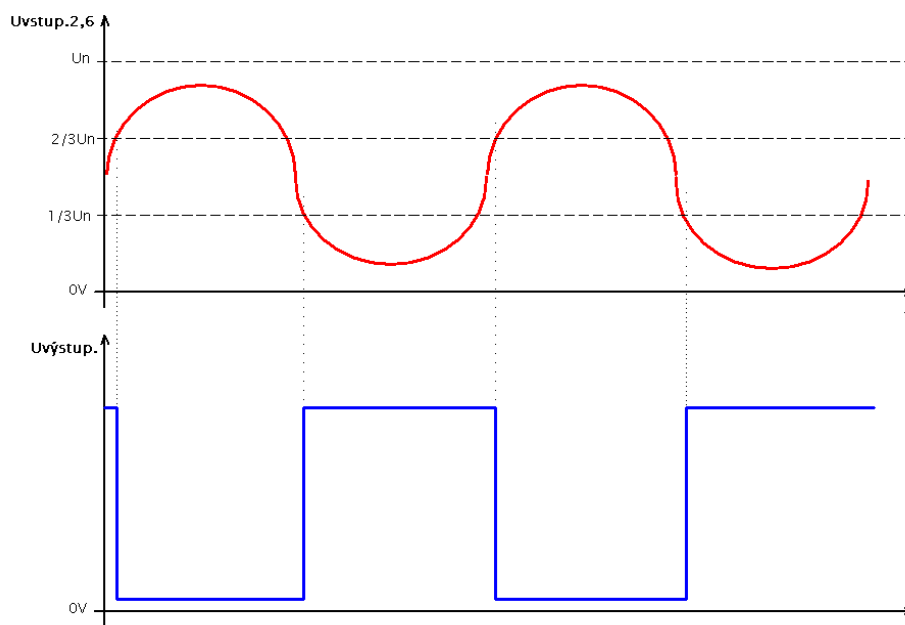


Obr. č. 21.2.

Jiné zapojení, nazývané také invertující komparátor, je na **Obr. č. 21.3.** Vstup SKO spolu tvoří dva spojené vstupy č. 2 a č. 6. Překročí-li vstupní napětí horní prahové úrovně na vývodu č. 6, objeví se na výstupu č. 3 časovače téměř nulové napětí. Poklesne-li vstupní napětí pod dolní prahové napětí na vývodu č. 2, vnitřní klopný obvod se překlopí a na výstupu se objeví téměř napájecí napětí. Vzhledem k tomu, že vnitřním děličem napětí je na vstupech komparátorů IO1 a IO2 nastavena jedna třetina a dvě třetiny napájecího napětí potom je zřejmé, že hystereze obvodu je minimálně jedna třetina napájecího napětí. Odpovídající průběh napětí je na **Obr. č. 21.4.**



**Obr. č. 21.3.**



**Obr. č. 21.4.**

**Praktická práce:**

Měřením ověřte dva Schmittovy klopné obvody s IO 555

**Zadání:**

Napájecí napětí unipolární  $U_n = 12V$ .  
blokovací kondenzátor  $C_2 = 10k$

**Schéma zapojení: Obr. č. 21.1. a Obr. č. 21.3.**

**Postup:**

- sestrojte elektronické obvody dle schéma
- ověřte činnost obvodu staticky měřením pomocí Voltmetru
- na vstup SKO připojte stejnosměrný zdroj proměnného napětí a výstupní napětí měřte Voltmetrem
- postupně zvyšujte vstupní napětí, až do doby kdy se obvod překlápí. Naměřené napětí zapište do tabulky
- následně vstupní napětí snižujte a hodnotu vstupního napětí v okamžiku zpětného sklopení zapište do tabulky
- spočítejte a do tabulky zapište hysterezi obou SKO
- toto měření provádějte pro oba SKO
- na vstup SKO zapojte generátor a výstupní napětí SKO měřte osciloskopem
- pro měření s generátorem a osciloskopem nastavte na generátoru co největší amplitudu sinusového průběhu napětí a kmitočet 1kHz
- výstupní průběhy napětí obou SKO vzájemně porovnejte pomocí dvoukanálového osciloskopu a zakreslete do sešitu

**Tabulka:**

|             | <b>Překlápěcí U</b> | <b>Sklápěcí U</b> | <b>Hystereze</b> |
|-------------|---------------------|-------------------|------------------|
| <b>SKO1</b> |                     |                   |                  |
| <b>SKO2</b> |                     |                   |                  |

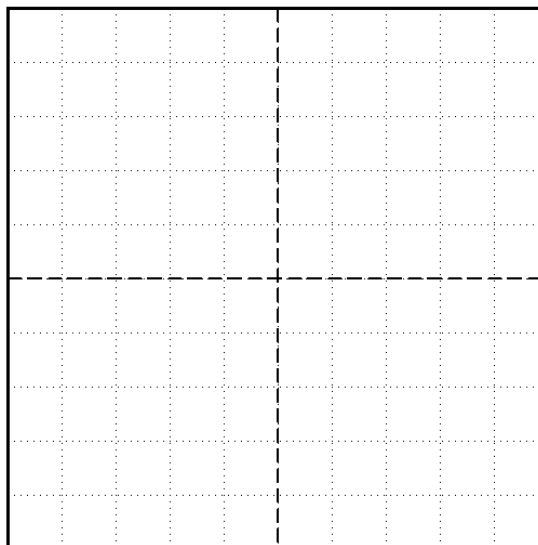
### Obrazovka osciloskopu:

přepínač vstupního děliče:

V/ dílek \*\*\*\*\*

přepínač časové základny:

čas / dílek \*\*\*\*



### Zpožděné vypínání vnitřního osvětlení automobilu

#### Praktická práce:

Zhotovte a měřením odzkoušejte zpožděné vypínání vnitřního osvětlení automobilu

#### Zadání:

Napájecí napětí unipolární  $U_n = +12V$ .

Blokovací kondenzátor  $C_2 = 22k$

**Schéma zapojení: Obr. č. 21.5.**

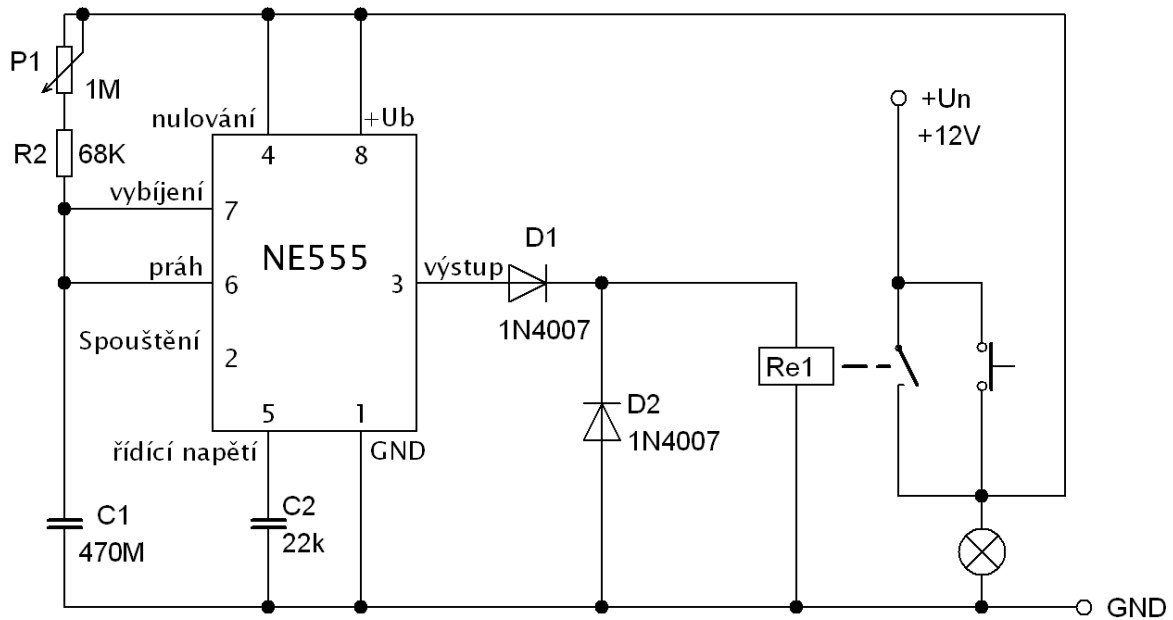
#### Popis funkce obvodu:

Po uzavření dveří automobilu zhasne vnitřní osvětlení okamžitě vypnutím elektrického obvodu dveřním kontaktem. Elektronickým časovým spínačem lze vypnutí vnitřního osvětlení zpozdít o nastavitelnou dobu. Po vypnutí vnitřního osvětlení se časový spínač sám odepne od napájení, takže neodebírá žádný proud z baterie automobilu.

Základem obvodu je monostabilní klopný obvod. Sepnutím vratného tlačítka se přivede napájecí napětí na IO 555, který na výstup připojí napájecí napětí, tím přitáhne relé a přes jeho kontakt se rozsvítí žárovka a po uvolnění tlačítka je i přes tento kontakt napájen celý elektronický obvod. Na to se kondenzátor  $C_1$  začne nabíjet přes potenciometr  $P_1$ . Až se nabije na dvě třetiny napájecího napětí, na prahovou úroveň komparátoru IO1, MKO se překloupí na to odpadne relé a světlo zhasne. Z popisu je zřejmé, že doba překloupení je dána časovou konstantou  $\tau = C_1 \cdot (P_1 + R_2)$ . Diody  $D_1$  a  $D_2$  jsou ochranné diody proti přepětí, které vzniká při zanikání proudu tekoucí indukčností neboli při vypnutí cívky relé.

## Postup:

- sestrojte elektronický obvod dle schéma
- ověřte činnost obvodu
- změřte a do tabulky запиšte nejkratší a nejdelší dosažitelný čas časového spínače



Obr. č. 21.5.

## 22. Seznam tajuplných značek vyskytujících se na obalech

### BIOPOTRAVINY

Pravé a certifikované biopotraviny jsou označeny grafickým znakem BIO (případně jeho schválenými modifikacemi) s nápisem "Produkt ekologického zemědělství".



Tato značka zaručuje, že produkty byly kontrolovány v celém svém životním cyklu. Správně označená biopotravina nese i číslo kontrolní organizace: CZ-KEZ-01 nebo číslo a zkratku některé jiné schválené kontrolní organizace.

Označení BIO nám dává jistotu, že se v daném zboží téměř nevyskytují anebo ve srovnání s konvenčními produkty jsou minimálně obsaženy cizorodé látky. Značka BIO garantuje, že zboží bylo vypěstováno v souladu s přírodou bez použití strojených hnojiv, chemických přípravků, postřiků, hormonů. A pokud se jedná o maso, tak víme, že zvíře mělo důstojný život a netrpělo. Kontrola kvality a šetrnosti k životnímu prostředí se nevztahuje jen na vypěstování, nýbrž i na zpracování. Navíc se tato značka vztahuje jen na české produkty, takže má spotřebitel jistotu, že za ním jídlo necestovalo přes půl světa a že nákupem podporuje české zemědělce.

Evropské unii je možno používat celoevropskou značku pro biopotraviny. Získání českého certifikátu BIO k použití této značky ekozemědělce a výrobce také opravňuje.



### EKOLOGICKY ŠETRNÉ VÝROBKY A SLUŽBY

Hledáte-li v obchodech výrobky, u kterých je zaručeno, že byly vyrobeny v České republice či z českých surovin, mohou vám pomoci zorientovat se značky Klasa, značka Nadačního fondu český výrobek, Český výrobek a v několika regionech značka Místní výrobek. Národní program označování ekologicky šetrných výrobků byl v České republice zaveden 14. dubna 1994 na základě vládního usnesení. Prvotní myšlenkou bylo označit výrobky, které ve svém životním cyklu poškozují životní prostředí méně než jiné. Výrobky, které požádají o udělení značky Ekologicky šetrný výrobek, jsou podrobeny důkladné kontrole, ve které důraz je kladen na vliv na životní prostředí a zdraví ve všech fázích výroby a spotřeby daného výrobku.





Jelikož se při kontrole řídí mezinárodní technickou normou ISO 14024 Environmentální značky a prohlášení - Environmentální začlenění typu I., slouží tato značka jako dekret kvality i mimo území České republiky. Licence EŠV uděluje Agentura pro ekologicky šetrné výrobky., CENIA



U evropských výrobků se lze setkat s alternativním značením ekologicky šetrných výrobků, vycházejícím z nařízení rady Evropského hospodářského společenství ze dne 23. března 1992. Ekoznačkou EU je tzv. "The Flower"-květina. Rovněž tyto výrobky procházejí zevrubnou kontrolou šetrnosti výroby, spotřebních vlastností a možností likvidace.

## ČESKÉ VÝROBKY

Značkou Klasa odměňuje ministr zemědělství každoročně nejlepší potravinářské a zemědělské výrobky. Toto ocenění kvality u domácích výrobků národní kvality je uděleno na tři roky a znamená, že výrobek pochází z domácích surovin, celá jeho výroba probíhala na území české republiky a že splňuje určené standardy kvality.

Místní výrobek.

Existují i speciální regionální značky, které se udělují českým výrobkům s regionální tradicí. Při jejich výrobě se klade důraz na šetrnost vůči přírodě a životnímu prostředí. Tato značka je zatím zavedena v těchto regionech: Krkonoše, Šumava, Beskydy, Moravský kras, Orlické hory, Vysočina, Górolsko Svoboda (Jablunkovsko) a Moravské Kravaňsko (Poodří).

Český výrobek

Značka Český výrobek, jež vychází ze soukromé iniciativy, rovněž zaručuje, že se jedná o zboží vyrobené v České republice a dokonce plní jakési ekologické normy. Nadační fond Český výrobek rovněž podporuje české firmy, nicméně bez kontroly jakýchkoli ekologických limitů.

## TESTOVÁNÍ NA ZVÍŘATECH

Vyhledáváte-li výrobky s označením "netestováno na zvířatech", věnujte pozornost tomu, vztahuje-li se informace pouze k finálnímu výrobku nebo i k surovinám na jeho výrobu, a zda se nejedná o klamavou reklamu. Pro označování (ne)testování existuje řada certifikátů s velmi rozdílnými kritérii. Svoboda zvířat považuje za nejspolehlivější HCS-Humane Cosmetics Standart. Na trhu je možno se setkat se značkou "králík v trojúhelníku". Tato značka



pochází z Anglie, není garantována žádným státem a používají ji sami výrobci pro výrobky, které nebyly testovány na zvířatech. Značka však nezaručuje, že přísady testovány nebyly.

Spolehlivější informace než na etiketách spotřebitel nalezne na stránkách organizací dlouhodobě sledujících tuto problematiku. Seznam firem mají na svých stránkách [Společnost pro zvířata](#), [Svoboda zvířat](#), [PETA](#) či [Different life](#).

### **HCS - Humane Cosmetics standard.**

HCS výrobky se označují králíkem, který "běží přes hvězdičky" Evropské unie. Certifikát pro kosmetiku netestovanou na zvířatech uděluje Evropská koalice za ukončení pokusů na zvířatech ([European Coalition to End Animal Experiments. ECEAE](#)).



Firmy označené tímto certifikátem nesmí testy na zvířatech ani provádět, ani je zadávat jako zakázku jiným subjektům. Kromě toho musí dodržet stanovenou lhůtu (cut-off date), po které se nesmějí používat zvířata ani při testování ingrediencí. Tato lhůta je stanovena individuálně pro každou firmu. Pro čistící a prací prostředky existuje obdobně Humane Household Products Standard, se stejným logem.

### **Kontrolovaná přírodní kosmetika**

Certifikát uděluje německá asociace BDIH, sdružující obchodní a výrobní firmy z oblasti farmacie, health care produktů, potravinových doplňků a kosmetiky. Firmy s tímto certifikátem nesmí testovat výrobky ani ingredience, mohou však používat ingredience, které otestoval smluvní partner. Někteří výrobci, kteří certifikát získali, proto ve svých materiálech navíc uvádějí, že testy na zvířatech ani nezadávají jiným subjektům.



### **Elektronika a elektronika**

Od roku 2001 je v ČR povinnost označovat elektrospotřebiče energetickým štítkem. Kromě mnoha údajů, které najdete právě na něm, se lze na trhu řídit i značkami [Energy star](#) u počítačů, [ELI](#) pro úsporné světelné zdroje, značka švýcarské [Group for efficient appliances](#) a [TCO 99 a TCO 03](#) pro displeje, monitory apod. Energetické štítky se dnes dají nalézt i u domů.

### **Nové energetické štítkování elektrospotřebičů v ČR**

V poslední době se změnil systém energetického štítkování domácích elektrospotřebičů. Vzhledem k vývoji současných technologií už původní třída A jednoduše nestačí. Spotřebiče tak budou nově označovány kategoriemi A+, A++ a A+++.

Energetický štítek se používá pro domácí elektrospotřebiče, jako jsou ledničky, pračky či myčky a vyjadřuje energetickou náročnost jejich provozu.

Písmena A až G určují poměr spotřeby daného spotřebiče ve srovnání s pevně danými parametry, výsledkem je koeficient energetické účinnosti, který se dělí do tříd podle písmen. "Technologický vývoj jde neustále kupředu a nedošlo k posunu energetických tříd, kategorie A přestala stačit a začalo se používat značení A+, A++ a A+++.

"Výrobci již delší dobu hodnocení A+, A++ a A+++ používají. Až nyní jsou ale tyto kategorie oficiálně součástí štítků a spotřebitel tak reálně vidí rozdíl mezi jednotlivými výrobky. Například u chladicích zařízení se již nyní na trhu nesmí objevit kategorie B a horší, prodávat se tedy mohou pouze kategorie A, a i v té jsou velké rozdíly. Další rozdělení kategorie tak bylo nevyhnutelné. A+++ je označení pro energeticky nejúspornější výrobky.

Další legislativní novinkou je, že veškerá inzerce, která bude obsahovat informaci o ceně produktu, bude muset uvádět i jeho energetickou třídu.

Energetický štítek má dvě části: barevnou a černobílou. Barevná část je stejná pro všechny výrobky jedné kategorie (např. pračky). Pravá část štítku - černobílý proužek s výrazným písmenem v černé šipce a čísla je pro každý spotřebič jiný.

Základní informací štítku je zařazení výrobku do kategorie A až G. Písmeno A (zelená barva) znamená nejúspornější, G (červená) energeticky nejnáročnější výrobek. U většiny výrobků platí, že kategorie C a D představují jakýsi průměr, kategorie F a G označují nevhodné spotřebiče. Díky vývoji se s výrobky těchto kategorií naštěstí setkáváme výjimečně. U chladniček je dokonce zakázáno prodávat na našem trhu výrobky horší než D, naopak zde byly zavedeny dvě kategorie pro nejúspornější výrobky, označené A+ a A++.

Na energetickém štítku najdeme i další důležité údaje. Například u praček a myček je důležitým údajem také spotřeba vody, hodnotí se i kvalita praní (resp. mytí) a účinnost odštěďování (resp. účinnost sušení). U chladniček a mrazniček je důležitá i kvalita izolace - hlavně když dojde k výpadku elektrického proudu. Čím lepší izolace, tím déle vydrží potraviny nepoškozené. U většiny výrobků je velmi důležitým údajem také hluk, který velmi významně ovlivňuje komfort užívání.

Malá chladnička, malá sušička spotřebuje méně energie než velká. Proto je na štítku vždy vyčíslena spotřeba konkrétního typu. Je třeba počítat s tím, že spotřeba se stanovovala v laboratoři za určitých podmínek (které byly srovnatelné pro všechny spotřebiče). Jaká bude spotřeba doopravdy, záleží na tom, jak se bude přístroj používat - může být větší i menší. Označení spotřebiče písmenem slouží k porovnání s podobnými výrobky. Označování spotřebičů štítky je povinné, pokud by v obchodě štítek chyběl, riskuje prodejce pokutu. Podrobnosti o štítcích uvádí vyhláška č. 442/2004sb.

V ČR se povinně označují štítkem:

- automatické pračky
- bubnové sušičky prádla
- pračky kombinované se sušičkou
- chladničky, mrazničky a jejich kombinace
- myčky nádobí
- elektrické trouby
- elektrické ohříváče vody
- zdroje světla
- předřadníky k zářivkám
- klimatizační jednotky

## Ekonomika provozu

Chladnička, mraznička, pračka a myčka spotřebují v domácnosti nejvíce elektřiny. Jejich životnost je kolem 10 let. Během této doby ceny elektřiny zřejmě nadále porostou. Nákup je tedy potřeba důkladně zvážit. Vzhledem k poměrně vysokým cenám elektřiny se často vyplatí vyměnit starší, byť ještě funkční výrobek za nový, s nízkou (třeba poloviční) spotřebou. Návratnost této investice ale závisí také na ceně elektřiny. Pokud má domácnost elektrické vytápění, je cena jedné kWh nižší (jsou však vysoké stálé měsíční platby, které se platí bez ohledu na spotřebu). V tom případě se investice do úsporného spotřebiče vrací déle.

### **Roční náklady na provoz chladničky při různém tarifu.**

Cenový rozdíl mezi jednotlivými spotřebiči nezávisí jen na spotřebě energie, ale i na dalších parametrech a provedení výrobku. Výpočtem lze snadno zjistit, zda se dražší a úspornější spotřebič vyplatí či ne.

|                            | chladnička třídy B | chladnička třídy A + |
|----------------------------|--------------------|----------------------|
| spotřeba elektřiny         | 1,39 kWh/den       | 0,83 kWh/den         |
|                            | 507 kWh/rok        | 303 kWh/rok          |
| provozní náklady za rok    | 2 202 Kč           | 1 315 Kč             |
| provozní náklady za 10 let | 22 000 Kč          | 13 100 Kč            |
| pořizovací náklady         | 12 000 Kč          | 13 500 Kč            |
| náklady celkem za 10 let   | 34 000 Kč          | 26 600 K             |

*Porovnání nákladů na úspornější chladničku při el. Sazbě D 02 – Zdroj: EkoWATT*

## Energy star

U počítačů, tiskáren, kopírek a další kancelářské techniky se můžeme setkat s označením "Energy star", které mají zařízení s nízkou spotřebou. Většinu osobních počítačů lze nastavit tak, aby při nečinnosti spotřebovávaly co nejméně. Pokud je však nezbytné, aby počítač běžel nepřetržitě, je možné ho alespoň zaměstnat nějakým užitečným úkolem. Existují mezinárodní projekty, v nichž může i váš počítač spolupracovat na vědeckém výzkumu, např. modelování klimatických změn nebo výzkum proteinů využitelný v boji s rakovinou.



## ELI - úsporné zdroje světla

U úsporných světelných zdrojů se lze setkat s logem ELI, kterým jsou označeny pouze ty výrobky, které prošly certifikací Mezinárodního fondu ochrany životního prostředí.

ZÁRUKA KVALITY



ZÁRUKA ÚSPOR

### Stand-by spotřeba

Většina domácích a kancelářských elektrospotřebičů odebírá proud, i když jsou vypnuté. Jde hlavně o elektroniku: televize, videa, satelitní přijímače, hi-fi věže, počítače a tiskárny, faxy, kopírky, ale i mnoho druhů lampiček. Jak je to možné? Tyto spotřebiče se vyznačují tím, že mají zabudovaný transformátor, který spotřebovává proud neustále. Je totiž trvale připojen k síti, neboť vypínač je umístěn až za tímto transformátorem. Tato klidová spotřeba je u starších spotřebičů až 20 W. U novějších je to obvykle 1 až 5 W. Zpravidla ale máme v domácnosti takovýchto spotřebičů více a energii spotřebovávají nepřetržitě - celé dny a roky. Pokud je stand-by příkon přístrojů v celé domácnosti 20 W, spotřebují za rok 175 kWh. Při ceně elektřiny okolo 3,80 Kč/kWh je to téměř 700 Kč. Spotřebiče, které nemusejí být ve stand-by režimu (elektronika bez dálkového ovládání), lze vypínat buď hlavním vypínačem, vytažením šňůry ze zásuvky a nebo elegantněji - společným vypínáním pomocí prodlužovacího kabelu s vypínačem zásuvek.



Značka TCO pro počítače a kancelářskou techniku

### Štítkování domů

Podobně jako elektrospotřebiče mají energetický štítek i nově postavené a rekonstruované domy. Energetický štítek budovy by měl být součástí projektové dokumentace, předkládané k žádosti o stavební povolení. Dům se hodnotí podle stupně tepelné náročnosti STN. Ten se vztahuje jen ke konstrukcím domu (izolační schopnost stěn, oken a dalších konstrukcí) a nevypovídá nic o způsobu vytápění či větrání budovy, což je pro skutečnou spotřebu domu velice důležité. Přesto jde o velmi jednoduchý a účinný způsob, jak zhodnotit kvalitu konstrukcí domu.

## 23. Energeticky úsporné osvětlení

Umělé osvětlení musí splňovat požadavky na zrakovou pohodu a zrakový výkon. Z hlediska energetických úspor je rozhodující používání účinných zdrojů světla. Poměr mezi spotřebou elektřiny a svítivostí zdroje může být výrazný - například u žárovek je při stejné úrovni osvětlení zhruba 4 x vyšší než u zářivek.

Důležitým parametrem výběru světelného zdroje je měrný výkon, udávaný jako lm/W, který vyjadřuje účinnost přeměny elektřiny ve světlo.

Pro použití světelného zdroje k osvětlování interiérů s trvalým pobytem osob je nutno dosáhnout určité kvality světla zdroje, vyjádřené indexem podání barev, který by měl být větší než 80. V současné době připadají pro osvětlování interiérů v úvahu prakticky pouze žárovky a zářivky.

### Standardní žárovky a reflektorové žárovky

Standardní žárovky a reflektorové žárovky jsou neznámější, nejrozšířenější a také nejméně hospodárné zdroje světla s nejnižší hodnotou měrného výkonu - pouhých 8 až 18 lm/W. Na světlo se tak přemění jen 3-5 % spotřebované energie, zbytek je většinou ztrátové teplo. Reflektorové žárovky se používají pro místní zvýraznění, tedy jako světelný akcent. Instalaci žárovek lze doporučit pouze v místech s krátkodobým a spíše nepravidelným svícením (např. na WC, v komoře atp.).

### Halogenové žárovky

Halogenové žárovky mají oproti klasickým až dvojnásobnou životnost a také až dvojnásobný světelný výkon (14-20 lm/W). Uplatní se jako doplňkové bodové osvětlení, pro optické zdůraznění detailu či osvětlení ve speciálních případech. Pozor na nevhodnou montáž - halogenová žárovka je silným zdrojem tepla!

### Zářivky

Zářivky patří k účinným zdrojům světla (měrný výkon 40-106 lm/W) a ve srovnání se standardní žárovkou spotřebují pro vyprodukování stejného množství světla jen asi 15-25 % energie. Výhodou je také jejich nízká povrchová teplota. Nevýhodou je pomalejší náběh na plný výkon. Kompaktní zářivky mají trubici i předřadník spojeny v jeden celek. Jejich výměna je proto - oproti zářivkám s odděleným předřadníkem (většina svítidel s lineárními trubicemi), kde se mění jen trubice - dražší. Kompaktní zářivky se vyrábějí jak se závitem E27, tak se závitem E14 a lze je přímo našroubovat do objímek stávajících svítidel.

### Žárovky s LED diodami

Žárovky s LED diodami se pro osvětlování používají teprve v posledních letech. Dosud se LED diody používají hlavně jako kontrolky k přístrojům. Hlavní jejich výhody jsou: velmi dlouhá životnost, výborná energetická účinnost, malé rozměry a snadné vytvoření úzkého svazku světla. Často se s nimi proto setkáme jako s náhradou reflektorových halogenových žárovek. Významnou nevýhodou je ale barevné podání - na rozdíl od žárovek, které vyzařují spojité spektrum, je světlo LED diod omezeno na úzkou oblast vlnových délek. Pro dosažení bílé barvy a dobrého barevného podání se proto používá například luminofor nanesený na kryt diody, který část modrého světla přemění na záření v zelené a červené části spektra. Světelný výkon je 40-75 lm/W.

| Všeobecné osvětlení  | $E_m$ [lx]     | Celkový příkon žárovkových svítidel [W] | Celkový příkon svítidel s kompaktními zdroji [W] |
|--|----------------|---|--|
| Obývací pokoj  | 50*            | 240                                     | 60   |
| Ložnice  | 50*            | 100                                     | 23   |
| Koupelna   | 100            | 60                                      | 15   |
|  | 300            | 2 x 40                                  | 2 x 11   |
| WC   | 100            | 60                                      | 15   |
| Předsíň  | 75             | 240                                     | 33   |
| Šatna  | 100            | 60                                      | 15   |
| Kuchyně - pracovní plocha  | 300**          | 60                                      | 15   |
| Kuchyně - sporák   | 300**          | 2 x 40                                  | 2 x 7  |
| Kuchyně  | 100<br>(300**) | 240                                     | Lineární - 36 (2x 36 ***)                        |
| * Předpokládá se místní doplňující osvětlení<br>** S příspěvkem od všeobecného osvětlení<br>*** Doporučená hodnota |                |   |  |

Porovnání osvětlení jednotlivých místností v bytě pomocí žárovek a kompaktních zářivek.  
Zdroj: STÚ-E, a.s.



## 24. Obnovitelné zdroje energie

Vzhledem k tomu, že člověk svou činností za pouhých přibližně dvě stě let spotřeboval nemalou část nerostného bohatství, které na planetě Zemi vnikalo miliardy let, v posledních letech a to hlavně počátkem jedenadvacátého století začala vznikat aktuální otázka obnovitelných zdrojů. Je úplně jasné, že neobnovitelné zdroje jednou dojdou a je třeba se zabývat otázkou, jak tento problém vyřešit a to nejen v nejbližší budoucnosti, ale hlavně pro další generace. Hlavně posledních dvacet let se začala řešit otázka obnovitelných zdrojů. Pro různé lokality na Zemi se nabízejí různé možnosti. Vzhledem k místním poměrům mohou být různé výhodné. Je třeba si ale uvědomit, že základem všech obnovitelných zdrojů je Slunce a pokud budou na jeho povrchu probíhat jaderné reakce bude mít i země dostatek energie, protože Slunce je ať přímo anebo nepřímo zdrojem všech obnovitelných zdrojů. Se zánikem hvězdy Slunce, by zřejmě zanikla i planeta Země. Z obnovitelných zdrojů se nabízí několik možných variant.

Energie slunce - sluneční teplo a ohřev vody

Veškerá spotřeba primárních zdrojů energie v ČR odpovídá sluneční energii, která za rok dopadne na pouhých  $350 \text{ km}^2$  (asi 4 ‰ rozlohy České republiky). To je asi desetina plochy, na které dnes pěstujeme řepku, nebo která byla v šedesátých letech osázena brambory. Sluneční energie je tedy více než dost.

Při využívání sluneční energie narážíme na dva problémy: skladovatelnost a účinnost. Sluneční energii lze výborně skladovat v biomase, účinnost je zde ovšem velmi nízká - jedno procento i méně. Naopak vysoké účinnosti lze dosáhnout při výrobě tepla (termální kolektory) i elektřiny (fotovoltaika), ale zde je drahá akumulace zachycené energie.

### Možnosti využití

Ze slunce lze nejnáze získat teplo - to ví každá kočka, rozvalující se na zápraží. Teplo pro vytápění budov nejnáze získáme tak, že vpustíme jižními okny slunce do interiéru. Aby zase rychle neuteklo, potřebujeme dobře izolující okno a ještě mnohem lépe izolující stěny, strop a podlahu. Na tomto principu fungují tzv. pasivní domy, které jsou z větší části vytápěny právě sluncem. Tyto tzv. pasivní zisky se využívají i jinde v architektuře.

Pro teplo na ohřev vody (na mytí i do radiátorů) je nutno použít tzv. aktivní systémy. Primitivní, ale v létě dostatečně účinný je i sud s vodou natřený načerno. Pro celoroční provoz nebo pro vyšší teploty je nutné složitější zařízení - solární termální systém.

### Pasivní systémy

Výhodou pasivních systémů je to, že k provozu nepotřebují žádné další zařízení. Využívá se sluneční záření, které dopadne do interiéru okny nebo jiným prosklením. Systém je třeba navrhnout tak, aby byly zisky co nejlépe využity (např. cirkulací teplého vzduchu z osluněných místností do ostatních částí domu). Výhodnější jsou tzv. těžké budovy, které umožňují krátkodobou akumulaci přebytků do vlastní konstrukce. Důležitá je i volba typu vytápěcího systému a jeho dobrá regulace, aby se dům nepřehřival.

Pasivní systém musí s budovou tvořit harmonický celek. Toho je jednodušší dosáhnout u novostaveb. Ale i starší stavby je často možné vhodně rekonstruovat (vybudovat skleněné přístavky, prosklené verandy apod.).



Velmi důležité je vyřešení rizika tepelné zátěže během léta (řádné odvětrání, akumulace do stavebních konstrukcí,...). V případě orientace prosklených ploch na jih nebo západ se zvyšuje riziko přehřívání interiéru v letních měsících.

Konkrétní budovu je lépe řešit se specializovaným odborníkem (energetický auditor) než pouze s architektem či stavbařem, ideální je najít tým, který zahrnuje všechny profese. Energetický přínos závisí také na způsobu užívání budovy a na chování obyvatel domu - např. dodatečně zasklená lodžie přináší úsporu, jen pokud není v zimě vytápěná z bytu.

Při volbě zasklení je potřeba zvážit jeho technické vlastnosti, zejména schopnost propouštět sluneční tepelné záření a světlo (to není totéž) a izolační schopnost prosklení.

### **Aktivní systémy**

Aktivní systémy je téměř vždy možné dodatečně instalovat na stávající budovu. Využívají se zejména k celoroční přípravě teplé vody (TV), ohřevu bazénové vody a k přitápění budov pomocí teplovodního či teplovzdušného vytápění.

Získanou energii je možné i dlouhodobě akumulovat v zásobnících (vodních, šterkových aj.). Čím je delší doba akumulace, tím je systém dražší a méně ekonomický. Proto se nejčastěji používá krátkodobá akumulace (několikadenní) spolu s pružnými topnými systémy, které sníží výkon okamžitě, jsou-li v místnosti solární zisky prosklením. Pro krátkodobou akumulaci se využívá obvykle beztlaková vodní nádrž (tlakové nádoby jsou dražší).

Solární systémy mohou být i teplovzdušné. V tomto případě nehrozí zamrzání nebo vyvaření média a teplý vzduch z kolektorů lze přivádět přímo do místností. Systém pracuje s nižšími teplotami, čímž roste účinnost. Nevýhodou je potřeba silnějších potrubí a hluk ventilátorů, který se může šířit do místností. Akumulace je zde mnohem obtížnější než u kapalinových systémů.

### **Přírodní podmínky**

Sluneční záření dopadající na zemský povrch se skládá z přímého a z rozptýleného záření. Přímé je záření od slunečního disku, které tvoří svazek prakticky rovnoběžných paprsků. Rozptýlené (difuzní) sluneční záření vzniká rozptylem přímých slunečních paprsků na molekulách vzduchu, vodních kapkách, ledových krystálcích a aerosolových částicích. Rozptýlené záření se jeví jako světlo oblohy; kdyby nebylo, jevila by se obloha i během dne černá s ostře zářícím slunečním kotoučem.

Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje kolem 1 460 h/rok. Mapa ukazuje globální sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu o velikosti  $1 \text{ m}^2$  za rok a dává tak představu o množství využitelné sluneční energie. V oblastech se silně znečištěnou atmosférou je nutné počítat s poklesem globálního záření o 5-10 %, někdy až 15-20 %. Pro oblasti s nadmořskou výškou od 700 do 2 000 m. n. lze počítat naopak s 5% nárůstem globálního záření.

### **Energie slunce - výroba elektřiny**

Téměř veškerá energie, kterou na Zemi máme, pochází ze slunečního záření. Na území ČR dopadne za rok asi milionkrát více sluneční energie, než je naše roční spotřeba elektřiny. Sluneční záření lze nejefektivněji přeměňovat na teplo, přeměna na elektřinu je dražší. Přímou ji lze získávat pomocí fotovoltaických panelů, nepřímo pomocí větrných a vodních elektráren nebo tepelných elektráren spalujících biomasu či bioplyn. Existují i zařízení, kde je teplo spalovacího procesu nahrazeno např. párou získávanou pomocí speciálních slunečních kolektorů.

## Fotovoltaické panely

Fotovoltaická zařízení představují jednoduchý a elegantní způsob, jak sluneční paprsky přeměnit na elektřinu. Pracují na principu fotoelektrického jevu: částice světla - fotony - dopadají na článek a svou energií z něho "vyráží" elektrony. Polovodičová struktura článku pak uspořádává pohyb elektronů na využitelný stejnosměrný elektrický proud. Se stejnými základními stavebními prvky - solárními články - je možné realizovat aplikace s nepatrným výkonem (napájení kalkulačky) až po velké elektrárny s výkony v MW.

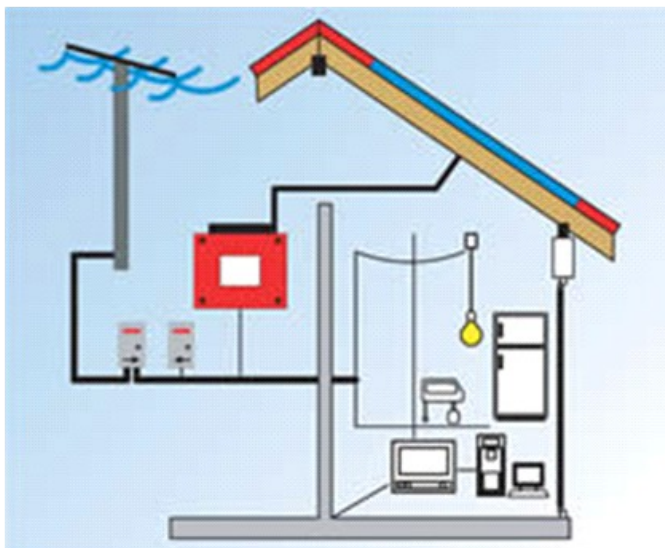
**Solární článek** je polovodičový velkoplošný prvek s alespoň jedním PN přechodem (v podstatě jde o polovodičovou diodu). Na rozhraní materiálů P a N vzniká přechodová vrstva P-N, v níž existuje elektrické pole vysoké intenzity. Toto pole pak uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorpcí světla. Vzniklý elektrický proud odvádějí z článku elektrody. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabitě částice (pár elektron - díra). Některé elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi "předním" (-) a "zadním" (+) kontaktem solárního článku. Zátěží (elektrospotřebičem) připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jež je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního záření.

### Systémy připojené k síti (grid-on)

Vzhledem k výhodným výkupním cenám se takto provozují větší systémy. Pokud je systém součástí budovy, je veškerá produkce obvykle prodávána do sítě a budova odebírá elektřinu podle vlastní potřeby, nezávisle na okamžitém výkonu fotovoltaiky. Ekonomicky může být výhodnější spotřebovávat část vlastní výroby v budově a prodávat pouze přebytky, je však potřeba technicky náročnější řešení a ani současná legislativa ho nepodporuje.

Součástí systému je vždy střídač, který přemění stejnosměrný proud z fotovoltaického článku na střídavý. Jeho životnost je obvykle kratší než u zbytku systému a je tedy nutno počítat s reinvesticí. Systémy připojené k síti fungují zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u distributora elektřiny (ČEZ, E.ON, PRE) a je nutné dodržet dané technické parametry.

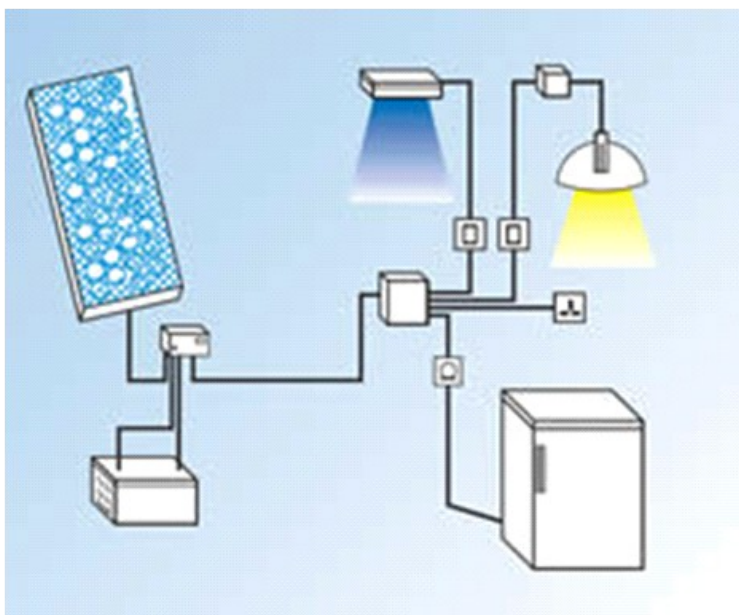
U větších systémů (cca nad 10 kW) se investiční náklady pohybují v rozmezí 120-180 Kč/W<sub>p</sub>, podle toho, zda se jedná o systémy pevné či polohovací. U menších systémů však měrné investiční náklady rostou i nad 200 Kč/W



## Samostatné (ostrovní) systémy - grid off

Fotovoltaiku lze využít i tam, kde jsou náklady na vybudování a provoz elektrické přípojky vysoké nebo zřízení přípojky není možné. Může jít o chatu, jachtu nebo obytný automobilový přívěs, kde díky fotovoltaickým panelům získáme komfort elektrického osvětlení, chladničky a dalších spotřebičů. Setkat se můžeme i s fotovoltaikou napájeným veřejným osvětlením, nouzovými telefonními budkami u dálnic, výstražnou dopravní signalizací nebo parkovacími automaty. Takové zařízení lze kdykoli snadno přemístit, bez nutnosti rozkopávat chodník pro napojení k síti.

U připojených spotřebičů se pak klade důraz na nízkou spotřebu energie - čím menší spotřeba, tím menší a levnější je i fotovoltaický systém. Trh nabízí nejrůznější spotřebiče konstruované na stejnosměrný proud, od zářivek přes chladničky, televize až třeba po vodní čerpadla.



Výkony se pohybují v od  $100 \text{ W}_p$  do  $10 \text{ kW}_p$  špičkového výkonu. Investiční náklady na ostrovní systémy jsou v rozmezí  $230\text{-}300 \text{ Kč/W}_p$ . Cena závisí zejména na kvalitě a kapacitě akumulátorů.

## Energie větru

Větrná energie je jen jedna z forem sluneční energie. Vzniká díky tomu, že Slunce zahřívá Zemi nerovnoměrně. Mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře vznikají tlakové rozdíly, které se vyrovnávají prouděním vzduchu. Pod pojmem vítr rozumíme pouze horizontální složku proudění vzduchu, ve vrstvě několika desítek metrů nad zemí jsou stoupavé vzdušné proudy nevýznamné.

Výhodou větrné energie je, že ji, na rozdíl třeba od energie biomasy, dokážeme poměrně snadno přeměnit na žádanou elektřinu. Využívání větru tak může napomoci splnění národního cíle - produkovat v roce 2010 z obnovitelných zdrojů 8 % celkové spotřeby elektřiny.

Potenciál větrné energie v ČR se odhaduje na 4 000 GWh ročně. To je asi 4 % naší celkové spotřeby elektřiny. V bilanci celkové energetické spotřeby jde asi o jedno procento.

V poslední době u nás větrných elektráren přibývá. Důvodů je více: zejména poměrně příznivé výkupní ceny a hlavně zákonem daná garance, že tyto ceny budou pevné po dobu 20 let od spuštění. Dalším důvodem může být možnost získání dotace, i když většina velkých větrných elektráren se u nás staví i bez dotace. Obcím navíc provozovatelé obvykle nabízejí roční příspěvky ve výši několika desítek tisíc Kč za jednu elektrárnu.

| <b>EU celkem 48<br/>062 MW</b> |           |                        |
|--------------------------------|-----------|------------------------|
| Německo                        | 20 622 MW | Belgie                 |
| Španělsko                      | 11 615 MW | Polsko                 |
| Dánsko                         | 3 136 MW  | Finsko                 |
| Itálie                         | 2 123 MW  | Maďarsko               |
| Velká Británie                 | 1 963 MW  | Litva                  |
| Portugalsko                    | 1 716 MW  | <b>Česká republika</b> |
| Francie                        | 1 567 MW  | Lucembursko            |
| Nizozemsko                     | 1 560 MW  | Estonsko               |
| Rakousko                       | 965 MW    | Bulharsko              |
| Řecko                          | 746 MW    | Lotyšsko               |
| Irsko                          | 745 MW    | Slovensko              |
| Švédsko                        | 572 MW    | Rumunsko               |

Trendem je výstavba stále větších strojů (průměr rotoru 40 až 100 m a stožár o výšce více než 100 m). Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a maximální využití lokalit, kterých je omezený počet. Ve vnitrozemí se staví stroje s výkonem 100 až 2000 kW. Na moři (poblíž pobřeží) se využívají turbíny s výkonem až 5 MW. Naopak starší vnitrozemské elektrárny s výkony do 200 kW se demontují a nahrazují silnějšími, i když jsou ještě provozuschopné. Nabízí se pak k vývozu i do ČR. Pozor: garantované výkupní ceny platí pouze pro zařízení, která nejsou starší než 2 roky.

Velké větrné elektrárny mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí 660 V, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Existují i elektrárny se speciálním mnohapolovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň. Většina elektráren má konstantní otáčky - s rostoucí rychlostí větru se zvyšuje zátěž generátoru.

Moderní větrné elektrárny mají rozběhovou rychlost větru kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé turbíny vybaveny dvěma generátory (nebo jedním generátorem s dvojitým vinutím). Při nízké rychlosti větru běží menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Startovací rychlost pro snížený výkon je potom kolem 2,5 m/s.

K zefektivnění provozu a snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 až 30 elektráren), tzv. větrných farem.

Dalším problémem je dostatečná rychlost větru. Malé stroje začínají pracovat již při rychlostech okolo 4 m/s (14,4 km/h), ale jejich výkon je velmi malý. Energie větru totiž roste se třetí mocninou rychlosti, takže např. vítr o rychlosti 5 m/s má dvakrát více energie než při rychlosti 4 m/s. Problémem je ale i příliš vysoká rychlost větru - při rychlosti kolem 20 m/s je obvykle nutno elektrárnu zastavit (zabrzdit vrtuli), aby nedošlo k havárii. Plného (jmenovitého) výkonu dosahuje elektrárna při rychlostech větru kolem 10, někdy až 15 m/s - podle typu a výrobce. Takto silný vítr fouká jen zřídka, elektrárna tedy většinu provozní doby poběží na nižší výkon.

## Větrné elektrárny a životní prostředí

I když jsou větrné elektrárny často symbolem ekologické výroby elektřiny, jsou jim vytýkána i některá negativa. Obvykle neprávem - současné elektrárny jsou mnohem modernější, než byly před deseti lety.

**Hlučnost** současných strojů je poměrně nízká. Elektrárny jsou navíc stavěny v dostatečné vzdálenosti od obydlení. Hluková studie bývá součástí dokumentace nutné ke stavebnímu povolení. U existujících instalací lze provést měření a na jeho základě případně omezit jejich provoz. Nevhodně umístěná elektrárna přesto může působit nepříjemnosti. Malé větrné elektrárny jsou rychloběžné, a proto jsou poměrně hlučné. Jejich umístění přímo v zástavbě může narušit dobré sousedské vztahy.

**Stroboskopický efekt** (vrhání pohyblivých stínů, je-li Slunce nízko nad obzorem) není v praxi závažný, zejména právě kvůli vzdálenosti instalací od lidských obydlení. Podobně i **odraz slunce** na lopatkách je díky matným nátěrům již minulostí.

**Rušení zvěře** podle praktických zkušeností nenastává. Dokladem jsou ovce a krávy, ale i divoká zvěř pasoucí se v těsné blízkosti elektráren. Podle některých studií se v okolí elektráren zvýšil i počet hnízdicích ptáků. Vysvětluje se to jednak tím, že elektrárny jsou dobrým orientačním bodem v krajině, a jednak tím, že rotory mohou rušit dravé ptáky. Podobně se nepotvrdilo ani to, že by rotující listy zabíjely proletující ptáky. Ke kolizím dochází poměrně vzácně, zejména v noci a za mlhy. Výjimkou byly případy, kdy elektrárna stála v místě migračního tahu ptáků. Těmto oblastem se však dá vyhnout.

**Rušení televizního signálu** může nastat. Závisí na pozici televizního vysílače, elektrárny a domů, které mají anténu. Týká se opět jen blízkého okolí elektrárny. V ČR je většina lokalit dále od osídlení.

**Narušení krajinného rázu** je nejspíše nejproblematictější. Někomu se elektrárny líbí, někomu ne. V české krajině lze jen s obtížemi najít panorama nerušené stožáry elektrického vedení či vysílači. Větrné elektrárny představují další, zatím nezvyklý prvek. Paradoxně se zde někdy dostává do konfliktu požadavek státní ochrany přírody na "nenápadnost" elektrárny s požadavkem bezpečnosti leteckého provozu na její dobrou viditelnost (zábleskové zařízení). Trend stavět stále větší stroje vede k tomu, že elektráren může být méně, ale současně budou více vidět. Elektrárny ale mohou také pomoci snížit počet stožárů v krajině. Na stožár elektrárny lze umístit několik různých telekomunikačních zařízení, které bohužel často mají každý svůj vlastní stožár. Díky umístění ve větší výšce mohou pak vysílače pokrýt větší území. Vzhledem k ekonomické životnosti elektrárny 20 let může jít jen o dočasnou stavbu, která snadno zmizí.

## Energie vody

Potenciál vodní energie je u nás využíván po staletí. Před I. světovou válkou zde bylo několik tisíc malých vodních elektráren, vesměs na místě původních vodních mlýnů, pil a hamrů. Vodní energie se dá velmi dobře a účinně přeměnit na žádanou elektřinu.

Z celkové produkce elektřiny v ČR se ve vodních elektrárnách vyrobí asi 3,3 %. Vodní elektrárny (včetně přečerpávacích) představují asi 12 % instalovaného výkonu elektráren v ČR. Většina tohoto výkonu (cca 90 %) připadá na zařízení s výkonem vyšším než 5 MW. V ČR se za **malou vodní elektrárnu** (MVE) považují zařízení s výkonem pod 10 MW, v EU pod 5 MW.

MVE jsou rozptýleny po celé republice, tím se snižují ztráty v rozvodech - elektřinu není třeba daleko přenášet. Případný výpadek některé z nich je z hlediska sítě, na rozdíl od výpadku velkého centrálního zdroje, nevýznamný.

## Možnosti využití a přírodní podmínky

Energii z vody je možno získat využitím jejího proudění (energie pohybová, kinetická) a jejího tlaku (energie potenciální, tlaková), nebo také obou těchto energií současně. Podle způsobu využití potom rozlišujeme i používané typy vodních strojů.

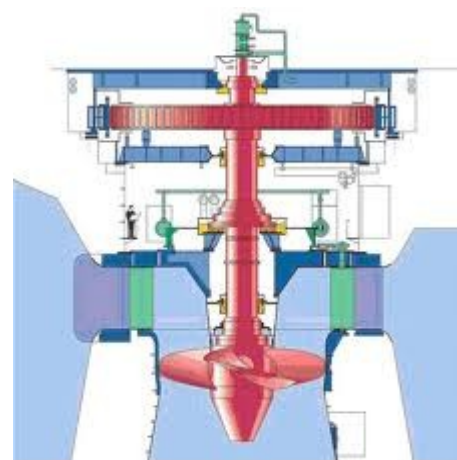


*Kolo Peltonovy turbíny pro MVE.*

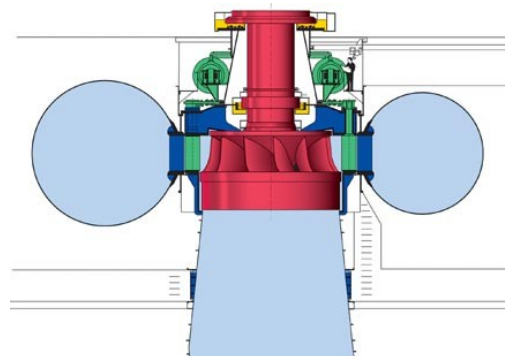
**Kinetická energie** je ve vodních tocích dána rychlostí proudění; rychlost je závislá na spádu toku. Dříve se využívala vodními koly, dnes turbínami typu **Bánki** a **Pelton**.

**Energie potenciální** vzniká v důsledku gravitace, závisí na výškovém rozdílu hladin. Využívá se pomocí turbín typu **Kaplan**, **Francis**, **Reiffenstein** a rovněž různých typů turbín vrtulových a vhodných čerpadel v turbínovém provozu.

**Kaplanova turbína** je klasická přetlaková turbína. V základním provedení je výborně regulovatelná, ale výrobně náročná. Dnes ji vyrábí řada firem v České republice s různými úpravami regulace i dispozičním uspořádáním (kolenové či přímoproudé turbíny). Je použitelná pro spády od 1 do 20 m, průtoky 0,15 až několik m<sup>3</sup>/s, někdy až několik desítek m<sup>3</sup>/s. Vhodná je zejména pro jezové a říční elektrárny.



**Francisova turbína** je v minulosti nejpoužívanější přetlaková turbína pro téměř celou oblast průtoků a spádů. Na rekonstruovaných MVE je možné ji vidět již od spádu 0,8 m. Její oprava se vyplácí zejména od spádu 3 m. Instalace nových turbín v MVE se dnes omezuje na spády od 10 m a pro větší průtoky (vyšší výkony).





**Bánkiho turbína** je rovnotlaká turbína s dvojnásobným průtokem oběžného kola. Výrobně je nenáročná. Turbíny jsou podle velikosti použitelné pro spády 5 až 60 m a průtoky 0,01 až 0,9 m<sup>3</sup>/s.



**Peltonova turbína** je rovnotlaká turbína vhodná pro spády nad 30 m. Využitelné průtoky jsou od 0,01 m<sup>3</sup>/s (10 l/s). Levnější náhradou mohou být v některých případech sériově vyráběná odstředivá čerpadla v reverzním chodu použitá za cenu nižší účinnosti.



**Turbína SETUR** pracuje na principu rotoru, který se odvaluje po vnitřním povrchu statoru. Lze ji využít pro spády od 3,5 do 20 m a průtoky od 0,004 m<sup>3</sup>/s (4 l/s) do 0,02 m<sup>3</sup>/s.

**Výstavba velkých vodních elektráren** přináší výrazný zásah do životního prostředí (přehradní hráze, zatopené oblasti, změna vodního režimu). Potenciál pro jejich stavbu už je u nás v zásadě vyčerpán. Naproti tomu MVE lze stále stavět, zejména v místech bývalých mlýnů, hamrů a pil. Zbytky bývalého vodního díla (odtokový kanál, jez apod.) mohou výrazně snížit náklady na výstavbu. Díky technologii tzv. mikroturbín lze využít i toky s velmi malým energetickým potenciálem, nebo i vodovodní zařízení. Další cestou je instalace moderních a účinnějších turbín a soustrojí ve stávajících MVE. Leckdy zde totiž fungují stroje staré kolem 100 let. To sice svědčí o fortelnosti práce našich předků, moderní technologie by ovšem umožnily využít vodní potenciál efektivněji (produkce může být až o několik desítek procent vyšší).

Rozhodujícími ukazateli k ohodnocení konkrétní lokality jsou dva základní parametry - využitelný spád a průtočné množství vody v daném profilu, který chceme využít.

Při respektování všech uvedených aspektů MVE nemůže svým provozem vážně narušit životní prostředí v lokalitě. Přispívá naopak k revitalizaci místního říčního systému a kladně ovlivňuje režim vodního toku (čistí a provzdušňuje tok). Případné nedodržování odběru, které se projevuje tím, že přes jez neprotéká dostatečné (tzv. sanační) množství vody, by mělo být přísně postihováno.

## Energie biomasy

Biomasa vzniká díky dopadající sluneční energii. Jde o **hmotu organického původu**. Pro energetické účely se využívá buď cíleně pěstovaných rostlin nebo odpadů ze zemědělské, potravinářské nebo lesní produkce. Zásadní výhodou je, že biomasa slouží jako akumulátor energie a lze ji poměrně jednoduše a dlouhodobě skladovat. Nevýhodou je nízká účinnost přeměny slunečního záření na energii. Z hektaru pole získáme hmotu s energetickým obsahem 40 až 90 MWh, podle typu plodiny. To je méně než 1 % slunečního záření, které na tuto plochu za rok dopadne. Při zpracování biomasy a konečném spalování získaného paliva vznikají další ztráty.

Biomasu můžeme rozlišit podle obsahu vody:

**Suchá** - zejména dřevo a dřevní odpady, sláma a další suché zbytky z pěstování zemědělských plodin. Lze ji spalovat přímo, případně po dosušení.

**Mokrá** - zejména tekuté odpady, jako kejda a další odpady ze živočišné výroby a tekuté komunální odpady. Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.

**Speciální biomasa** - olejniny, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek - zejména bionafty nebo lihu.

## Přírodní podmínky

V přírodních podmínkách ČR lze využívat biomasu těchto kategorií:

### 1. Biomasa odpadní:

- **rostlinné odpady** ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny - řepková a kukuřičná sláma, obilná sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady ze sadů a vinic, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch,
- **lesní odpady** (dendromasa) - po těžbě dříví zůstává v lese určitá část stromové hmoty nevyužita (pařezy, kořeny, kůra, vršky stromů, větve, šišky a dendromasa z prvních probírek a prořezávek),
- **organické odpady z průmyslových výrob** - spalitelné odpady z dřevařských provozoven (odřezky, piliny, hobliny, kůra), odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce (cukrovary), odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren,
- **odpady ze živočišné výroby** - hnůj, kejda, zbytky krmiv, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit,
- **komunální organické odpady** - kaly, organický tuhý komunální odpad (TKO).

### 2. Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům, energetické plodiny:

|                 |  |
|-----------------|--|
| lignocelulózové | dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty)  |
|                 | obiloviny (celé rostliny)  |
|                 | travní porosty (sloní tráva, chrastice, trvalé travní porosty)                 |
|                 | ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka) |
| olejnaté        | řepka olejka, slunečnice, len, dýně (semeno)                                   |



|                   |  |
|-------------------|--|
| škrobno-cukernaté | brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice |
|-------------------|--|

### Možnosti využití a přehled technologií

Z energetického hlediska lze energii z biomasy získávat téměř výhradně termo-chemickou přeměnou, tedy spalováním. Výhřevnost je dána množstvím tzv. hořlaviny (organická část bez vody a popelovin, směs hořlavých uhlovodíků - celulózy, hemicelulózy a ligninu). Biomasa je podle druhu spalována přímo, nebo jsou spalovány kapalné či plynné produkty jejího zpracování. Od toho se odvíjejí základní technologie zpracování a přípravy ke spalování:

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| termo-chemická přeměna      | pyrolýza (produkce plynu, oleje)                                     |
|                             | zplyňování (produkce plynu)  |
| bio-chemická bio-chemická   | fermentace, alkoholové kvašení (produkce etanolu)                    |
|                             | anaerobní vyhnívání, metanové kvašení (produkce bioplynu)            |
| mechanicko-chemická přeměna | lisování olejů (produkce kapalných paliv, oleje)                     |
|                             | esterifikace surových bio-olejů (výroba bionafty a přírodních maziv) |
|                             | štípání, drcení, lisování, peletace, mletí (výroba pevných paliv)    |

### Přímé spalování a zplyňování

**Spalování** - suchá biomasa je velmi složité palivo, protože podíl částí zplyňovaných při spalování je velmi vysoký. Vzniklé plyny mají různé spalovací teploty. Proto se také stává, že ve skutečnosti hoří jenom část paliva, zejména při pálení dřeva v kotlích na uhlí.

**Dřevoplyn** - ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky, tzv. **dřevoplyn**. Jestliže je přítomen vzduch, dojde k hoření, tj. jde o **prosté spalování**. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, odvádí se vzniklý dřevoplyn do spalovacího prostoru, kde se spaluje obdobně jako jiná plynná paliva. Část vzniklého tepla je použita na zplyňování další biomasy. Výhodou je snadná regulace výkonu, nižší emise a vyšší účinnost.

### Vliv vlhkosti na výhřevnost biomasy

**Výhřevnost dřeva** je srovnatelná s **hnědým uhlím**. U rostlinných paliv však kolísá podle druhu a vlhkosti, na kterou jsou tato paliva citlivá. Čerstvě vytěžené dřevo má relativní vlhkost až 60 %, na vzduchu dobře proschlé dřevo má relativní vlhkost cca 20 %; pod střechou sníží svůj obsah vody na 20 % za půl až jeden rok. Dřevěné brikety mohou mít relativní vlhkost od 3 do 10 %, podle kvality lisování.

Pro spalování štěpek je optimální vlhkost 30-35 %. Při vlhkosti nižší má hoření explozivní charakter a mnoho energie uniká s kouřovými plyny. Při vyšší vlhkosti se mnoho energie spotřebuje na její vypaření a spalování je nedokonalé. Pro spalování dřeva lze doporučit vlhkost cca 20 %

### **Bio-chemická přeměna**

**Bioetanol** - Fermentací roztoků cukrů je možné vyprodukovat etanol (etylalkohol). Vhodnými materiály jsou cukrová řepa, obilí, kukuřice, ovoce nebo brambory. Cukry mohou být vyrobeny i ze zeleniny nebo celulózy. Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého etanolu. V praxi je však energetická výtěžnost 90 až 95 %. Fermentace cukrů může probíhat pouze v mokřím (na vodu bohatém) prostředí. Vzniklý alkohol je nakonec oddělen destilací a je vysoce hodnotným kapalným palivem pro spalovací motory. Jeho přednostmi jsou ekologická čistota a antidetonační vlastnosti. Nedostatkem etanolu jako paliva je schopnost vázat vodu a působit korozi motoru, což lze odstranit přidáním antikoročních přípravků.

V posledních letech probíhají výzkumy výroby etanolu z celulózy pomocí speciálně vyšlechtěných mikroorganismů (tzv. biopaliva druhé generace). Etanol lze pak získat i ze dřeva, slámy nebo sena. Výroba je však energeticky náročná.

Od 1. ledna 2008 se v ČR do automobilového benzínu povinně přimíchává 2 % bioetanolu. Podíl se bude postupně zvyšovat - v roce 2009 bude 3,5 %. Tím se sníží závislost na fosilních palivech.

**Skládkové plyny** - na skládkách TKO dochází ke složitým bio-chemickým pochodům, důsledkem je tvorba skládkového plynu. Složení plynu se mění v průběhu let. Průměrné množství TKO na jednoho obyvatele na rok je asi 310 kg. Z toho je přibližně 35 % organického původu, z něhož lze získat produkci plynu zhruba  $0,3 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

**Bioplyn** - při rozkladu organických látek (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) v uzavřených nádržích, bez přístupu kyslíku vzniká bioplyn. Tento proces, kdy se organická hmota štěpí na anorganické látky a plyn, vzniká díky anaerobním bakteriím. Rozkládání víceméně odpovídá procesům probíhajícím v přírodě, s tím rozdílem, že v přírodě probíhají i za přítomnosti kyslíku (aerobní procesy). Proto jsou meziprodukty těchto procesů odlišné a také chemické složení konečných produktů se liší. Zbytky vyhnívacího procesu jsou vysoce hodnotným hnojivem nebo kompostem.

Bioplyn obsahuje cca 55-70 % objemových procent metanu, výhřevnost se proto pohybuje od  $19,6$  do  $25,1 \text{ MJ/m}^3$ . V zemědělství se v největší míře využívá kejda (tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou), případně slamnatý hnůj, v menší míře sláma, zbytky travin, stonky kukuřice, bramborová nať (obtížnější zpracování). Bioplynový potenciál v hnoji závisí na obsahu sušiny a na složení a strávení potravy.

V bioplynové stanici se biomasa zahřívá na provozní teplotu ve vzduchotěsném reaktoru, kde zůstává pevně stanovenou dobu zdržení (většinou experimentálně ověřenou). Optimální teplotní pásma jsou vázána na různé kmeny bakterií:

| BAKTERIE              | TEPLOTA FERMENTOVANÉHO MATERIÁLU [°C] |
|-----------------------|---------------------------------------|
| bakterie psychrofilní | 15-20                                 |
| bakterie mezofilní    | 37-43                                 |
| bakterie termofilní   | 55                                    |

*Optimální teplotní pásma anaerobních bakterií. Zdroj: EkoWATT*

## Mechanicko-chemická přeměna

**Bionafta** - z řepkového semene se lisuje olej, který se působením katalyzátoru a vysoké teploty mění na metylester řepkového oleje. Nazývá se bionafta první generace. Protože výroba metylesteru je dražší než běžná motorová nafta, mísí se s některými lehkými ropnými produkty, nebo s lineárními alfa-olefíny, aby jeho cena mohla konkurovat běžné motorové naftě. Tyto produkty se nazývají bionafty druhé generace a musí obsahovat alespoň 30 % metylesteru řepkového oleje. Zachovávají si svou biologickou odbouratelnost a svými vlastnostmi, jako je např. výhřevnost, se více přibližují běžné motorové naftě. Jejich výroba se řídí ČSN 656507, která pojednává o výrobě biopaliv. Motory musí být pro spalování bionafty přizpůsobeny (např. pryžové prvky).

## Pěstování biomasy pro energetické účely

Vhodný druh energetické plodiny je určován mnoha faktory: druhem půd, způsobem využití a účelem, možností sklizně a dopravy, druhovou skladbou v okolí atp. Předem se musí porovnat náklady na pěstování a na výrobu (spotřebu energie) a výnosy (zisk) energie.

Z bylin jsou zajímavé rostliny produkující cukr, škrob nebo olej. Například brambory, cukrová řepa, slunečnice a zejména řepka (řepkový olej se zpracovává na naftu a mazadla, řepková sláma se využije ke spálení). Řepková sláma má výhřevnost 15-17,5 GJ/t, obilná sláma o něco nižší - 14,0-14,4 GJ/t.

Z víceletých rostlin je známá křídlatka sachalinská (*Reynoutria sachalinensis* Nakai), která dosahuje vysokých výnosů 30-40 t sušiny z ha. Velmi diskutovanou energetickou rostlinou je sloní tráva (*Miscanthus sinensis*). Výhodné je pěstování konopí setého (*Cannabis sativa* L.), neboť nevyžaduje žádné ošetření v průběhu vegetace. V Evropě dosahuje výšky až 4 m a výnosu 6-15 t suché hmoty z hektaru. Konopí je jednoletá rostlina, ale na stanovišti vydrží, pokud se vysemení, mnoho let (odtud např. Konopiště).

Nejvhodnější rychle rostoucí dřeviny (RRD) jsou platany, topoly (černý, balzamový), pajasany (žláznatý), akáty, olše a zejména vrby, které jsou vhodné hlavně pro hydromorfní půdy podél vodotečí, kde lze uplatnit i domácí topol černý. Obmýtní doba je 2 až 8 vegetačních období, životnost plantáže je 15-20 let. Speciální vyšlechtěné klony mají výtěžnost až 15-18 t sušiny na hektar, v našich podmínkách se dosahuje roční výtěžnosti 10 t/ha. Je však třeba respektovat zákon 114/92 Sb. o ochraně přírody a krajiny (cizí rostliny a dřeviny).

## Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla

Prostředí, které nás obklopuje (vzduch, voda, půda) má obvykle příliš nízkou teplotu a jeho teplo nelze pro vytápění využít přímo. Výjimkou jsou geotermální prameny, hojně využívané například na Islandu. Nízkoteplotní teplo okolního prostředí můžeme využívat pomocí tepelného čerpadla (TČ), které toto teplo (např. kolem 2 °C) převede na vyšší teplotní hladinu (kolem 50 °C). Princip je stejný jako u chladničky, která odebírá teplo potravinám a předává jej zadní stranou chladničky do místnosti. Podobně i TČ využívá tepla získaného od okolního prostředí k odpaření chladicí kapaliny. Tato pára je poté kompresorem stlačena a díky dodané práci dochází k uvolnění tepla o vyšší teplotě, které je předáno topnému médiu. Celý cyklus se poté opakuje.

### Topný faktor

Velmi důležitým parametrem TČ je topný faktor. Vyjadřuje poměr dodaného tepla k množství spotřebované energie.

$$\varepsilon = Q / E$$

Q = teplo dodané do vytápění [kWh]

E = energie pro pohon TČ [kWh]

Topný faktor různých TČ je v rozmezí od 2 do 5. Závisí na vstupní a výstupní teplotě, typu kompresoru a dalších faktorech. Dodavatelé obvykle udávají topný faktor při různých teplotách vstupního a výstupního média.

Pozor: při výpočtu topného faktoru se někdy nezapočítává spotřeba oběhových čerpadel (resp. ventilátorů), která jsou nutná pro provoz TČ. Skutečný topný faktor se pak může od údajů z prospektu výrazně lišit.

### Toky energií

Topný faktor pro kompresorové TČ lze stanovit také z rozdílu mezi teplotou kondenzační a vypařovací. Přibližný vztah pro výpočet topného faktoru kompresorového TČ:

$$\varepsilon = k \times \frac{T_k}{T_k - T_o}$$

kde:

$T_k$  je teplota kondenzační (topného systému) [K]

$T_o$  je teplota vypařovací (teplota zdroje) [K]

$k$  je korekční součinitel respektující skutečný oběh;  $k = (0,4$   
až  $0,6)$

Pro dosažení minimální spotřeby pohonné energie a dosažení vysoké hodnoty topného faktoru je zapotřebí:

**Teplota zdroje** nízkopotenciálního tepla má být co nejvyšší, nesmí však přesáhnout maximální teplotu povolenou výrobcem pro daný typ tepelného čerpadla. Jeho vydatnost musí být dostatečná a ochlazení teplotonosné látky ve výparníku přiměřené, aby teplota vypařovací nemusela být zbytečně nízká. Vedle snížení topného faktoru pak může dojít k omezení funkčnosti TČ, např. zamrznutím zdrojové vody.

**Rozdíl teplot** na vstupu a výstupu má být co nejnižší, maximální pracovní teplota TČ na výstupu je přitom cca 55 °C. Používání tepelného čerpadla je tedy výhodné v kombinaci s nízkoteplotním vytápěcím systémem (podlahové vytápění). Čím menší rozdíl hladin teplot

musí tepelné čerpadlo překonávat, tím méně energie spotřebuje a tím vyšší má topný faktor.

Topný faktor během roku kolísá v závislosti na vstupní a výstupní teplotě tepelného čerpadla. Průměrný roční topný faktor je poměr celoroční spotřeby energie a celoroční výroby tepla a používá se pro vyhodnocení provozu. Běžně tepelná čerpadla dodají za ideálních podmínek třikrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektřiny na svůj provoz.

## **Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo**

**Okolní vzduch** - je k dispozici všude. Tento typ TČ má tedy široké využití, navíc je investičně méně náročný. Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy. Protože ve vzduchu je tepla poměrně málo, musí výměníkem procházet velké objemy vzduchu. Je tedy nutný výkonný ventilátor. Ten je zdrojem určitého hluku, proto je potřeba pečlivě volit umístění výměníku, aby hluk neobtěžoval obyvatele domu ani sousedy. Venkovní část by neměla být ani v místech, kde se mohou tvořit "kapsy" studeného vzduchu. Vzduchová TČ jsou schopná pracovat i když je venku cca 12 °C, při nižší teplotě je nutné zapnout další, tzv. bivalentní zdroj. Při nízkých teplotách se na venkovním výměníku tvoří námraza. Energie spotřebovaná na její odtávání může výrazně zhoršit celkový topný faktor a tím zvýšit provozní náklady.

**Odpadní vzduch** - teplo je odebíráno vzduchu odváděnému větracím systémem objektu. Tento vzduch má relativně vysokou teplotu (18 až 24 °C). Tepelné čerpadlo může pracovat efektivně i za podmínek, kdy běžně užívané systémy zpětného získávání tepla (rekuperace) nelze použít. Teplo může být použito pro topnou vodu ústředního topení nebo pro ohřev vzduchu, je-li vytápění objektu teplovzdušné. Nevýhodou je, že větracího vzduchu je k dispozici jen omezené množství, takže TČ kryje jen část tepelné ztráty - přibližně tu, která je potřeba na ohřev větracího vzduchu. Vždy je tedy potřeba ještě další zdroj pro krytí tepelné ztráty konstrukcemi, případně i pro ohřev vody. Na trhu jsou také tepelná čerpadla s integrovanými ventilátory, která lze použít jako centrální větrací jednotku domu.

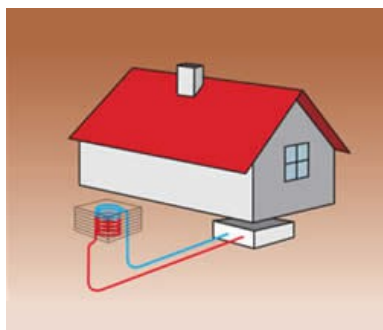
**Povrchová voda** - využívá se vody v toku nebo v rybníku, která je ochlazována tepelným výměníkem, umístěným přímo ve vodě nebo zapuštěným do břehu - vždy tak, aby nehrozilo zamrznutí. Podmínkou je vhodné umístění objektu, nejlépe přímo na břehu. Teoreticky je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět. S tím je ale spojeno mnoho technických i administrativních překážek, které omezují použití v praxi téměř na nulu.

**Podpovrchová voda** - tato voda se odebírá ze sací studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně 15-25 l/min. pro TČ s výkonem 10 kW). Vhodných lokalit je proto k dispozici relativně málo.

**Z půdy** - jde o velmi rozšířený způsob. Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu (půdní kolektor). Půdní kolektor se umísťuje poblíž objektu v nezamrzné hloubce. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně 0,6 m od sebe. Velikost takovéto plochy je asi trojnásobkem plochy vytápěné. Je také možné ukládat potrubí ve

tvaru uzavřených smyček do výkopů kolektoru, rýhy o hloubce cca 2 m a šířce cca 0,9 m. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba 5 až 8 metrů délky výkopu. Je třeba počítat s tím, že půdní kolektor okolní zeminu ochladí, takže se zde např. bude v zimě déle držet sníh. Pokud má být teplo odebíráno celoročně (v létě pro ohřev bazénu), je potřeba půdní kolektor o větší ploše. Je-li TČ využíváno pro letní chlazení, lze půdní kolektor "dobíjet" odpadním teplem.

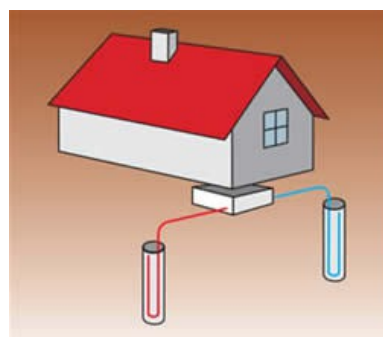
**Z hlubinných vrtů** - využívá se teplo hornin v podloží. Jde rovněž o velmi rozšířený způsob. Vrtů hluboké až 150 m se umísťují v blízkosti stavby, nejméně 10 m od sebe. Vrtů je možno umístit i pod stavbou, zvláště jde-li o novostavbu. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 až 18 m hloubky vrtu, podle geologických podmínek. Vrtů nelze provádět kdekoli - vhodné je zajistit si hydrologický průzkum, aby nedošlo k narušení hydrologických poměrů. Výhodou je celoročně stálá teplota zdroje (cca 8 °C), takže TČ pracuje efektivně.



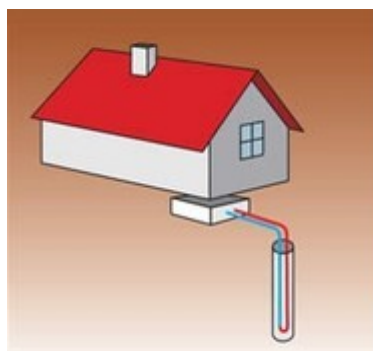
*Tepelné čerpadlo vzduch/voda - vzduch se ochlazuje ve výměníku umístěném vně budovy. © EkoWATT*



*Tepelné čerpadlo vzduch/voda - ochlazuje se vzduch odváděný větracím systémem. © EkoWATT*



*Tepelné čerpadlo voda/voda - ochlazuje se voda čerpaná ze sací studny, která se poté vypouští do vsakovací studny. © EkoWATT*



*Tepelné čerpadlo nemrznoucí kapalina/voda - výměník naplněný nemrznoucí směsí ochlazuje půdu ve vrtu nebo ve výkopu, případně vodu ve vodním toku nebo v rybníku. © EkoWATT*

## Přehled systémů

V současnosti se pro vytápění rodinných domků používají téměř výhradně TČ s kompresorem, který je poháněn elektromotorem. Kompresor lze pohánět i jakýmkoli jiným motorem (např. motorem na zemní plyn). Pro relativně malé výkony, potřebné v rodinných domcích, jsou elektrická TČ nejvýhodnější. Elektromotor je levný a palivo - elektřina ve zvláštním tarifu - rovněž.

Podle druhu ochlazovaného a ohřivaného média se rozlišují tyto typy tepelných čerpadel:

| TYP ČERPADLA             | MOŽNOSTI POUŽITÍ   |
|--------------------------|--|
| vzduch/voda              | univerzální typ, pro ústřední vytápění   |
| vzduch/vzduch            | doplňkový zdroj tepla, teplovzdušné vytápění, klimatizace                                  |
| voda/voda                | využití odpadního tepla, geotermální energie, ústřední vytápění                            |
| nemrznoucí kapalina/voda | univerzální typ pro ústřední vytápění, zdrojem tepla je nejčastěji vrt nebo půdní kolektor |
| voda/vzduch              | teplovzdušné vytápěcí systémy  |

*Nejčastější typy tepelných čerpadel. Zdroj: EkoWATT*

## Funkce kompresorového tepelného čerpadla

Činnost tepelného čerpadla je založena na pochodech spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky (**chladio**). Ve výparníku odnímá chladio za nízkého tlaku a teploty teplo ochlazované látky (zdroji nízkopotenciálního tepla). Dochází k varu a kapalné chladio přiváděné do výparníku se postupně mění v páru. Páry chladiva jsou z výparníku odsávány a stlačeny kompresorem na kondenzační tlak. V kondenzátoru předávají kondenzační teplo ohřivané látce a mění své skupenství na kapalné. Kapalné chladio je po snížení tlaku přiváděno zpět do výparníku, kde doplňuje vypařené chladio. Tím je oběh uzavřen.

## Bivalentní provoz tepelného čerpadla

Spotřeba tepla na vytápění se během roku mění. Pokrytí celé spotřeby TČ je obvykle neekonomické (větší TČ a delší vrty výrazně zvyšují pořizovací náklady), proto se systém doplňuje dalším **špičkovým zdrojem** tepla, obvykle elektrokotlem. Tento zdroj slouží i jako záloha pro případ výpadku TČ. Jako jiný bivalentní zdroj lze použít i krb nebo jiné interiérové topidlo, které nemusí být napojeno na systém ústředního vytápění.

Systém pak pracuje v tzv. **bivalentním provozu**, kdy po určitou dobu (např. v mrazových dnech) běží kromě TČ druhý zdroj tepla (elektrokotel). Instalovaný tepelný výkon tepelného čerpadla je v tomto provozu nižší než je maximální potřebný (obvykle 50 - 75 %). U správně navrženého systému špičkový zdroj dodává pouze 10 -15 % celkové spotřeby tepla.

U tepelných čerpadel ochlazujících venkovní vzduch je bivalentní zdroj nezbytný, aby bylo možno vytápět i v době, kdy je venkovní teplota nižší než -12 °C.

## 25. OBALY - ODPADY

Dle zákona 477/2001 Sb respektive nařízení 97/129/ES se na obalech musí vyskytnout dva údaje nebo grafické značky a to známý panáček vyhazující obal do koše a trojúhelník s označením obalu. Takto to bylo až do února, kdy vstoupila v platnost novela 66/2006 sb. zákona 477/2001 sb. Nyní je označení panáčkem dobrovolné. Dále ovšem platí povinnosti značení dle zákona o odpadech a chemických látkách



Obrázek panáčka u koše značí nejčastější způsob naložení s obalem (vyhození do koše). Může být nahrazen například větou: ODLOŽTE NA MÍSTO URČENÉ OBCÍ K UKLÁDÁNÍ ODPADU! Na trhu se vyskytují obaly, které jsou vyrobeny z materiálu, který vyžaduje po použití speciální nakládání. Jedná se o nebezpečné odpady, ale i o další. Takovéto odpady musí být patřičně označeny. Například takto:

- OBAL ODEVZDEJTE VE SBĚRNĚ NEBEZPEČNÉHO ODPADU !
- NEVHAZOVAJTE DO OHNĚ - NEBEZPEČÍ VÝBUCHU!
- NESPALOVAT V LOKÁLNÍM TOPENÍ!
- ODEVZDEJTE ... (např. V LÉKÁRNĚ!)
- VRATNÝ OBAL!

Druhá značka - trojúhelník tvořený třemi šipkami, který je uvnitř doplněn číselným kódem, se týká recyklace. Pod tímto trojúhelníkem je uveden písmenný kód materiálu. Většinou se jedná o zkratky anglických názvů materiálů.

### Kódy materiálů

| Plasty                                |                 |             |                                       |
|---------------------------------------|-----------------|-------------|---------------------------------------|
| Materiál                              | Písmenný kód    | Číselný kód | Kam s ním                             |
| Polyethylentereftalát                 | PET             | 1           | kontejner na plasty nebo přímo na PET |
| Vysokohustotní (lineární) polyetylen  | HDPE nebo PE-HD | 2           | kontejner na plasty                   |
| Polyvinylchlorid                      | PVC             | 3           | sběrný dvůr                           |
| Nízkohustotní (rozvětvený) polyetylen | LDPE nebo PE-LD | 4           | kontejner na plasty                   |
| Polypropylén                          | PP              | 5           | kontejner na plasty                   |
| Polystyren                            | PS              | 6           | kontejner na plasty                   |
| Papír                                 |                 |             |                                       |



| <b>Materiál</b> | <b>Písmenný kód</b> | <b>Číselný kód</b> | <b>Kam s ním</b>                  |
|-----------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Vnitřní lepenka | PAP                 | 20                 | kontejner na papír                |
| Hladká lepenka  | PAP                 | 21                 | kontejner na papír                |
| Papír           | PAP                 | 22 - 39            | kontejner na papír                |
| <b>Kovy</b>     |                     |                    |                                   |
| <b>Materiál</b> | <b>Písmenný kód</b> | <b>Číselný kód</b> | <b>Kam s ním</b>                  |
| Ocel            | Fe                  | 40                 | kontejner na kovy,<br>sběrný dvůr |
| Hliník          | ALU                 | 41                 | kontejner na kovy,<br>sběrný dvůr |
| <b>Dřevo</b>    |                     |                    |                                   |
| <b>Materiál</b> | <b>Písmenný kód</b> | <b>Číselný kód</b> | <b>Kam s ním</b>                  |
| Dřevo           | FOR                 | 50                 | sběrný dvůr                       |
| Korek           | FOR                 | 51                 | sběrný dvůr                       |
| <b>Textil</b>   |                     |                    |                                   |
| <b>Materiál</b> | <b>Písmenný kód</b> | <b>Číselný kód</b> | <b>Kam s ním</b>                  |
| Bavlna          | TEX                 | 60                 | sběrný dvůr                       |
| Juta            | TEX                 | 61                 | sběrný dvůr                       |
| <b>Sklo</b>     |                     |                    |                                   |
| <b>Materiál</b> | <b>Písmenný kód</b> | <b>Číselný kód</b> | <b>Kam s ním</b>                  |
| Bílé sklo       | GL                  | 70                 | kontejner na sklo                 |
| Zelené sklo     | GL                  | 71                 | kontejner na sklo                 |
| Hnědé sklo      | GL                  | 72                 | kontejner na sklo                 |



**Použitá literatura:**

<http://www.ekowatt.cz>

<http://www.hraozemi.cz>

<http://www.priroda.cz>

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Triak>

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Diak>

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Opera%C4%8Dn%C3%AD\\_zesilova%C4%8D](http://cs.wikipedia.org/wiki/Opera%C4%8Dn%C3%AD_zesilova%C4%8D)

Jan Hájek , Časovač 555 Praktická zapojení

Robert Láníček, Elektronika

