

Vlastnosti a provedení skutečných součástek R, L, C

Rezistory, kondenzátory a cívky jsou pasivní dvojpóly, vykazující určitý elektrický odpor, indukčnost, kapacitu.

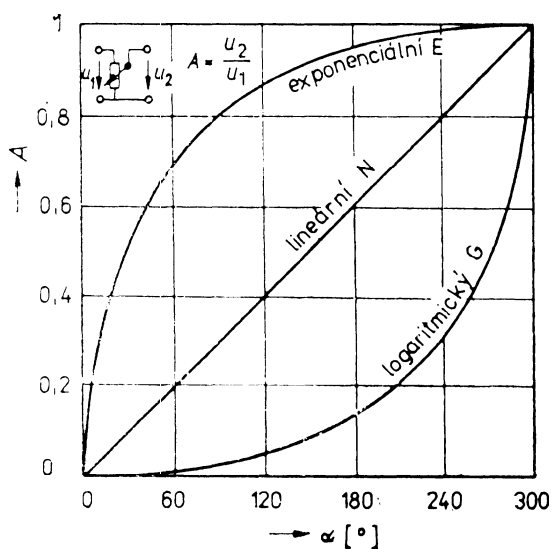
Rezistory jsou pasivní součástky, jejichž základní požadovanou veličinou je elektrický odpor žádané velikosti. Můžeme je dělit na *pevné* a *proměnné* a dále z technologického hlediska na *vrstvé* a *drátové*. *Pevné vrstvé rezistory* jsou tvořeny keramickým tělískem, na němž je nanášena odporová vrstva. Podle materiálu dělíme vrstvé rezistory na *uhlíkové* a *metalizované*.

U uhlíkových je odporová vrstva tvořena uhlíkem s vhodným plnivem, u metalizovaných jsou to oxidy kovů. Metalizované rezistory mají obvykle nižší odchylku od jmenovité hodnoty odporu a snesou vyšší provozní zatížení než uhlíkové. Rezistory s odporem vyšším než jsou 4 k Ω mají do odporové vrstvy vybroušenu drážku ve tvaru šroubovice. Na koncích tělíska jsou nalisovány kovové čepičky, na nichž jsou přivařeny pocínované měděné vodiče tvořící vývody rezistoru. Tělíska rezistorů se chrání speciálními laky nebo smalty, případně zastříknutím do plastické hmoty. Vrstvé rezistory mají dobré vysokofrekvenční vlastnosti, naopak jejich nevýhodou je relativně nízká zatížitelnost.

Pevné drátové rezistory jsou tvořeny rovněž nejčastěji keramickým tělískem, na němž je navinut odporový drát. Konce tohoto vinutí jsou přivařeny k vývodům rezistoru. Povrch je opatřen speciálním tmelem nebo lakem, který odolává vysokým teplotám. Vzhledem ke své konstrukci vykazují drátové rezistory relativně vysokou indukčnost znemožňující jejich užití ve vysokofrekvenčních obvodech. Hodí se proto pro použití ve stejnosměrných obvodech, obvodech síťového kmitočtu 50 Hz.

Jednou z charakteristických vlastností rezistorů je *jmenovitý odpor* – je to výrobcem předpokládaný odpor rezistoru v ohmech. Jmenovitý odpor je na součástkách vyznačen buď písemně nebo pomocí barevných proužků. Hodnoty jmenovitých odporů jsou odstupňovány v normalizovaných řadách (E6, E12, E24). Další charakteristickou vlastností rezistorů je *tolerance jmenovitého odporu*. Udává dovozenou odchylku skutečné hodnoty odporu rezistoru od jmenovité. Nejčastější jsou $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, $\pm 1\%$. *Jmenovité zatížení rezistorů* je výkon, který se za stanovených podmínek smí v rezistoru přeměnit v teplo, aniž by teplota jeho povrchu překročila přípustnou mez. *Největší provozní zatížení* je určeno nejvyšší teplotou součástky, při které ještě nenastávají trvalé změny odporu, ani zkracování její životnosti. Dále je udáváno *největší dovolené napětí* přiložené na rezistor. Po jeho překročení může dojít ke zničení součástky – 100 V, 250 V, 350 V.

Proměnné rezistory dělíme obvykle na *potenciometry* a *trimry*. Potenciometry jsou přitom určeny ke stálé regulaci, zatímco trimry se používají pouze pro trvalé nastavení pracovního bodu obvodu a obvykle jsou nastavitelné pouze nástrojem, narázdíl od potenciometrů, které jsou opatřeny hřídelí. Nejčastější jsou *vrstvé potenciometry*, u nichž je na podložce z tvrzeného papíru nebo z keramiky nanášena odporová vrstva. Na ni dosedá jezdec, tvořící odbočku, kterým lze plynule posouvat po odporové dráze. Odporová vrstva je u méně jakostních potenciometrů tvořena speciálním lakem plněným sazemi. Taková vrstva má však relativně nízkou životnost. Proto se u kvalitnějších potenciometrů používá cermetová vrstva – jedná se o speciální sklo, v němž je rozptýlen prášek drahých kovů. Tyto potenciometry vykazují nízký šum a mají dlouhou životnost. Konstrukčně jsou potenciometry provedeny jako jednoduché, dvojité – dva samostatné systémy, jejichž běžce jsou ovládány souose uloženými hřídeli, tandemové – dva systémy ovládány jednou společnou hřídelí, mohou být opatřeny spínačem, atd. Podle průběhu velikosti odporu potenciometru v závislosti na natočení hřídele dělíme potenciometry na *lineární*, *logaritmické*, *exponenciální*. Nejpoužívanější jsou lineární a logaritmický. Logaritmický se používá pro regulaci veličin, které závisí na napětí logaritmicky, např. hlasitost.

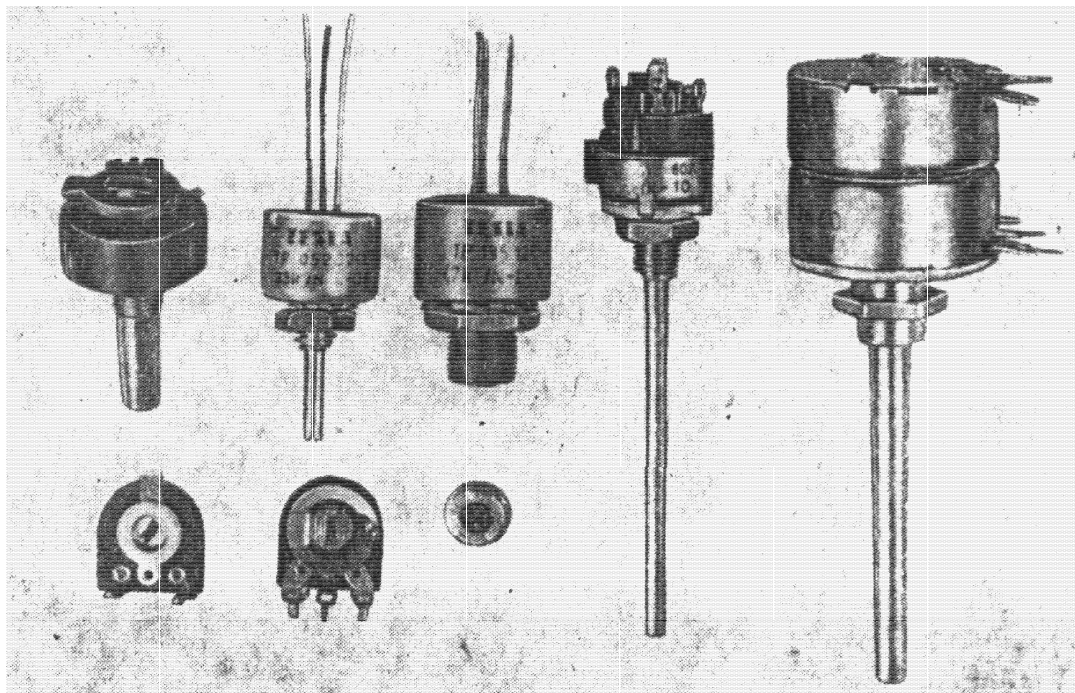


Obr. 1. Závislost dělicího poměru napětí na potenciometru na úhlu natočení jezdce

Vrstvové potenciometry jsou vyráběny pro jmenovité zatížení 0,1 W až 2 W a jejich odpory tvoří samostatnou řadu 100 – 250 – 500.

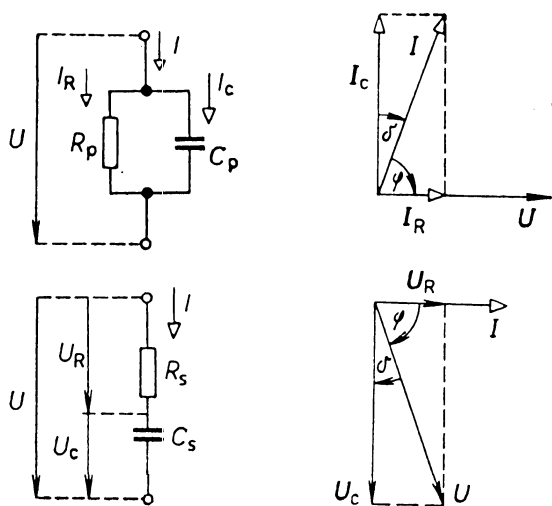
Drátové potenciometry jsou tvořeny izolační destičkou stočenou do tvaru podkovy, na níž je navinut odporový drát. Vyrábějí se s lineárním průběhem, pro zatížení 0,5 W – 5 W s odporem v řadě E6 a E12.

Odporové trimry mají dráhu tvořenou shodně s vrstevnými potenciometry, vyrábějí se s lineárním průběhem, bývají přizpůsobeny montáži do desek plošných spojů, odpor mírají odstupován v řadě E6.



Obr. 2. Ukázky provedení potenciometrů a odporových trimrů

Kondenzátory jsou pasivní součástky, provedené tak, aby vykazovaly kapacitu žádané velikosti. Mezi charakteristické vlastnosti kondenzátorů patří *jmenovitá kapacita kondenzátoru* – tj. kapacita předpokládaná výrobcem. Obvykle jsou kondenzátory vyráběny v normalizovaných řadách E6, E12, avšak např. elektrolytické kondenzátory mají kapacity odstupňovány v řadě 10 – 20 – 50 – 100, *tolerance jmenovité kapacity*, což je největší možná odchylka skutečné kapacity kondenzátoru od její jmenovité kapacity. Liší se podle typu kondenzátoru $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, ale např. elektrolytické kondenzátory mohou mít toleranci -10% až $+100\%$. *Jmenovité napětí* bývá vyznačeno přímo na kondenzátoru ve voltech nebo kódem. *Provozní napětí* je nejvyšší napětí, které může být na elektrody kondenzátoru trvale přiloženo. Nepřesahuje-li teplota okolí $\pm 40\text{ }^\circ\text{C}$, pak se hodnota provozního napětí rovná hodnotě jmenovitého napětí kondenzátoru. Při vyšších teplotách je nutno provozní napětí snížit. Další charakteristickou veličinou je *ztrátový činitel $\text{tg } \delta$* . Ztráty energie v kondenzátoru dělíme na ztráty dielektrické, jež jsou závislé na kmitočtu a na ztráty způsobené svodem mezi elektrodami. V náhradním obvodu vyjádříme všechny ztráty připojením ztrátového odporu k ideálnímu kondenzátoru.



Obr. 3. Paralelní a sériový ztrátový odpor kondenzátoru a příslušné fázorové diagramy

Velikost ztrát vyjádříme pomocí činitele $\text{tg } \delta$. Z obr. 3 plyne

$$\text{tg } \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\frac{U}{R_p}}{\frac{U}{\omega C_p}} = \frac{U}{R_p} \cdot \frac{\omega C_p}{U} = \frac{1}{\omega C_p R_p}$$

nebo

$$\text{tg } \delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{I R_s}{I \frac{1}{\omega C_s}} = \frac{I R_s}{I} \cdot \frac{\omega C_s}{1} = \omega R_s C_s$$

Úhel δ nazýváme *ztrátový úhel*. Je to úhel o který je menší úhel φ skutečného kondenzátoru než 90° . Ztrátový činitel $\operatorname{tg} \delta$ má samozřejmě být co nejmenší. Je udáván v katalogu vždy pro příslušný kmitočet a teplotu, neboť oba tyto činitele ovlivňují ztrátový odpor. Nejmenší $\operatorname{tg} \delta$ mají kondenzátory vzduchové, dále fóliové, slídové, keramické, atd. Největší $\operatorname{tg} \delta$ mají kondenzátory elektrolytické. Pro zjednodušení některých výpočtů je vhodné používat *činitel jakosti* Q , jež je převrácenou hodnotou ztrátového činitele $\operatorname{tg} \delta$.

$$Q_C = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{1}{\omega R_s C_s} = \omega R_p C_p$$

Kondenzátory rozlišujeme především podle typu použitého dielektrika. *Kondenzátory s papírovým dielektrikem* jsou tvořeny dvěma hliníkovými fóliemi oddělenými speciálním kondenzátorovým papírem. Vrstvy jsou pak navinuty tak, aby kondenzátor vykazoval co nejmenší indukčnost. Celek je zastříknut do plastu, případně se vloží do kovové krabičky, jež pak činí jeden vývod a druhý se vytáhne průchodkou. *Kondenzátory z metalizovaného papíru* mají elektrody zhotoveny pokrytím papíru z obou stran hliníkovou vrstvou. Tyto kondenzátory vynikají především svou regenerační schopností, neboť při napěťovém průrazu nedojde v jeho místě k trvalému svaření elektrod. *Kondenzátory s plastickou fólií* jsou konstrukčně shodné s kondenzátory s papírovým dielektrikem. *Slídové kondenzátory* jsou vytvořeny napařením stříbrné vrstvy na tenkou slídovou destičku. *Keramické kondenzátory* mají dielektrikum tvořeno speciální keramikou s příznivými vlastnostmi. Jejich konstrukční provedení je různorodé – existují keramické kondenzátory terčové, polštářkové, diskové, trubičkové, průchodkové. Kondenzátory, jež se vyrábějí převážně pro relativně vysoké kapacity jsou *kondenzátory elektrolytické*. Jako dielektrika užívají tenké vrstvičky oxidu, která se vytváří na povrchu hliníkové nebo tantalové elektrody, obklopené elektrolytem. Kovová elektroda musí být vždy kladně a elektrolyt proti ní záporně polarizován. Při případné opačné polarizaci vrstva oxidu nevzniká a kondenzátor se chová jako rezistor s malým odporem. Tantalové kondenzátory jsou stabilnější než hliníkové a mají výrazně menší svod. Jsou dražší a vyrábějí se na nižší napětí než kondenzátory elektrolytické. Je-li elektrolytický kondenzátor delší dobu bez napětí, vrstva oxidu na elektrodě se rozpustí a poté po připojení napětí opět vzniká – říkáme, že se kondenzátor formuje.

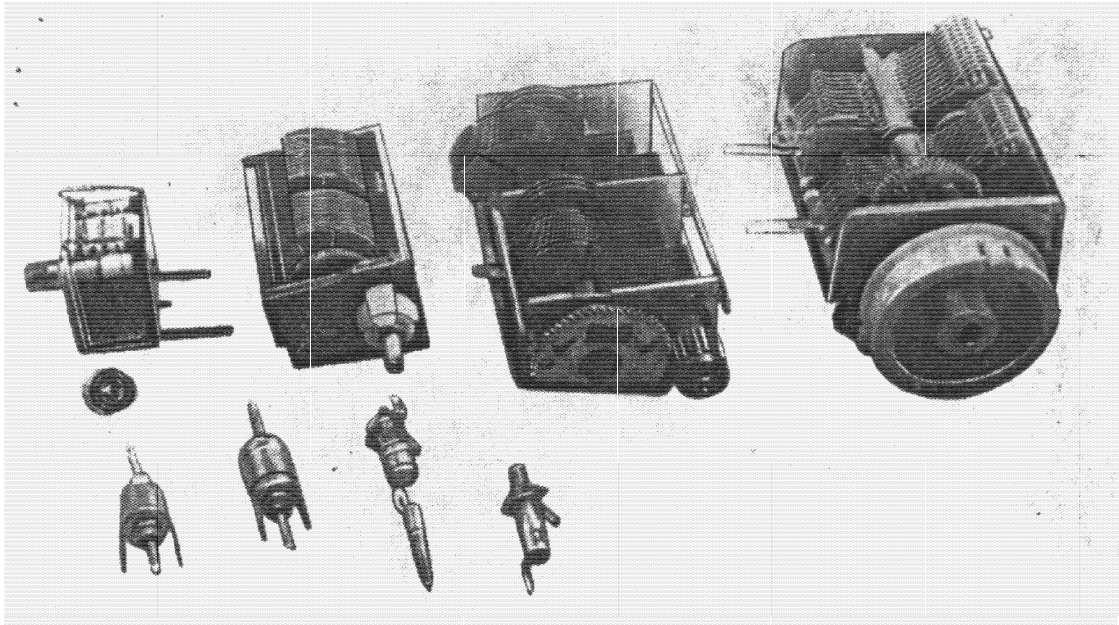
Nejnámějšími z *kondenzátorů s proměnnou kapacitou* je *ladící kondenzátor*. Tvoří jej soustavy desek statorových a rotorových. Statorové desky jsou izolovány od kovového pouzdra kondenzátoru – tzv. vany. Mezi deskami statorovými a rotorovými je dielektrikum – vzduch. Někdy se rovněž používá pevné dielektrikum. Soustava desek rotorových se při otáčení hřídelí zasouvá mezi desky statorové, čímž se zvětšuje kapacita. Používají se především v obvodech rozhlasových přijímačů. Často se právě pro tyto účely vyrábějí dvojitě nebo trojitě, tvořené tedy dvěma až třemi statory, do nichž se zasouvají elektricky spojené rotory na společné hřídeli.

Dolaďovací kondenzátory jsou nejčastěji v provedení trubičkovém. Kondenzátor je tvořen keramickou trubičkou, na vnějším povrchu postříbřenou, do které se zašroubovává kovový píst tvořící druhou elektrodu. Bývají konstruovány pro montáž do desek plošných spojů.

Cívky jsou dvojpólové pasivní součástky, konstruované takovým způsobem, aby vytvořily vlastní indukčnost požadované velikosti.

Cívky tvoří závit vodiče uspořádané do jedné nebo několika vrstev. Z konstrukčního hlediska se dělí na dvě skupiny: *cívky bez jádra* a *cívky s jádrem*.

Reálná cívka se v obvodu nechová jako čistá indukčnost, která by posouvala fázor napětí před fázor proudu o celých 90° . Vlivem ztrát je fázový posun φ mezi napětím a proudem menší než 90° o *úhel* ϑ , jež nazýváme *ztrátový úhel cívky*.



Obr. 4. Ukázky provedení ladících a doladovacích kondenzátorů

Ztráty bereme v úvahu jako u kondenzátorů připojením *ztrátového odporu*. Činitel ztrát cívky je

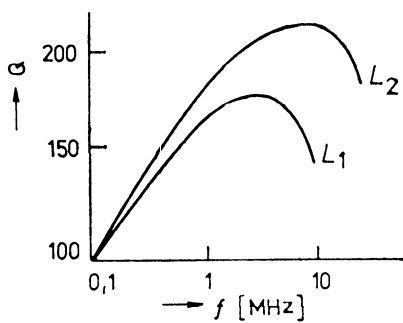
$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{U_R}{U_L} = \frac{IR_s}{I\omega L_s} = \frac{R_s}{\omega L_s}$$

nebo

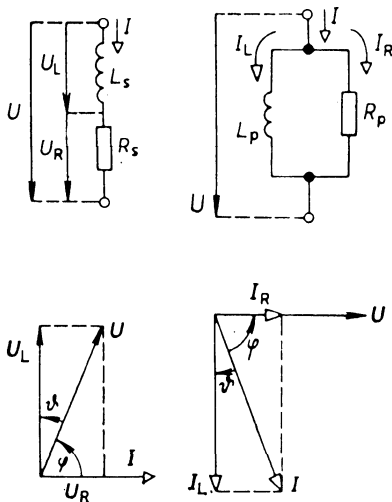
$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{I_R}{I_L} = \frac{\frac{U}{R_p}}{\frac{U}{\omega L_p}} = \frac{U\omega L_p}{UR_p} = \frac{\omega L_p}{R_p}$$

Opět i zde zavádíme *činitel jakosti cívky* Q jako převrácenou hodnotu $\operatorname{tg} \vartheta$

$$Q = \frac{I_L}{I_R} = \frac{R_p}{\omega L_s} = \frac{U_L}{U_R} = \frac{\omega L_s}{R_s}$$

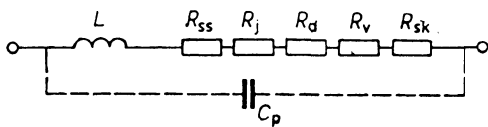


Obr. 5. Kmitočtová závislost činitele jakosti cívky



Obr. 6. Sériový a paralelní ztrátový odpor cívky a příslušné fázo-
rové diagramy

Činitel Q je silně kmitočtově závislý. Z posledního ve výrazu pro činitel Q členu by mělo vyplývat, že činitel jakosti by měl s kmitočtem lineárně vzrůstat. Jak vidíme na obr. 5 není tomu tak. Odpor R_s se totiž skládá z několika složek, jak vidíme z úplného náhradního schématu cívky.



Obr. 7. Úplné náhradní schéma cívky

Složka R_{ss} představuje stejnosměrný odpor vinutí – ten je kmitočtově nezávislý

Složka R_j představuje ztráty v jádře cívky

Složka R_d reprezentuje dielektrické ztráty v jádře cívky

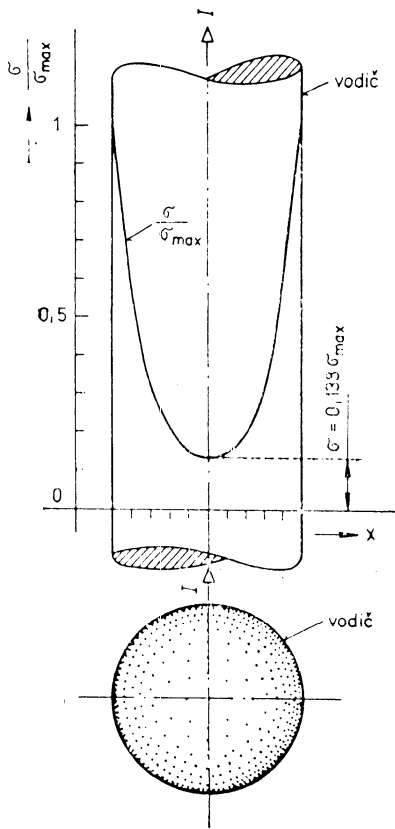
Složka R_v představuje ztráty vyzářením části energie do okolí cívky

Složka R_{sk} vyjadřuje ztráty způsobené skin efektem

Při vysokých kmitočtech totiž nedochází k rovnoměrnému rozložení proudové hustoty ve vodiči, nýbrž proud se pohybuje převážně po povrchu vodiče – *skin efekt (povrchový jev)*. Jeho vliv omezujeme např. stříbřením vodičů.

Cívky bez jádra jsou navinuty buď na izolační kostřičky, nebo jsou samonosné, speciálním případem je tzv. plošná cívka vytvořená vyleptáním fólie na desce plošných spojů do tvaru závitů. Indukčnost těchto cívek je řádově μH , užívají se především ve vysokofrekvenční technice.

Cívky s jádrem mají jádro tvořeno z magneticky dobře vodivých materiálů s malými ztrátami. Vysokofrekvenční cívky se konstruují jako šroubové nebo hrníčkové s indukčností desítek mH. Jejich jádra bývají feritová. Nízkofrekvenční tlumivky mívají většinou jádra typu C z ortopermového pásku. Mohou být jádrové či plášťové. často se jejich magnetický obvod přerušuje vzduchovou mezerou, aby nedošlo k magnetickému nasycení vlivem stejnosměrné složky proudu, jež tlumivkou prochází.



Obr. 8. Rozložení proudové hustoty uvnitř vodiče o \varnothing 1 mm při kmitočtu 250 kHz