

# 1 Elektrické obvody

## 1.1 Úvod

Alespoň určitá schopnost návrhu elektrického obvodu musí patřit mezi základní vědomosti absolventa technického oboru se zaměřením na elektrotechniku. Elektrické obvody lze třídit z mnoha hledisek. Podle použitých součástek je lze rozdělit například na aktivní, tj. ty které obsahují zdroje energie a pasivní, tj. ty které energii pouze spotřebovávají. Dále pak na vysokofrekvenční, nízkofrekvenční, lineární, nelineární atd.

V tomto cvičení je pozornost zaměřena na pasivní děliče napětí. Ačkoliv se jedná o velice jednoduchý stavební blok elektrických obvodů, patří také mezi ty nejpoužívanější. Prakticky v žádném elektronickém obvodu je nelze vynechat. Lze se s nimi setkat ve zpětných vazbách zesilovačů, při nastavování pracovních bodů tranzistorů, lze jimi impedančně přizpůsobovat výstupy zdrojů napětí, používají se v sondách osciloskopů atd.

### 1.1.1 Dělič napětí

Pasivní dělič napětí je realizován dvěma rezistory. Vstupní napájecí napětí je rozděleno v podobě úbytků napětí v poměru daném hodnotami obou rezistorů. Výstupní napětí se obvykle získává pouze z rezistoru se společnou zemí s napájecím zdrojem. Vztah pro dělicí poměr lze získat z ohmova zákona:

$$U_2 = R_2 \cdot I = R_2 \cdot \frac{U_1}{R_1 + R_2} \implies \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$\frac{R_1 - \frac{j}{\omega \cdot C_1}}{R_2 - \frac{j}{\omega \cdot C_2}} = K \quad (2)$$

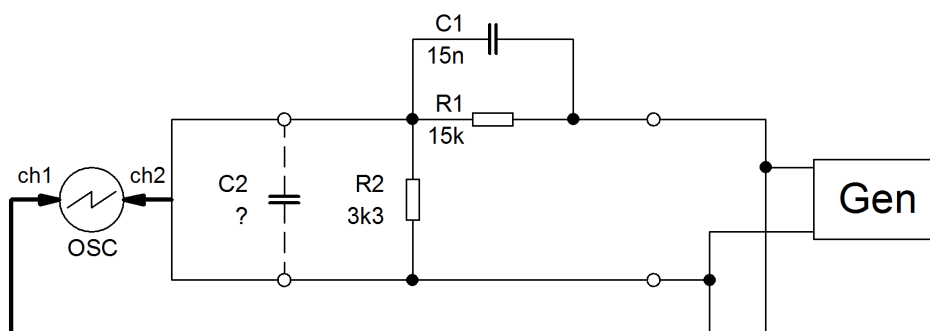
## 1.2 Frekvenční přizpůsobení pasivního děliče napětí

### 1.2.1 Úkol měření

- Pro daný frekvenčně nepřizpůsobený dělič spočítejte vhodnou hodnotu kapacity výstupního kondenzátoru, kterým zajistíte konstantní dělicí poměr výstupního napětí v širokém rozsahu frekvencí.
- Svůj návrh ověřte měřením na přípravku pro vstupní napětí obdélníkového průběhu o frekvenci 500 Hz. Zaznamenejte výstupní průběh napětí pro překompenzovaný, nedostatečně kompenzovaný a frekvenčně kompenzovaný dělič napětí.
- Pomocí osciloskopu a generátoru sinusového napětí změřte frekvenční závislost výstupního napětí děliče po připojení kondenzátorů o hodnotách 150 nF, 68 nF a 33 nF. Měření proveďte pro rozsah frekvencí 100 Hz až 10 kHz.

Vysvětlete v závěru rozdíly mezi frekvenčními charakteristikami.

### 1.2.2 Schéma zapojení



### 1.2.3 Postup měření

- ad a)** Úkol lze vyřešit více způsoby. Hodnotu vhodné kapacity lze určit výpočtem úpravou vztahu (2). Tak získáme přímo závislost mezi jednotlivými prvky obvodu děliče. Druhou možností je odzkoušet jednotlivé měřené vzorky kondenzátorů připojováním na výstup děliče při napájení děliče obdélníkovým signálem. Pro správnou hodnotu kapacity bude výstupní obdélníkový signál nezkrácený. Při znalosti správné hodnoty kapacity pak lze dodatečně snadno vyvodit její závislost na ostatních prvcích obvodu.
- ad b)** Při ověřování připojte 1. kanál osciloskopu na vstup funkčního generátoru a 2. kanál na výstup děliče. Generátor připojte na vstup děliče a nastavte na něm obdélníkový průběh o amplitudě 15 V a frekvenci 500 Hz. Jednotlivé výstupní průběhy obdélníkových signálů zaznamenejte na paměťové medium nebo překreslete do sešitu.
- ad c)** Na funkčním generátoru nastavte výstupní sinusový průběh. Zapojení osciloskopu a generátoru je stejné jako v předchozím úkolu. Pomocí osciloskopu měřte amplitudu vstupního (nemění se) a výstupního sinusového průběhu. K měření amplitudy lze využít rastru stínítka osciloskopu nebo kursorů (seznamte se s uvedenými možnostmi). Frekvenci v daném rozsahu měňte s logaritmickým krokem 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, ..., 10 kHz. Části rychlých změn proměřte s menším krokem. Napěťový přenos určete jako poměr výstupního ke vstupnímu napětí a vynesete jej do společného grafu pro jednotlivé kondenzátory připojené k výstupu.

## 1.3 Impedanční přizpůsobení vstupu zesilovače

### 1.3.1 Úkol měření

- a) Spojení generátoru a kompenzovaného děliče z předchozí části měření uvažujte jako zdroj obdélníkového napětí s definovaným vnitřním odporem a sériovou kapacitou. Vrcholovou hodnotu obdélníkového průběhu napětí nastavte na generátoru na 5 V. Určete (a změřte):
- vrcholovou hodnotu napětí naprázdno - spočtete a ověříte osciloskopem nebo voltmetrem při napájení stejnosměrným zdrojem 5 V,
  - vnitřní (výstupní) odpor děliče - spočtete a ověříte pomocí měření se stejnosměrným zdrojem,
  - vnitřní (výstupní) sériovou kapacitu děliče - pouze spočtete.

Do sešitu zakreslete náhradní schéma tohoto zdroje s určenými hodnotami prvků.

- b) Upravený zdroj propojte s přípravkem tranzistorového zesilovače  $A_U = 20$  dB. Navrhněte a zapojte dělič v báзовém obvodu, kterým nastavíte stejnosměrný pracovní bod tranzistoru a zároveň definujete vstupní odpor zesilovače. Vstupní odpor zesilovače zvolte tak, aby po propojení s děličem byl na výstup zesilovače obdélníkový signál o vrcholové hodnotě 4 V, 3 V nebo 2 V (určí vedoucí cvičení). Určitě bude třeba upravit paralelní kapacitu děliče, proveďte. Svůj návrh popište do sešitu a jeho správnost ověřte měřením pomocí osciloskopu.

### 1.3.2 Schéma zapojení

### 1.3.3 Postup měření

### 1.3.4 Použitý materiál

1. Rezistory řady hodnot E12, 1 k $\Omega$  - 82 k $\Omega$
2. Foliové kondenzátory řady hodnot E12, 10 nF - 330 nF
3. Přípravek tranzistorového zesilovače

## 2 Ideální součástky elektronických obvodů

### 2.1 Úvod

Při návrhu elektrických obvodů zpravidla jednotlivé obvodové prvky považujeme za ideální a vyjma polovodičových součástek také za lineární. Toto cvičení se zaměřuje na stanovení frekvenčních vlastností pasivních součástek, jakými jsou rezistor, cívka a kondenzátor. Přitom předpokládáme, že uvedené prvky vykazují pouze svůj hlavní charakter a neuvažujeme jejich parazitní vlastnosti, jako například svodový odpor u kondenzátoru nebo odpor vinutí u cívky.

#### 2.1.1 Fázorový diagram

## **2.2 Měření impedance a frekvenční vlastnosti obvodových prvků**

### **2.2.1 Úkol měření**

- a) Pomocí funkčního generátoru a osciloskopu identifikujte typ obvodového prvku, který je připojen uvnitř měřeného přípravku mezi svorkami: 2-1, 3-1, 4-1;
- b) Určete hodnoty hlavních parametrů jednotlivých prvků (R, L, C);
- c) Změřte závislosti impedancí daných prvků na frekvenci v rozsahu 200 Hz až 2 kHz.

### **2.2.2 Schéma zapojení**

### **2.2.3 Postup měření**

- ad a)** Dle schématu zapojení připojte osciloskop a funkční generátor k měřenému přípravku. Na funkčním generátoru nastavte sinusový průběh o amplitudě 5 V a frekvenci 500 Hz. Z průběhů na osciloskop u výsledujte, zda existuje kladný nebo záporný fázový posun mezi napětím a proudem. Dále změňte frekvenci na 200 Hz a 1 kHz a sledujte, zda a jak se mění amplituda měřeného proudu. Uvedené zopakujte pro všechny impedance.
- ad b)** Z hodnot z předešlého měření nebo dalším měřením stanovte z Ohmova zákona hodnotu impedance. Podle typu obvodového prvku dopočítejte hlavní parametr:
- ad c)** Zapojení zůstává nezměněno. Změřte závislost amplitudy (příp. efektivní hodnoty) proudu daným prvkem a napětí (nemění se) na frekvenci v rozsahu 200 Hz až 2 kHz. Frekvenci nastavujte pomocí funkčního generátoru. Ze změřených obvodových veličin určete podle Ohmova zákona impedance a vynesete je do společného grafu v závislosti na frekvenci.

### **2.2.4 Měřené vzorky**

1. Black box - přípravek RLC s nepopsanými vstupy

## 2.3 Měření RLC - fázorové diagramy

### 2.3.1 Úkol měření

Na osciloskopu zobrazte průběhy napětí a proudu u jednotlivých spojení pasivních obvodových prvků:

- obv. 1. rezistor samostatně,
- obv. 2. kapacitor samostatně,
- obv. 3. induktor samostatně,
- obv. 4. sériové spojení kapacitoru a rezistoru,
- obv. 5. sériové spojení induktoru a kapacitoru,
- obv. 6. paralelní spojení rezistoru a kapacitoru,
- obv. 7. sériové spojení induktoru a kapacitoru,
- obv. 8. paralelní spojení induktoru a kapacitoru,

Naměřené obvodové veličiny zakreslete do vektorových diagramů. U obvodů obsahujících spojení induktoru a kapacitoru vypočtete rezonanční frekvenci. Zjistěte, zda jsou tyto obvody v rezonanci. Hodnoty hlavního parametru jednotlivých obvodových prvků určete ohmovou metodou tak, jak byly určovány v předcházejícím úkolu měření v bodě b). Získané výsledky porovnejte s měřením na RLC můstku.

### 2.3.2 Schéma zapojení

### 2.3.3 Postup měření

Jednotlivé obvody zapojujte dle schémat zapojení. Pro napájení obvodů využívejte **výhradně** připraveného zdroje vyhlazené sinusovky o frekvenci 50 Hz. Tento zdroj má měkkou výstupní charakteristiku (nenulový vnitřní odpor), jelikož některá obvodová spojení vytvářejí velmi malou výslednou impedanci. Napájení jiným zdrojem (s tvrdou charakteristikou) může způsobit jeho zničení nebo destrukci součástek.

Každý zde měřený obvod má jednu společnou obvodovou veličinu. V případě sériových spojení teče skrz všechny součástky stejný proud, u paralelních spojení je na všech součástkách shodné napětí. Tuto společnou veličinu vždy uvažujte jako referenční (fázový úhel je  $\varphi = 0^\circ$ , tj. fázor ukazuje ve směru reálné osy). Vůči referenční hodnotě obvodové veličiny měřte fázové posuny ostatních veličin.

**POZOR:** Při zobrazování průběhů by měly být sondy osciloskopu umístovány ve stejném smyslu, v jakém uvažujeme tok proudu a jím vyvolané úbytky napětí (ať měření respektuje Kirchhoffovy zákony). Při prohazování konců sond může dojít k nežádoucímu posunu průběhu o  $180^\circ$ .

Fázorové diagramy vynášejte v amplitudách, tj. z osciloskopu odečítejte vždy amplitudy průběhů. Je vhodné zaznamenat si všechny naměřené hodnoty (vždy amplituda + fáze) do tabulky a pak teprve vynést jednotlivé fázorové diagramy.

### 2.3.4 Měřené vzorky

1. Drátový rezistor
2. Foliový kondenzátor
3. Cívka na jádře z magnetických plechů

## 3 Polovodičové součástky

### 3.1 Úvod

## **3.2 Měření VA charakteristik různých typů diod**

### **3.2.1 Úkol měření**

### **3.2.2 Schéma zapojení**

### **3.2.3 Postup měření**

### **3.2.4 Měřené vzorky**

1. ?
2. ?
3. ?



### **3.3 Měření stejnosměrných charakteristik tranzistoru**

#### **3.3.1 Úkol měření**

#### **3.3.2 Schéma zapojení**

#### **3.3.3 Postup měření**

#### **3.3.4 Měřené vzorky**

1. ?
2. ?
3. ?

## 4 Porovnání VA charakteristik různých typů fv článků

### 4.1 Úvod

## 4.2 Měření VA charakteristik fotovoltaických článků

### 4.2.1 Úkol měření

Změřte voltampérové charakteristiky přiložených fotovoltaických článků a určete o jaký typ článku se jedná. U každého typu článku určete:

- proud nakrátko  $I_{SC}$ ,
- napětí naprázdno  $U_{OC}$ ,
- paralelní odpor  $R_P$  reprezentující poruchy v článku,
- sériový odpor  $R_S$  reprezentující elektrické ztráty,
- bod maximálního výkonu  $MPP$  (resp.  $P_{MAX}$ ),
- činitel plnění (fill factor)  $FF$ ,
- účinnost článku  $\eta$ .

Proveďte vzájemné porovnání jednotlivých parametrů mezi různými články. Do společného grafu vynesete charakteristiky  $I = f(U)$  a  $P = f(U)$  všech testovaných článků a průběhy porovnejte.

### 4.2.2 Postup měření

Zátěž je realizována přepínatelnou odporovou kaskádou pro krystalické články a posuvným rezistorem v případě tenkovrstvého článku. S měřením začínáme v chodu naprázdno a poté postupně snižujeme odpor až do chodu nakrátko. Pro chod naprázdno rozpojíme svorky zátěže, pro chod nakrátko je zkratujeme. Odečítáme příslušné hodnoty napětí a proudu. Celé měření opakujeme pro všechny typy článků.

### 4.2.3 Měřené vzorky

1. ?
2. ?
3. ?

## 5 Nelineární rezistory

### 5.1 Úvod

V praxi se nejčastěji setkáváme s lineárními rezistory, tj. součástkami, u nichž předpokládáme konstantní velikost odporu nezávislou na vnějších podmínkách aplikace, tj. nezávislost na teplotě, frekvenci, mechanických vlivech apod. Odlišují se výkonovou zatížitelností, teplotní a frekvenční závislostí podle použitých materiálů a technologií výroby, tolerancí jmenovité hodnoty a provedením. Předpoklad konstantní velikosti odporu vyhovuje obvykle při aplikacích do frekvencí 50 kHz až 1 MHz (podle provedení). Pro vyšší frekvence je nutné uvažovat úplné náhradní schéma rezistoru s jeho reaktančními prvky.

Nelineární rezistory jsou na rozdíl od lineárních konstruovány tak, aby velikost odporu byla výrazně závislá na vnějších podmínkách, např. teplotě (termistory NTC, PTC) nebo přiloženému napětí (varistory) a pokud možno nezávisela na dalších vlivech aplikace. Vzhledem k těmto vlastnostem se využívají k měření teploty, v obvodech pro tepelnou ochranu přístrojů, strojů a zařízení, jako přepětové ochrany atd.

#### 5.1.1 Termistory

#### 5.1.2 Varistory

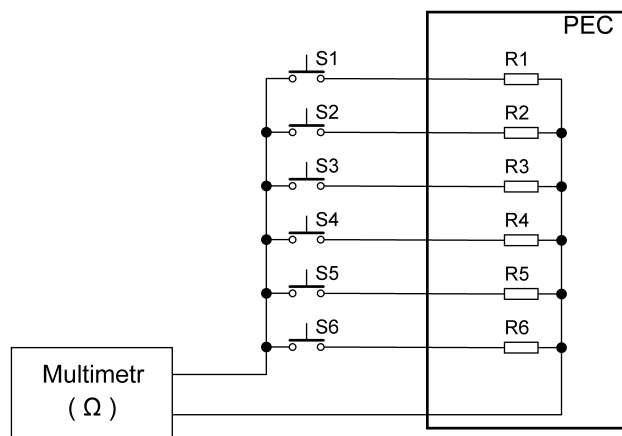
Varistor je odporový prvek, jehož odpor je závislý na přiloženém napětí.

## 5.2 Měření teplotní závislosti termistorů

### 5.2.1 Úkol měření

Změřte závislost odporu 6 vzorků rezistorů a termistorů pro změnu teploty 20 °C až 120 °C. Naměřené závislosti  $R = f(\vartheta)$  vynesete do grafu! Ověřte, zda dané charakteristiky odpovídají teoretickým vztahům (lineární závislost, exponenciální závislost apod.)

### 5.2.2 Schéma zapojení



### 5.2.3 Postup měření

Měřené vzorky jsou umístěny na destičce v pícce a vyvedeny na přepínač měřicích míst. K měření teploty slouží orientačně teploměr, který je součástí konstrukce pece. Pro přesné měření využijeme Pt odporový teploměr s lineární závislostí odporu na teplotě. Pro odpor Pt teploměru uvažujte následující vztah:

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_0)) \quad (3)$$

$R_0$  ... je odpor v  $\Omega$  při 0 °C,

$\alpha$  ... je teplotní koeficient odporu, pro platinový teploměr je  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ,

$\vartheta$  ... je teplota okolí ve °C nebo K,

$\vartheta_0$  ... je teplota ve °C nebo K, při které byl měřen odpor  $R_0$ , zde 0 °C.

### 5.2.4 Měřené vzorky

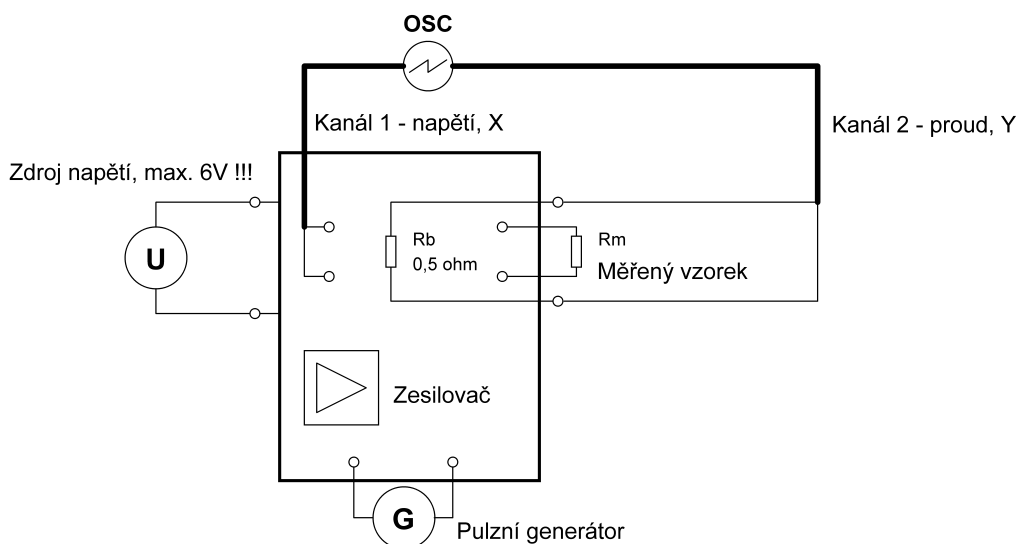
- |   |  |
|---|--|
| 1. odporový Pt teploměr 100 $\Omega$ při 0 °C | 4. rezistor uhlíkový TR 212 4,7 k $\Omega$ |
| 2. termistor NTC 100 $\Omega$                 | 5. termistor NTC 6,8 k $\Omega$            |
| 3. rezistor metaloxidový TR154 6,8 k $\Omega$ | 6. termistor PTC 60 $\Omega$               |

## 5.3 Měření VA charakteristiky varistorů

### 5.3.1 Úkol měření

Změřte voltampérovou charakteristiku 5 vzorků varistorů pomocí osciloskopu, který pracuje v režimu x/y (souřadnicový zapisovač). Ověřte, zda údaje uvedené k jednotlivým vzorkům odpovídají měření.

### 5.3.2 Schéma zapojení



### 5.3.3 Postup měření

Měřený vzorek umístíme do přípravku. Pro měření použijeme zdroj krátkých napěťových pulzů nastavitelné velikosti. Pozor při výměně vzorků - před manipulací snižte napětí na 0 V! Napětí na vzorku snímáme sondou s děličem 1:100 (nastaveno na osciloskopu – zkontrolovat!), proud je snímán jako úbytek napětí na odporu 0,5  $\Omega$  nebo pomocí proudové sondy. Sejmuté charakteristiky zaznamenejte na disketu v osciloskopu, přeneste do PC a uložte na vhodné paměťové medium pro vytisknutí do referátu z měření.

### 5.3.4 Měřené vzorky

1. 15D201K, 200 V, zelený
2. 14D220K, 22 V, modrý
3. 14D101K, 100 V, světle modrý
4. S20K20, 40 V, velký modrý
5. TR 152, 100 Ohmů, lineární rezistor

## 6 Vlastnosti vysokofrekvenčních cívek

### 6.1 Úvod

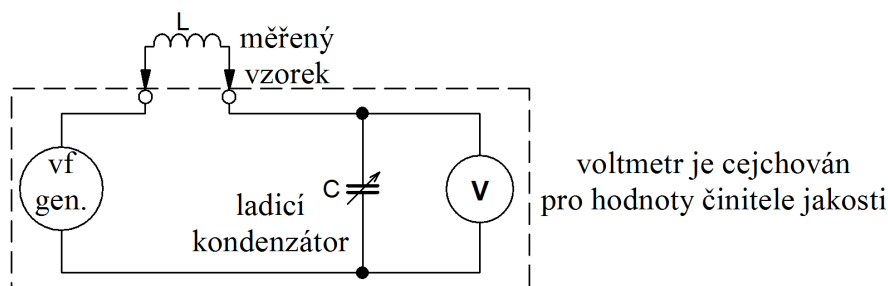
Indukčnost v elektrickém obvodu je obvykle realizována cívkou, tj. uspořádáním vodičů ve tvaru závitů. Cívka může být navinuta z vodičů obvykle kruhového průřezu do válcového nebo diskového tvaru nebo např. vytvořena jako obrazec na desce plošných spojů. Indukčnost cívky závisí na počtu závitů, rozměrech vinutí, vzájemné poloze závitů a na magnetické vodivosti prostředí, kterým se uzavírají siločáry magnetického toku cívky (vzduch, ferromagnetický materiál). Při použití cívky v obvodech s vysokými frekvencemi napětí se výrazně uplatní také odpor a kapacity vinutí, skinefekt a vř. vlastnosti magnetických materiálů.

## 6.2 Měření frekvenční závislosti činitele převýšení $Q$

### 6.2.1 Úkol měření

Zjistěte měřením kmitočtové závislosti činitele převýšení  $Q$  daných vzorků cívek vliv konstrukčního provedení (délky vinutí, rozměrů a formy vodičů) na jejich kvalitu. Naměřené hodnoty vynesete do grafu! Diskutujte vliv provedení vinutí na vlastnosti cívky. Ověřte vliv feritového jádra na vlastnosti cívek.

### 6.2.2 Schéma zapojení



### 6.2.3 Postup měření

Měřte na  $Q$ -metru v kmitočtovém rozsahu určeném nejmenší a největší kapacitou ladícího kondenzátoru přístroje (obvod s cívkou se ladí do rezonance). Kmitočtový krok volte tak, abyste u každé cívky změřili alespoň 5 hodnot rovnoměrně rozložených v kmitočtovém intervalu. Vložením feritového jádra do cívek 1 až 3 (vzorky 4-6) zjistěte změnu jejich el. parametrů.

### 6.2.4 Měřené vzorky

1. cívka  $D = 40$  mm,  $l = 27$  mm, 13 závitů vodičem  $\varnothing 1,2$  mm
2. cívka  $D = 40$  mm,  $l = 27$  mm, 27 závitů vodičem  $\varnothing 0,6$  mm
3. cívka  $D = 40$  mm,  $l = 27$  mm, 57 závitů vodičem  $\varnothing 0,3$  mm
4. cívka  $D = 40$  mm,  $l = 27$  mm, 13 závitů vodičem  $\varnothing 1,2$  mm, feritové jádro z mat. N1
5. cívka  $D = 40$  mm,  $l = 27$  mm, 27 závitů vodičem  $\varnothing 0,6$  mm, feritové jádro z mat. N1
6. cívka  $D = 40$  mm,  $l = 27$  mm, 57 závitů vodičem  $\varnothing 0,3$  mm, feritové jádro z mat. N1
7. cívka MESC (GES Electronic),  $10 \mu\text{H}$ , feritové jádro tyčinka
8. cívka 09P (GM Electronic),  $560 \mu\text{H}$ , feritové jádro cívka



## 6.3 Měření frekvenční závislosti indukčnosti $L_S$ a činitele převýšení $Q$ vzorků na feritových jádrech

### 6.3.1 Úkol měření

Změřte sériovou indukčnost  $L_S$  a činitel převýšení  $Q$  v závislosti na frekvenci. Najděte frekvenci pro maximální hodnotu  $Q$  a frekvenci vlastní rezonance  $f_r$ . Měření proveďte pomocí LCR metru HP4284A.

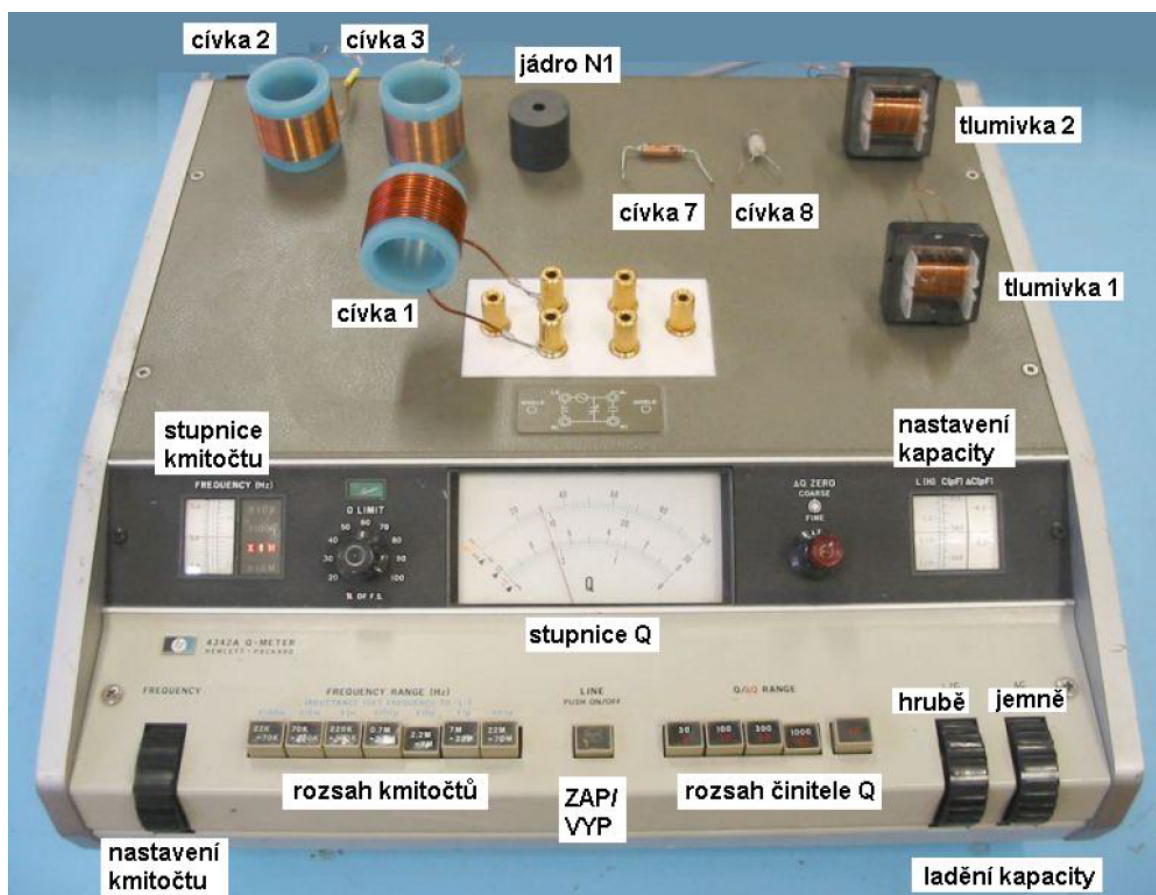
### 6.3.2 Postup měření

Měřte na Q-metru v kmitočtovém rozsahu určeném nejmenší a největší kapacitou ladícího kondenzátoru přístroje (obvod s cívkou se ladí do rezonance). Kmitočtový krok volte tak, abyste u každé cívky změřili alespoň 5 hodnot rovnoměrně rozložených v kmitočtovém intervalu. Vložením feritového jádra do cívek 1 až 3 (vzorky 4-6) zjistíte změnu jejich el. parametrů.

### 6.3.3 Měřené vzorky

1. tlumivka 3,7 mH (feritové jádro obdélníkové)
2. tlumivka 600  $\mu$ H (feritové jádro obdélníkové)

## 6.4 Obrázková příloha



## 7 Feroelektrické kondenzátory

### 7.1 Úvod

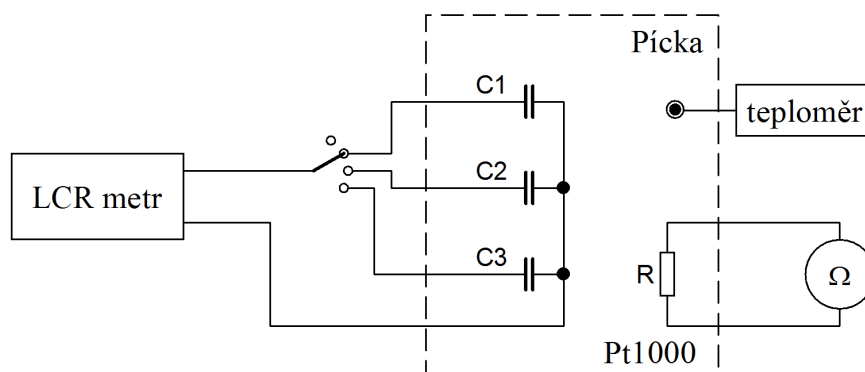
Kondenzátor je součástka, pomocí níž v elektrickém obvodu realizujeme kapacitu. Podobně jako ostatní součástky vykazuje řadu vedlejších závislostí (indukčnost, sériový a paralelní odpor, teplotní a napěťovou závislost). Hodnota kapacity  $C$  závisí, jak známo, na ploše elektrod ( $S$ ), dielektrické konstantě ( $\epsilon$ ) a nepřímo na vzdálenosti elektrod ( $d$ ). Z toho vycházejí odlišné konstrukce kondenzátorů (plošné - např. slídové, svitkové, keramické, elektrolytické). Požadavek na minimální rozměry předpokládá použití materiálů dielektrika s vysokou poměrnou dielektrickou konstantou (tzv. feroelektrika). Tyto materiály jsou však při vyšších teplotách značně teplotně závislé a jejich  $\epsilon_r$  při vyšší teplotě rychle klesá.

## 7.2 Měření teplotní závislosti kapacity a ztrátového činitele vybraných vzorků kondenzátorů

### 7.2.1 Úkol měření

Změřte závislost kapacity  $C$  a ztrátového činitele  $D$  u tří vzorků keramických kondenzátorů s odlišným dielektrikem na teplotě  $T$  pro teploty 20 °C až 120 °C. Závislosti  $C = f(T)$ ,  $D = g(T)$  vynesete do grafu.

### 7.2.2 Schéma zapojení



### 7.2.3 Postup měření

Měřené vzorky jsou umístěny na destičce v píce a vyvedeny na přepínač měřicích míst. K měření teploty slouží orientačně dotykový teploměr zasazený do měrné jímky na tělese pícky. Kapacitu vzorků a ztrátový činitel měříme RLC metrem. K přesnému změření teploty slouží odporový teploměr (čidlo Pt1000,  $R_0 = 1008 \Omega$  při 0 °C,  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ), jehož odpor měříme pomocí multimetru. Teplotu vypočteme z údajů uvedených výše v návodu a za předpokladu lineární závislosti mezi hodnotou odporu a teplotou:

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_0)) \quad (4)$$

$R_0$  ... je odpor v  $\Omega$  při 0 °C,

$\alpha$  ... je teplotní koeficient odporu, pro platinový teploměr je  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ,

$\vartheta$  ... je teplota okolí ve °C nebo K,

$\vartheta_0$  ... je teplota ve °C nebo K, při které byl měřen odpor  $R_0$ , zde 0 °C.

### 7.2.4 Měřené vzorky

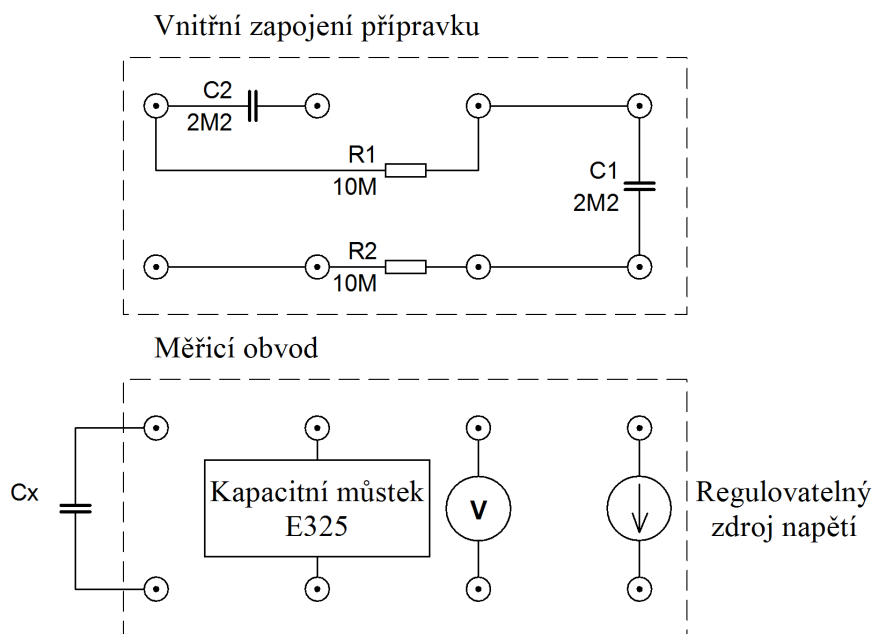
1. keramický kondenzátor 100 nF, hmota X7R
2. keramický kondenzátor 150 nF, hmota Z5U
3. keramický kondenzátor 150 nF, hmota Y5VV

## 7.3 Měření napěťové závislosti kapacity vybraných vzorků kondenzátorů

### 7.3.1 Úkol měření

Změřte závislost kapacity tří vzorků keramických kondenzátorů na velikosti přiloženého stejnosměrného napětí. Závislost  $C = f(U)$  vynesete do grafu.

### 7.3.2 Schéma zapojení



### 7.3.3 Postup měření

Měřené vzorky postupně zapojujeme na svorky „ $C_x$ “ měřicího přípravku, který umožňuje oddělení přiloženého napětí (z bateriového DC zdroje) a měřicího malého střídavého napětí, které využíváme pro měření kapacity. Při měření dbáme na to, aby nebylo překročeno jmenovité provozní napětí vzorku.

### 7.3.4 Měřené vzorky

1. keramický kondenzátor TK666, 40 V, 100 nF, hmota Supermit (kotoučový, hnědý)
2. keramický kondenzátor 4H30, 40 V, 33 nF (zelený)
3. svitkový kondenzátor CF2, 63 V, 100 nF, tereftalátový (žlutý)

## 7.4 Měření uvolnění náboje feroelektrického kondenzátoru

V objemu dielektrika feroelektrického kondenzátoru je obecně vždy vázán malý zbytkový náboj  $Q_1$ . Jemu odpovídá nízké napětí  $U_1$  na svorkách kondenzátoru, které je dáno rovnicí:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} \quad (5)$$

Při zvýšení teploty dochází u feroelektrik k výraznému zmenšení jejich kapacity (z  $C_1$  na  $C_2$ ) díky zmenšení relativní permitivity z  $\epsilon_{r1}$  na  $\epsilon_{r2}$ . Aby zůstal zachován zbytkový náboj ( $Q_1 = Q_2$ ), musí na kondenzátoru výrazně vzrůst napětí ( $U_2$ ). V ideálním případě platí, že vzrůst napětí ( $U_2/U_1$ ) je roven změně permitivity ( $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ ).

### 7.4.1 Úkol měření

Ověřte uvolnění elektrického náboje u předloženého vzorku kondenzátoru z feroelektrického materiálu.

### 7.4.2 Postup měření

Kondenzátor připojený k elektrostatickému voltmetru nabijte na plné napětí bateriového zdroje (asi 120 V). Kondenzátor vybijte a po chvíli ohřejte v olejové lázni na cca 150 °C. Odečtěte maximální napětí kondenzátoru.

## 8 Vlastnosti kondenzátorů a rezistorů při kmitočtech do 1 MHz

### 8.1 Úvod

## 8.2 Kmitočtová závislost rezistorů

### 8.2.1 Úkol měření

Pro zadané vzorky rezistorů změřte závislost impedance (absolutní hodnoty  $|Z|$ , fáze  $\varphi$ ) nebo jiných ekvivalentních složek ( $R$ ,  $X$ ) vyjadřujících komplexní impedanci rezistoru na kmitočtu. Naměřené hodnoty vynesete do grafu, volte vhodné (logaritmické) měřítko na kmitočtové ose!

### 8.2.2 Schéma zapojení

### 8.2.3 Postup měření

Měření proveďte v rozsahu kmitočtů od cca 50 Hz až do 1 MHz s použitím přístroje HP 4284A. Volte vhodný krok, abyste pokryli rovnoměrně všechny měřené řady (Hz, kHz, MHz). Pro vynášení v logaritmické měřítko je vhodný krok 1-2-5-10 nebo 1-3-10. Přístroj umožňuje nastavení kmitočtu jen s určitým krokem z předvolené řady hodnot. Dbejte, aby při upnutí součástek byl minimalizován vliv jejich přívodů (tj. připojovat krátkými přívody).

U odporů tzv. malých hodnot (řádově jednotky až desítky  $\Omega$ ) vyhodnoťte sériovou indukčnost  $L_S$  (z měření impedance), u odporů tzv. velkých hodnot (řádově od  $k\Omega$  výše) paralelní kapacitu  $C_P$ . Povšimněte si též chování vykompenzovaných odporů s hodnotami rezistivity kolem 300  $\Omega$ . Při závěrečném hodnocení se věnujte i vlivu konstrukce rezistorů na jejich chování.

### 8.2.4 Měřené vzorky

1. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10  $k\Omega$  rezistor metalizovaný, 0,6 W, velikost 0207
2. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10  $k\Omega$  rezistor metalizovaný, 2 W, velikost 0414
3. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10  $k\Omega$  rezistor drátový, 5 W, keramické pouzdro

## 8.3 Kmitočtová závislost kondenzátorů

### 8.3.1 Úkol měření

Pro zadané vzorky kondenzátorů změřte závislost impedance (absolutní hodnoty  $|Z|$ , fáze  $\varphi$ ) nebo kapacity  $C$  a ztrátového činitele  $D$  na kmitočtu. Naměřené hodnoty vynesete do grafu, volte vhodné (logaritmické) měřítko na kmitočtové ose!

### 8.3.2 Schéma zapojení

### 8.3.3 Postup měření

Měření proveďte v rozsahu kmitočtů od cca 50 Hz až do 1 MHz s použitím přístroje HP 4284A. Volte vhodný krok, abyste pokryli rovnoměrně všechny měřené řady (Hz, kHz, MHz). Pro vynášení v logaritmické měřítko je vhodný krok 1-2-5-10 nebo 1-3-10. Přístroj umožňuje nastavení kmitočtu jen s určitým krokem z předvolené řady hodnot. Dbejte, aby při upnutí součástek byl minimalizován vliv jejich přívodů (tj. připojovat krátkými přívody). Povšimněte si výrazné induktivní složky u svitkových kondenzátorů. Pokuste se porovnat jednotlivé technologie kondenzátorů mezi sebou z pohledu jejich frekvenční charakteristiky.

### 8.3.4 Měřené vzorky

1. 1 nF/10 nF/68 nF miniaturní keramické
2. 10 nF plastový s radiálními vývody WIMA
3. 10 nF plastový s axiálními vývody
4. 330  $\mu F$ /25 V elektrolytický hliníkový
5. 22  $\mu F$ /10 V elektrolytický tantalový

## 8.4 Obrázková příloha



## 9 Vlastnosti kondenzátorů a rezistorů při kmitočtech nad 1 MHz

### 9.1 Úvod

Rezistory a kapacitory nejsou ideální součástky, takže mimo svou dominantní vlastnost (odpor, kapacita) vykazují ještě parazitní vlastnosti (indukčnost, kapacitu, sériový a paralelní odpor). Ty ovlivňují jejich vlastnosti, a to především v obvodech s vyššími frekvencemi. Měření slouží k ověření kmitočtového rozsahu, v němž součástka vykazuje převážně svou dominantní vlastnost. Vlastnosti jednotlivých vzorků závisí na jejich rozměrech, použitých materiálech, technologii výroby atd.

## 9.2 Kmitočtová závislost rezistorů

### 9.2.1 Úkol měření

Pro zadané vzorky rezistorů změřte závislost absolutní hodnoty impedance a fáze ( $|Z|$ ,  $\varphi$ ) na kmitočtu. Naměřené hodnoty vynesete do grafu. V závěru diskutujte vliv hodnoty a technologie rezistoru na naměřené frekvenční charakteristiky.

### 9.2.2 Postup měření

Měření proveďte v rozsahu frekvencí 1 MHz až 100 MHz s použitím přístroje Agilent E5062A. Vyhodnoťte, jak se jednotlivé vzorky projevují v závislosti na jejich hodnotě a technologii. Zaznamenejte rezonanční frekvence jednotlivých součástek.

### 9.2.3 Měřené vzorky

1. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10 k $\Omega$  rezistor metalizovaný, 0,6 W, velikost 0207
2. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10 k $\Omega$  rezistor metalizovaný, 2 W, velikost 0414
3. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10 k $\Omega$  rezistor drátový, 5 W, keramické pouzdro

## 9.3 Kmitočtová závislost kondenzátorů

### 9.3.1 Úkol měření

Pro zadané vzorky kondenzátorů změřte závislost kapacity a ztrátového činitele ( $C$ ,  $tg\delta$ ) na kmitočtu. Naměřené hodnoty vynesete do grafu. V závěru diskutujte vliv technologie kondenzátoru na naměřené frekvenční charakteristiky.

### 9.3.2 Postup měření

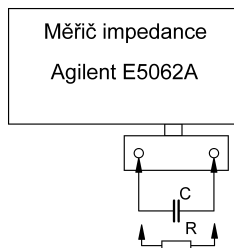
Měření proveďte v rozsahu frekvencí 1 MHz až 100 MHz s použitím přístroje Agilent E5062A. Vyhodnoťte, jak se jednotlivé vzorky projevují v závislosti na jejich technologii. Zaznamenejte rezonanční frekvence jednotlivých součástek.

### 9.3.3 Měřené vzorky

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Elektrolytický kondenzátor hliníkový, 330 $\mu$ F/ 25 V | 5. Keram. kondenzátor, 1 nF  |
| 2. Elektrolytický kondenzátor tantalový, 22 $\mu$ F/ 10 V  | 6. Keram. kondenzátor, 10 nF |
| 3. Foliový kondenzátor radiální, 10 nF/ 100 V              | 7. Keram. kondenzátor, 68 nF |
| 4. Foliový kondenzátor axiální, 10 nF/ 100 V               |                              |

## 9.4 Měření přístrojem Agilent E5062A

### 9.4.1 Schéma zapojení



### 9.4.2 Postup měření

Bez založeného vzorku na začátku měření zkontrolujeme kalibraci přístroje – kurzor ukazuje na pravý okraj kružnice na displeji (poloha 3 hodiny). Pokud ne, je třeba kalibrovat:

**„Save/Recall“ / „Recall/State“ / „File Dialog“ / „Lab.sta“ / „Open“**

Založíme vzorek do čelistí. Tlačítka **START** a **STOP** lze zadat z klávesnice počáteční a konečnou frekvenci měření. Body křivky můžeme číst manuálně nebo zaznamenat celou křivku automaticky na paměťové medium.

#### Manuální nastavení frekvence:

Aktuální frekvenci můžeme nastavit při nastavení volby Marker /Marker1. Frekvenci nastavíme otáčením voliče nebo z klávesnice. Na displeji je možné odečíst údaje v následujícím pořadí: frekvence ( $f$ ), odpor ( $R$ ), reaktance ( $X$ ), indukčnost ( $L$ ) nebo kapacita ( $C$ ) podle znaménka reaktance.

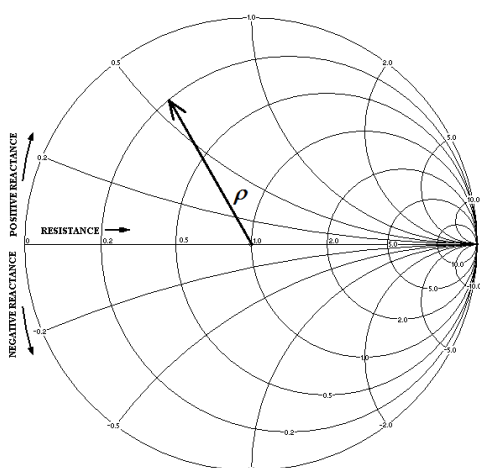
#### Automatické měření:

Měření probíhá kontinuálně. Data zapisujeme na flash disk. Postupně volíme:

**„Save/Recall“ / „Save Trace Data“**

**Nezapomeňte zvolit vhodné uložení!!!.** Jméno souboru je nutné zadat z klávesnice. Stiskem **„Save“** se data uloží ve formátu CSV. Formát ukládání je CSV. Tento formát souborů lze běžně editovat softwary Excel, Matlab apod.

### 9.4.3 Smithův diagram



SIMPLIFIED SMITH SHOWING RESISTANCE AND REACTANCE AXES

Smithův diagram graficky znázorňuje závislost činitele odrazu na zakončovací impedanci vedení  $Z$ .

$$\rho = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{Z/Z_0 - 1}{Z/Z_0 + 1} \quad (6)$$

Při známém činiteli odrazu  $\rho$  (lze změřit) a známé charakteristické impedanci vedení  $Z_0$  lze ze Smithova diagramu určit zakončovací impedanci vedení.

## 10 Osazování DPS

### 10.1 Úvod

Pájení je způsob spojování dvou kovových materiálů pomocí jiného roztaveného kovového materiálu, tzv. pájky. Teplota tání pájky je obvykle mnohem nižší, než je tomu u pájených materiálů, proto při pájení nedochází k tavení spojovaných součástí. V elektrotechnice se pro vytváření vodivých spojů používají téměř výhradně tzv. měkké pájky. To jsou materiály, u nichž je teplota tání nižší než 400 °C. Lze se setkat se dvěma skupinami používaných slitin: Pájky obsahující olovo – jsou založeny na slitině Sn-Pb. Jejich výhodou je nízký bod tání, který je pouze 183 °C. Nevýhodou je obsah olova, které je toxické. Používání těchto pájek je omezeno směrnici RoHS pouze pro speciální účely. Pájky bez olova – jde o slitiny cínu a dalších kovů, jako například Ag, Zn, Cu a další. Teplota tání je vyšší než u pájek s olovem a její obvyklá hodnota je 217 °C. Tavidla jsou nekovové materiály usnadňující pájení. Zlepšují smáčivost daných materiálů pájkou a brání oxidaci roztavené pájky. Nejčastěji se pro tento účel používá kalafuna.

## 10.2 Osazování desky plošného spoje

### 10.2.1 Úkol měření

Osad'te připravený plošný spoj a pomocí přípravku ověřte jeho funkčnost.

### 10.2.2 Popis zapojení

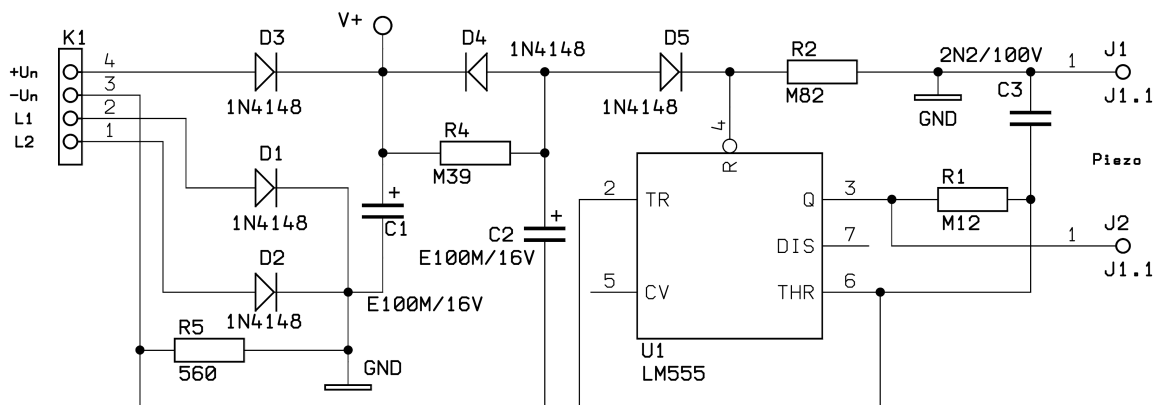
Schéma zapojení osazovaného obvodu je na 1. Jedná se o akustickou signalizaci, která má upozornit řidiče na nutnost rozsvítit světla. Napájecí napětí a logické signály světla jsou přiváděny na konektor K1. Reprodukter je připojen mezi vývody J1 a J2. Ke generování obdélníkového signálu pro reproduktor je použit integrovaný obvod časovače TS555. Signál je odebírán proti zemi z výstupu Q. Hodnotu periody generovaného signálu lze ovlivnit změnou časové konstanty RC článku, který je složen z rezistoru R1 a kondenzátoru C3. Činnost časovače je ovlivňována logickou úrovní na vstupu R. Pokud je zde nízká úroveň, pak je časovač vyřazen z činnosti. Po připojení napájecího napětí (otočení klíčku automobilu) je na tomto vstupu napětí blízké 0 V díky rezistoru R2, který je připojen proti plovoucí zemi (bude vysvětleno dále). Časovač tedy nekmitá, dokud napětí na tomto vstupu nedosáhne požadované vysoké úrovně. Napětí je na vstup přiváděno přes diodu D5 z kondenzátoru C2, který je pozvolna nabíjen z napájecího zdroje přes diodu D3 a rezistor R4. Volbou hodnot rezistoru R4 a kondenzátoru C2 tak ovlivňujeme délku časové prodlevy před spuštěním akustické signalizace po zapnutí přípravku. Napájecí napětí pro časovač je vyvedeno mezi uzly V+ a GND. GND je zde značena plovoucí zem, což je uzel, který je oddělen od skutečné země napájecího zdroje rezistorem R5. Přivedením určitého napětí na tento rezistor přes diody D1 nebo D2 snížíme o jeho hodnotu napájecí napětí časovače. Pokud je toto napětí rovno napětí zdroje napájení, pak je napájecí napětí časovače rovno nule a obvod opět nemůže kmitat.

### 10.2.3 Postup pájení

Desku plošného spoje osazujeme dle obrázku 2, který ukazuje pozice součástek ze strany součástek (druhá strana se nazývá strana plošného spoje a jsou na ní vyleptané vodivé trasy). Dbáme na polaritu diod a elektrolytických kondenzátorů a také na správné natočení pouzdra integrovaného obvodu, které je vyznačeno klíčem (symbol na pouzdře – tečka, výřez apod.). Při osazování je vhodné začít součástkami s nízkým profilem (výškou). Pájení bude jednodušší, pokud si desku plošného spoje upevníme do držáku.

1. Páječku držíme v jedné ruce, trubičkovou pájku ve druhé.
2. Přiložíme páječku ke spoji a začneme jej prohřívat (případně ještě předtím namočíme páječku do kalafuny).
3. Dotkneme se pájkou prohřívaného spoje – trocha pájky se roztaví a zůstane na páječce a spoji. Páječkou stále prohříváme spoj!!!
4. Poté co se pájka rozteče po spoji, páječku odejmeme. Vždy se snažíme, zkrátit dobu pájení na minimum.

### 10.2.4 Schéma zapojení



30