

# 1 Nelineární rezistory

## 1.1 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.

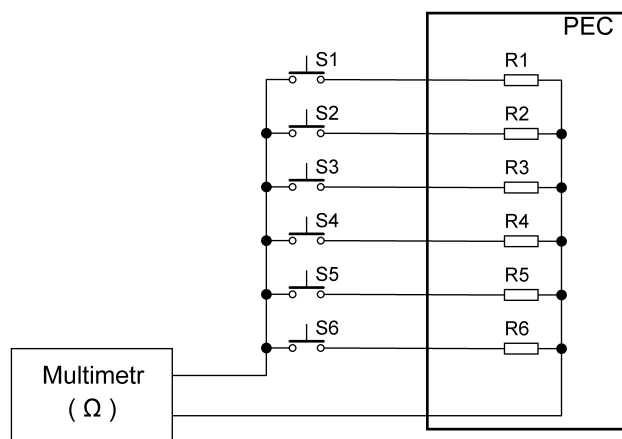
Nelineární rezistory jsou na rozdíl od lineárních konstruovány tak, aby velikost odporu byla výrazně závislá na vnějších podmínkách, např. teplotě (termistory NTC, PTC) nebo přiloženému napětí (varistory) a pokud možno nezávisela na dalších vlivech aplikace. Vzhledem k těmto vlastnostem se využívají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

## 1.2 Měření teplotní závislosti termistorů

### 1.2.1 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.)

### 1.2.2 Schéma zapojení



### 1.2.3 Postup měření

Měřené vzorky jsou umístěny na destičce v píce 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:

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

$R_0$  ... je odpor v  $\Omega$  při  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $\alpha$  ... je teplotní koeficient odporu, pro platinový teploměr je  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ ,  
 $\vartheta$  ... je teplota okolí ve  $^{\circ}\text{C}$  nebo K,  
 $\vartheta_0$  ... je teplota ve  $^{\circ}\text{C}$  nebo K, při které byl měřen odpor  $R_0$ , zde  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 1.2.4 Měřené vzorky

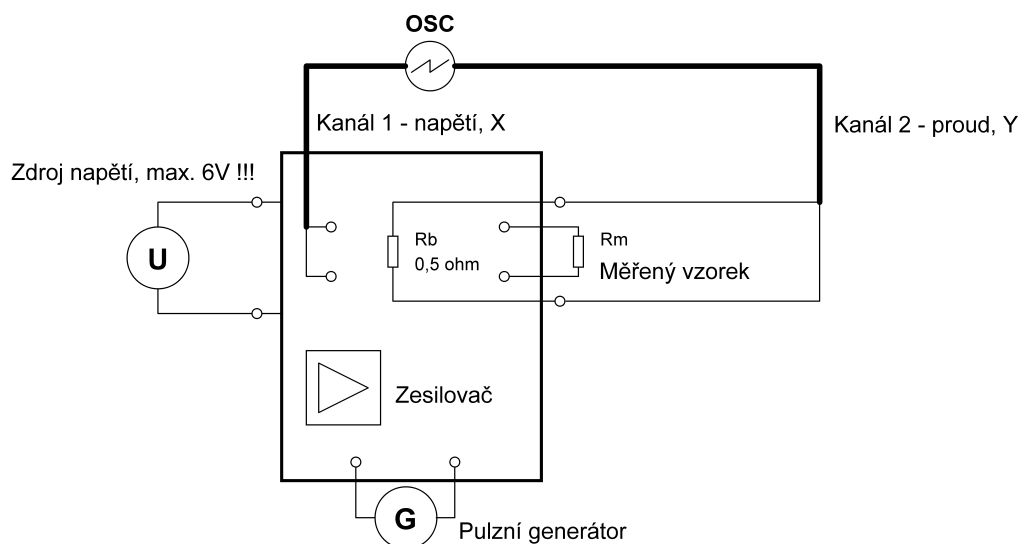
- |   |  |
|---|--|
| 1. odporový Pt teploměr $100\text{ }\Omega$ při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 4. rezistor uhlíkový TR 212 $4,7\text{ k}\Omega$ |
| 2. termistor NTC $100\text{ }\Omega$  | 5. termistor NTC $6,8\text{ k}\Omega$            |
| 3. rezistor metaloxidový TR154 $6,8\text{ k}\Omega$   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

## 1.3 Měření VA charakteristiky varistorů

### 1.3.1 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.

### 1.3.2 Schéma zapojení



### 1.3.3 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  $0\text{ V}$ ! Napětí na vzorku snímáme sondou s děličem 1:100 (nastaveno na osciloskopu – zkontrolovat!), proud je snímán jako úbytek napětí na odporu  $0,5\text{ }\Omega$  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.

### 1.3.4 Měřené vzorky

- |   |  |
|---|--|
| 1. 15D201K, $200\text{ V}$ , zelený       | 4. S20K20, $40\text{ V}$ , velký modrý           |
| 2. 14D220K, $22\text{ V}$ , modrý         | 5. TR 152, $100\text{ Ohmů}$ , lineární rezistor |
| 3. 14D101K, $100\text{ V}$ , světle modrý |  |

## 2 Feroelektrické kondenzátory

### 2.1 Úvod

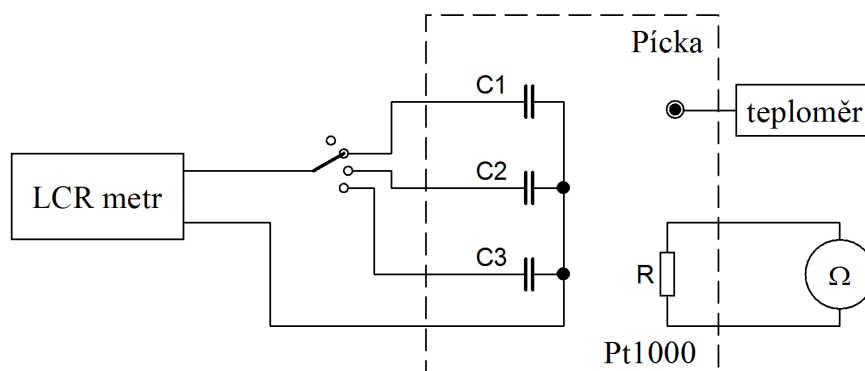
Kondenzátor je součástka, pomocí níž v elektrickém obvodu realizujeme kapacitu. Podobně jako ostatní součástky vykazuje řadu vedlejších závislostí (indukčnost, sériový a paralelní odpor, teplotní a napěťovou závislost). Hodnota kapacity  $C$  závisí, jak známo, na ploše elektrod ( $S$ ), dielektrické konstantě ( $\epsilon$ ) a nepřímo na vzdálenosti elektrod ( $d$ ). Z toho vycházejí odlišné konstrukce kondenzátorů (plošné - např. slídkové, 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.

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

#### 2.2.1 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.

#### 2.2.2 Schéma zapojení



#### 2.2.3 Postup měření

Měřené vzorky jsou umístěny na destičce v pícce 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:

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_0)) \quad (2)$$

$R_0$  ... 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.

### 2.2.4 Měření vzorky

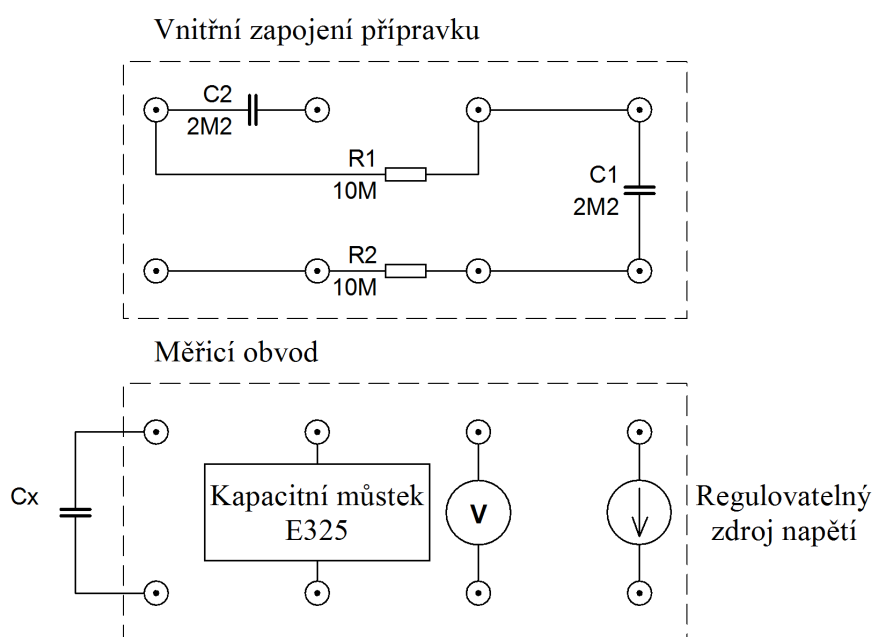
1. keramický kondenzátor 100 nF, hmota X7R
2. keramický kondenzátor 150 nF, hmota Z5U
3. keramický kondenzátor 150 nF, hmota Y5VV

## 2.3 Měření napěťové závislosti kapacity vybraných vzorků kondenzátorů

### 2.3.1 Úkol měření

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

### 2.3.2 Schéma zapojení



### 2.3.3 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.

### 2.3.4 Měření 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)

## 2.4 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:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} \quad (3)$$

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 ( $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ ).

### 2.4.1 Úkol měření

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

### 2.4.2 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.

## 3 Vlastnosti vysokofrekvenčních cívek

### 3.1 Úvod

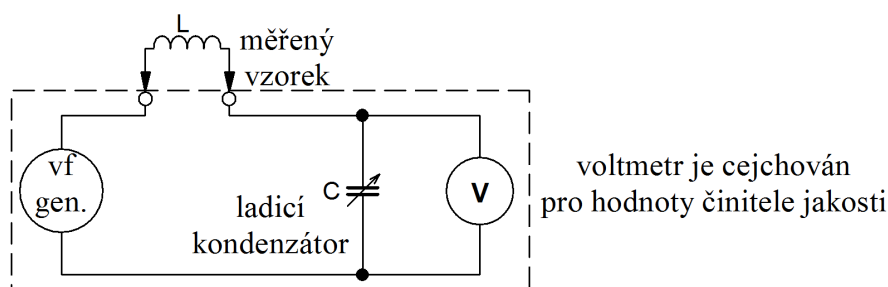
Indukčnost v elektrickém obvodu je obvykle realizována cívkou, tj. uspořádáním vodičů ve tvaru závitů. Cívka může být navinuta z vodičů obvykle kruhového průřezu do válcového nebo diskového tvaru nebo např. vytvořena jako obrazec na desce plošných spojů. Indukčnost cívky závisí na počtu závitů, rozměrech 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, skin efekt a vř. vlastnosti magnetických materiálů.

### 3.2 Měření frekvenční závislosti činitele převýšení $Q$

#### 3.2.1 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.

#### 3.2.2 Schéma zapojení



#### 3.2.3 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.

#### 3.2.4 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

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

#### 3.3.1 Úkol měření

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

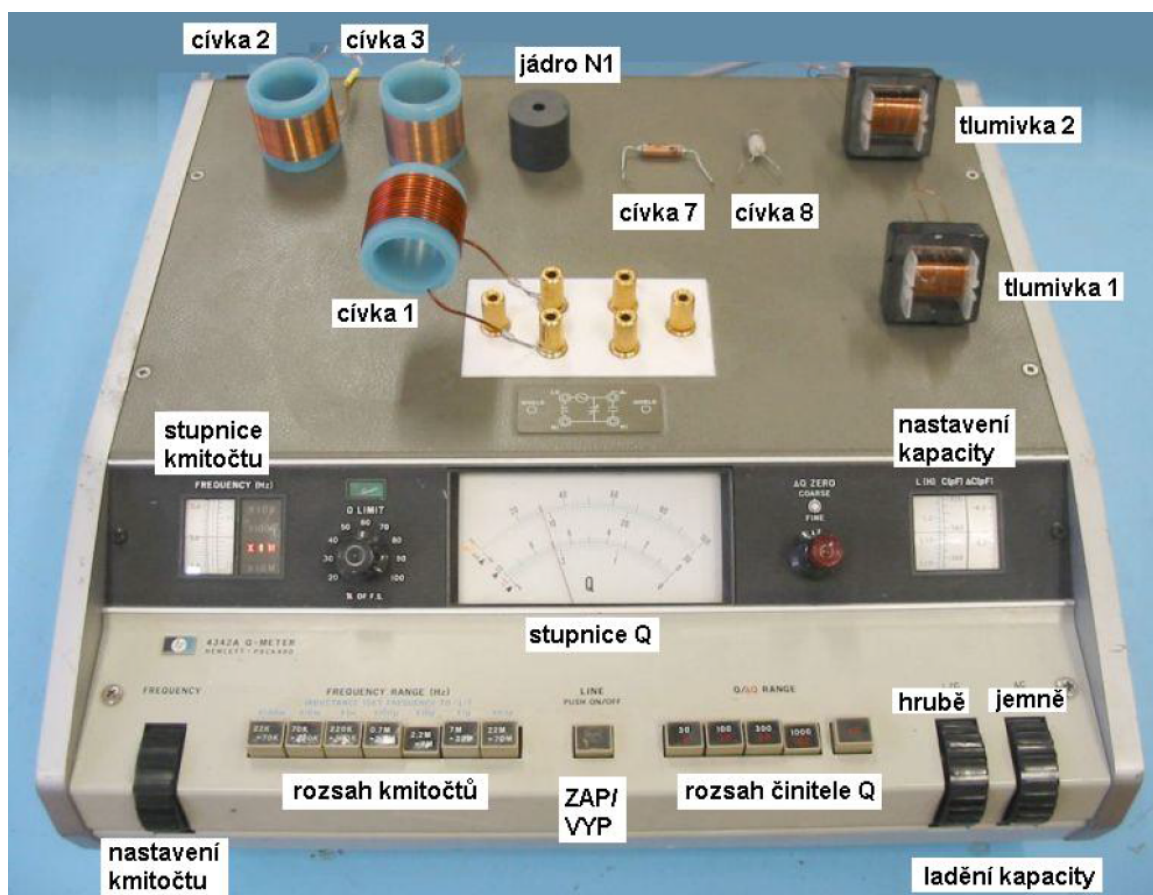
#### 3.3.2 Postup měření

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.

#### 3.3.3 Měřené vzorky

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

### 3.4 Obrázková příloha



## 4 Osazování DPS

### 4.1 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 směnicí 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.

### 4.2 Osazování desky plošného spoje

#### 4.2.1 Úkol měření

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

#### 4.2.2 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 světél 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.

#### 4.2.3 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.

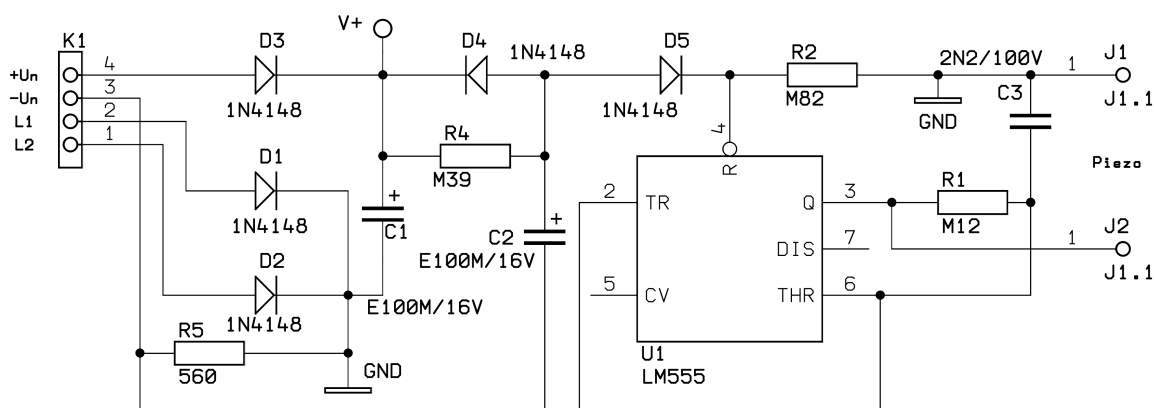


Spoje pájíme následujícím postupem:

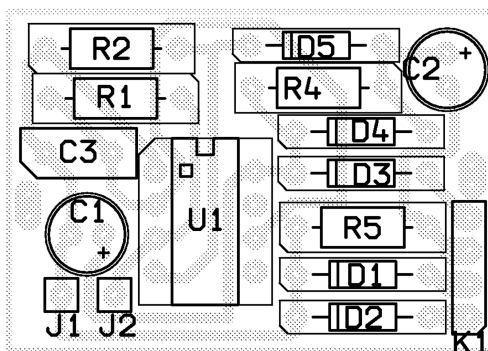
1. Páječku držíme v jedné ruce, trubičkovou pájku ve druhé.
2. Přiložíme páječku ke spoji a začneme jej prohřívat (případně ještě předtím namočíme páječku do kalafuny).
3. Dotkneme se pájkou prohřívaného spoje – trocha pájky se roztaví a zůstane na páječce a spoji. Páječkou stále prohříváme spoj!!!
4.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

Výsledný pájený spoj by měl mít vzhled sopky.

#### 4.2.4 Schéma zapojení



Obrázek 1: Schéma zapojení signalizace rozsvícených světel



Obrázek 2: Pokládací (osazovací) schéma

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

### 5.1 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.

### 5.2 Kmitočtová závislost rezistorů

#### 5.2.1 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.

#### 5.2.2 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.

#### 5.2.3 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
3. 10  $\Omega$ / 330  $\Omega$ / 10 k $\Omega$  rezistor drátový, 5 W

### 5.3 Kmitočtová závislost kondenzátorů

#### 5.3.1 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.

#### 5.3.2 Postup měření

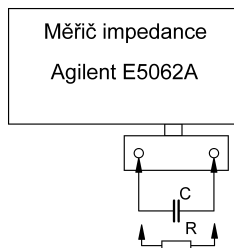
Měření proveďte v rozsahu frekvencí 1 MHz až 100 MHz s použitím přístroje Agilent E5062A. Vyhodnoťte, jak se jednotlivé vzorky projevují v závislosti na jejich technologii. Zaznamenejte rezonanční frekvence jednotlivých součástek.

#### 5.3.3 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               |                              |

## 5.4 Měření přístrojem Agilent E5062A

### 5.4.1 Schéma zapojení



### 5.4.2 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.

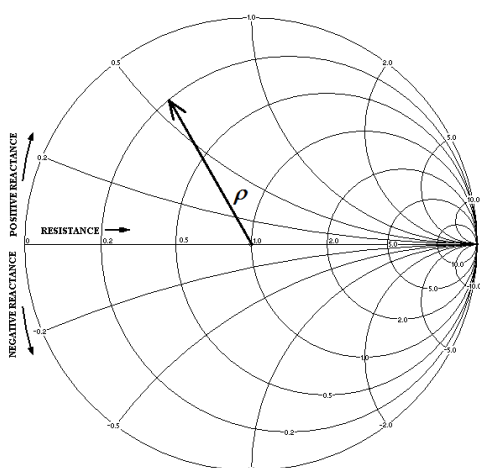
#### Automatické měření:

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 softwarem Excel, Matlab apod.

### 5.4.3 Smithův diagram



SIMPLIFIED SMITH SHOWING RESISTANCE AND REACTANCE AXES

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

$$\rho = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (4)$$

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