

*Přednáška téma č.1 :***1. Pasivní součásti elektronických obvodů**

V tomto učebním textu se budeme zabývat pouze tzv. obvody se *soustředěnými parametry*. To jsou obvody, které známe z mnoha aplikací, např. podíváme-li se na obvodový modul starého televizoru, uvidíme na něm rezistory, kondenzátory a indukčnosti propojené vodivými drahami tištěného spoje (máme-li velmi starý televizor, je propojení provedeno pomocí drátěných vodičů), o kterých je možné v prvním přiblížení předpokládat, že mají odpor zanedbatelný. Jinými slovy jednotlivé součásti elektrického obvodu jsou soustředěny v místech, kde je vidíme. Budeme-li však zvyšovat kmitočet, se kterým takový obvod pracuje, pak od určitého kmitočtu nebude možné předpokládat, že na celé ploše modulu bude mít např. napětí stejnou amplitudu, neboť za čas, který signál potřebuje, aby prošel od jednoho konce desky ke druhému, se amplituda změní. Tento případ tedy nastává až při tak vysokých kmitočtech, kdy vlnová délka odpovídající kmitočtu bude srovnatelná s rozměry obvodu, který studujeme. Pro obvody rozměrů řádu cm to budou kmitočty řádu jednotek až desítek GHz ($1\text{GHz}=10^9\text{s}^{-1}$), což odpovídá vlnové délce řádu desítek až jednotek cm. Pro přenosová vedení elektrické energie, která mohou být dlouhá tisíce km to budou kmitočty řádu desítek Hz. Obvodům pracujícím s kmitočty, při kterých je odpovídající vlnová délka srovnatelná s rozměry obvodu, říkáme obvody s rozloženými parametry a nebudeme se jim v tomto učebním textu věnovat.

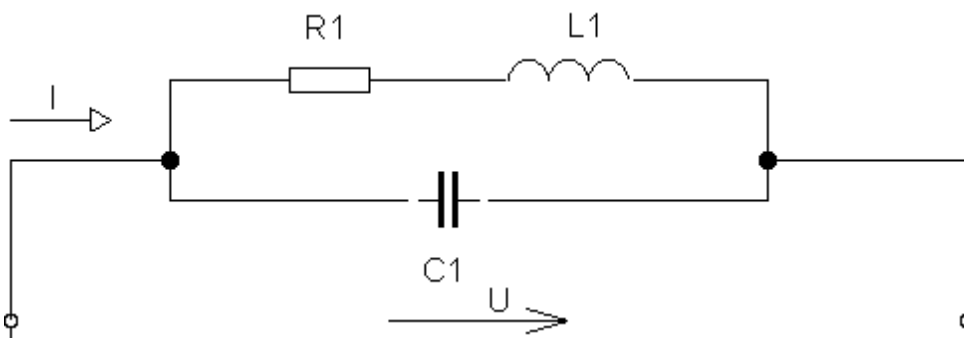
V elektrických obvodech se používají tři druhy pasivních součástek, které se liší způsobem, jakým zacházejí s elektrickou energií, která je jim dodávána. Oddělovat tyto tři druhy je idealizací, která je potřeba k jejich zavedení a může se jen více či méně blížit realitě v konkrétním případě. Jestliže se dodaná energie pouze disipuje, (výkonově spotřebovává z hlediska zdroje, který energii dodává), pak tento prvek označujeme jako (ideální) **rezistor**. Velmi často se též používá pojmenování odpor, toto však má dva významy jednak jako prvek obvodu, jednak jako hodnotové vyjádření schopnosti vést proud; **používejme proto názvu rezistor**.

Pakliže se dodaná energie akumuluje ve formě magnetického pole, nazýváme tento prvek (ideální) **cívkou**. Často používaný název indukčnost má opět dva významy podobně jako odpor. V angličtině používaný název induktor (inductor) je v češtině také vícevýznamový (označuje přístroje vyrábějící vyšší napětí buď přerušováním stejnosměrného proudu a transformací nahoru, nebo mechanickým otáčením cívky v permanentním magnetickém poli - u telefonů) a proto jej také nelze doporučit.

Je-li dodaná elektrická energie akumulována ve formě elektrického pole, hovoříme o (ideálním) **kondenzátoru**. Slovo kapacita ve významu prvku elektrického obvodu se sice občas používá, ale většinou nedochází k nedorozumění. V angličtině se používá pro tento prvek označení capacitor; slovu condenser budou sice také rozumět, ale pokládá se za archaismus. Hodnotové vyjádření schopnosti těchto prvků vést proud, eventuálně hromadit elektrickou energii ve formě magnetického nebo elektrického pole nazýváme po řadě odporem, indukčností a kapacitou (anglicky resistance, inductance, capacitance) a značíme R, L, C.

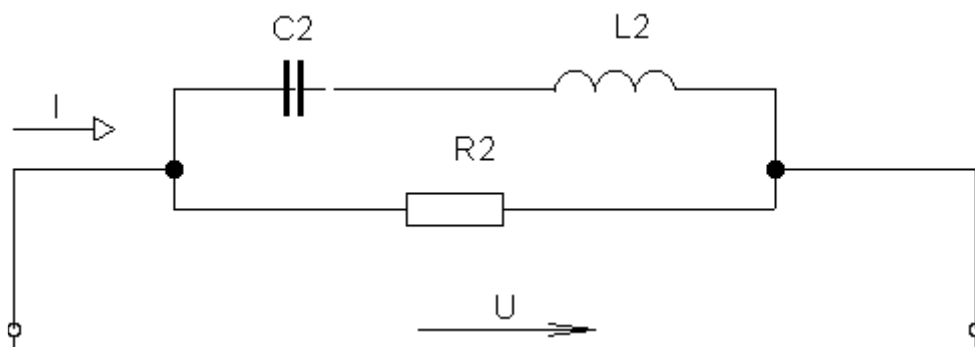
V praxi se s ideálními prvky tak, jak byly zavedeny, nikdy nesetkáme. Rezistor bude mít vždy určitou kapacitu (mezi vývody) i indukčnost, cívka bude mít odpor vodiče, ze kterého je navinuta a kapacitu mezi závity a kondenzátor bude mít určitý svodový odpor a mnohdy

nezanedbatelnou indukčnost. V řadě praktických aplikací však můžeme tyto nežádoucí vlastnosti příslušného prvku zanedbat, neboť jejich vliv nepřesáhne mez přesnosti, se kterou budeme ten který obvod analyzovat. V komplikovanějších případech, kdy prosté zanedbání nelze provést, nahrazujeme jeden reálný prvek elektrického obvodu jeho náhradním zapojením složeným z ideálních prvků. Např. reálný rezistor je možné (pro vyšší kmitočty) nahradit sériovou kombinací ideálního rezistoru a indukčnosti; k této kombinaci je paralelně připojena kapacita, reálnou cívku ideální cívkou v sérii s rezistorem; k této kombinaci je připojen paralelně kondenzátor reprezentující kapacitu vinutí



Obr. 1 Náhradní obvod reálného rezistoru a cívky v obvodu vysokých kmitočtů

a konečně reálný kondenzátor je možné nahradit ideálním kondenzátorem v sérii s cívkou; k této kombinaci je paralelně připojen rezistor reprezentující svodový odpor.



Obr. 2 Náhradní obvod reálného kondenzátoru v obvodu vysokých kmitočtů

Uvedené náhradní obvody reálných obvodových prvků nejsou jediné možné a v praxi se jistě setkáte i s jinými náhradními schémata; jedno však mají všechny obvody společné a sice použití tří základních ideálních pasivních prvků, *rezistoru, cívky a kondenzátoru*. Všimněme si nyní proto vztahů mezi proudem a napětím na těchto základních součástech elektrických obvodů. V dalším budeme okamžité hodnoty, případně jejich časové závislosti označovat (tak jako dosud) malými písmeny, konstantní veličiny velkými písmeny eventuelně s indexem, např. U_m bude maximální napětí, U_{st} střední hodnota napětí, U konstantní napětí apod.

Text slouží pouze pro vnitřní potřeby SOŠ a SOU Hradební 1029, Hradec Králové

vytvořil: ing. Jáchym Vacek

Strana 2 (celkem 16)

1.1 Rezistory

Napětí na svorkách ideálního rezistoru je úměrné proudu procházejícímu rezistorem podle empiricky zjištěného Ohmova zákona $u(t)=R \cdot i(t)$, kde R je odpor rezistoru. Odpor měříme v ohmech (Ω), $\Omega=V/A$. U ideálního rezistoru tento vztah platí pro libovolnou závislost $i(t)$, tedy nejen pro stejnosměrný proud ale i pro harmonickou časovou závislost $i(t)$.

Podíváme-li se do katalogu prodejce rezistorů, najdeme u rezistorů kromě hodnoty odporu ještě tzv. výkonové zatížení uvedené ve wattech. To udává maximální výkonové zatížení, tj. výkon, který je rezistor schopen rozptýlit (odvést prouděním, vedením a radiací) aniž by se zahřál na teplotu, při které by došlo k jeho destrukci. Aby zařízení pracovalo spolehlivě je nutné rezistory vybírat tak, aby při provozu nedošlo k překročení této hodnoty, jinak je nebezpečí, že se dráha rezistoru přepálí, nebo že zvýšenou teplotou odpor změní hodnotu (jen u nejdražších rezistorů je garantována v určitém rozmezí teplot jejich teplotní závislost; u běžných rezistorů není většinou uvedeno ani znaménko teplotního koeficientu odporu). U odporů vysokých hodnot, u kterých je předpoklad, že se budou připojovat k vysokému napětí (běžné použití např. rezistoru s odporem $1000 \text{ G}\Omega$ je jako vysokonapětového předradníku k voltmetru), je spíše než maximální výkon uvedeno maximální napětí, které je možno na rezistor připojit. Vysokoohmové rezistory mají totiž odporovou dráhu vytvořenou ve tvaru spirály, kde jsou jednotlivé závity izolovány mezerou; pokud by povolené napětí bylo překročeno, hrozilo by nebezpečí průrazu mezi jednotlivými závity.

Rezistory se vyrábějí s odpory v normalizované řadě hodnot E6, E12, E24... tyto řady jsou logaritmické a v jedné dekádě jsou např. hodnoty 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, pro řadu E12. Běžná tolerance hodnot je 10%, ale vyrábějí se i přesné rezistory s tolerancí 1% i lepší. Rezistory pro nižší výkonová zatížení jsou tzv. vrstevové, tj. materiálem je uhlíková, nebo tenká kovová vrstva (MLT), pro vyšší výkony jsou to rezistory drátové, vinuté z odporového drátu. Pro výrobu drátových rezistorů se používají materiály- slitiny s názvem:

Konstantan – materiál s velmi dobrou tažností	$\rho= 0,5 \text{ }\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$
Nikelin – pro regulační účely	$\rho= 0,4 \text{ }\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$
Manganin – pro měřicí techniku(bočník...)	$\rho=0,43 \text{ }\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$

Rezistory se vyrábějí i v provedení s proměnným odporem, v tom případě se rezistor vybírá podle svého maximálního odporu (opět v normalizované řadě). Většinou jsou vyvedeny oba konce rezistoru a tzv. běžec; tento prvek je pak možné použít jak jako proměnný odpor (reostat), tak jako potenciometr. Malým potenciometrům určeným jen pro jediné (nebo občasné) nastavení se říká potenciometrické **trimry**. Potenciometry se vyrábějí jednak s průběhem odporu **lineárním** (v závislosti na úhlu otočení), jednak **logaritmickým** (pro regulaci hlasitosti, neboť ucho vnímá hlasitost přibližně logaritmicky). Změna polohy běžce na dráze rezistoru se děje buď otáčením osy potenciometru nebo posuvem běžce. Pro přesné nastavení se vyrábějí též tzv. spirálové víceotáčkové potenciometry (aripoty) s 5, 10 nebo 20 otáčkami; ty pak potřebují připevnit na osu speciální číselník, abychom mohli registrovat a později reprodukovat nastavení potenciometru.

Základní vlastností rezistorů je elektrický odpor. V obvodech se chovají jako spotřebiče elektrické energie, která se v nich mění na Jouleovo teplo.

$$Q = R I^2 t \quad (J; \Omega, A)$$

Podle konstrukce je dělíme na : rezistory se dvěma vývody(radiální a axiální)

Rezistory s více vývody (potenciometry, reostaty)

Podle odporového materiálu : vrstevné (s uhlíkovou vrstvou, boruhlíkovou vrstvou, s napařovanou kovovou vrstvou MLT)

Charakteristické vlastnosti:

1. *Jmenovitý odpor* – rezistory se vyrábějí v tolerančních řadách, které zajistí výrobcí realizaci celé produkce. Při rozměření rezistorů v konečné části výroby se jednotlivé rezistory člení do skupin tak, aby každý vyrobený rezistor plnil podmínku zařazení do určité toleranční řady. Jednotlivé hodnoty v tolerančních řadách se při započtení procentuelní tolerance navzájem překrývají.

Př. Řada E 6 (20%) obsahuje šest hodnot v dekadě- 1 – 1,5 – 2,2 - 3,3 – 4,7 – 6,8

E12 (10%) obsahuje dvanáct hodnot 1 – 1,2 – 1,5 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 – 8,2

2. *Značení hodnot odporu* – v souladu s normou se hodnoty odporu vyjadřují v kódovém systému B takto:

2,7 Ω se značí 2R7 ; 33 Ω = 33R ; 0,56 Ω = R56

270 Ω = K27 ; 3300 Ω = 3K3 ; 82000 Ω = 82K ; 100 000 Ω = 100K, nebo M1

3. *Tolerance*- udává procentuelní odchylku hodnoty rezistoru od jmenovité hodnoty, odchylka je kladná i záporná. Tolerance je vyjádřena písmenným kódem:

bez označení $\pm 20\%$ E6

A $\pm 10\%$ E12 D $\pm 1\%$ E96 G $\pm 0,1\%$

B $\pm 5\%$ E24 E $\pm 0,5\%$ E192

C $\pm 2\%$ E48 F $\pm 0,25\%$

4. *Jmenovité zatížení*- výkon, který se smí za určitých podmínek stanovených normou přeměnit v teplo, aniž teplota povrchu překročí přípustnou velikost.

5. *Provozní zatížení* - nejmenší dovolené zatížení, kdy rezistor ještě nemění svoje vlastnosti

6. *Maximální dovolené napětí* - napětí, které je závislé na geometrických rozměrech rezistoru

Miniaturní rezistory	100V
Metalizované 0,25W	250V
0,5W	350V
1 W	500V
2 W	750V

7. Teplotní součinitel odporu T_k – udává změnu hodnoty rezistoru při změně teploty o 1K

$$\begin{aligned} \text{Uhlíkové } T_k & -0,7 - 1.10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ \text{Drátové, manganin } & 2.10^{-5} \text{ K}^{-1} \end{aligned}$$

Př. Rezistor TR 520 620/B má $T_k = 200 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Určete změnu hodnoty odporu pro teplotní rozsah od 20° C do 60°C, platí-li, že hodnota 620Ω je při $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

$$\Delta R = T_k \cdot \Delta t \cdot R = 200 \cdot 10^{-6} \cdot (60 - 20) \cdot 620 \Omega = 4,96 \Omega$$

Potom $R_v = R_{20} + \Delta R = 620 + 4,96 = 624,96 \Omega$

8. Šumové napětí- vlivem nerovnoměrného pohybu elektronů uvnitř kovové mřížky materiálu součástky, vznikají mezi vývody rezistoru malé, nepravidelné změny potenciálu. Po jejich zesílení a přivedení na výstupní měnič-např. reproduktor- vnímáme šum elektrického obvodu.

$$U_{\xi}^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot B_{\xi} \cdot R \quad (\text{V}; \text{JK}^{-1}, \text{K}, \text{Hz}, \Omega)$$

k ..Boltzmanova konstanta $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

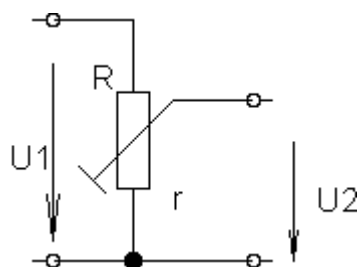
T absolutní teplota v K

B_{ξ} šumová šířka pásma

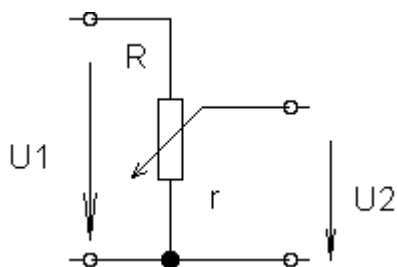
R hodnota odporu

Proměnné rezistory se třemi a více vývody

1. Děliče s pevným dělicím poměrem- rezistory s odbočkou
2. Děliče s plynulým dělicím poměrem- potenciometry
- odporové trimry



obr.3 Odporový trimr



obr.4 Potenciometr

Dělicí poměr A

$$A = \frac{U_2}{U_1} = \frac{r}{R}$$

Konstrukce- drátové
vrstvé

požadavky- plynulý průběh odporové dráhy
odolnost odporové dráhy proti otěru
malý šum
dlouhá životnost

Potenciometry vrstvé

Odporová dráha ze speciálního laku (uhlíková zrna, keramické substance, pojivo)

Je málo odolná proti otěru

Cementová odporová dráha- velmi jakostní

Značení potenciometrů- norma ČSN stanoví označení potenciometrů kódem:

TP 281b 32B 50K/G

TP typizovaný potenciometr

První dvě číslice 28 označují přibližný vnější průměr, poslední číslice 1 udává provedení potenciometru

- 0 jednoduchý potenciometr bez spínače
- 1 jednoduchý potenciometr s otočným spínačem
- 2 jednoduchý potenciometr s tahovým spínačem
- 3 tandémový potenciometr bez spínače
- 4 tandémový potenciometr s otočným spínačem
- 5 tandémový potenciometr s tahovým spínačem
- 6 dvojitý potenciometr bez spínače
- 7 dvojitý potenciometr s točným spínačem
- 8 dvojitý potenciometr s tahovým spínačem

písmeno b určuje logaritmický průběh s rozsahem útlumu 50 dB

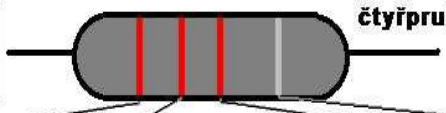
32 je délka hřídele v mm, B ukončení hřídele dle tabulky

- A hladká hřídel
- B hřídel zakončená opěrnou ploškou
- E hřídel s opěrnou ploškou s dorazem
- H hřídel se zářezem pro šroubovák

50K hodnota odporu

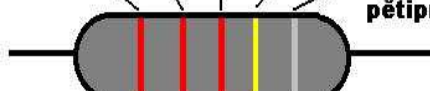
- G průběh odporové dráhy
- N lineární
- NS lineární speciál.
- H lineární se třemi odbočkami
- G logaritmický
- E exponenciální

**BAREVNÝ KÓD
REZISTORŮ**



čtyřpruhový kód

barva	1. pruh	2. pruh	3. pruh	násobitel	tolerance
černá	0	0	0	0	
hnědá	1	1	1	10	±1% (F)
červená	2	2	2	100	±2% (G)
oranžová	3	3	3	1000	
žlutá	4	4	4	10 ⁴	
zelená	5	5	5	10 ⁵	±0,5% (D)
modrá	6	6	6	10 ⁶	±0,25% (C)
fialová	7	7	7	10 ⁷	±0,1% (B)
šedá	8	8	8	10 ⁸	±0,05%(A)
bílá	9	9	9	10 ⁹	
zlatá	-	-	-	10 ⁻¹	±5% (J)
stříbrná	-	-	-	10 ⁻²	±10% (K)



pětipruhový kód

1.2 Cívky

Indukčnost, L [H]. Prochází-li ideální cívku konstantní proud, vytvoří se magnetické pole s nímž je spojen magnetický tok. Mění-li se proud cívku v závislosti na čase, mění se i magnetický tok a výsledkem je podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce indukované napětí, které je dáno záporně vzatou časovou derivací magnetického toku. Indukované napětí závisí na geometrii cívky a je úměrné rychlosti změny proudu,

$$u(t) = L \frac{di}{dt} \quad [V; H, A, s]$$

(záporné znaménko vypadlo vzhledem k zavedenému směru konvenčního proudu). Konstantu úměrnosti L nazýváme indukčností cívky a měříme v Henry (H), $H=V.s/A$ (ověřte si, že takto zavedený H je shodný s výše uvedeným; použijte vztahu $V=J/C$). Rozměrná cívka s feromagnetickým jádrem má indukčnost řádu jednotek až desítek H, drobné cívky s několika závitů a vzduchovým jádrem mají indukčnost v řádu μH .

V současnosti některé větší firmy jako např. japonská TDK vyrábějí cívky s feritovým jádrem a hodnotami indukčností v řadě obdobné řadě odporů rezistorů s hodnotami cca od 0.1 μH do 10 mH. Kromě indukčnosti se v katalogu uvádí maximální povolený proud cívku, ohmický odpor vinutí, vlastní rezonanční kmitočet (indukčnost cívky spolu s vlastní kapacitou vinutí tvoří rezonanční obvod, jehož rezonanční kmitočet je možno měřit), a pro použití cívky jako prvku rezonančního obvodu doporučenou rezonanční frekvenci a minimální dosažitelnou kvalitu Q. Je-li z nějakého důvodu třeba proměnná indukčnost (např. jednorázové doladění rezonančního obvodu), provádí se změna indukčnosti posuvným feritovým jádrem cívky (jádro je v kostře cívky na závit a při ladění se jádrem otáčí šroubovákem z nemagnetického materiálu).

1.2.1 Konstrukce a vlastnosti

Vinutí- je provedeno izolovaným vodičem a normalizovaném průměru, který je navinut na nosné kostičce v jedné , nebo více vrstvách.

Magnetický obvod pro cívky v oblasti nižších kmitočtů, je sestavený z ocelokřemíkových plechů EI, nebo M se vzduchovou mezerou, která zajišťuje rovnoměrný průběh indukčnosti v závislosti na změnách protékajícího proudu

pro oblast vysokých kmitočtů se dosáhne požadovaných vlastností použitím feritového jádra, nebo samonosné konstrukce cívky

stanovení indukčnosti cívky
$$L = \mu \frac{S}{l} \cdot N^2 = \frac{N^2}{R_m} \quad [H; H/m, m^{-2}, m, -]$$

μ - obecná permeabilita jádra S - průřez jádra
 N - počet závitů cívky l - délka střední siločáry
 R_m - magnetický odpor jádra

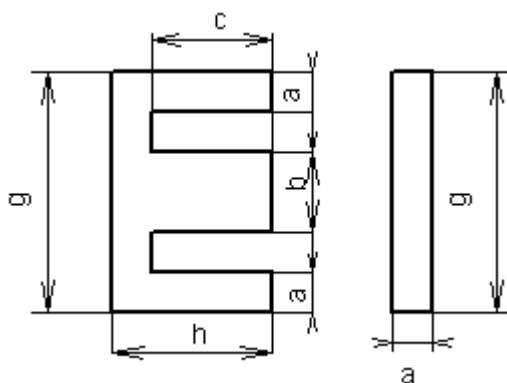
definice cívky – cívka je dvojpólová součástka- jednobran, tvořící vlastní indukčnost L definované velikosti

- v obvodu se indukčnost chová jako akumulátor energie magnetického pole

$$W_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad [\text{J}; \text{H}, \text{A}]$$

Druhy cívek - v praktických aplikacích se používají především – nf. cívky, tlumivky
 - vf. cívky pro oscilační obvody a vf. tlumivky.

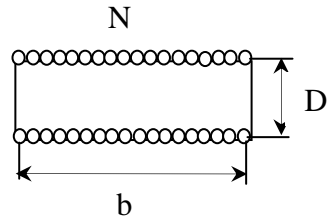
Pro nf. cívky, které se nejvíce používají jako filtrační tlumivky se nejčastěji používá jádro z ocelokřemíkových plechů, typu EI, nebo M s obsahem křemíku 3,6 až 4,6%. Tloušťka plechů je 0,35 a 0,5 mm. Povrch plechů je pokryt izolační vrstvou, pro snížení vlivu vířivých proudů. Používají se buď orientované plechy válcované za studena, nebo neorientované plechy válcované za tepla. Hodnota magnetické indukce B dosahuje 1,0 až 1,2T .



obr.5 Rozměry plechů EI

Pro vf. cívky se používají feritová jádra na bázi sloučenin Mg-Zn-Fe; Ni-Zn-Fe; Ba-Zn-Fe. Pro vysoké kmitočty, řádově 60-100MHz se většinou cívky vyrábějí jako samonosné, bez jádra. Cívky pro kmitočty kolem 1 MHz se navíjí vícevrstvé, pro snížení mezizávitové kapacity křížovým vinutím.

Jednovrstvé válcové cívky- výpočet se provádí pomocí Nagaokovy konstanty k , která je definována pro určitý tabulkový poměr D/b (poměr průměru cívky k její délce).



pro krátké cívky platí $b > 0,4 D$

pro krátké cívky používáme vztah
$$L = \frac{0,09842}{4,5D + 10b} \cdot D^2 \cdot N^2 \quad [\mu\text{H}; \text{cm}]$$

pro vícevrstvé válcové cívky platí:
$$L = \frac{0,315}{12D + 361 + 40b} D^2 \cdot N^2 \quad [\mu\text{H}; \text{cm}]$$

Pro názornost si ukážeme příklad výpočtu cívky rezonančního obvodu pro kmitočet 6 MHz.

př. 1 Rezonanční obvod kmitá na kmitočtu $f = 6 \text{ MHz}$ (pásmo KV). V obvodu je zapojena kapacita $C = 51 \text{ pF}$. Navrhněte cívku pro daný obvod při proudovém zatížení $I = 100 \text{ mA}$

řešení: a) výpočet hodnoty indukčnosti cívky pro daný kmitočet

při výpočtu vycházíme z rezonanční podmínky obvodu $X_L = X_C$
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

po úpravě
$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 \cdot 51 \cdot 10^{-12}} = 13,8 \mu\text{H}$$

b) následně vypočítáme potřebný průřez S a průměr d vodiče, ze kterého bude cívka navinuta. Vycházíme ze známé hodnoty proudové hustoty Cu vodičů $\sigma = 2,5 \text{ Amm}^{-2}$

ze známého vztahu pro výpočet proudové hustoty $\sigma = \frac{I}{S}$ vypočítáme potřebný průřez vodiče

$$S = \frac{I}{\sigma} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{2,5} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2 \quad \text{potom určíme průměr vodiče } d \text{ ze}$$

$$\text{vztahu: } S = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{z toho } d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,225 \text{ mm}$$

použijeme Cu vodič o normalizovaném průměru $d = 0,224 \text{ mm}$. Jeho vnější průměr d' včetně izolace je $0,26 \text{ mm}$ a odpor na jeden metr délky je $453 \text{ m}\Omega$.

Cívku navineme na kostřičku o průměru $D' = 6 \text{ mm}$, potom průměr cívky

$$D = D' + d' = 6 + 0,26 = 6,26 \text{ mm}$$

Následně provedeme odhad počtu závitů, volíme $N = 100$. Délka cívky $b = N \cdot d' = 100 \cdot 0,26 = 26 \text{ mm}$. Nagaokova konstanta v tabulce je pro daný poměr $D/b = 0,24$, $k = 8,89$. Následně provedeme kontrolní výpočet indukčnosti cívky:

$$l = k \frac{D^2}{b} \cdot N^2 \cdot 10^{-3} = 8,89 \frac{6,26^2}{26} \cdot 100^2 \cdot 10^{-3} = 13,39 \mu\text{H}$$

Porovnáme-li vypočtenou hodnotu s hodnotou původní vidíme, že indukčnost je menší. Je možné provést buď korekci závitů, nebo počítat s jádrem cívky, které indukčnost zvýší a umožní nastavit přesnou hodnotu rezonančního kmitočtu.

1.2.2 Povrchový jev, skin efekt

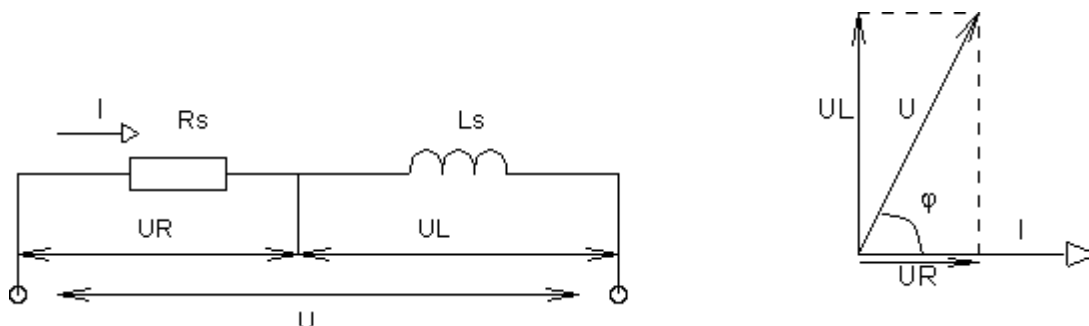
Při průchodu střídavého proudu se odpor vodiče cívky zvětšuje vlivem indukovaného napětí, které vzniká časovou změnou vlastního magnetického toku. Hustota proudu je nejmenší v ose vodiče a největší při jeho povrchu. Bude-li vodičem procházet proud stejnosměrný, pak není splněna podmínka indukčního zákona a tudíž proud prochází celým průřezem vodiče. Povrchový jev v podstatě znamená, že s rostoucím kmitočtem protékajícího proudu se zmenšuje efektivní průřez vodiče a tím narůstá jeho odpor.

$$\frac{R_{vf}}{R_{ss}} = 0,25 + 0,118d \cdot \sqrt{f} \quad [\Omega; \text{mm, kHz}]$$

do $f = 5 \text{ MHz}$ se tento problém řeší vf.lankem, nebo postříbřením vodiče cívky. Změna odporu cívky se projeví snížením činitele jakosti cívky Q .

1.2.3 Náhradní obvod cívky

Činitel jakosti cívky je možné odvodit ze sériového nebo paralelního náhradního obvodu. Oba obvody jsou tzv.duální.



obr.5 Náhradní obvod cívky a fázorový diagram

Činitel jakosti cívky určíme z náhradního obvodu pomocí názorové diagramu. Činitel jakosti je definován $Q = \operatorname{tg} \varphi$

$$Q = \operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{IX_{L_s}}{IR_s} = \frac{X_{L_s}}{R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s}$$

Z uvedeného výrazu vyplývá, že s rostoucím kmitočtem $\omega = 2\pi f$, roste činitel jakosti. Ve skutečnosti tomu tak není, protože s rostoucím kmitočtem procházejícího proudu se současně vlivem skin efektu zvyšuje hodnota odporu cívky a činitel jakosti se tak nezvyšuje, ale částečně se i snižuje.

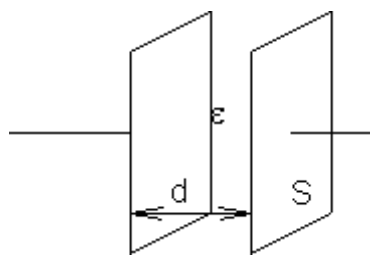
1.3 Kondenzátory

Kapacita, C(F) Napětí na svorkách kondenzátoru je úměrné náboji na jeho elektrodách, $u(t) = (1/C) \cdot q(t)$. Převrácenou hodnotu konstanty úměrnosti nazýváme kapacitou kondenzátoru a měříme ve Faradech (F), $F = C/V$. Prochází-li kondenzátorem časově proměnný proud $i(t)$, je napětí na kondenzátoru dáno jako

$$u(t) = \frac{Q}{C} = \frac{I \cdot t}{C} \quad [V; A, F, s]$$

Kondenzátory jsou dvojpólové součástky, konstruované takovým způsobem, aby vykazovaly kapacitu definované velikosti. Jsou tvořeny dvěma vodivými elektrodami, které jsou navzájem oddělené dielektrikem.

Kapacita deskového kondenzátoru je definována vztahem $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{d}$ [F; Fm^{-1}, m^2, m]



obr.6 Kondenzátor-deskový

ϵ_0 – permitivita vakua $8,855 \cdot 10^{-12} Fm^{-1}$

ϵ_r - poměrná permitivita daného prostředí

S - plocha desek

d - vzdálenost desek

Kondenzátory se vyrábějí ve velkém množství druhů, lišících se druhem dielektrika a povoleným maximálním napětím. Vzpomenete-li si na jednoduchý vzorec pro kapacitu deskového kondenzátoru uvědomíte si, že kapacita je nepřímo úměrná vzdálenosti desek a že tedy kondenzátor s tenkým dielektrikem má při jinak stejných rozměrech větší kapacitu. Se zmenšující se tloušťkou dielektrika však roste elektrické pole, které je na dielektrikum

přiloženo, až do takových hodnot, kdy dochází k tzv. lavinovitému průrazu materiálu, což způsobí zkrat mezi deskami většinou trvalého charakteru, tedy zničení kondenzátoru. Proto je nutné při koupi kondenzátoru vybírat vhodný typ tak, aby při provozu zařízení nedošlo k překročení maximálního povoleného provozního napětí na kondenzátoru.

Dielektrikum kondenzátoru může být papír, slída, umělá hmota (tzv. styroflex), keramická vrstva nebo vrstva oxidu na kovu. Z hlediska největšího svodového odporu jsou nejlepší kondenzátory styroflexové (vyrábějí se v hodnotách do cca 10nF) a keramické (v hodnotách do cca 0.1 μ F). Kapacity do řádově 10 μ F můžeme obdržet v provedení MP (metalizovaný papír), větší hodnoty jen v tzv. provedení elektrolytickém. Jedná se o kovovou elektrodu, na které je vytvořena tenká vrstvička nevodivého oxidu, např. Al_2O_3 , která slouží jako dielektrikum. Druhou elektrodu tvoří vodivý elektrolyt, který dokonale "přiléhá" k oxidové vrstvičce. Nevýhodou těchto kondenzátorů je fakt, že kovová elektroda musí být vždy připojena na vyšší potenciál než elektrolyt, jinak elektrolyt zničí dielektrikum a tím i kondenzátor. Tyto typy kondenzátorů se vyrábějí s kapacitami od 1 μ F do několika tisíc μ F, pokud mají elektrodu z hliníku; tzv. tantalové elektrolytické kondenzátory mají maximální kapacitu v řádu desítek μ F. Tantalové kondenzátory mají výhodu v tom, že při průrazu dielektrika obvykle nedojde ke zničení, ale pouze ke snížení kapacity. Hodí se proto (i svojí vyšší cenou) do zařízení se zvýšenou spolehlivostí. Skutečně obrovské kapacity mají elektrolytické kondenzátory se zlatou elektrodou (tzv. Gold cap), které při provozním napětí cca 3-5V dosahují kapacit až do řádu 1F.

1.3.1 Proměnné kondenzátory, tzv. kondenzátorové trimry se vyrábějí v provedení se slídovým, příp. styroflexovým, keramickým a skleněným dielektrikem a používají se zejména při nastavování pevně naladěných rezonančních obvodů při výrobě, kdy výrobní tolerance nedosahují přesnosti, se kterou musí být rezonanční obvod nastaven (a kdy indukčnost cívky není možno měnit, tj. např. když je vyrobena jako plošná spirála na tištěném spoji). Tzv. otočné kondenzátory, se vzduchovým nebo styroflexovým dielektrikem, dříve hojně používané v přijímačích pro ladění, byly prakticky úplně vytlačeny kapacitními diodami; zůstaly jen u těch aplikací, kde je na kmitavém obvodu a tedy i na kondenzátoru vysoké napětí.

V současné době se ve velké míře používají **keramické kondenzátory**. Vyrábějí se v typových řadách:

1.3.2 Kondenzátory s dielektrikem typu I – stabilní kondenzátory pro kmitavé obvody, vyznačují se lineární teplotní závislostí kapacity, její vysokou stabilitou a malými ztrátami. Ztrátový činitel $\text{tg}\delta$ keramických kondenzátorů typu I, nesmí přesáhnout hodnotu $1,5 \cdot 10^{-3}$ (při $f = 1 \text{ MHz}$). Kapacita není závislá na napětí a kondenzátory mají velký izolační odpor ($>10^{10}\Omega$). Poměrná permitivita $\epsilon_r = 15$ až 170. Teplotní součinitel kapacity T_k je jak kladný ($+33 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), tak i záporný (-47 až $-1500 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Materiál s kladným T_k se výrobně označuje Stabilit L 33 P ($+33 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), materiály se záporným T_k např. Stabilit K 47 N ($-47 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), Rutilit ($-750 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) a Negatit ($-1500 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

1.3.3 Kondenzátory s dielektrikem typu II – vyznačují se nelineární teplotní závislostí kapacity, křivka může vykazovat minima a maxima. Ztrátový činitel $\text{tg}\delta$ je větší a dosahuje hodnot asi $35 \cdot 10^{-3}$. Vyrábějí se z keramických hmot s vysokou permitivitou ($\epsilon_r = 900$ až

12000), pod názvem Permittit 1000 a ž Permittit 10000. Číselné označení kódu určuje hodnotu relativní permitivity ϵ_r .U těchto kondenzátorů se nepříznivě projevuje vliv přiloženého napětí. Se zvětšujícím se napětím se permitivita dielektrika prudce zmenšuje a ztrátový činitel roste. Tyto kondenzátory jsou vhodné jako vazební, filtrační a blokovací v obvodech, kde se nepožaduje velká stabilita kapacity a malé ztráty.

1.3.4 Kondenzátory s dielektrikem typu III- tyto kondenzátory s označením Supermit, se vyznačují vysokou kapacitou, až 1 μ F, jejich výhodou je , že se chovají jako bezindukční. Nevýhodou je značná závislost kapacity na kmitočtu, při kmitočtu cca 1 MHz nastává prudký pokles kapacity a současně roste ztrátový činitel. Vyrábějí se pro provozní napětí od 12V do 32 V. Teplotní závislost kapacity je nelineární . Nositelem kapacity je velmi tenká vrstvička na povrchu keramiky, vzniklá reoxidací zredukovaných sloučenin titanu. Čím je vrstvička tenčí, tím větší má kondenzátor kapacitu, ale současně klesá průrazné napětí. Při opětovném zapojení již použitého kondenzátoru typu Supermit, je nutné dodržet původní stejnosměrnou polarizaci kondenzátoru, jinak se vlastnosti kondenzátoru podstatně zhorší, zejména isolační odpor.Keramické kondenzátory jsou většinou chráněny tmelem z fenolových pryskyřic. Zatmelené kondenzátory jsou dále impregnovány ve vakuu voskem. Kondenzátory s touto ochranou lze používat v rozmezí teplot od -55 °C až do +85 °C. Podrobnější údaje lze nalézt v katalogu výrobce.

1.3.5 Charakteristické vlastnosti kondenzátorů

a) *jmenovitá kapacita*- je udávána v odvozených jednotkách od základní jednotky kapacity F (farad).

	současné	dřívejší
<i>příklady značení-</i> 4,7 pF	4p7	4j7
330pF	330p, nebo n33,	k33
6,8nF	6n7	6k7
560 nF	560n , nebo μ 56	560K , nebo M56
2,7 μ F	2 μ 7	2M7

Kondenzátory se stejně jako rezistory vyrábějí v řadách E6, E12, E24

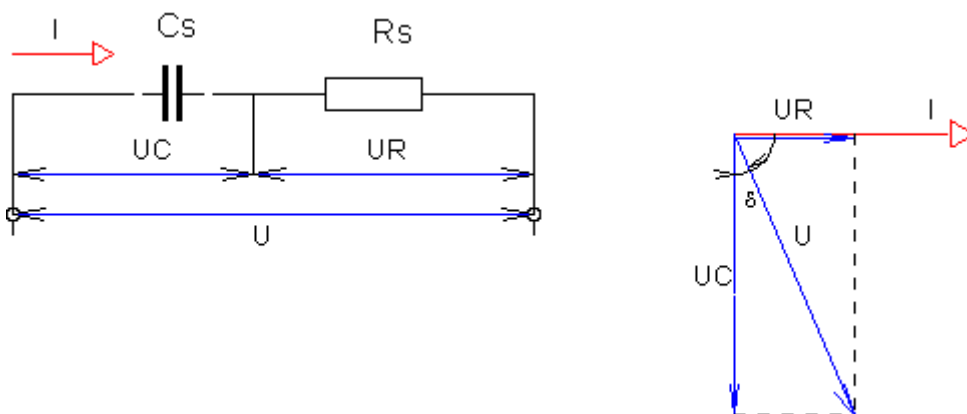
b) *tolerance jmenovité kapacity* –je dána jako největší odchylka kapacity od jmenovité hodnoty vyjádřená v % jmenovité kapacity, u elektrolytických kondenzátorů se uvádí rozptyl tolerance např. -10% až + 100%.

c) *jmenovité napětí* – je to napětí na které může být kondenzátor trvale připojen, pokud teplota okolí nepřesáhne dovolenou velikost + 40°C. S rostoucí teplotou dochází k prudkému poklesu U_{nom}

d) *provozní napětí*- nejvyšší napětí, které může být trvale připojeno na kondenzátor. Je-li teplota okolí menší než +40 °C , je rovno jmenovitému napětí. Pokud kondenzátory pracují jako vazební, mohou mít na základní ss složce superponovanu střídavou složku napětí a součet obou složek může překročit hodnotu provozního napětí. U elektrolytických

kondenzátorů musí být stejnosměrné napětí větší než maximální hodnota střídavého napětí, neboť nesmí dojít k přepólování kondenzátoru.

e) *ztrátový činitel $\text{tg}\delta$* - závisí na druhu dielektrika, definuje odchylku vlastností skutečného kondenzátoru od kondenzátoru ideálního. Při jeho definici vycházíme z náhradního obvodu kondenzátoru v sériovém, nebo paralelním zapojení.



obr.7 Náhradní obvod kondenzátoru, fázorový diagram

ztrátový činitel určíme z fázorového diagramu náhradního obvodu jako $\text{tg}\delta$. U ideálního kondenzátoru jsou nulové ztráty a tudíž fázor U_C je přesně o 90° opožděn za fázorem proudu I . Tento stav nastane v případě že fázor napětí U_R má nulovou hodnotu. Tedy úhel δ definuje velikost ztrát v kondenzátoru a můžeme je tedy pomocí tohoto úhlu vyčíslit.

$$\text{tg}\delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{I \cdot R}{I \cdot \frac{1}{\omega C}} = \omega CR$$

Vzhledem k fyzikálnímu významu má být $\text{tg}\delta$ co nejmenší. Tento parametr se uvádí vždy ke kmitočtu a k teplotě. Velmi malých hodnot $\text{tg}\delta$ dosahují kondenzátory se vzduchovým dielektrikem cca $1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-6}$, dále slídkové kondenzátory $1 \cdot 10^{-4}$ při $f=1$ MHz a $v=20^\circ\text{C}$. Velkých hodnot ztrátového činitele naopak dosahují elektrolytické kondenzátory,

hliníkové $\text{tg}\delta = 0,20 - 0,35$

tantalové $\text{tg}\delta = 0,1 - 0,25$ při $f= 50$ Hz a $v=20^\circ\text{C}$.

f) *Závislost kapacity na teplotě*- je dána součinitelem T_k a udává se poměrem změny kapacity při změně teploty o 1 K.

$$T_k = \frac{\Delta C}{C} \quad \text{teplotní součinitel může být kladný i záporný.}$$

g) *indukčnost kondenzátorů*- minimální indukčnost vykazují slídkové a keramické kondenzátory, naopak velkou indukčnost vykazují všechny typy kondenzátorů, které jsou konstrukčně řešeny jako svitek. U všech kondenzátorů se uplatňuje indukčnost přívodů a to

hlavně v oblasti vysokých kmitočtů. Proto se v oblasti vf. použití používají kondenzátory keramické bez vývodové, pájené přímo do obvodu.

např. MP kondenzátor svitkový s kapacitou 10nF, o průměru 8 mm a délce 33 mm má $L=17\mu\text{H}$ a vlastní rezonanci 12,5 MHz. Keramický kondenzátor destičkový o rozměrech 4x8,5 mm s kapacitou 1n5 má $L=7,6\mu\text{H}$ a vlastní rezonanci 46 MHz.