

# Školní stavebnice R&S® ESK 19 Uživatelská příručka





# Obsah

<b>1</b>	<b>Instalační a bezpečnostní instrukce.....</b>	<b>5</b>
1.1	Bezpečnost.....	5
1.2	Použití zařízení.....	5
1.3	Zacházení s bateriemi .....	5
1.4	Záruka a opravy .....	6
1.5	Likvidace zařízení .....	6
<b>2</b>	<b>Popis stavebnice ESK19, návod k užití.....</b>	<b>7</b>
2.1	Celkový popis stavebnice.....	7
2.2	Příprava stavebnice k provozu.....	8
<b>3</b>	<b>Měřicí úlohy pro předmět fyzika - elektřina a magnetismus .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>VA charakteristika žárovky a rezistoru.....</b>	<b>11</b>
3.1.1	Regulovaný zdroj napětí a voltmetr .....	11
3.1.2	Odpor a VA charakteristika rezistoru a žárovky .....	11
<b>3.2</b>	<b>Kirchhoffovy zákony - aplikace.....</b>	<b>12</b>
3.2.1	Vnitřní odpor neregulovaného zdroje 15V .....	12
3.2.2	Potenciometr, Wheatstoneův můstek a jeho vyvážení.....	13
<b>3.3</b>	<b>Funkce kondenzátoru.....</b>	<b>14</b>
3.3.1	Nabíjení kondenzátoru - měření pomocí stoppek.....	14
<b>3.4</b>	<b>Pokusy s relé.....</b>	<b>15</b>
3.4.1	Měření hystereze relé .....	15
<b>3.5</b>	<b>Charakteristiky polovodičových součástek.....</b>	<b>16</b>
3.5.1	VA charakteristika diody .....	16
3.5.2	Princip zesílení bipolárního tranzistoru.....	16
<b>4</b>	<b>Měřicí úlohy pro předmět základy elektroniky .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Operační zesilovače (OZ).....</b>	<b>18</b>
4.1.1	Invertující zesilovač.....	18
4.1.2	Neinvertující zesilovač .....	19
4.1.3	Komparátor s hysterezí.....	20
<b>4.2</b>	<b>Stabilizátory napětí .....</b>	<b>20</b>
4.2.1	Stabilizátor napětí se Zenerovou diodou .....	21
4.2.2	Stabilizátor napětí s obvodem LM317 .....	21
4.2.3	Zpětnovazební stabilizátor s tranzistorem .....	22
<b>4.3</b>	<b>Logické obvody.....</b>	<b>22</b>
4.3.1	Funkce INVERTOR.....	23

4.3.2	Funkce NAND .....	23
4.3.3	Funkce NOR .....	24
4.3.4	Funkce EXCLUSIVE-OR .....	25
4.3.5	Klopný obvod R-S .....	26
4.3.6	Monostabilní klopný obvod .....	27
4.3.7	BCD kód a sedmsegmentový displej .....	27
4.3.8	Čítač - základní funkce .....	29
<b>5</b>	<b>Zapojení pro zábavu i poučení .....</b>	<b>30</b>
5.1	Měření odporu lidského těla .....	30
5.2	Dotykové tlačítko .....	30
5.3	Indikace stavu baterie .....	31
5.4	Wagnerovo kladívko - model zvonku .....	31
5.5	Siréna .....	32
5.6	Přerušovaná siréna .....	33
5.7	Generátor náhodného čísla 0 až 5 .....	33
<b>6</b>	<b>ESK 19 ve spolupráci s osciloskopem RTC1002 .....</b>	<b>35</b>
6.1	Doporučená kombinace .....	35
6.2	Pokusy s testerem komponentů .....	36
6.3	Přenos obdélníkového impulzu RC články .....	37
6.4	Dělička deseti .....	38
6.5	RC oscilátory .....	39
6.5.1	Multivibrátor se dvěma tranzistory .....	40
6.5.2	Multivibrátor s operačním zesilovačem a proměnnou frekvencí .....	41
6.5.3	Wienův oscilátor .....	42
<b>7</b>	<b>Technická data stavebnice ESK 19 .....</b>	<b>45</b>
7.1	Napájení .....	45
7.2	Ochrana součástek před zničením .....	45
<b>8</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>46</b>
8.1	Seznam doporučené literatury .....	46

# 1 Instalační a bezpečnostní instrukce

## 1.1 Bezpečnost

Zařízení pracuje samo o sobě s napětím nejvýše 15 V<sub>ss</sub> a je zcela bezpečné. Není dovoleno připojovat k zařízení jakýkoliv zdroj vnějšího napětí vyjma výstupního napětí z nízkofrekvenčního generátoru a USB napáječe. Zařízení je dimenzováno tak, aby při dodržení této podmínky nemohlo dojít k destrukci osazených součástek a modulů, a to ani v případě chybného nebo nelogického zapojení. Poruchy vlivem náhody či stárnutí součástek nejsou vyloučeny. Zařízení je podle EN 610101-1 plně bezpečné.

Zařízení smí být napájeno pouze certifikovaným zdrojem USB 5V/1A nebo třemi bateriemi AA LR6 nebo z USB rozhraní osciloskopu RTC1002.

## 1.2 Použití zařízení

Zařízení je určeno k demonstraci a k praktickému osvojení učební látky v předmětu fyzika (nauka o elektřině a magnetismu) a předmětu elektronika. Spolu s osciloskopem RTC1002 umožňuje zařízení pokrýt široké spektrum pokusů v těchto předmětech. V neposlední řadě je možno zařízení využít pro sestavení zábavných zapojení v kroužku elektroniky nebo i doma. V tom případě je zařízení vhodné pro děti starší 12 let. Bez osciloskopu je možno realizovat více než polovinu popsanych pokusů. Zařízení lze samozřejmě použít i pro vlastní experimenty.

Při sestavování vlastních pokusů doporučujeme pro začátek držet pokusů se popsaných v tomto návodu.

## 1.3 Zacházení s bateriemi

Zařízení je z logistických důvodů dodáváno bez baterií.

**Uživatel je povinen při zacházení s bateriemi, nabíjecími články, lithiovými články (v dalším textu jenom baterie) respektovat následující instrukce. Jestliže tyto instrukce nebudou respektovány, produkt obsahující baterie může způsobit explozi, požár nebo vážné osobní zranění, v některých případech i smrt. S bateriemi se musí zacházet podle instrukce EN 62133.**

- Baterie nesmí být destruovány nebo jinak poškozovány.
- Baterie nesmí být vystaveny nadměrnému teplu, slunečnímu svitu nebo vhazovány do ohně.
- Baterie nesmí být zkratovány. V případě, že se tak nedopatřením při pokusu stane, musí být zkrat co nejrychleji odstraněn. Baterie nesmí být vyřaty z originálního obalu dříve, než jsme připraveni k jejich užití.
- Baterie musí být drženy mimo dosahu dětí. V případě, že jsou polknuty, je nutno ihned vyhledat lékařskou pomoc.
- Jestliže baterie vykazuje únik elektrolytu, musíme se vyhnout kontaktu elektrolytu s kůží či s očima. V případě, že se tak stane, musíme postižené místo vymýt vodou a vyhledat lékařskou pomoc.

- Nepoužitelné baterie musí být separovány od ostatního odpadu. Baterie obsahují olovo, kadmium, a musí s nimi být zacházeno jako s nebezpečným odpadem.

## 1.4 Záruka a opravy

Výrobce zařízení, místem pro technickou podporu a místo pro uplatnění reklamace je:

**Rohde&Schwarz, závod Vimperk, s.r.o.**  
Špidrova 49  
385 01 VIMPERK  
obchod@rohde-schwarz.com

Záruční doba je 36 měsíců a počíná se datem vystavení dodacího listu distributorem. Záruka se nevztahuje na mechanické poškození, poškození vlivem elektrolytu vyteklého z baterií, poškození vlivem nadměrného proudu v důsledku připojení vnějšího napětí, poškození vlivem neodborného pokusu a na opravu svépomocí.

V případě poruchy je možno zaslat zařízení na výše uvedenou adresu. V případě žádosti o záruční opravu doplňte zásilku o kopii nabývacího dokladu (faktury nebo dodacího listu).

**Na deskách není v rámci záruky dovoleno jakékoliv pájení svépomocí. Celou stavebnici je nutno zaslat k odborné opravě.**

**Ze záruky jsou vyloučeny závady, způsobené připojením vnějšího napětí.**

## 1.5 Likvidace zařízení

Podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 výrobce prohlašuje, že zařízení neobsahuje jiné látky než touto směrnicí povolené.

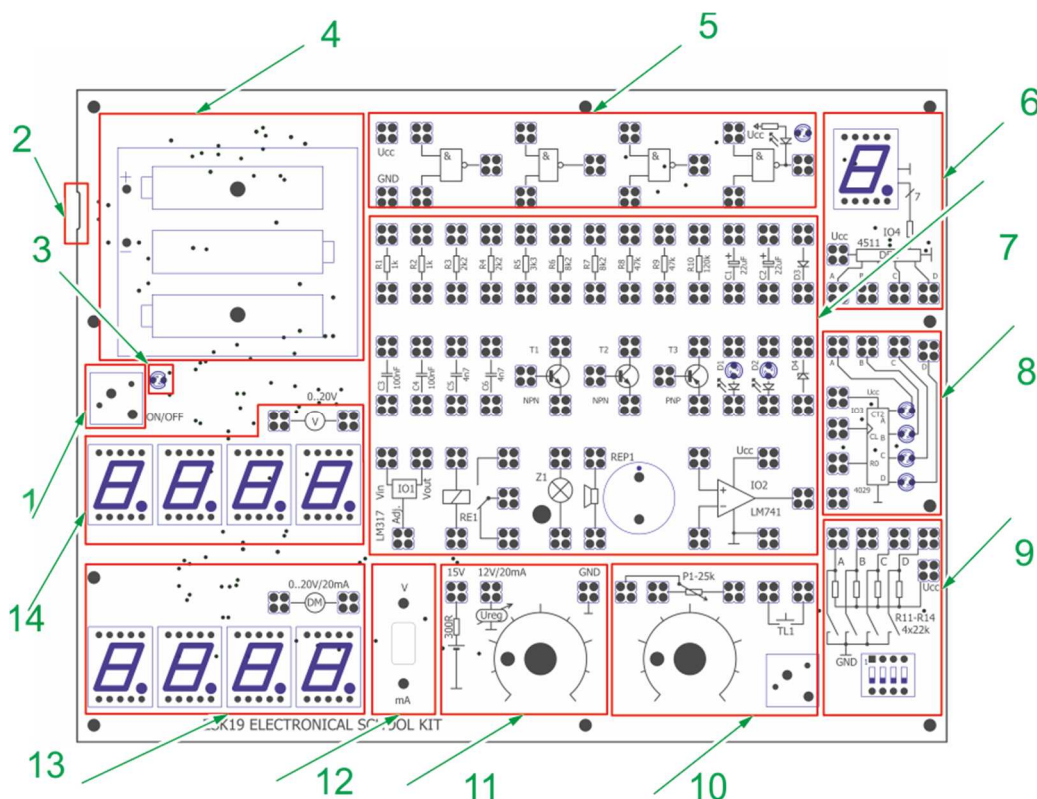
Baterie musí být před likvidací ze zařízení vyňaty a zlikvidovány zvlášť.

O konkrétních podmínkách likvidace se informujte u vašeho místního úřadu.

## 2 Popis stavebnice ESK19, návod k užití

### 2.1 Celkový popis stavebnice

Stavebnice je dodávána v plastovém kufříku včetně základního příslušenství, které je nutné pro samostatný provoz stavebnice. Pro pokusy s osciloskopem doporučujeme objednat doplňující sadu kabelů, která se dodává samostatně (viz kapitola 6).



Obr.2.1 - Pohled na otevřenou stavebnici s vyznačenými ovládacími prvky

- 1 - Tlačítko ON/OFF
- 2 - USB napájecí konektor
- 3 - Indikace vybití baterií
- 4 - Lůžko pro 3 x AA LR6
- 5 - 4 x NAND CMOS hradlo s indikací úrovně
- 6 - BCD Dekodér
- 7 - Oblast obecných součástek
- 8 - Čítač s indikací úrovně
- 9 - Generátor BCD kódu
- 10 - Potenciometr 25k $\Omega$  a tlačítko
- 11 - Regulovaný zdroj 0 ...10V a neregulovaný zdroj 15V
- 12 - Přepínač měření V/mA
- 13 - Digitální voltmetr / miliampérmetr
- 14 - Digitální voltmetr

Všechny zemní svorky zdrojů, číslicových obvodů a operačního zesilovače jsou spolu navzájem propojeny, a při pokusech je není nutno propojovat.

Napájecí svorky spolu propojeny nejsou, a při pokusech se musí propojit.

Souprava stavebnice obsahuje

- Vlastní desku stavebnice
- 20 propojovacích kabelů o délce 100 mm
- 20 propojovacích kabelů o délce 200 mm
- Mikro-USB kabel 1,8 m
- USB napáječ 5V/1A

Na vlastní desce stavebnice nalezneme následující měřicí prostředky:

- Voltmetr o rozsahu 20V
- Voltmetr / miliampérmetr o rozsahu 20V / 20mA
- Regulátor napětí 0...12V / 20mA
- Neregulovaný zdroj 15V /  $R_i = 70 \dots 220 \Omega$  podle velikosti napájecího napětí

Součástky pro pokusy

- 11 x rezistor 1k $\Omega$  ... 120k $\Omega$
- 1 x potenciometr 25k $\Omega$ /N
- 2 x pár kondenzátorů 100nF a 22 $\mu$ F
- 2 x NPN tranzistor
- 1 x PNP tranzistor
- 1 x integrovaný stabilizátor LM317
- 1 x běžná Si dioda
- 1 x Zenerova dioda 5,6V
- 1 x tlačítko
- 1 x relé 6V s jedním přepínacím kontaktem
- 1 x operační zesilovač LM741
- 1 x LED červená
- 1 x žárovka 12V/20mA
- 4 x CMOS hradlo NAND 4011
- 1 x CMOS čítač 4029
- 1 x CMOS dekodér BCD kódu a sedmissegmentový displej
- 1 x akustický piezoměnič
- 1 x generátor BCD kódu - DIP přepínač

## 2.2 Příprava stavebnice k provozu

Stavebnice je z logistických důvodů dodávána bez baterií.

- Do lůžka vložíme tři baterie AA LR6

nebo

- USB kabelem připojíme zdroj napětí 5V/1A



- Pokud byly ve stavebnici ponechány baterie, zapneme stavebnici tlačítkem ON/OFF. Pokud je stavebnice bez baterií, zapne se po připojení napětí sama.

Stavebnici vypneme opětovným stiskem tlačítka ON. Po uvolnění tlačítka LED sledování stavu baterie a digitální voltmetry zhasnou, a následně několikrát zablikají. Pokud stavebnici zapomeneme vypnout, po 40 minutách se vypne sama. Výdrž baterií záleží na typu pokusů, které se stavebnicí provádíme, Stavebnice má odběr cca 0,5A, doporučené baterie mají kapacitu 2,7 Ah. Pokles napětí baterií pod únosnou míru je signalizován zhasnutím červené LED vedle tlačítka ON/OFF.

**Základním doporučeným režimem je provoz s USB napáječem. Bateriový provoz slouží spíše pro krátkodobou demonstraci ve třídě bez rozvodů 230V.**

**Po vypnutí (uvolnění tlačítka) LED dioda několikrát zabliká, aby obsluha viděla reakci, a teprve potom se stavebnice vypne.**



## 3 Měřicí úlohy pro předmět fyzika - elektřina a magnetismus

Tyto úlohy jsou určeny pro práci studentů ve 3.ročníku gymnázií v předmětu fyzika nebo na odborných školách v předmětu základy elektrotechniky. Každá úloha je reprezentována schématem, které lze pomocí stavebnice realizovat. Úlohy jsou seskupeny tak, aby na jednodušší úlohu navazovala složitější, a celý sled úloh tvořil tematický okruh. Úlohy v této kapitole jsou určeny pro samostatné použití stavebnice bez osciloskopu.

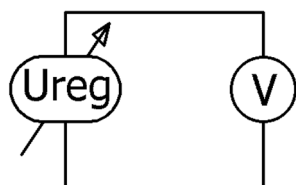
### 3.1 VA charakteristika žárovky a rezistoru

Elektrický proud chápeme jako tok elektronů vodičem. Elektrické napětí je úměrné výkonu, který proud může vykonat. Měříme-li elektrické napětí, voltmetr je připojen k měřenému obvodu paralelně. Měříme-li elektrický proud, ampérmetr je připojen k měřenému obvodu sériově. Mezi proudem a napětím platí za určitých podmínek přímá úměra, kterou nazýváme Ohmův zákon. Konstanta úměrnosti se nazývá elektrický odpor.

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

#### 3.1.1 Regulovaný zdroj napětí a voltmetr

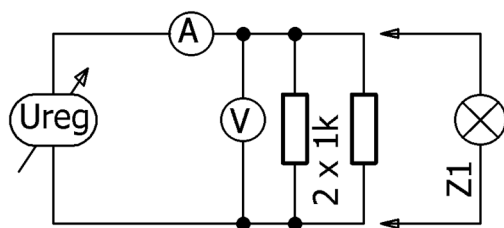
Cílem úlohy je seznámit se s měření napětí a činností regulátoru napětí. Zapojení je jednoduché. Dvěma kabely propojíme regulovaný zdroj s jedním z voltmetrů. Vyzkoušíme regulaci a měření napětí.



Obr.3.1 - Zapojení regulovaného zdroje napětí Ureg

#### 3.1.2 Odpor a VA charakteristika rezistoru a žárovky

Předchozí zapojení rozšíříme o ampérmetr. Ke zdroji pro první část pokusu připojíme paralelní kombinaci rezistorů  $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . Pro druhou část pokusu připojíme žárovku  $Z_1 = 12\text{V}/20\text{mA}$ . Pro oba prvky postupně zvyšujeme napětí od 0V do 10V po 1V. Odečítáme proud a zapisujeme jej do připravené tabulky. Hodnoty z tabulky vyneseme do grafu.

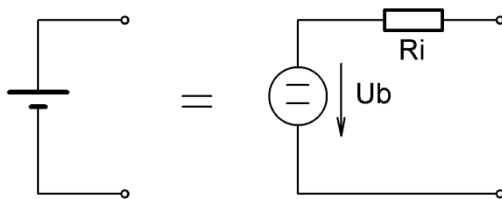


Obr.3.2 - Zapojení pro měření VA charakteristiky žárovky a rezistoru

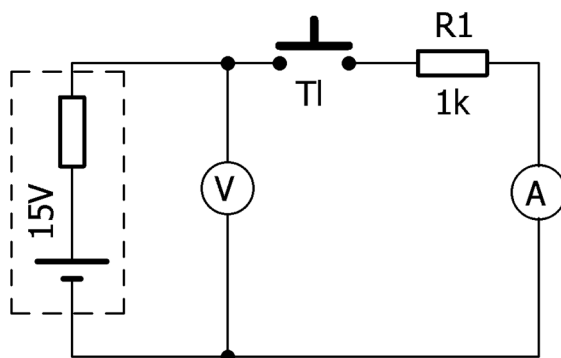
## 3.2 Kirchhoffovy zákony - aplikace

### 3.2.1 Vnitřní odpor neregulovaného zdroje 15V

Každý napěťový zdroj můžeme nahradit ideálním zdrojem napětím a sériově zapojeným rezistorem. Ideální zdroj napětí s rostoucím odběrem proudu nemění své napětí. Napětí ideálního zdroje je rovno napětí reálného zdroje bez odběru proudu. Vnitřní odpor se rovná podílu napětí bez odběru a zkratového proudu. Měřit podle této definice vnitřní odpor je v našem případě nemožné, neboť zkratový proud přesahuje rozsah miliampérmetru. Proto používáme metodu úbytku napětí.



Obr. 3.3 Náhradní schéma zdroje



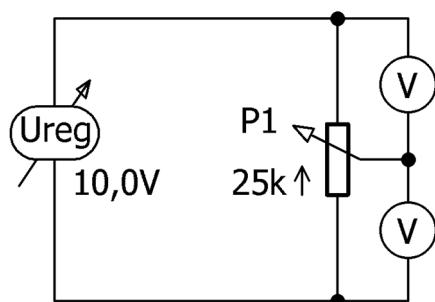
Obr.3.4 - Zapojení pro měření prvků náhradního schématu zdroje

Po sestavení nejprve změříme napětí při rozepnutém tlačítku. Poté stiskneme tlačítko, změříme nové napětí (o něco poklesne oproti napětí naprázdno) a změříme proud. Následně vypočteme vnitřní odpor zdroje podle vzorce:

$$R_i = \frac{\Delta U}{I} = \frac{U_0 - U_z}{I}$$

### 3.2.2 Potenciometr, Wheatstoneův můstek a jeho vyvážení

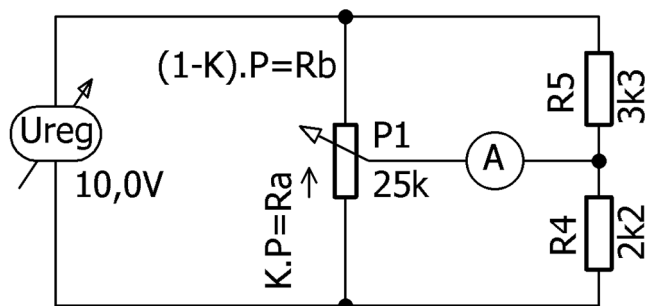
Nejprve si vyzkoušíme funkci potenciometru. Potenciometr je rezistor s třemi svorkami. Dvě krajní svorky jsou doplněny svorkou třetí, která je připevněna na pohyblivém jezdcí, a může se pohybovat po odporové dráze.



Obr.3.5 - Potenciometr - proměnný dělič napětí

Regulovaným zdrojem nastavíme takové výstupní napětí, aby byl součet napětí obou voltmetrů roven 10,0 V. Při pohybu jezdcí vidíme, že se poměr napětí mění v závislosti na úhlu natočení, ale součet obou napětí na děliči zůstává konstantní. Jedná se vlastně o proměnný dělič napětí.

Dalším úkolem je ověřit zapojení, zvané Wheatstoneův můstek. Dříve se z tohoto zapojení vycházelo při měření rezistorů.



Obr.3.6. - Princip měření odporu Wheatstoneovým můstkem

Při pohybu jezdcí potenciometru po jeho odporové dráze pozorujeme pokles proudu tekoucího miliampérmetrem až do okamžiku, když jím už žádný proud neteče. Při dalším pohybu hodnota proudu začíná vzrůstat, jeho směr se však mění. Neprotéká-li

miliampérmetrem žádný proud, je můstek vyvážený, a platí níže uvedená rovnice. Známe-li odpor  $R_5$  a nastavení jezdcu  $K$ , můžeme vypočítat odpor  $R_4$ :

$$R_4 = \frac{K}{1 - K} R_5$$

### 3.3 Funkce kondenzátoru

Kondenzátor si můžeme představit jako dvě kovové desky, oddělené dielektrikem. Tato struktura má schopnost akumulovat elektrický náboj. Čím větší náboj kondenzátor akumuluje, tím větší je napětí mezi jeho deskami. Poměr náboje  $Q$  a napětí  $U$  nazýváme kapacitou kondenzátoru:

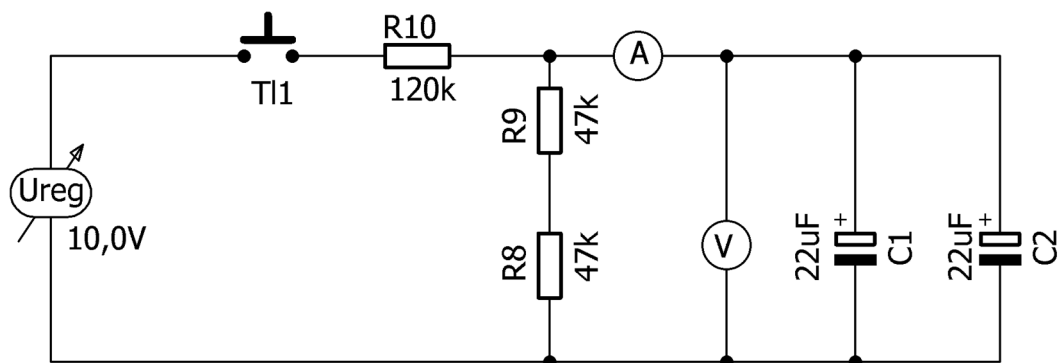
$$C = \frac{Q}{U}$$

Náboj ovšem nelze kondenzátoru dodat okamžitě. K tomu, aby se náboj v kondenzátoru zvýšil, musí do něj téci nějakou dobu proud. Jinak řečeno, proud je definován jako náboj, který projde danou plochou za jednotku času:

$$I = \frac{Q}{t}$$

#### 3.3.1 Nabíjení kondenzátoru - měření pomocí stopek

Nabíjení kondenzátoru demonstrujeme na následujícím pokusu.



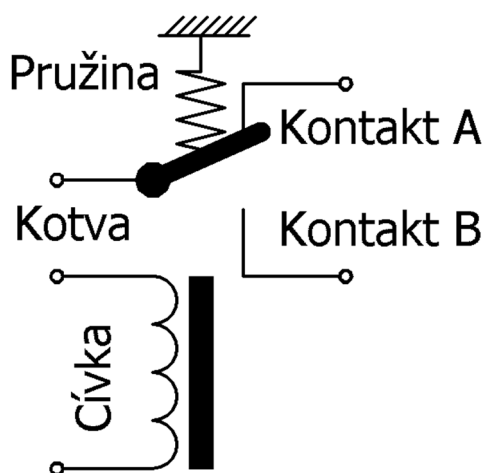
Obr.3.7 - Nabíjení kondenzátoru v závislosti na čase

Po sestavení obvodu si připravíme stopky a tabulku, do které zaznamenáme hodnoty napětí a proudu. Po sepnutí tlačítka začne napětí na kondenzátoru spojitě narůstat. Proud vzroste skokově, a poté začne klesat. Po rozpojení tlačítka pozorujeme proud obrácené polaroty a postupný pokles napětí.

Po sepnutí tlačítka zaznamenáváme do připravené tabulky proud a napětí v intervalu 1 sekundy. Obdobně zaznamenáváme proud a napětí po uvolnění tlačítka. Po skončení pokusu vyneseme získaná data do grafu.

### 3.4 Pokusy s relé

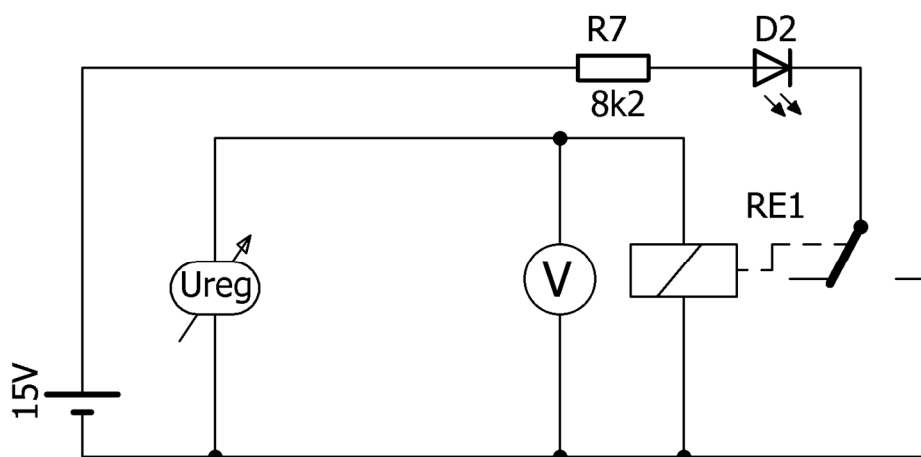
Relé je prvek, který využívá přeměny elektrické energie na magnetickou. Sestává z cívky, kotvy, pružiny a kontaktů. Pokud cívkou neteče proud, je kotva přitažena do polohy A (rozpínací kontakt). Pokud cívkou začne protékat proud, vytvoří se magnetické pole. Síla způsobená tímto polem překoná sílu pružiny a přitáhne kotvu do polohy B (spínací kontakt). Po vypnutí proudu pružina vrátí kotvu do původní polohy.



Obr.3.8 - Funkční schéma relé

#### 3.4.1 Měření hystereze relé

Sestavíme obvod podle následujícího obrázku. Světelnou diodu a rezistor použijeme pro indikaci stavu relé (sepnuto/nesepnuto). Postupně zvyšujeme napětí. Po dosažení určité hodnoty napětí relé sepne a LED se rozsvítí. Začneme-li nyní napětí snižovat, relé zůstává sepnuto. Rozepne až při výrazně nižším napětí. Protože je kotva přitažena blíže k jádru cívky, stačí nižší magnetické pole (a tedy nižší proud cívkou), aby kotva zůstala přitažena. Tomuto jevu se říká **hystereze**.



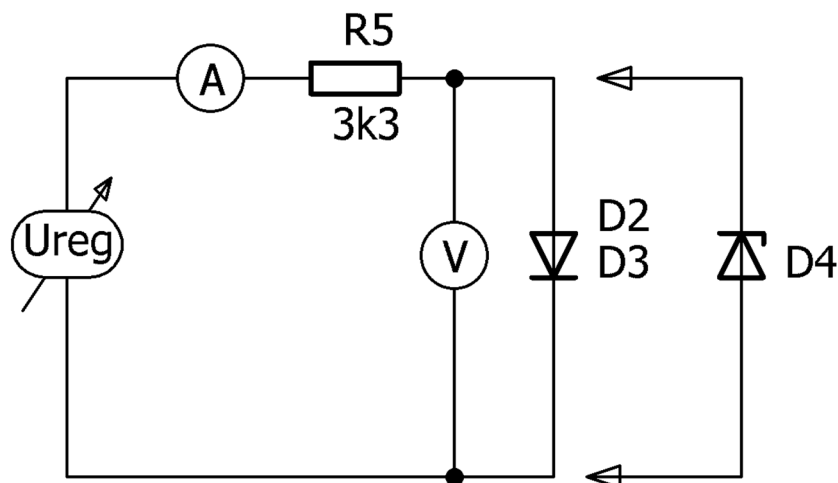
Obr.3.9 - Zapojení pro měření hystereze relé

## 3.5 Charakteristiky polovodičových součástek

### 3.5.1 VA charakteristika diody

Polovodičová dioda se sestává z jednoho přechodu PN. Její funkce je propouštět proud pouze jedním směrem nebo průchodem proudu generovat světlo (LED dioda). Některé diody jsou konstruovány pro trvalý provoz v závěrném směru. Díky odlišné konstrukci diody zde dochází k vratnému (Zenerovu) průrazu. Takové diody se využívají ve zdrojích konstantního napětí.

Pro VA charakteristiku diody je typické, že dioda ani v propustném směru nevede proud do jistého napětí. V oblasti tohoto napětí (tzv. koleno, angl. forward voltage) se vodivost rychle začíná zvyšovat, a poté již roste proud diodou při nepatrné změně napětí na diodě. Při překročení maximálního proudu dojde k destrukci přechodu PN teplem, které vyvíjí procházející proud.



Obr.3.10 - Zapojení pro měření VA charakteristiky diody

Po sestavení obvodu nejprve zvyšujeme napětí až do oblasti kolena, a odečítáme proud. Ve chvíli, kdy proud začne být významný (cca 0,1 mA), začneme jej zvyšovat po cca 1 mA, a odečítáme napětí. Tímto postupem získáme všechny důležité body VA charakteristiky. Po skončení měření můžeme charakteristiku vykreslit do grafu.

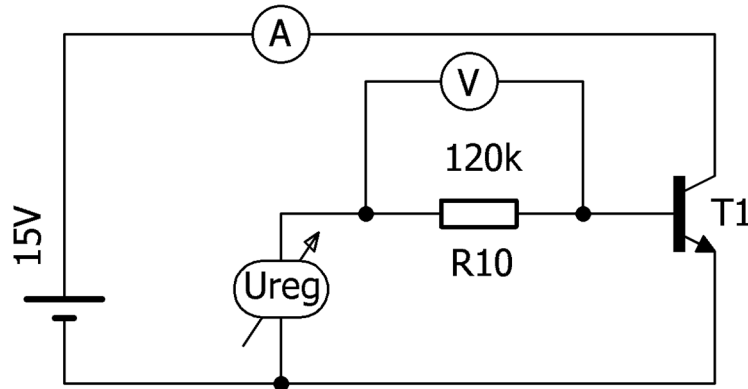
Napětí kolena je určeno typem diody. Pro LED diody jde o cca 1,7V, pro běžnou křemíkovou diodu 0,6 až 0,7 V. Zenerovu diodu zapojujeme obráceně, v nepropustném směru. Různé Zenerových těchto diod mají různá Zenerova napětí. Typ osazený ve stavebnici jej má okolo 5V.

### 3.5.2 Princip zesílení bipolárního tranzistoru

Bipolární tranzistor je součástka se dvěma polovodičovými přechody (struktura NPN nebo PNP). Prostřední polovodič je nejužší, a se nazývá báze. Krajní polovodiče se nazývají kolektor a emitor. Přechod kolektor - báze je vždy polarizován v nepropustném směru. Proud tímto přechodem sám o sobě jím téci nemůže. Pokud ale přechodem báze - emitor proud prochází, většina elektronů pokračuje do kolektoru a kolektorem proud začíná protékat.



Tranzistor můžeme chápat jako řízený zdroj proudu, kdy proud kolektorem je řízen proudem báze. Konstanta úměrnosti  $\beta$  se nazývá proudový zesilovací činitel.



Obr.3.11 -Zapojení pro měření zesilovacího činitele bipolárního tranzistoru

Před sestavením obvodu necháme jezdec regulátoru zdroje na dolní úvrati. Sestavíme obvod a pomalu zvyšujeme napětí. Údaj voltmetru je přímo úměrný bázevému proudu. Pokud začneme pohybovat jezdcem potenciometru nahoru, začíná bázi protékat proud. Jeho hodnotu měníme po  $10\mu\text{A}$ , tj. po 1.2V na voltmetru. Pro různé hodnoty bázevého proudu zapisujeme odpovídající hodnotu kolektorového proudu. Poté vypočteme proudový zesilovací činitel  $\beta$  pro různé hodnoty bázevého proudu podle vzorců:

$$I_b = \frac{U_V}{R_{10}}$$

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

## 4 Měřicí úlohy pro předmět základy elektroniky

Tyto úlohy jsou určeny pro předmět základy elektroniky na odborných školách. Úlohy lze rovněž využít v zájmových kroužcích.

### 4.1 Operační zesilovače (OZ)

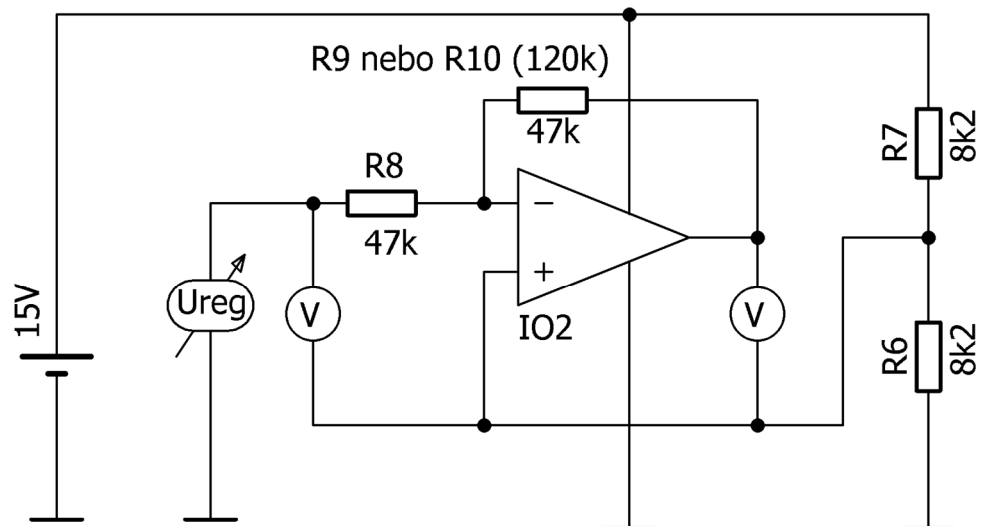
V současnosti se obvody s tranzistory jako samostatné zesilovače nevyužívají. Konstrukteři považují za lepší nasadit integrovaný blok několika tranzistorů, nazývaný operační zesilovač. Požadované zesílení potom nastavíme několika rezistory pomocí zpětné vazby. U těchto struktur je snadné odvodit zesílení. Vycházíme z jednoduchého předpokladu.

**Mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem OZ je v důsledku záporné zpětné vazby nulové napětí a teče do těchto vstupů nulový proud.**

Neinvertující vstup musí být vždy ze stejnosměrného hlediska uzemněn. Zde narážíme na omezení, neboť stavebnice nemá dvojitý symetrický zdroj napětí, obvyklý k napájení OZ. Proto vytvoříme virtuální nulu děličem sestávajícím z rezistorů  $R_6$  a  $R_7$  o hodnotě  $8,2k\Omega$ . Veškerá měření napětí pro účely zesílení se vztahují k této nule.

Ve všech pokusech napájíme OZ z nestabilizovaného zdroje 15V. Regulovaný zdroj použijeme jako vstupní napětí.

#### 4.1.1 Invertující zesilovač



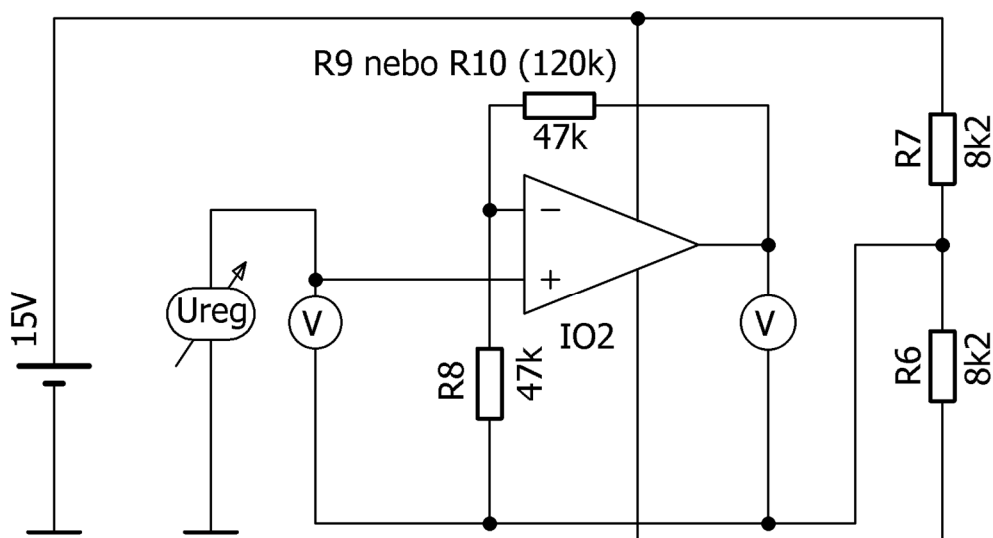
Obr.4.1 - Invertující zesilovač s OZ

Po zapojení obvodu můžeme pozorovat výstupní napětí při změně vstupního napětí a můžeme ověřit níže uvedený vzorec. Můžeme též zaměnit  $R_9$  za  $R_{10}$  a pozorovat vliv změny. Pro zesílení, tj poměr výstupního a vstupního napětí, totiž platí

$$A = \frac{U_{out}}{U_{in}} = - \frac{R_9}{R_8}$$

Nesmíme zapomenout neinvertující vstup připojit na virtuální nulu (střed děliče  $R_6$  a  $R_7$ ). Jinak by toto zapojení nepracovalo.

#### 4.1.2 Neinvertující zesilovač



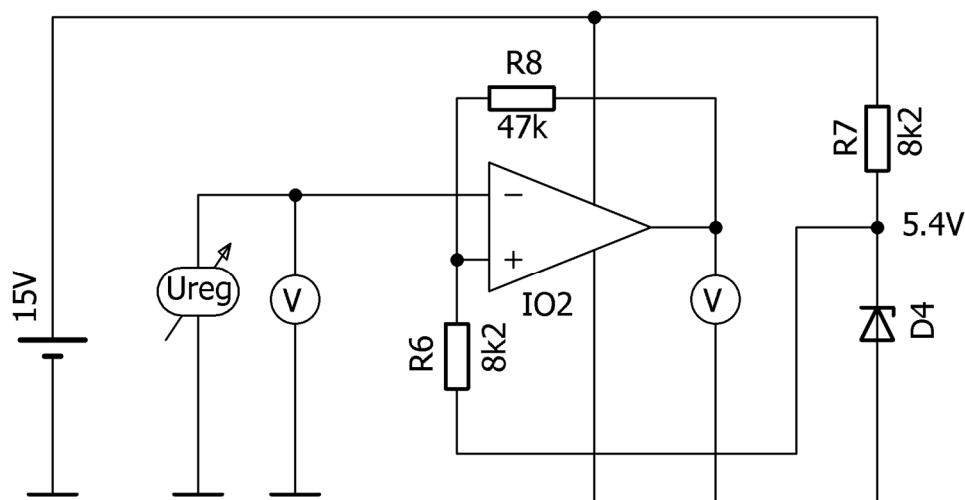
Obr.4.2 - Neinvertující zesilovač s OZ

U neinvertujícího zesilovače přivádíme proměnné napětí do neinvertujícího vstupu. Zpětná vazba musí být připojena k invertujícímu vstupu, aby byla záporná. Vzorec pro zesílení lze opět odvodit podle úvodního pravidla:

$$A = 1 + \frac{R_9}{R_8}$$

Při měření si povšimneme, že díky neinvertujícímu zapojení mají vstupní i výstupní napětí stejnou polaritu.

### 4.1.3 Komparátor s hysterezi



Obr.4.3 - OZ s kladnou zpětnou vazbou jako komparátor s hysterezi

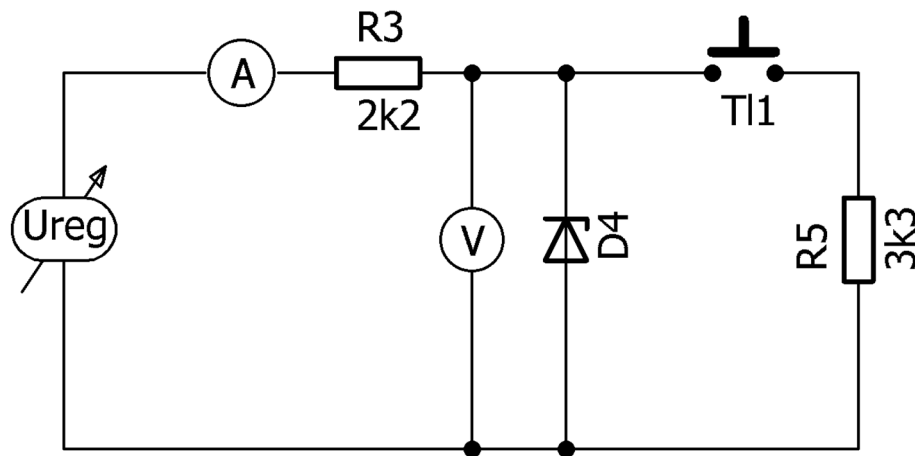
Použitím kladné zpětné vazby se chování OZ radikálně změní. Jakékoliv vstupní napětí (a to včetně vlastního šumu) se zesílí a přivede zpět na vstup. Výsledkem je, že při stejnosměrné kladné zpětné vazbě je zapojení tzv. **bistabilní**. Na výstupu OZ je možné napětí pouze buď 1.8V nebo 14V, což je napájecí napětí OZ snížené o diferenci cca 1V, způsobenou obvody OZ.

Pokud pomalu zvyšují napětí na vstupu, okolo 7V dojde ke změně výstupního stavu z 14V na 1.8 V. Pokud vstupní napětí snižují, ke změně opačným směrem dojde až při 4.8V. Systém má **hysterezi**.

## 4.2 Stabilizátory napětí

Přirozené zdroje napětí (baterie, usměrněné napětí ze sítě 230V/50 Hz) mají poměrně velké kolísání výstupního napětí. Pro funkci elektronických obvodů je však třeba stabilní konstantní napětí. Proto se mezi zdroj napětí a další obvody vkládají stabilizátory napětí.

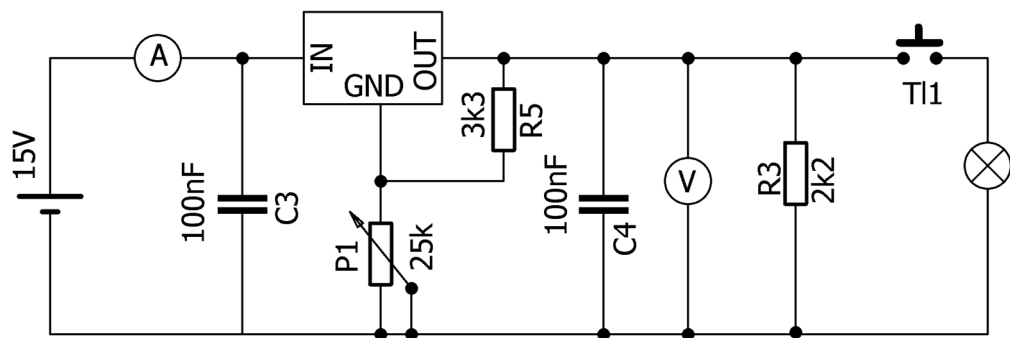
#### 4.2.1 Stabilizátor napětí se Zenerovou diodou



Obr.4.4 - Stabilizátor se Zenerovou diodou

Jedno měřidlo zapojíme jako ampérmetr, druhé měřidlo je po celou dobu pokusu zapojeno jako voltmetr paralelně se Zenerovou diodou  $D_4$ . Zvyšujeme-li postupně napětí na výstupu zdroje  $U_{reg}$ , stoupá spolu s ním i napětí na Zenerově diodě. Po dosažení Zenerova napětí už další zvyšování napětí zdroje nemá na napětí Zenerovy diody  $D_4$  téměř vliv. Zdrojem nastavíme proud na cca 4 mA. Pokud nyní připojíme stiskem tlačítka odpor  $R_5 = 3.3k\Omega$ , proud a napětí se téměř nezmění. Zenerova dioda stabilizovala napětí na výstupu a po připojení odporu  $R_5$  mu předala část svého proudu.

#### 4.2.2 Stabilizátor napětí s obvodem LM317



Obr.4.5 - Stabilizátor s IO LM 317

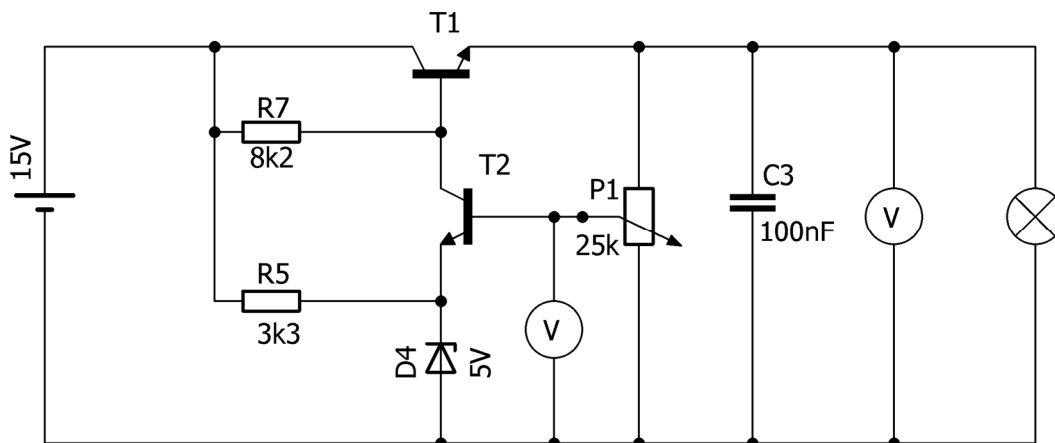
Integrovaný stabilizátor udržuje mezi svorkami OUT a GND napětí asi 1,25 V. Dělič z odporů  $R_5$  a  $P_1$  udržuje potom výstupní napětí podle vzorce (zkuste jej odvodit):

$$U_{vyst} = \left(1 + \frac{P_1}{R_5}\right) \cdot 1,25V$$

Kondenzátory  $C_3$  a  $C_4$  doporučuje výrobce zapojit k eliminaci rizika rozkmitání stabilizátoru. Rezistor  $R_3$  je též doporučen výrobcem; zajišťuje minimální výstupní

proud, nutný pro správnou funkci obvodu. Zkusme, zda se jejich odstraněním změní chování stabilizátoru. Ověřme regulační rozsah změnou  $P_1$  a vysvětleme, pro jaké hodnoty  $P_1$  u tohoto zapojení vzorec ještě platí. Po připojení žárovky zkusme z poklesu napětí spočítat vnitřní odpor stabilizátoru.

### 4.2.3 Zpětnovazební stabilizátor s tranzistory



Obr.4.6 - Zpětnovazební stabilizátor z diskrétních součástek

Pokud pohybujeme jezdcem ke spodní úvratí potenciometru, paradoxně roste napětí na žárovce. Důvodem je zpětná vazba. Pokud totiž snížíme napětí na bázi  $T_2$ ,  $T_2$  se přivře a  $T_1$  se více otevře. Pokud odpojíme žárovku v pracovní oblasti stabilizátoru (tj. zhruba mezi 6 až 9 V na výstupu), výstupní napětí se příliš nezmění.

Zajímavá je funkce kondenzátoru  $C_3$ . Pokud jej odpojíme, může zapojení přestat fungovat. Pokud bychom připojili na výstup osciloskop, zobrazí se kmito o frekvenci několika MHz. Zpětná vazba se odpojením kondenzátoru stala příčinou vzniku kmitů. Kondenzátor zpětnou vazbu zkratuje, a proto po jeho zapojení přestane obvod kmitat. Uvedený jev je dán způsobem propojení součástek, a někdy nastat nemusí.

Zjistěme rozsah výstupního napětí, ve kterém regulátor funguje, a zdůvodňeme jej.

## 4.3 Logické obvody

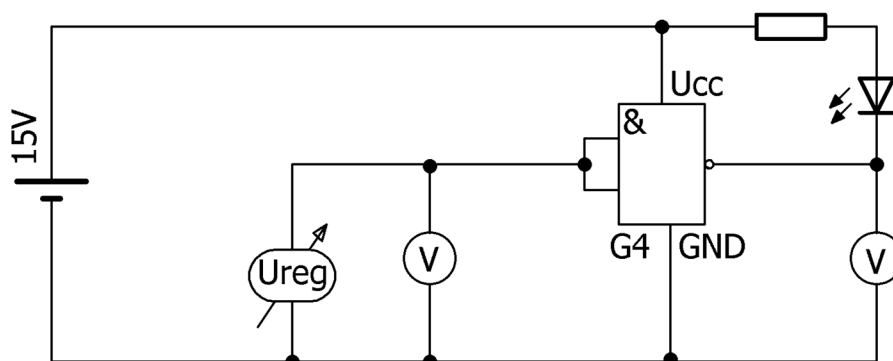
Logické obvody slouží k realizaci logických funkcí. V 60. letech byly logické obvody základními stavebními prvky počítačů. Dnes jsou počítače osazeny obvody, které se nazývají mikroprocesory. Mikroprocesory obsahují v jednom pouzdře tisíce logických obvodů. Avšak i v současných konstrukcích se logické obvody používají. V jednom pouzdře je potom několik logických obvodů (hradel) či jeden nebo dva obvody vyšší integrace (čítač apod.)

Logický obvod pracuje se dvěma stavy na vstupu, které jsou presentovány nízkou a vysokou úrovní napětí. Výstup logického obvodu se potom mění podle logické funkce, kterou obvod představuje. Výstupní signál kombinací úrovní napětí HIGH/LOW na vstupu logického obvodu.

Součástky, které na obrázcích nemají označení, jsou vestavěny přímo do stavebnice a není třeba je modelovat.

### 4.3.1 Funkce INVERTOR

Invertor je nejjednodušším logickým obvodem. Jestliže je na vstupu logická 0 (LOW), objeví se na výstupu logická 1 (HIGH). Následující pokus nám ukáže, která napětí lze brát jako LOW a HIGH. Dále je demonstrována funkce LED diody na výstupu logického obvodu v této stavebnici.



Obr.4.7 - Obvod testování vlastností hradla

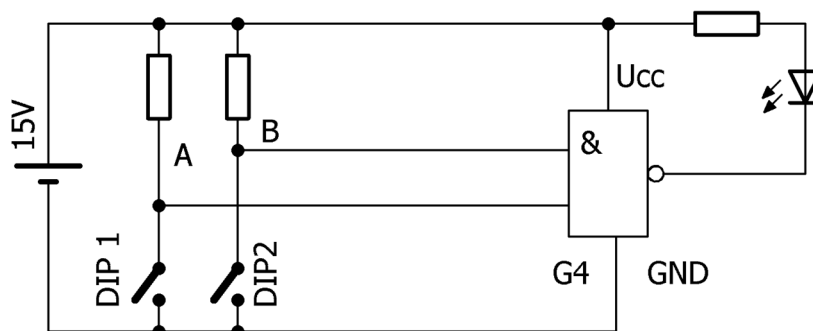
Po zapnutí obvodu a nastavení zdroje  $U_{reg}$  na 0V je LED zhasnutá. Na vstupu je logická 0 (LOW) a na výstupu logická 1 (HIGH). Zvyšujeme-li postupně napětí na vstupu, zhruba v polovině rozsahu dojde k překlopení výstupního napětí na LOW, a LED se rozsvítí.

Vstupní úroveň	Výstupní úroveň
LOW	HIGH
HIGH	LOW

### 4.3.2 Funkce NAND

Název funkce vznikl spojením slov NOT a AND. Jedná se vlastně o logický součin, který je na výstupu navíc invertován. Při ověřování funkce použijeme jako generátor vstupních úrovní generátor BCD kódu. Je třeba si uvědomit, že přepínač v poloze ON je sepnut, a na výstupu generátoru je stav LOW.

Ověřme pravdivostní tabulku této funkce.



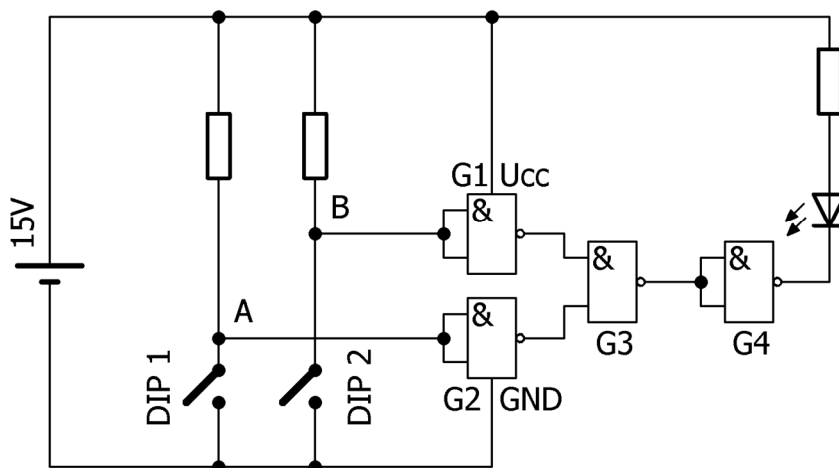
Obr. 4.8 - Test funkce NAND

Vstupní úroveň A	Vstupní úroveň B	Výstupní úroveň
LOW	LOW	HIGH
HIGH	LOW	HIGH
LOW	HIGH	HIGH
HIGH	HIGH	LOW

### 4.3.3 Funkce NOR

Název funkce NOR vznikl spojením slov NOT a OR. Jedná se o logický součet, který je na výstupu invertován. I když se vyrábějí speciální hradla NOR, lze dokázat, že pomocí konečného počtu hradel NAND lze realizovat libovolnou logickou funkci, a tedy i funkci NOR.

Ověřme pravdivostní tabulku této funkce.



Obr. 4.9 - Test funkce NOR

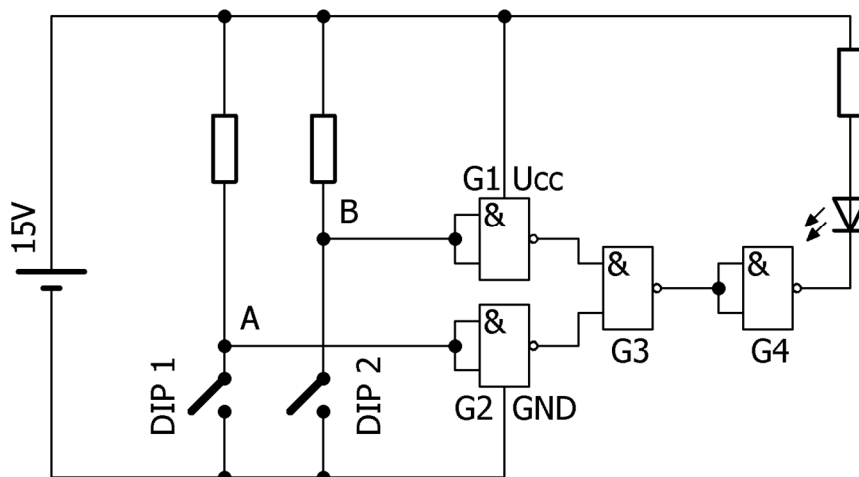


Vstupní úroveň A	Vstupní úroveň B	Výstupní úroveň
LOW	LOW	HIGH
HIGH	LOW	LOW
LOW	HIGH	LOW
HIGH	HIGH	LOW

#### 4.3.4 Funkce EXCLUSIVE-OR

Funkci EXCLUSIVE-OR bychom přeložili jako **výlučné nebo**, popřípadě **bud' anebo**. Spojíme-li dvě tvrzení pouze spojkou **nebo**, znamená to pravdu v případě, kdy je první tvrzení pravdivé, druhé tvrzení pravdivé nebo obě tvrzení pravdivá. V případě **bud' anebo** musí být pravdivé **právě jedno** tvrzení z obou, jinak je celé tvrzení nepravdivé.

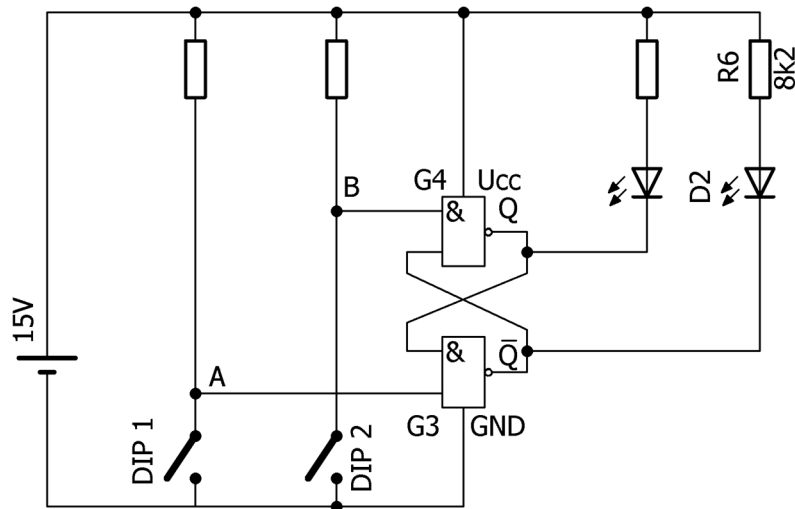
Na obrázku je funkce EXCLUSIVE-OR, ověříme její pravdivostní tabulku.



Obr. 4.10 - Test funkce EXCLUSIVE-OR

Vstupní úroveň A	Vstupní úroveň B	Výstupní úroveň
LOW	LOW	LOW
HIGH	LOW	HIGH
LOW	HIGH	HIGH
HIGH	HIGH	LOW

## 4.3.5 Klopný obvod R-S



Obr. 4.11 - R-S klopný obvod

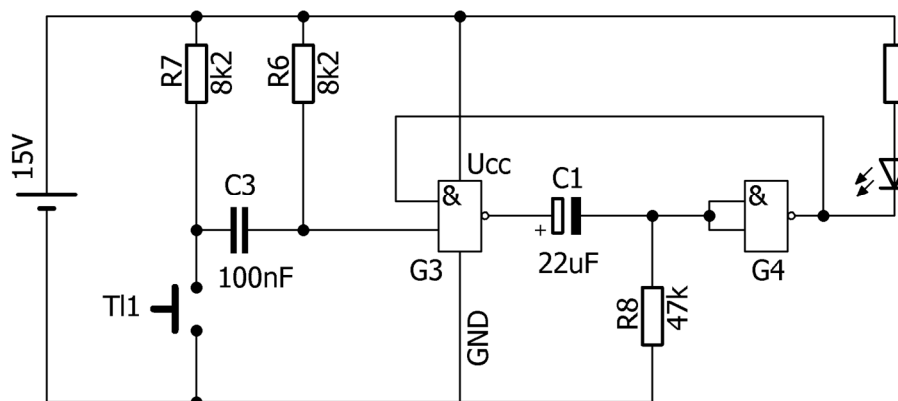
Vstupní úroveň A	Vstupní úroveň B	Výstupní úroveň Q	Výstupní úroveň NQ
LOW	LOW	HIGH	HIGH
HIGH	LOW	HIGH	LOW
LOW	HIGH	LOW	HIGH
HIGH	HIGH	XXX	XXX

Při zkoumání pravdivostní tabulky následujícího obvodu zjistíme zajímavou věc. Tabulka není jednoznačná. Při kombinaci HIGH/HIGH na obou vstupech si obvod podrží předchozí stav (obvod má paměť). Obvod může být pro kombinaci vstupů HIGH/HIGH v různých stavech.

Název obvodu je odvozen od často užívaných názvů vstupů. Impulz na vstupu SET nastaví obvod na výstupu Q na úroveň HIGH. Impulz na vstupu RESET nastaví obvod na Q výstupu na úroveň LOW; obvod je vynulován.

Ověřme chování obvodu R-S.

### 4.3.6 Monostabilní klopný obvod



Obr. 4.12 - Monostabilní klopný obvod

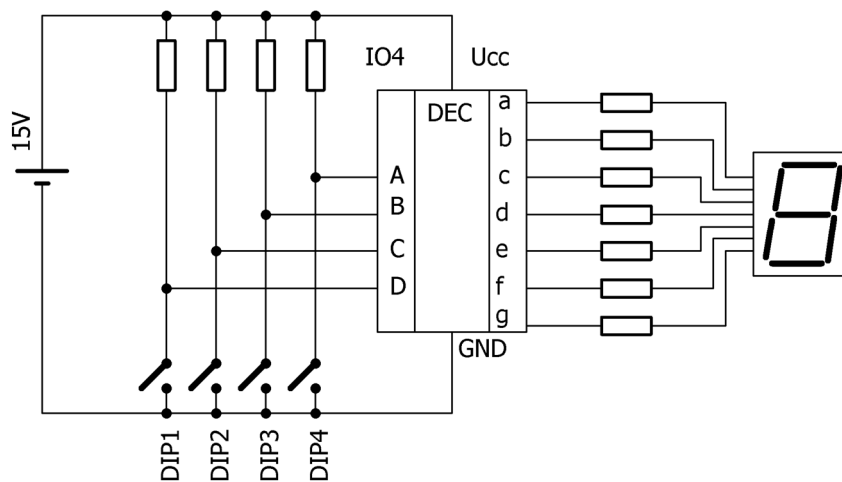
Monostabilní klopný obvod je variací na předchozí RS obvod, kdy byla dvě hradla spojena do kruhu stejnosměrnou zpětnou vazbou. Na rozdíl od předchozího obvodu je vazba je u monostabilního klopného obvodu pouze dočasná, protože je realizována kondenzátorem  $C_1$ . Po stisknutí tlačítka  $Tl_1$  se impuls přenesse přes  $C_3$  na vstup  $G_3$  a nastaví jeho výstup na úroveň HIGH. Tato úroveň se přenesse přes  $C_1$  na  $G_4$  a nastaví jeho výstup na úroveň LOW. Na výstupu  $G_3$  se nadále udržuje úroveň HIGH. Tato úroveň zde zůstane tak dlouho, dokud se  $C_1$  nenabije z výstupu hradla  $G_3$  přes  $R_8$  a napětí na vstupu  $G_4$  nepoklesne. Ve výsledku máme na výstupu jeden impuls definované délky bez ohledu na dobu či počet stisknutí tlačítka  $Tl_1$ .

Vyzkoušejme funkci monostabilního klopného obvodu.

### 4.3.7 BCD kód a sedmissegmentový displej

Číslice 0 až 9 lze zakódovat pomocí 4 bitů. Pro zobrazení čísla se někdy používá tzv. 7-segmentová LED, kdy vhodným rozsvícením segmentů dosáhneme zobrazení všech číslic. Ve stavebnici je již tato zobrazovací jednotka připojena na dekodér.

Vyzkoušejme zobrazení jednotlivých bitových kombinací BCD generátoru.



Obr.4.13 - Funkce převodníku BCD na 7-segmentový display

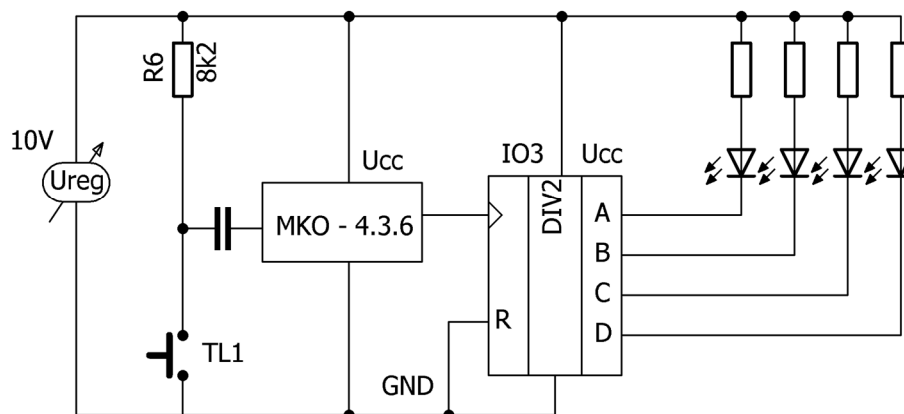
Úroveň D	Úroveň C	Úroveň B	Úroveň A	Výstupní číslice
LOW	LOW	LOW	LOW	0
LOW	LOW	LOW	HIGH	1
LOW	LOW	HIGH	LOW	2
LOW	LOW	HIGH	HIGH	3
LOW	HIGH	LOW	LOW	4
LOW	HIGH	LOW	HIGH	5
LOW	HIGH	HIGH	LOW	6
LOW	HIGH	HIGH	HIGH	7
HIGH	LOW	LOW	LOW	8
HIGH	LOW	LOW	HIGH	9
HIGH	LOW	HIGH	LOW	Zatměno
HIGH	LOW	HIGH	HIGH	Zatměno
HIGH	HIGH	LOW	LOW	Zatměno
HIGH	HIGH	LOW	HIGH	Zatměno
HIGH	HIGH	HIGH	LOW	Zatměno
HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	Zatměno

### 4.3.8 Čítač - základní funkce

Čítač sestává z několika klopných obvodů za sebou. První obvod reaguje na vzestupnou hranu vstupního impulsu. Následující obvod vždy reaguje na tutéž hranu na výstupu předchozího obvodu. Tím vlastně dělíme kmitočet signálu v násobcích čísla 2. Čítač obsahuje nulovací vstup. Je-li na tomto vstupu úroveň HIGH, dojde k nastavení nuly na všech výstupech současně.

Pokud bychom čítač budili impulzy z prostého tlačítka, napočítali bychom na jeden stisk tlačítka více impulsů, což je dáno zákmity při dopadu nebo odtrhu. Proto se impulzy generují pomocí monostabilního obvodu podle kapitoly 4.3.6. Výstupy jednotlivých klopných obvodů čítače jsou přímo indikovány LED diodami, kdy dioda svítí ve stavu LOW.

**Upozornění. Aplikace s čítačem je nutné napájet ze stabilizovaného zdroje 10 V.**



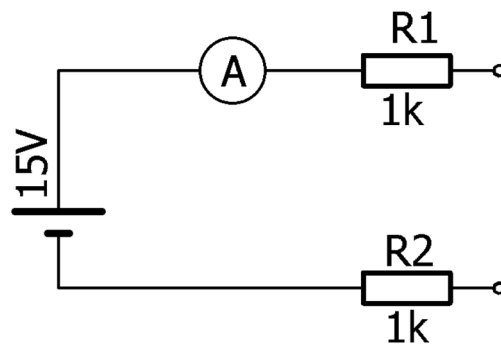
Obr.4.14 - Demonstrace funkce čítače

## 5 Zapojení pro zábavu i poučení

V této kapitole se nachází několik zapojení, které je možno využít v kroužcích či doma pro zábavu. Zapojení naznačují řešení některých zařízení, se kterými se setkáváme v praxi. Samozřejmě tyto modely se pouze přibližují skutečným zařízením, ukazují ale dobře jejich princip.

### 5.1 Měření odporu lidského těla

Odpor lidského těla se udává v literatuře okolo  $5k\Omega$ , je ovšem velmi závislý na napětí, při kterém jej měříme, vlhkosti lidské kůže a kontaktní ploše. Připravíme si jednoduchý pokus dle obrázku.

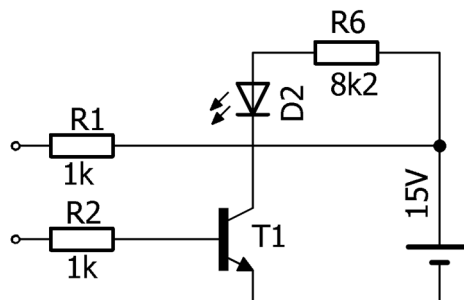


Obr.5.1 - Schéma pro měření odporu lidského těla

Odporů R1 a R2 jsou použity pouze proto, abychom vytvořili vhodné kontakty pro dotyk prstu. Po jeho dotyku zjišťujeme, že proud hodně závisí na vlhkosti kůže. Pro suchou kůži se jedná o proud 0,01 až 0,02mA, což odpovídá odporu 75 až 150 k $\Omega$ . Pokud kůži navlhčíme, proud se zvýší a odpor sníží (až 10x).

### 5.2 Dotykové tlačítko

Pokud bychom tímto způsobem chtěli ovládat dotykem například světlo LED, dostaneme se do problému. Pro světlo LED potřebujeme proud asi 2 mA, tedy 100x více, než jsme dosáhli v předchozím obvodu. Řešením problému je použití tranzistoru, který zesílí slabý proud v obvodu dotykového tlačítka

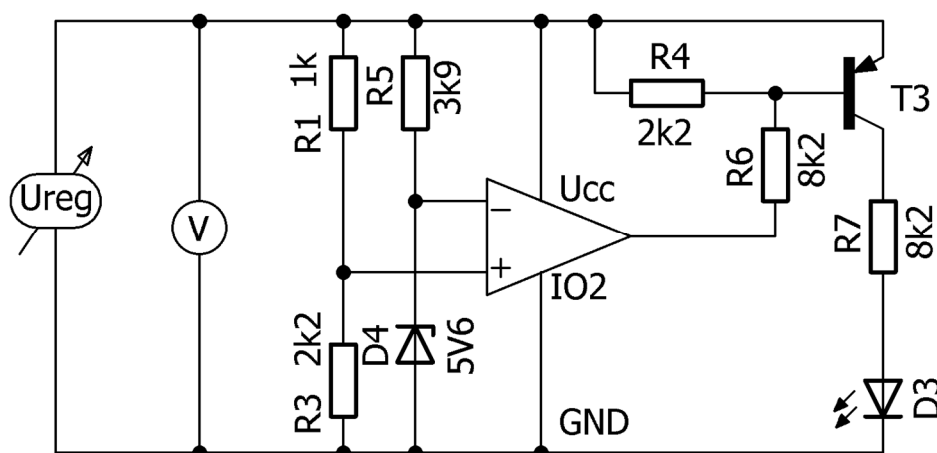


Obr.5.2 - Spínání LED dotykovým tlačítkem

### 5.3 Indikace stavu baterie

Existuje určitá mez napětí baterie, kdy zařízení stále ještě funguje, ale obsluha musí být informována, že se již blíží okamžik jejího vybití.

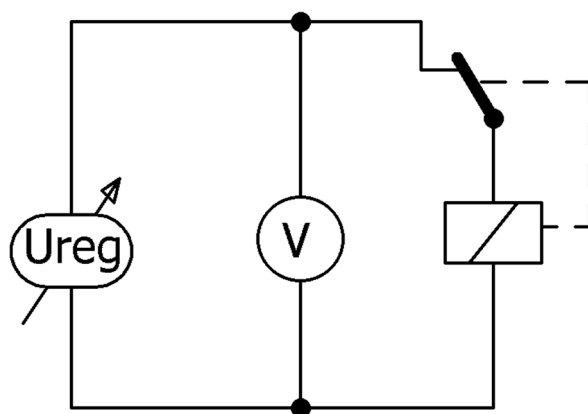
Ve schématu je baterie simulována regulovaným zdrojem napětí s voltmetrem. Pokud je napětí na výstupu zdroje menší než 8,2V, napětí na neinvertujícím vstupu je menší než 5,6V a napětí na výstupu OZ je asi 1V. Tranzistor T3 je otevřen a dioda D3 svítí. Pokud se napětí zdroje Ureg zvyšuje, napětí na invertujícím vstupu (vůči 0V) je téměř konstantní, a je dáno Zenerovým napětím ZD, které je asi 5,6V. Naproti tomu napětí na neinvertujícím vstupu je dáno děličem R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub>, a postupně se zvětšuje. Pokud je napětí na vstupu větší než 8V, je napětí na neinvertujícím vstupu větší než na vstupu invertujícím. Na výstupu OZ se objeví napětí zdroje Ureg snížené o 1V, tranzistor T<sub>3</sub> se zavře a LED zhasne. Při poklesu napětí Ureg se LED opět rozsvítí.



Obr.5.3 - Indikátor poklesu napětí

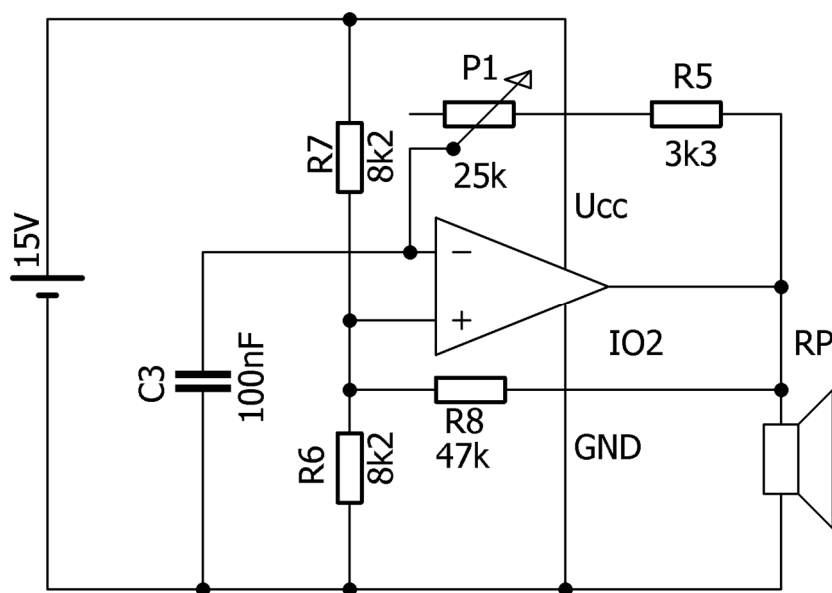
### 5.4 Wagnerovo kladívko - model zvonku

Jedním z nejstarších generátorů zvuku je tzv. Wagnerovo kladívko. Představme si cívku a kotvu, která je k cívice přitahována magnetickým polem. Pokud proud přestane protékat, pružina vrátí kotvu zpět. Na kotvu umístíme kontakt, který se při přitažení rozpojí. Pokud se cívka napájí přes tento kontakt, vznikne samočinný opakující se kmitavý pohyb. Cívkou začne protékat proud, kotva se přitáhne. Kontakt se rozpojí. Cívkou přestane protékat proud a kotva odpadne. Kontakt sepne. Celý cyklus se opakuje a vzniká kmitavý pohyb kotvy. Uvedený jev demonstrujeme pomocí relé.



Obr.5.4 - Model Wagnerova kladívka

## 5.5 Siréna



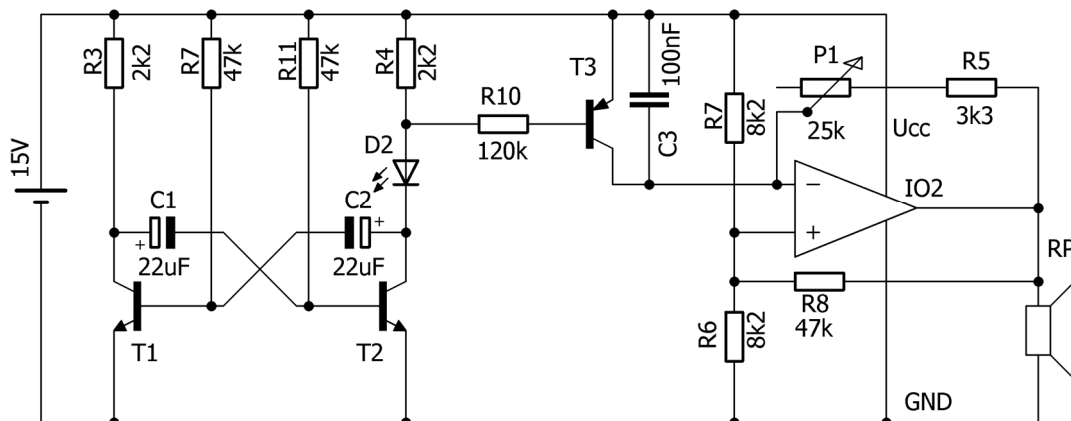
Obr. 5.5 - Siréna z operačního zesilovače

Jádrum zapojení je operační zesilovač jako komparátor. Na jeho invertující vstup je připojen kondenzátor  $C_3$ , který se přes kombinaci  $P_1$  a  $R_5$  nabíjí z výstupu OZ; na něm je v okamžiku zapnutí asi 14V. Nabíjení probíhá až k vyšší klopné úrovni, určené děličem  $R_8$ ,  $R_7$ ,  $R_6$  a výstupním napětím OZ. Po dosažení vyšší klopné úrovně se na výstupu OZ objeví napětí cca 1V. Kondenzátor  $C_3$  se začne přes stejnou kombinaci odporů vybíjet k nižší klopné úrovni. Tím je zajištěna periodická opakující se změna výstupního napětí OZ. Na výstup OZ připojíme reproduktor, a díky němu uslyšíme tón. Změnou nastavení  $P_1$  měníme výšku tónu.



## 5.6 Přerušovaná siréna

Generátor zvuku z předchozího článku je doplněn o další generátor, který kmitá s periodou cca 0,5 s. Princip a funkce tohoto generátoru jsou vysvětleny v kapitole 6.5.3. Ve fázi, kdy svítí D<sub>2</sub>, je zároveň otevřen T<sub>3</sub> a zkratuje kondenzátor C<sub>3</sub>. Z tohoto důvodu v tuto chvíli generátor zvuku je blokován. Všimněme si, že C<sub>3</sub> může být připojen i na napájecí napětí a neohrozí to funkci generátoru. Při realizaci nejdříve postavíme oba generátory bez T<sub>3</sub> a R<sub>10</sub>. Vyzkoušíme je samostatně, a teprve potom je uvedenými součástkami propojíme.



Obr. 5.6 - Přerušovaná siréna

## 5.7 Generátor náhodného čísla 0 až 5

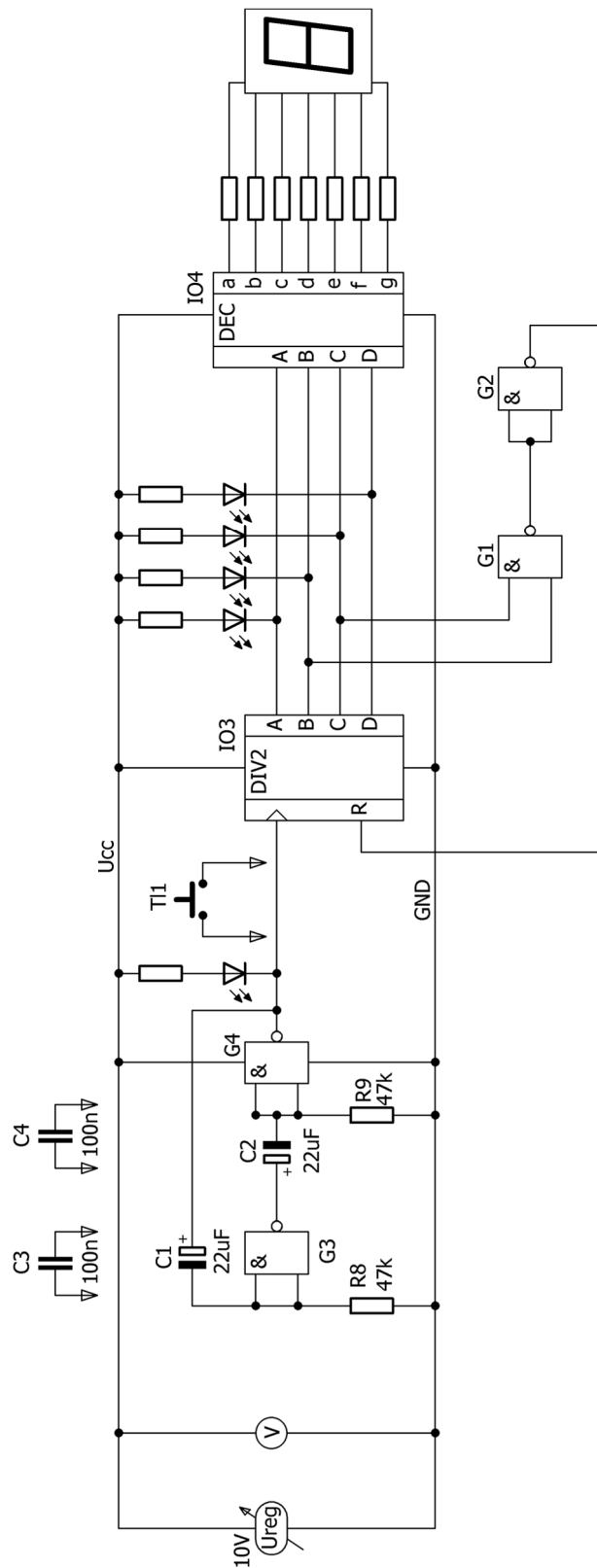
Zapojení je kombinací generátoru, čítače a BCD převodníku. Při jeho stavbě musíme postupovat po částech, a každou musíme část samostatně vyzkoušet.

Nejprve postavíme generátor z hradel G<sub>3</sub> a G<sub>4</sub>, osazený kondenzátory C<sub>1</sub> a C<sub>2</sub>. Po dokončení jeho stavby jej připojíme na napětí zdroje U<sub>reg</sub> = 10 V. Bezchybnou práci generátoru potvrdí záblesky LED u hradla G<sub>4</sub>.

Poté výstup hradla G<sub>4</sub> připojíme k čítači. Výstupy čítače ABCD připojíme na vstup převodníku kódu BCD na 7-segmentovou číslovku. K oběma blokům přivedeme též napájecí napětí. Nyní vidíme, jak čítač čítá v rozsahu 0 až 15. Stavů 0 až 9 můžeme pozorovat jak na výstupních LED čítače, tak na 7-segmentové číslovce. Stavů 10 až 15 lze pozorovat pouze na LED diodách.

Nyní provedeme zkrácení běhu čítače. Výstupy B a C čítače připojíme na vstupy hradla G<sub>1</sub>, jeho výstup pak na vstup G<sub>2</sub>. Výstup G<sub>2</sub> připojíme potom na vstup RESET čítače. Po zapnutí pozorujeme vliv úpravy, kdy po stavu 5 následuje stav 0. Je to proto, že stav 6 způsobí HIGH úroveň na vstupu RESET čítače a jeho okamžité převedení do stavu 0.

V posledním kroku nahradíme kondenzátory C<sub>1</sub> = C<sub>2</sub> = 22μF kondenzátory C<sub>3</sub> = C<sub>4</sub> = 100nF. Spoj mezi G<sub>4</sub> a vstupem čítače přerušíme tlačítkem T<sub>1</sub>. Po jeho stisknutí se čítač rozběhne 200x rychleji než v předchozím případě a změnu stavů již nejsme schopni pozorovat. Po jeho uvolnění se čítač zastaví, a na 7-segmentové číslovce se objeví náhodné číslo z rozsahu 0 až 5.



Obr.5.7 - Generátor náhodného čísla.

## 6 ESK 19 ve spolupráci s osciloskopem RTC1002

Tato kapitola popisuje pokusy, které můžeme provádět, pokud jsme si společně se stavebnicí zakoupili sadu kabelů a osciloskop RTC 1002. Kapitola předpokládá elementární znalost návodu k obsluze osciloskopu RTC 1002.

### 6.1 Doporučená kombinace

Pro rozšíření demonstračních možností stavebnice ESK 19 je vhodné vybavit každého studenta ještě osciloskopem RTC 1002, a to v následující konfiguraci:

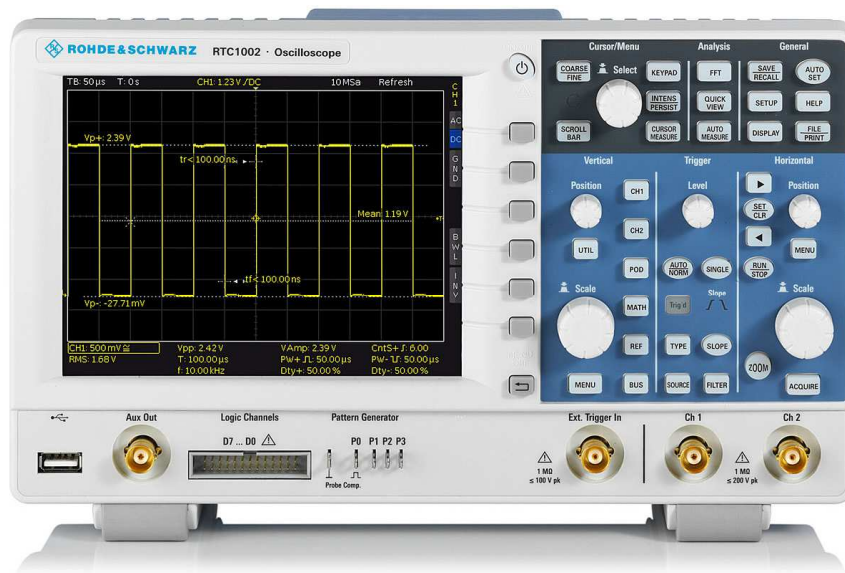
1 x Osciloskop RTC1002, základní verze, frekvenční rozsah 50 MHz  
1335.7500P02

1 x Opce generátoru RTC B-6 1335.7298.03

Verze stavebnice 5726.4533.02 (CS) a 5726.4533.03(EN) neobsahují BNC kabely pro propojení stavebnice s osciloskopem.

Verze stavebnice 5726.4533.04(CS) a 5726.4533.05(EN) obsahují následující kabely pro připojení k RTC 1002.

- 2 x koaxiální kabel BNC - PIN stavebnice 0.75 m
- 1 x koaxiální kabel BNC - BNC 0.75 m
- 1 x T spojka BNC



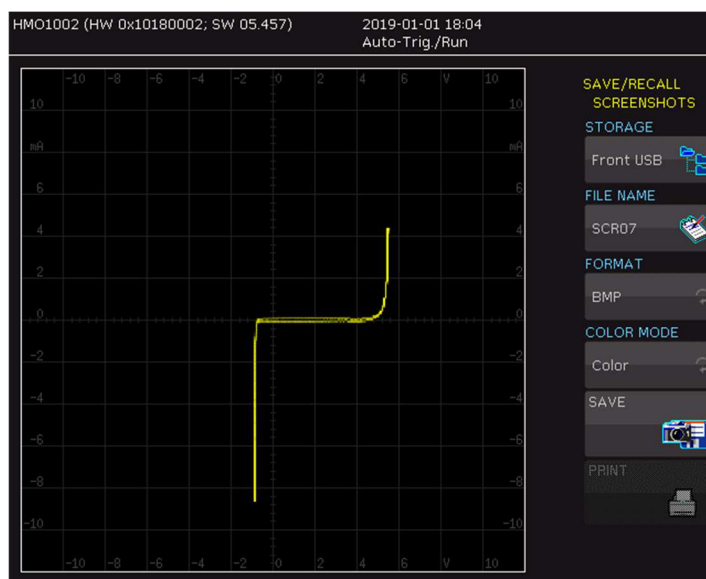
Obr. 6.1 - Čelní pohled na RTC 1002

ESK 19 je možno napájet z čelního konektoru USB

## 6.2 Pokusy s testerem komponentů

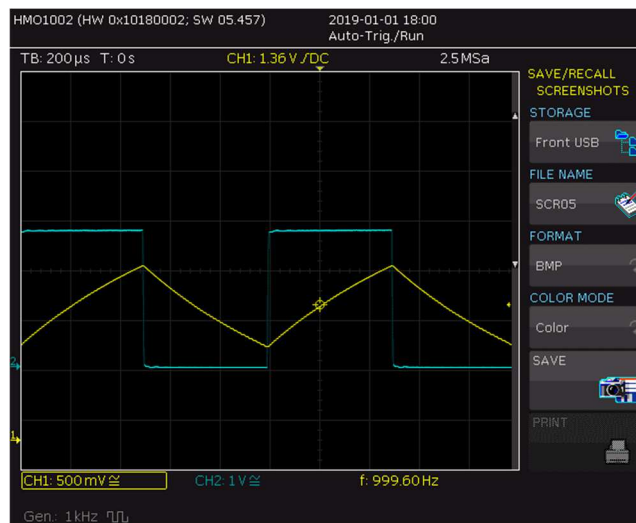
Po stisknutí tlačítka UTILITY a COMPTESTER se na obrazovce objeví svislá osa v rozsahu (-10mA, +10mA) a vodorovná osa s rozsahem (-10V, +10V) se žlutě zvýrazněnou vodorovnou osou, což je VA charakteristikou nekonečného odporu. Po připojení součástky na port AUX OUT se vykreslí VA charakteristika připojené součástky. Velmi dobře je zobrazitelná VA charakteristika všech typů diod.

Zobrazíme VA charakteristiky  $R_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  a  $D_4$



Obr.6.2 - VA charakteristika Zenerovy diody  $D_4$  5,6V

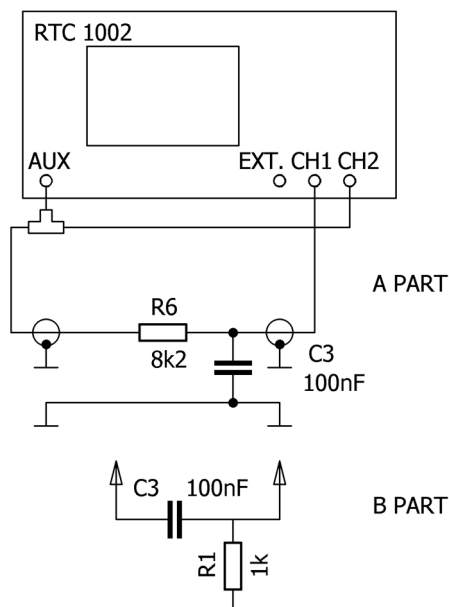
### 6.3 Přenos obdélníkového impulsu RC články



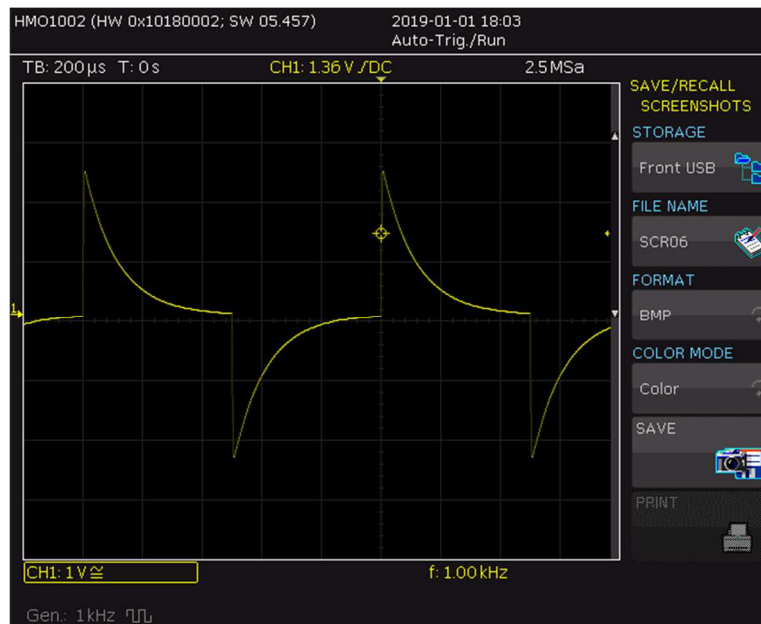
Obr. 6.3 - Přenos impulsů integračním článkem

Na generátoru funkcí (UTILITY/FUNCTION GENERATOR/RECTANGLE/AMPLITUDE 2,8V<sub>pp</sub> OFFSET 1,4V/FREQUENCY 1kHz) nastavíme obdélníkový signál s frekvencí 1kHz, offsetem 1,4V a amplitudou 2,8V. Po průchodu integračním (A) a derivačním (B) článkem (obr. 6.3, 6.4 a 6.5) pozorujeme zkreslení impulsů vlivem RC článků.

Výstupní signál odebíráme ze svorky AUX OUT. Tento signál rozbočíme spojkou T, přivedeme jej na vstup kanálu 2 (abychom viděli signál v původní nezkreslené podobě) a na vstup integračního (derivačního) článku. Na kanálu 1 pozorujeme výstupní napětí, deformované přenosem RC článku.



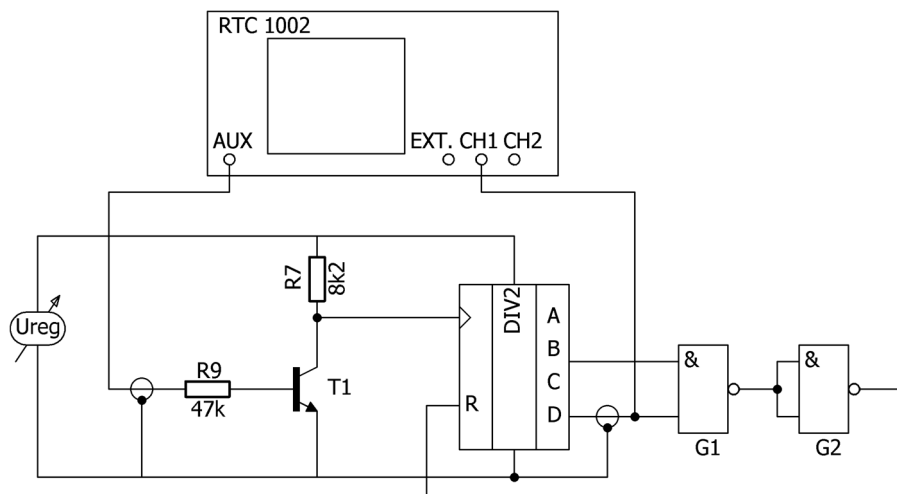
Obr 6.4 - Zapojení pro zobrazení přenosu RC článků



Obr.6.- 5 Přenos impulzů derivačním článkem

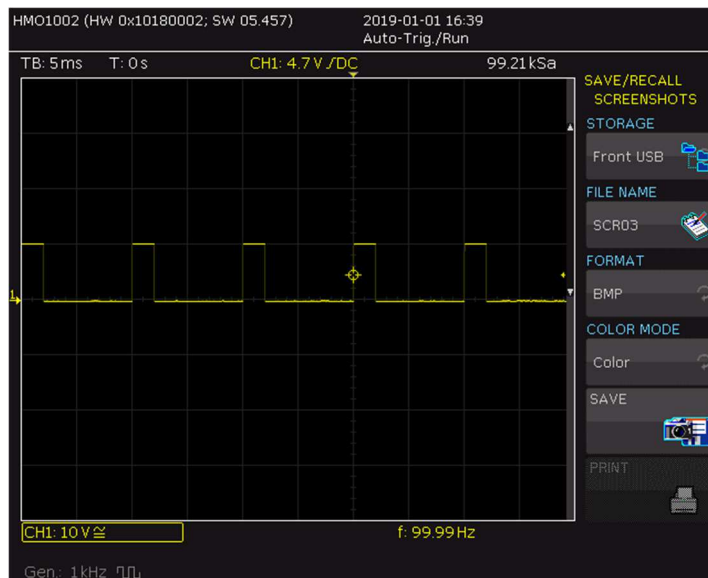
## 6.4 Dělička deseti

Jednou ze základních aplikací čítače je dělička kmitočtu. Základem čítače jsou klopné obvody. Obvod změní svůj stav (překlopí se), pokud na jeho vstup přijde vzestupná hrana impulsu. Jestliže čítače pospojujeme do série, na výstupu každého čítače je poloviční kmitočet než na vstupu. Uvedený jev můžeme pozorovat na následujícím zapojení. Navíc využijeme nulovací vstup. Po stavu 9 (1001) přichází sice stav A (1010). Díky hradlům  $G_1$  a  $G_2$  generuje stav A nulovací impuls HIGH, který čítač ihned převede do stavu 0 (0000). Prakticky to znamená, že čítač dělí 10.



Obr.6.6 - Zapojení čítače jako děličky deseti

Nastavení generátoru převezmeme z předchozí úlohy. Tranzistor je použit pro úpravu úrovně signálu pro obvody CMOS. V tomto zapojení potřebujeme  $U_{HIGH}=10V$ , a tuto úroveň není generátor schopen generovat.



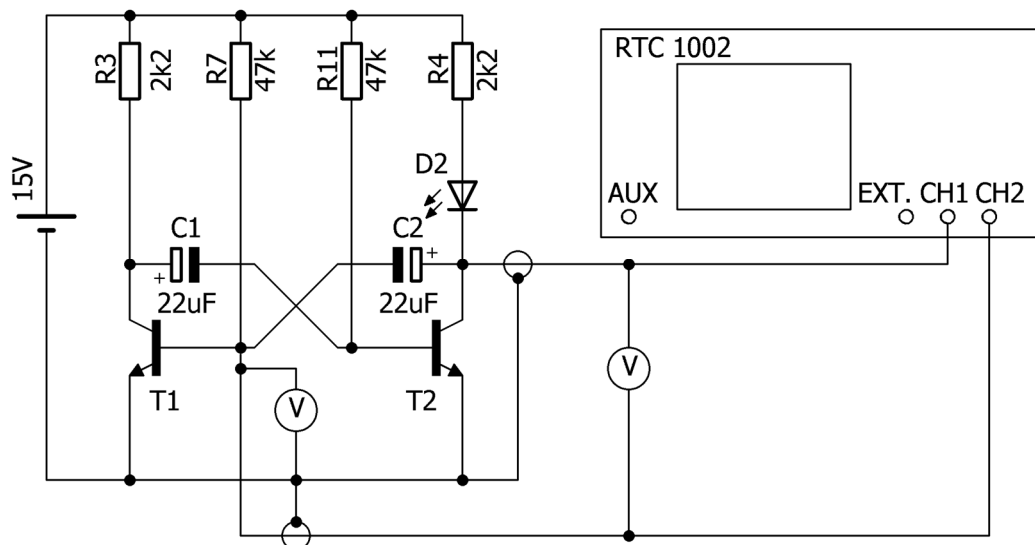
Obr.6.7- Signál 1 kHz vydělený deseti

## 6.5 RC oscilátory

**Existuje-li frekvenčně závislá kladná zpětná vazba, v níž je pro jednu frekvenci uzavřen ve smyčce zpětné vazby zisk větší než jedna, potom se systém na této frekvenci rozkmitá.**

Tento jev může působit v případě zesilovačů nebo stabilizátorů napětí negativně, protože se systém nechtěně rozkmitá. Pokud však naopak chceme pomocí elektronických obvodů generovat střídavé napětí, s výhodou tento princip využíváme. Čistě harmonického signálu ovšem není jednoduché dosáhnout. Proto se často spokojíme s obdélníkovým nebo jinak tvarově deformovaným signálem. Vzniklé střídavé napětí můžeme pozorovat osciloskopem, popřípadě jej můžeme piezoelektrickým měničem převést na zvuk.

### 6.5.1 Multivibrátor se dvěma tranzistory



Obr.6.8 - Multivibrátor (blikač)

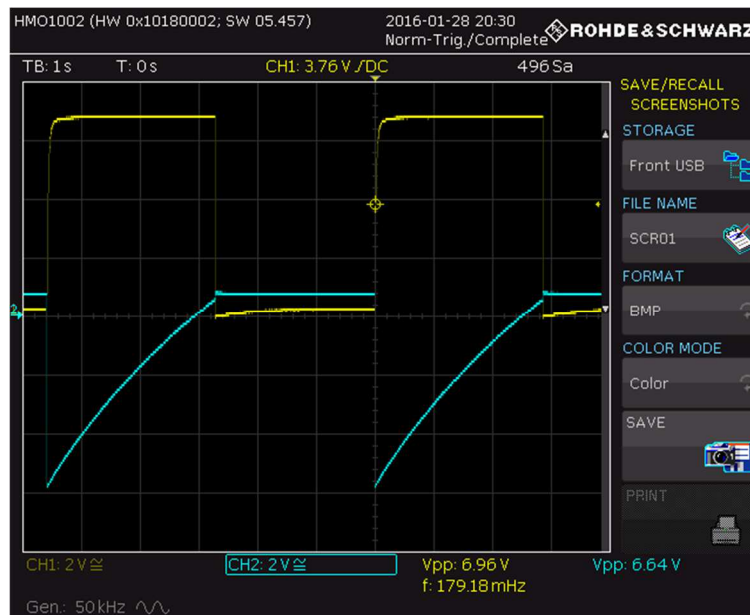
Zapojení sestává ze dvou stupňů se společným emitorem. Výstup prvního stupně je připojen ke vstupu druhého stupně a naopak. Po zapnutí vždy jeden tranzistor sepne o něco rychleji než druhý. Předpokládejme, že  $T_2$  je rychlejší a sepne dříve než  $T_1$ . Kondenzátor  $C_2$  je už tuto chvíli již nabitý, a proto se po sepnutí  $T_2$  objeví na bázi  $T_1$  záporné napětí. V důsledku toho se  $T_1$  zavře. Kondenzátor  $C_2$  se nabíjí přes  $R_7$ . Pokud je kondenzátor  $C_2$  již z poloviny nabit, objeví se na bázi  $T_1$  kladné napětí a  $T_1$  se otevře. V důsledku toho se kladně nabitý vývod  $C_1$  spojí s emitorem  $T_1$ . Na bázi  $T_2$  se objeví záporné napětí a  $T_2$  se zavře. Kondenzátor  $C_1$  se nabíjí přes  $R_{11}$  až do otevření  $T_2$ . Cyklus se periodicky opakuje.

Pokud jsme zapojili součástky správně, ihned po připojení se obvod rozkmitá (červená LED se střídavě rozsvěcí a zhasíná). Popsané průběhy je možno pozorovat díky dlouhé periodě jak na osciloskopu, tak na jednotlivých voltmetrech.

Po prostudování a sestavení obvodu vysvětleme, proč lze periodu kmitů zhruba spočítat podle následujícího vzorce, a ověříme jeho platnost.

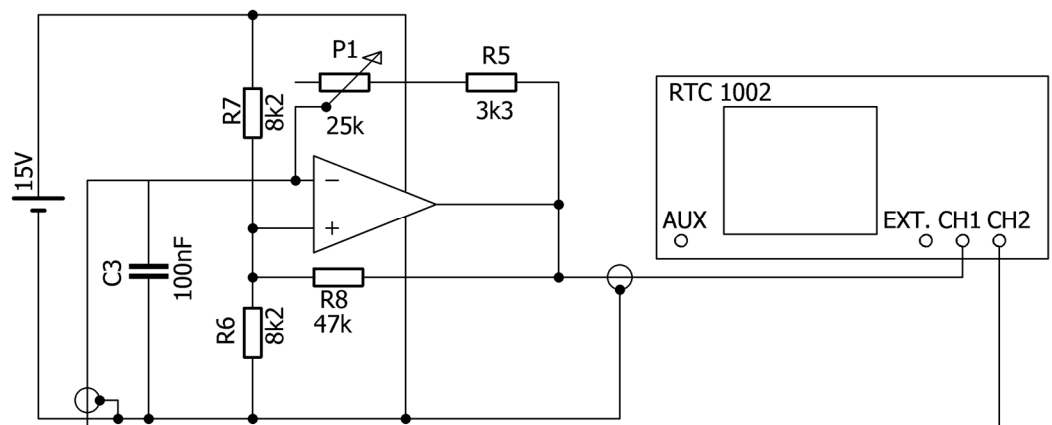
$$T = 0,7 \cdot R_7 \cdot C_2 + 0,7 \cdot R_{11} \cdot C_1$$





Obr.6.9 - Průběhy napětí na bázi (modrá) a kolektoru (žlutá) tranzistoru multivibrátoru

### 6.5.2 Multivibrátor s operačním zesilovačem a proměnnou frekvencí

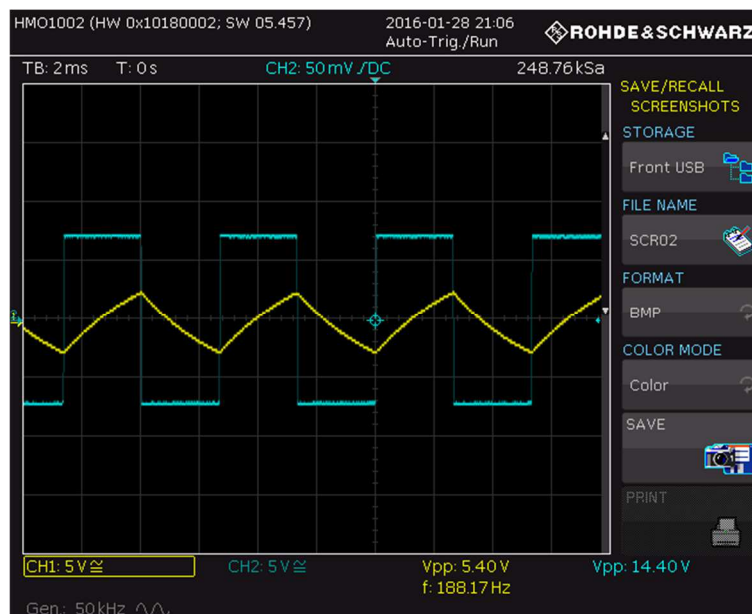


Obr. 6.10 - Multivibrátor s OZ

Tento generátor byl popsán již v kapitole 5.5. Zde odstraníme reproduktor, abychom v tichu prozkoumali jeho funkci pomocí osciloskopu.

Předpokládejme, že po zapnutí je na výstupu OZ kladné napětí. Díky děliči  $R_6$ ,  $R_7$  a  $R_8$  máme na neinvertujícím vstupu zhruba o 10% větší než poloviční napětí. Těsně po zapnutí je na kondenzátoru  $C_3$  nulové napětí. Díky nabíjení přes potenciometr  $P_1$  a rezistor  $R_5$  zanedlouho dosáhne napětí na  $C_3$  hodnoty napětí na neinvertujícím vstupu. Po jeho překročení se na výstupu OZ objeví záporné napětí. Toto napětí je sníženo o 10% vůči polovičnímu napětí. Kondenzátor se nyní začne nejdříve vybíjet. Po překlopení výstupního napětí OZ je zahájeno nabíjení kondenzátoru. Tak vznikne periodické střídavé napětí.

Po prostudování a sestavení obvodu ověříme napětí na kondenzátoru a na výstupu OZ. Osciloskopem změříme frekvenci kmitů.



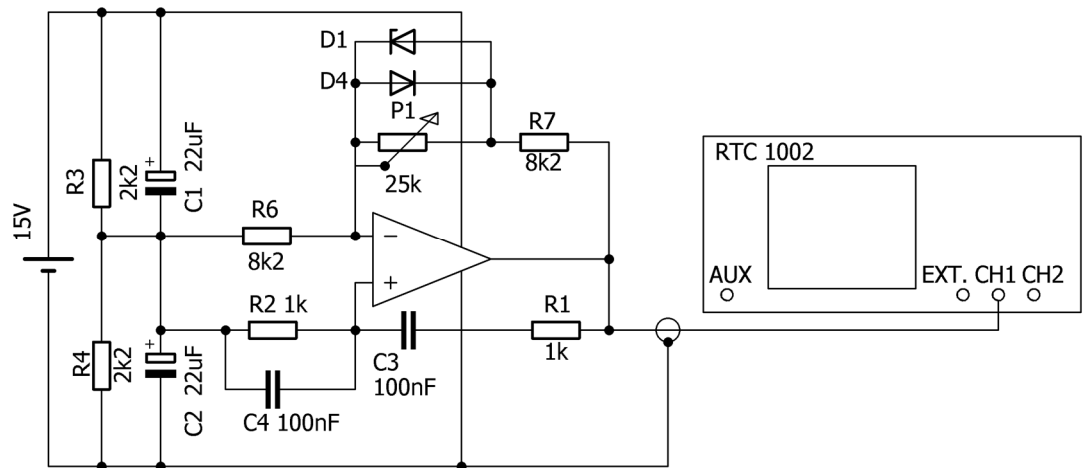
Obr.6.11 Napětí na kondenzátoru a výstupu OZ multivibrátoru

### 6.5.3 Wienův oscilátor

Tento oscilátor generuje za určitých podmínek napětí čistě sinového průběhu. U oscilátoru obdélníkových kmitů byla sice podmínka o kladné vazbě splněna také, avšak její funkci jsme pochopili spíše intuitivně. Zde vidíme, že se jedná o zesilovač s proměnným ziskem  $A = 2 \dots 5$ , jenž závisí na nastavení  $P_1$ . V kladné zpětné vazbě je tzv. Wienův členek z odporů  $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$  a kondenzátorů  $C_3 = C_4 = 100\text{nF}$ . Pokud bychom měřili přenos z výstupu OZ na neinvertující vstup, zjistíme na kmitočtu

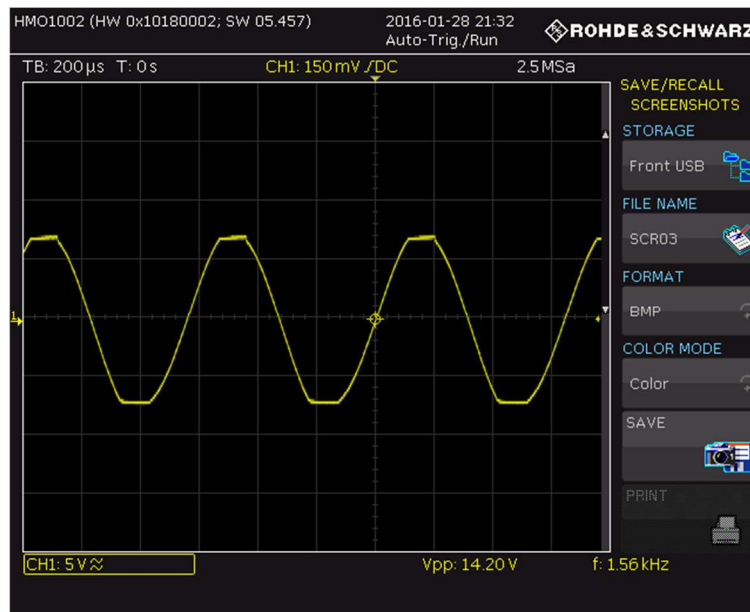
$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

fázový posuv 0 a zeslabení článku vyjádřené číslem 0,33. Pokud postavíme zapojení podle obr.6.12 a nastavíme potenciometrem hodnotu zesílení 3, zapojení by mělo produkovat čistě sinusové napětí. Obvod nejprve postavíme bez diod  $D_1$  a  $D_4$ . Odporů  $R_3$  a  $R_4$  spolu s kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  tvoří umělou zemi v polovině napájecího napětí.



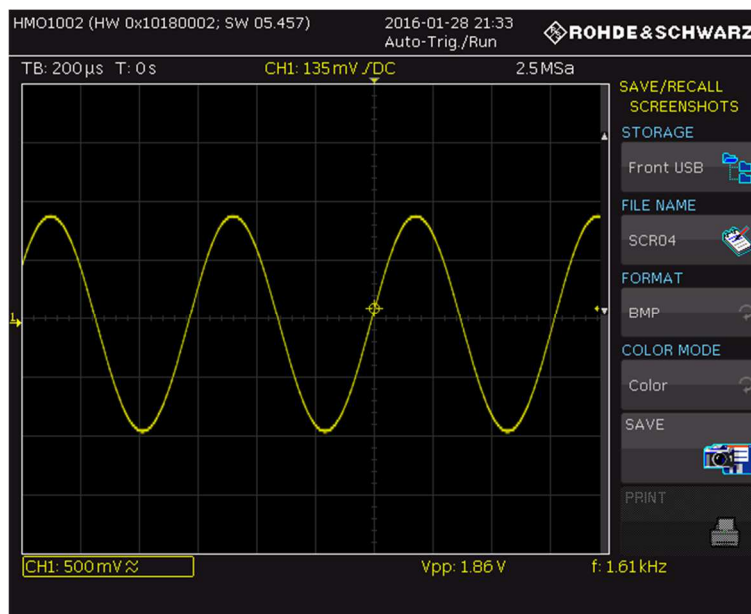
Obr.6.12 - Wienův oscilátor

Zkušenost ukazuje, že nastavení čistě sinusového signálu pomocí potenciometru je poměrně obtížné. Amplituda má buď tendenci růst (a kvůli omezeného rozsahu OZ začíná být zkreslena) nebo pomalu zaniká. To je důsledek chybějící stabilizace amplitudy.



Obr.6.13 - Zkreslený nestabilizovaný výstupní signál oscilátoru

Připojíme-li nyní obě diody (Zenerova dioda  $D_4$  je nyní použita jako obyčejná dioda) a nastavíme-li zesílení, které oscilátor spolehlivě rozkmitá, ustálí se amplituda na výrazně nižší úrovni. To je dáno vlivem diod. Signály nízké úrovně diody neovlivní, oscilace nasadí a jejich amplituda vzrůstá. Naroste-li amplituda na potenciometru  $P_1$  na více než  $0,6V_{pp}$ , vliv diod se začne uplatňovat, zesílení v závislosti na amplitudě klesá, a amplituda se stabilizuje. Díky VA charakteristice diod je výsledný signál téměř sinusový.



Obr.6.14- Výstupní signál z oscilátoru po stabilizaci amplitudy diodami

## 7 Technická data stavebnice ESK 19

### 7.1 Napájení

- USB adapter Vigon, 50/60Hz, 0.15A, Výstup 5V DC/1.2 A
- 3 x Baterie AA LR6 Alkalická
- USB výstup osciloskopu RTC1002
  
- Napájecí proud -  $I \leq 0.5A$
- Vnitřní zdroj I. -  $U_{out} = 15V$ ,  $R_i = 70 \dots 220\Omega$
- Vnitřní zdroj II. - regulovaný  $U_{out} = 0 \dots 12V$ ,  $I_{outmax} = 20mA$
- Automatické vypnutí -  $T = 40min$
- Doba provozu na plně nabitě baterie - 5 hodin
- Indikace vybití baterie - Ano, asi při 2/3 kapacity, přestává svítit indikační LED

### 7.2 Ochrana součástek před zničením

- Práce se stavebnicí ESK 19 znamená dotýkat se součástek, které normálně mají nutnost ESD zacházení (zacházení v prostředí se zaručenou minimalizací elektrostatického náboje). Stavebnici je ale dovoleno užívat v normálním prostředí. Abychom zamezili riziku hromadění elektrického náboje na vstupech integrovaných obvodů CMOS, všechny tyto vstupy jsou opatřeny rezistory 470k $\Omega$ , spojující je se zemní svorku GND.
- Další riziko poškození integrovaného obvodu je při připojení záporného napětí na svorku  $U_{cc}$ , resp. kladného na svorku GND. Všechny napájecí zdroje stavebnice a všechny integrované obvody mají jednu jedinou spojenou společnou svorku GND a jsou spolu na této svorce galvanicky spojeny Tak je zaručeno, že na  $U_{cc}$  vstup není možno připojit záporné napětí.
- Riziko proudového nebo tepelného přetížení součástky je vyřešeno proudovým omezením zdrojů. Neregulovaný zdroj má proudovou limitaci v důsledku vnitřního odporu 70 mA, regulovaný pak 20 mA.

**Přesto doporučujeme nejprve sestavit pokusný obvod při vypnutém napájení a zapnout napájení teprve po kontrole zapojení.**

## 8 Seznam literatury

### 8.1 Seznam doporučené literatury

1. Miloslav Bezděk, ELEKTRONIKA I., Koop nakladatelství, ISBN 978-80-7232-365-4
2. Jan Klesl, ELEKTRONIKA I - analogová technika, nakladatelství BEN, ISBN 978-80-7300-206-0
3. Jan Klesl, ELEKTRONIKA III - číslicová technika, nakladatelství BEN, ISBN 978-80-7300-208-0
4. Robert Láníček, Elektronika - obvody-součástky-děje, nakladatelství BEN, ISBN 80-86056-25-2
5. Vilém Srovnal, Elektrotechnická měření - Měřící přístroje, nakladatelství Informatorium, ISBN 978-80-7333-062-0