

Základy elektroniky a logických obvodov

Pavol Galajda, KEMT, FEI, TUKE
Pavol.Galajda@tuke.sk

Základné vlastnosti, parametre, aplikácia pasívnych a polovodičových prvkov, modely prvkov a ich využitie pri analýze a syntéze jednoduchých elektronických obvodov.

Elektronikou rozumieme odvetvie fyziky, ktoré sa zaoberá vedením elektrického prúdu a príbuznými javmi v tuhých látkach - kovoch, polovodičoch, dielektrikách, v kvapalinách a v ionizovaných plynoch. Do elektroniky ďalej zahŕňame časť techniky, ktorá sa zaoberá využitím týchto javov pri návrhu a konštrukcii elektronických prvkov a obvodov.

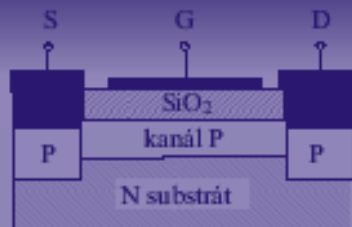
Rozvoj techniky sa začal v druhej polovici 19. storočia. Hlavná pozornosť sa vtedy zamerala na mechanizmy vedenia elektrického prúdu v zriedených plynoch. Toto štúdium viedlo k objavu katódových lúčov (1899). Ďalší výskum ukázal, že katódové lúče sú rýchlo sa pohybujúce záporne nabité častice, ktoré sa začali približne od roku 1900 nazývať *elektrónmi*.

I keď v prvej etape elektroniky dominovali vákuové elektróny, rozvíjali sa postupne aj elektronické prvky z tuhých látok.

Dôležitým medzníkom v polovodičovej elektronike bol objav tranzistora. Koncom roku 1947 to bol hrotový tranzistor, ktorý objavil J. Barden a W. H. Brattain. V priebehu ďalších mesiacov W. Shockley sformuloval koncepciu *plošného tranzistora* s využitím vlastností *přechodov PN* (pri jeho činnosti sa vyžadujú obidva druhy nosičov náboja - elektróny a diery a preto patrí medzi *bipolárne súčastky*). Nie je bez zaujímavosti, že hrotový a plošný tranzistor sa objavili ako dôsledok experimentov, cieľom ktorých bolo získať *unipolárne súčastky*. Keďže tieto súčastky využívajú efekt *přefa*, nazývajú sa *tranzistory ovládané elektrickým pólom* a označujú sa *FET* (Field Effect Transistor).

Spoločne s *integráciou* pokračovala aj *miniaturizácia* súčastok a polovodičová technika vyúsťila tak do svojej súčasnej etapy - *mikroelektroniky*. Polovodičové súčastky a obvody okrem špeciálnych aplikácií (napr. obrazovky) nahradili elektróny.

Ale o tom až neskôr...

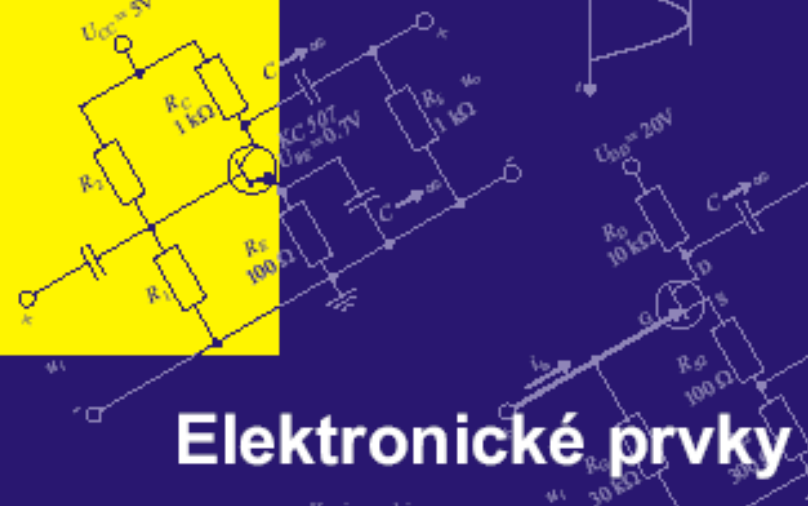
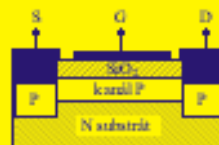


ISBN 80-89061-51-6



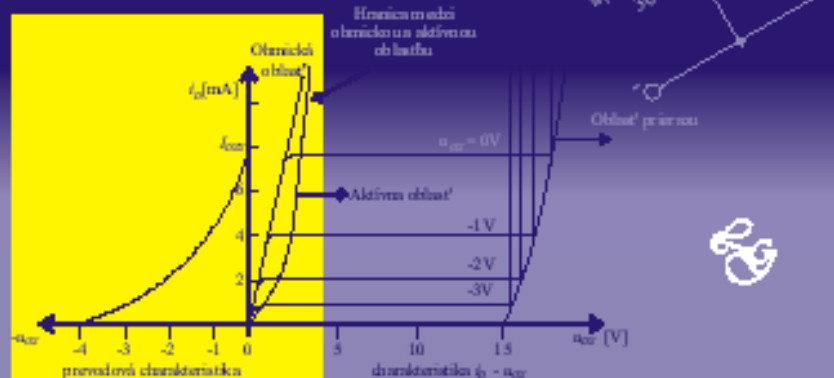
Elektronické prvky

Pavol Galajda
Rastislav Lukáč



Elektronické prvky

Galajda - Lukáč



Prečo práve S.O.S Electronic



Viac ako 7000 typov súčiastok priamo na našom sklade...

Široký výber sortiments, prispôbený Vašim požiadavkám...

Rýchle dodávky tovaru...



Kvalitné služby pre Vás - ISO certifikát...



Vždy máme pre Vás pripravené niečo navyše...

Technické poradenstvo, vyškolený personál, kvalitné služby...



OnLine Shop ... elektronické ceny a skladové množstvá...

Novinky, zauímavosti, akcie ...

Komplexné informácie ...

4 x ročne časopis ...

ISBN 80-89061-59-1



9 788089 761594

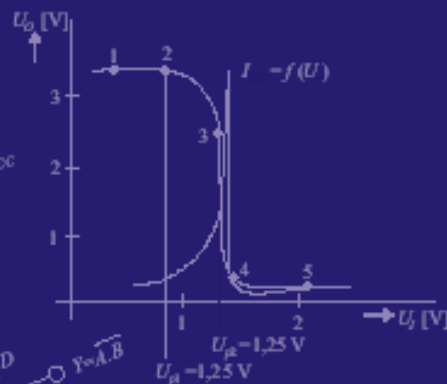
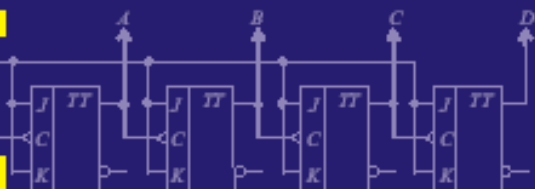
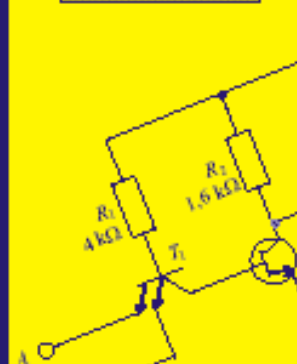
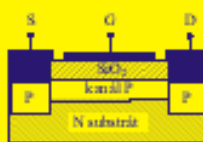
www.soselectronic.sk

S.O.S. electronic, Ždiárska 32, 04001 Košice, tel. 055/623 40 00-4, fax. 055/623 40 07, e-mail: info@sos.sk



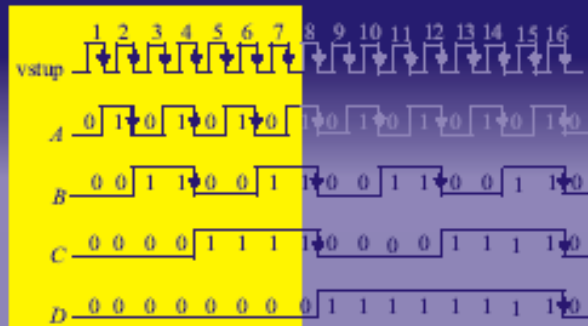
Elektronické obvody

Pavol Galajda¹⁾
Rastislav Lukáč²⁾



Elektronické obvody

Galajda - Lukáč



2 Pasívne prvky

- 2.1 Rezistory
- 2.2 Nelineárne rezistory
- 2.3 Kondenzátory
- 2.4 Cievky, tlmivky a transformátory
- 2.5 Piezoelektrické prvky

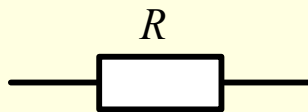
2.1 Rezistory

- *Rezistory ako diskkrétne súčiastky elektronických zariadení funkčne realizujú prvky so sústredenou hodnotou elektrického odporu (R).*
- *Usporiadanie niektorých rezistorov umožňuje v medziach menovitej hodnoty mechanicky meniť (nastaviť) požadovaný odpor. Podľa toho rozlišujeme dve veľké skupiny pevných a nastaviteľných rezistorov.*
- *Do prvej skupiny - **pevných** - patria predovšetkým tzv. lineárne rezistory, ktorých V - A charakteristika je v medziach menovitých hodnôt prúdov a napätí lineárna a pri $R = \text{konšt.}$ zodpovedá platnosti Ohmovho zákona.*
- *Do druhej skupiny - **nastaviteľných** - patria rezistory s nastaviteľnou hodnotou odporu a plynulo nastaviteľnou hodnotou - potenciometre. Pre nastavenú hodnotu odporu platia závislosti lineárnych rezistorov, t.j. $R = \text{konšt.}$*
- *Do tretej špecifickej skupiny môžeme zaradiť tzv. **nelineárne rezistory**, ktoré vykazujú výraznú závislosť elektrického odporu od niektorej fyzikálnej veličiny. Ich V - A charakteristika je všeobecne nelineárna.*

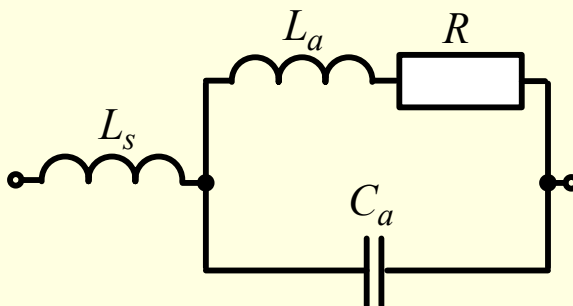
2.1.2.1 Základné vlastnosti lineárnych rezistorov

- Medzi základné vlastnosti a udávané parametre pevných rezistorov patrí:
 - ❑ *Menovitá hodnota odporu R_N [Ω],*
 - ❑ *Dovolené odchýlky [% R_N]*
 - ❑ *Menovité zaťaženie P_N [W]*
 - ❑ *Teplotný súčiniteľ odporu [% / $^{\circ}\text{C}$]*
 - ❑ *Napäťový súčiniteľ odporu [% /V]*
- Okrem uvedených statických parametrov a charakteristík rezistorov je pre správne použitie jednotlivých druhov potrebné poznať ich správanie pri použití striedavých prúdov a napätí. Tieto vlastnosti rezistorov opisujeme dynamickými charakteristikami a parametrami, z ktorých je najdôležitejší:
 - ❑ *Šum rezistorov a*
 - ❑ *Frekvenčné vlastnosti popisované pomocou náhradnej schémy rezistora.*

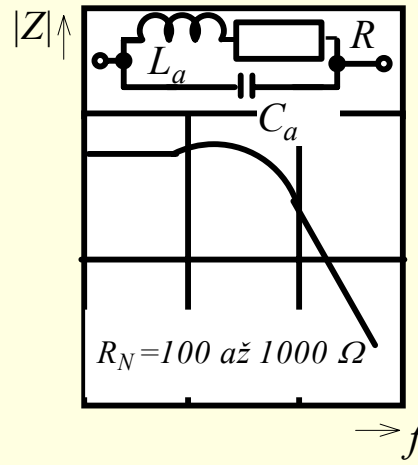
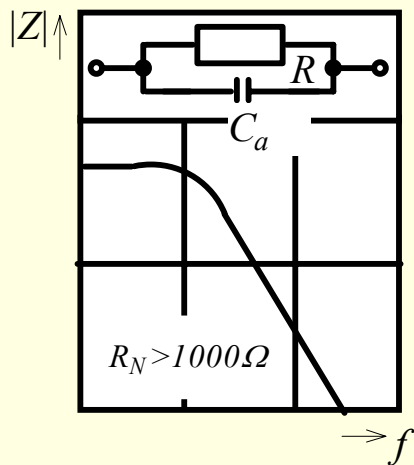
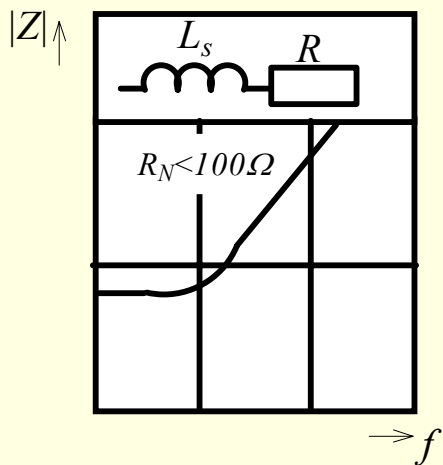
a) Náhradná schéma rezistora, b) zjednodušená náhradná schéma rezistora v závislosti od menovitej hodnoty a frekvencie



Schématická značka rezistora



a)



b)

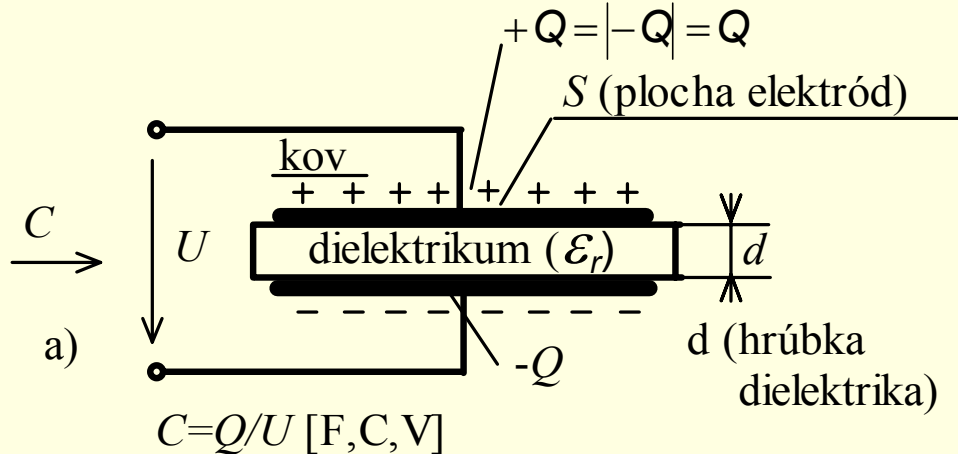
2.3 Kondenzátory

*Kondenzátory sú diskrétne súčiastky elektronických zariadení, ktoré funkčne realizujú prvky so sústredenou hodnotou elektrickej kapacity, t.j. **kapacitory**. Základná vlastnosť, t.j. kapacita kondenzátorov vyplýva z principiálneho usporiadania podľa Obr.*

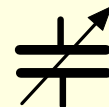
2.3 Kondenzátory

Kapacita kondenzátora C [F] je daná veľkosťou vzájomne sa prekrývajúcich plôch S [m²] kovových elektród, vlastnosťami použitého dielektrika, ktoré je určené hlavne relatívnou permitivitou ϵ_r (permitivita vákua ϵ_0) a hrúbkou dielektrika d [m], podľa vzťahu:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$



b) pevné
 $C = \text{konst.}$



c) nastaviteľné
 $C = f(S; d, \epsilon_r)$

2.3 Kondenzátory

Zo vzťahu vidíme, že sa dajú realizovať kondenzátory pevné, pri ktorých parametre ϵ_r , S a d budú prakticky konštantné a teda aj $C = \text{konšt.}$

V prípade, že parametre ϵ_r , S alebo d sa budú môcť meniť, dostaneme skupinu *nastavitelných kondenzátorov*.

Najčastejšie sa využíva zmena S , v niektorých prípadoch však tiež zmena d , prípadne aj ϵ_r .

2.3 Kondenzátory

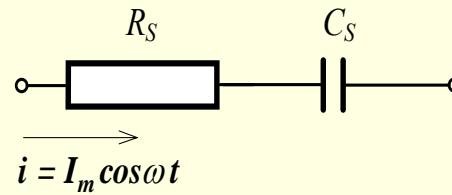
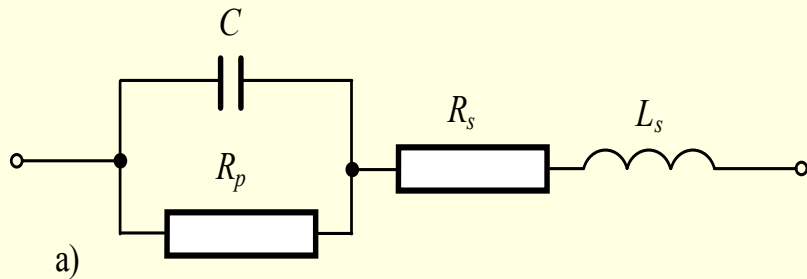
Kapacita kondenzátorov, daná v dôsledku polarizácie dielektrika a schopnosti zhromažďovať elektrický náboj Q po priložení napätia U na elektródy ($C=Q(U)$), je závislá od konštrukčného usporiadania a od použitého materiálu dielektrika.

Veľkosť kapacity na jednotku objemu a väčšina ďalších elektrických vlastností kondenzátora je daná hrúbkou a vlastnosťami použitého materiálu dielektrika.

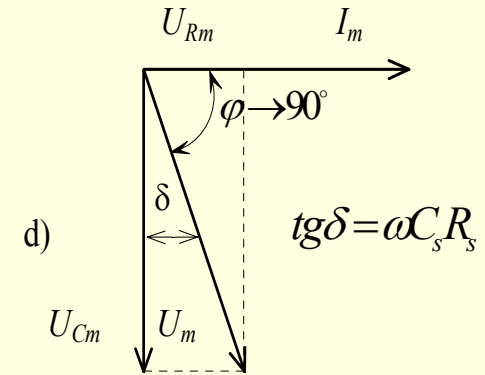
2.3.1 Základné vlastnosti kondenzátorov

- Kondenzátory sa vo väčšine prípadov používajú v elektrických obvodoch so striedavými (premennými) zložkami prúdov a napätí.
- Chovanie kondenzátorov v týchto obvodoch opíšeme pomocou náhradného obvodu so sústredenými parametrami.
- Realizovanú kapacitu kondenzátora označíme C . Konečný odpor dielektrika a tým aj straty v kondenzátore spôsobené jeho polarizáciou, a teda závislé od frekvencie, vyjadríme odporom R_s v sérii s kapacitou C .
- Pri vyšších frekvenciách sa môže prejaviť indukčnosť prívodov aj usporiadania elektród (napr. pri zvitkových kondenzátoroch), ktorú vyjadríme do série zapojenou indukčnosťou L_s . Na vývodoch kondenzátora nameráme jeho impedanciu $Z(\omega)$, ktorá je všeobecne závislá od frekvencie prenášaného signálu.

a) Náhradná schéma kondenzátora, b) zjednodušený sériový náhradný obvod, c) zjednodušený paralelný náhradný obvod, d, e) vektorové diagramy v harmonickom ustálenom stave



b) sériová
 $Z = R_s + 1/j\omega C_s$



a) náhradná schéma

C - kapacita kondenzátora

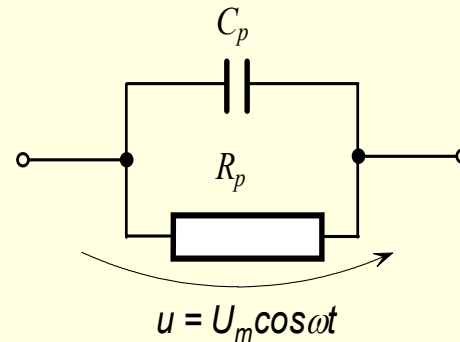
R_s - odpor prívodov a elektród

R_p - straty v dielektriku a izolačný odpor

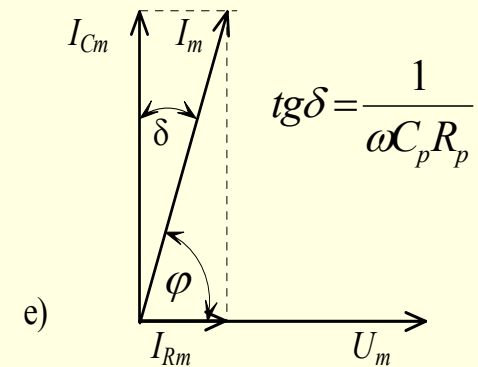
L_s - indukčnosť prívodov a elektród

$$Z(\omega) = \text{Re}\{Z(\omega)\} + j \text{Im}\{Z(\omega)\}$$

$$tg \delta = \text{Re}\{Z(\omega)\} / \text{Im}\{Z(\omega)\}$$



c) paralelná
 $1/Z = 1/R_p + j\omega C_p$



Základné vlastnosti kondenzátorov sa udávajú nasledujúcimi parametrami:

- *Stratový činiteľ* $\text{tg}\delta$, sa udáva *činiteľ kvality* Q , čo je reciproká hodnota $\text{tg}\delta$
- *Frekvenčné vlastnosti* kondenzátorov vyjadrujú závislosti parametrov C , $\text{tg}\delta$ a celkovej impedancie Z od frekvencie.
- *Menovitá hodnota kapacity* C_N [pF, nF, μ F] sa udáva na telese kondenzátora, stanoveným spôsobom označenia písmenovým alebo farebným kódom. Hodnoty kapacity kondenzátorov sa vyrábajú v geometrických radoch E6, E12, E24, prípadne v radoch uvádzaných v normách výrobcov. Dovoľené odchýlky menovitých hodnôt kapacít vyrábaných druhov a typov kondenzátorov sú obyčajne $\pm (20, 10, 5, 2, 1, 0,5) \%$.
- *Elektrická pevnosť kondenzátora* je predovšetkým určená menovitým napätím (U_N), ktoré predstavuje prípustnú hodnotu trvalo priloženého jednosmerného napätia.
- *Izolačný odpor* R_{iz} [$M\Omega$]
- *Teplotné závislosti* - Teplotný súčiniteľ kapacity T_{KC}

$$T_{KC} = \frac{1}{C_{ga}} \frac{\Delta C}{\Delta \vartheta}$$

2.4 Cievky a transformátory

Každý pohybujúci sa nosič náboja v oblasti nerelativistických rýchlostí vytvára vo svojom okolí magnetické pole, rovnako ako každý vodič, ktorým prechádza elektrický prúd.

Intenzita tohoto poľa sa môže zväčšiť vplyvom materiálov s veľkou permeabilitou, ktoré sú umiestnené v blízkosti.

Induktívne vlastnosti súčiastky alebo vodiča sa vyznačujú dvoma podstatnými znakmi:

- ideálna cievka (induktor) môže slúžiť ako zásobník len magnetickej energie, ak ňou prechádza elektrický prúd;
- cievka, ktorou prechádza elektrický prúd má vždy vplyv na okolitý priestor.

Indukčnosť je definovaná vzt'ahom:

$$L = \frac{\text{spriahnutý magnetický tok}}{\text{prechádzajúci elektrický prúd}} = \frac{\Psi}{I} = \frac{N \cdot \Phi_m}{I}$$

2.4 Cievky a transformátory - Vzt'ahy medzi indukčnosťami dvoch cievok

Zapojenie cievok	bez väzby (veľká vzdialenosť)	s väzbou (malá vzdialenosť)
sériové	$L_s = L_1 + L_2$ $tg\delta_s = \frac{L_1 \cdot tg\delta_1 + L_2 tg\delta_2}{L_1 + L_2}$	$L = L_1 + L_2 \pm 2M$
paralelné	$L_p = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$ $tg\delta_p = \frac{L_1 \cdot tg\delta_2 + L_2 tg\delta_1}{L_1 + L_2}$	$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}$

Pretože cievka má vplyv na okolitý priestor, ovplyvňujú sa cievky vzájomne. Veličina **M** sa nazýva vzájomná indukčnosť. Závisí od geometrického usporiadania obidvoch cievok.

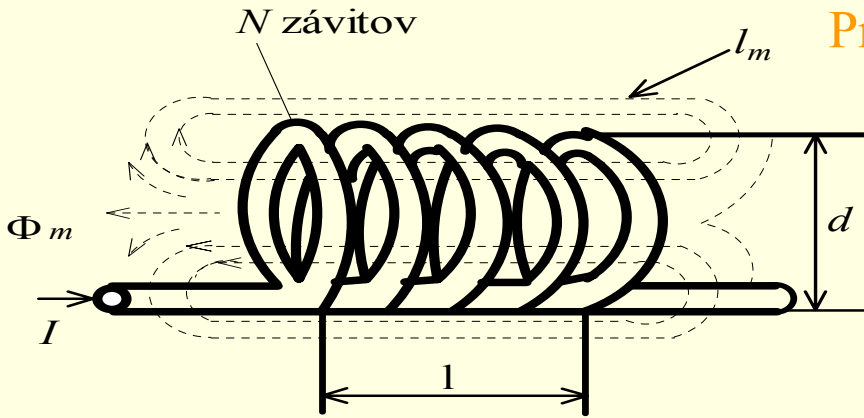
2.4 Cievky a transformátory

Ak preteká elektrický prúd vodičom stočeným do závitov cievky, sústreďujú sa jeho magnetické účinky do malého priestoru cievky, ktorá tak realizuje požadovanú indukčnosť.

Pre indukčnosť cievky potom platí vzťah:

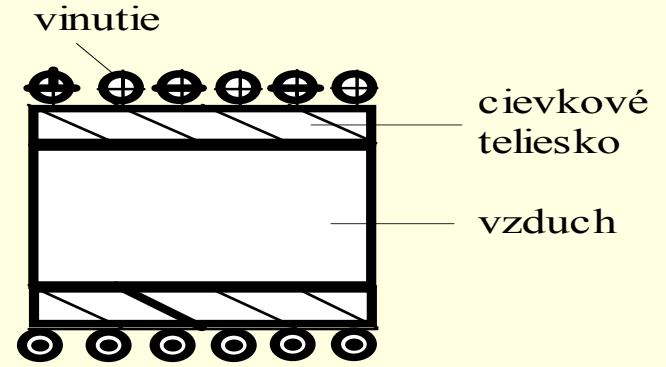
$$L = N \frac{\Phi_m}{I} = \frac{N \cdot G_m N \cdot I}{I} = G_m N^2 = \mu_0 \mu_r \frac{S}{l_m} N^2$$

Princípy usporiadania cievok a transformátorov

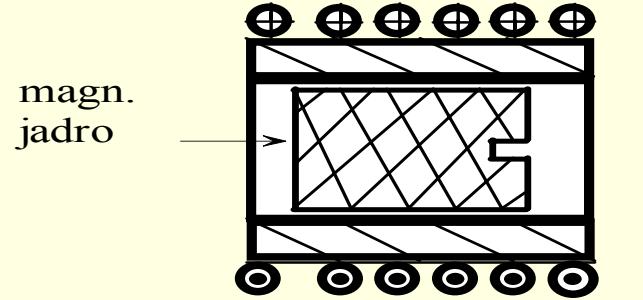


a) $L = N\Phi_m / I, L = G_m N^2 = K \frac{d}{l} N^2$

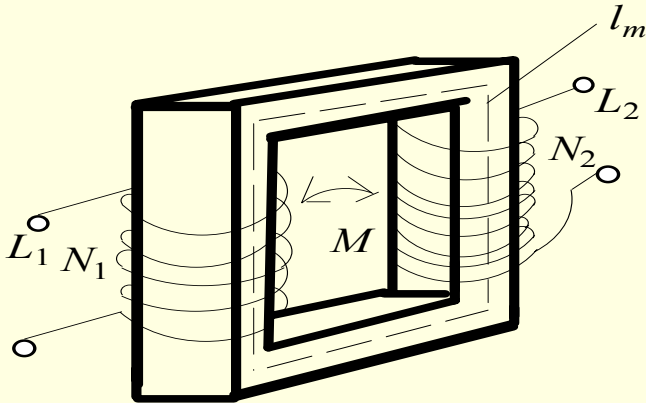
(K=koeficient, konšt)
 d=priemer závitov
 l=dĺžka závitov



b) vzduchová cievka

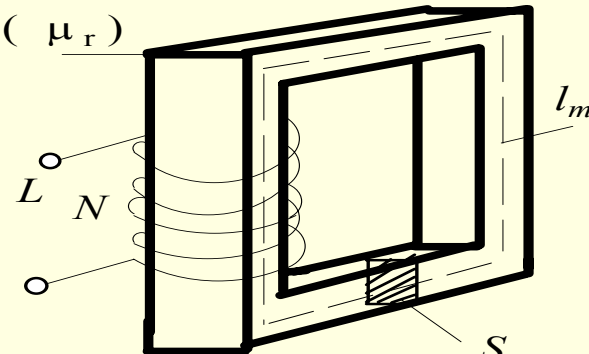


c) vzduchová cievka s magn.jadrom



e) transformátor

jadro uzavretého
 mg. obvodu (μ_r)



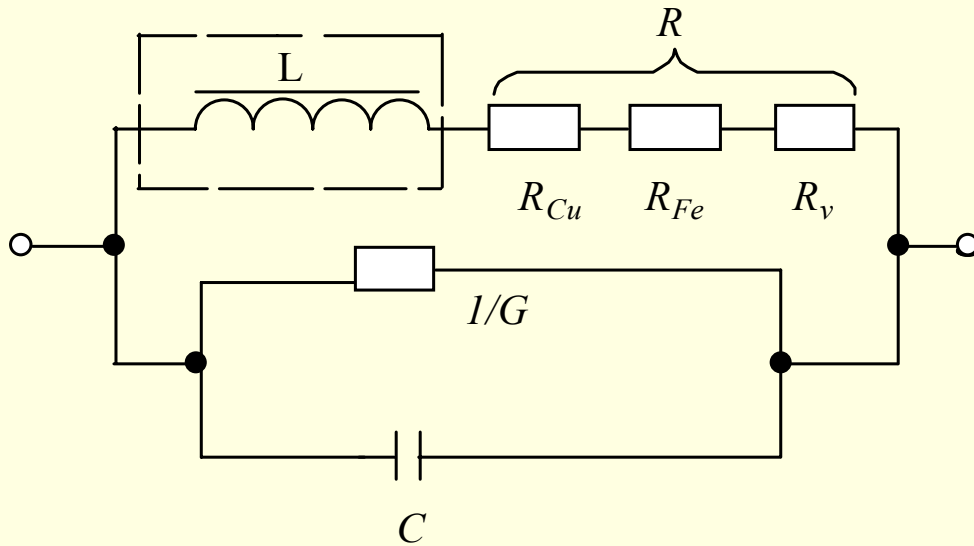
d) tlmivka

2.4.2 *Charakteristické vlastnosti*

2.4.2.1 *Cievky s malými indukčnosťami*

- Pri ideálnej cievke, t.j. bezstratovom dvojpóle "induktore", prebieha nezávisle od frekvencie napätie prúd o $\pi/2$. Reálnu cievku so stratami a kapacitou, kde posun napätia pred prúdom je menší ako $\pi/2$, môžeme pre frekvencie nižšie, ako je jej rezonančná uhlová frekvencia ω_r opísať prvkami náhradnej schémy podľa Obr.

Náhradná schéma cievky



L - vlastná indukčnosť cievky

R_V - straty vírivými prúdmi v magn. obvode

R_{Cu} - straty vo vodičoch

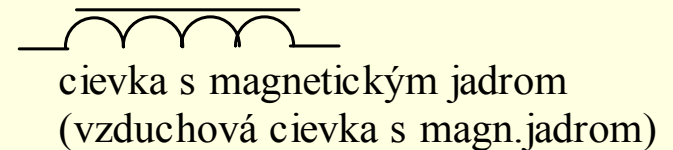
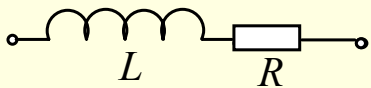
R_{Fe} - hysterézne straty v magn. obvode

C - vlastná kapacita cievky

$1/G$ - straty v dielektriku a vyžarovaním cievky (rozptylom)

a) prvky náhradnej schémy cievky

Schematické značky



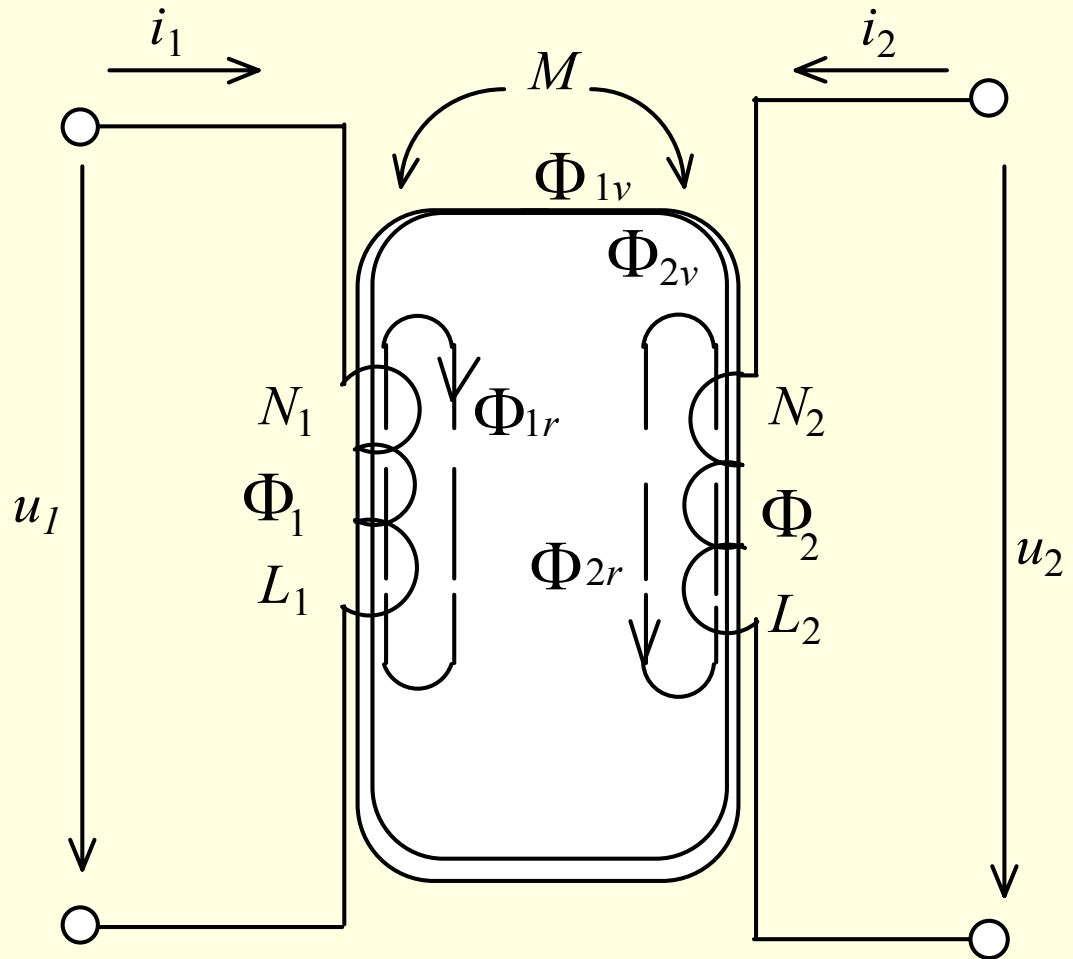
b) zjednodušená náhradná schéma cievky

2.4.4 Transformátory

$$\Phi_1 = \Phi_{1v} + \Phi_{1r}$$

$$\Phi_2 = \Phi_{2v} + \Phi_{2r}$$

$$\Phi_v = \Phi_{1v} + \Phi_{2v}$$



$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1} = n$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{n} = p$$

$$z_2 = \frac{u_2}{i_2} = \frac{u_1 \cdot n}{i_1 / n} = z_1 \cdot n^2 \Rightarrow \frac{z_2}{z_1} = n^2$$

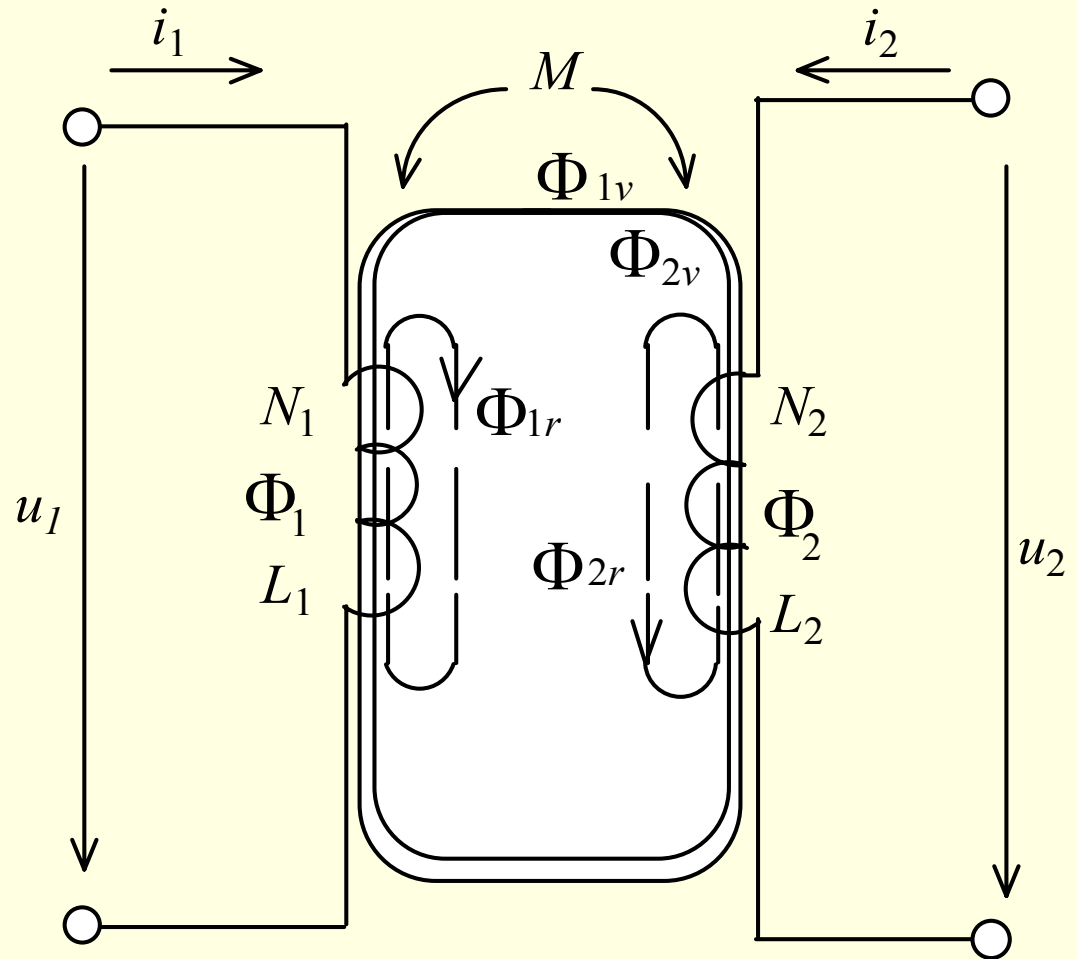
2.4.4 Transformátory

$$L_1 = L_{1v} + L_{1r}$$

$$L_2 = L_{2v} + L_{2r}$$

$$k_v = \frac{L_{1v}}{L_1} = \frac{L_{2v}}{L_2}$$

k_v - väzobný činiteľ

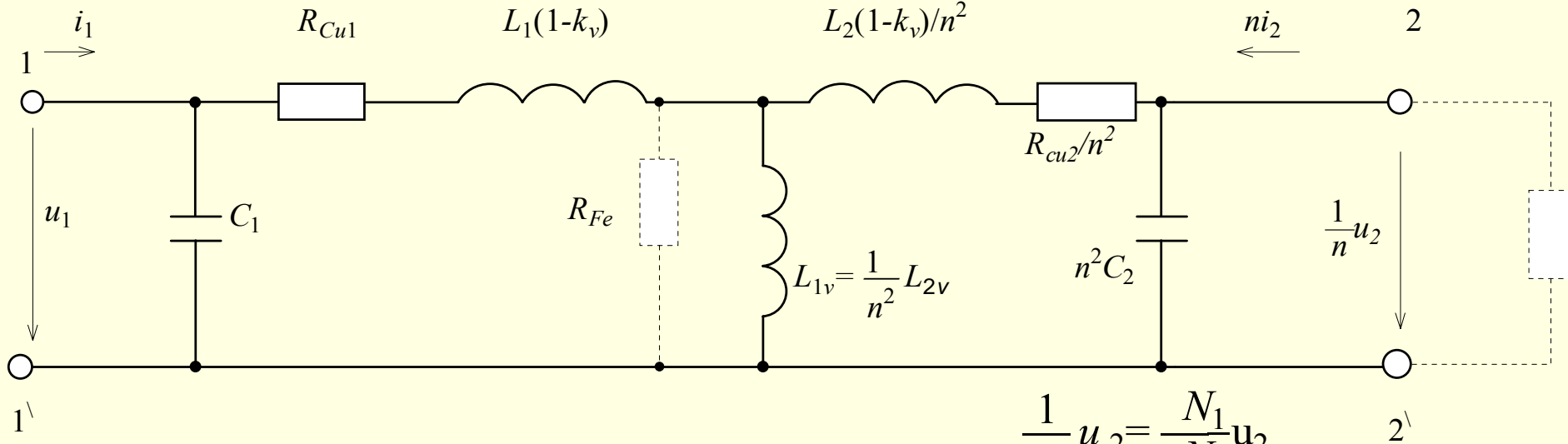


$$L_{1r} = L_1 - L_{1v} = L_1 - k_v L_1 = L_1 (1 - k_v) ; \quad L_{2r} = L_2 (1 - k_v)$$

$$M = \sqrt{L_{1v} L_{2v}} = \sqrt{k_v L_1 \cdot k_v L_2} = k_v \sqrt{L_1 L_2} \quad M\text{- činiteľ vzájomnej indukčnosti}$$

2.4.4 Transformátory

Náhradná schéma transformátora



L_1 -indukčnosť primárnej cievky

L_2 -indukčnosť sekundárnej cievky

R_{Cu1} -odpor vinutia primárnej cievky

R_{Cu2} -odpor vinutia sekundárnej cievky

C_1 -kapacita vinutia primárnej cievky

C_2 -kapacita vinutia sekundárnej cievky

R_{Fe} -straty v magnetickom obvode

$$\frac{1}{n} u_2 = \frac{N_1}{N_2} u_2$$

$$n i_2 = \frac{N_2}{N_1} i_2$$

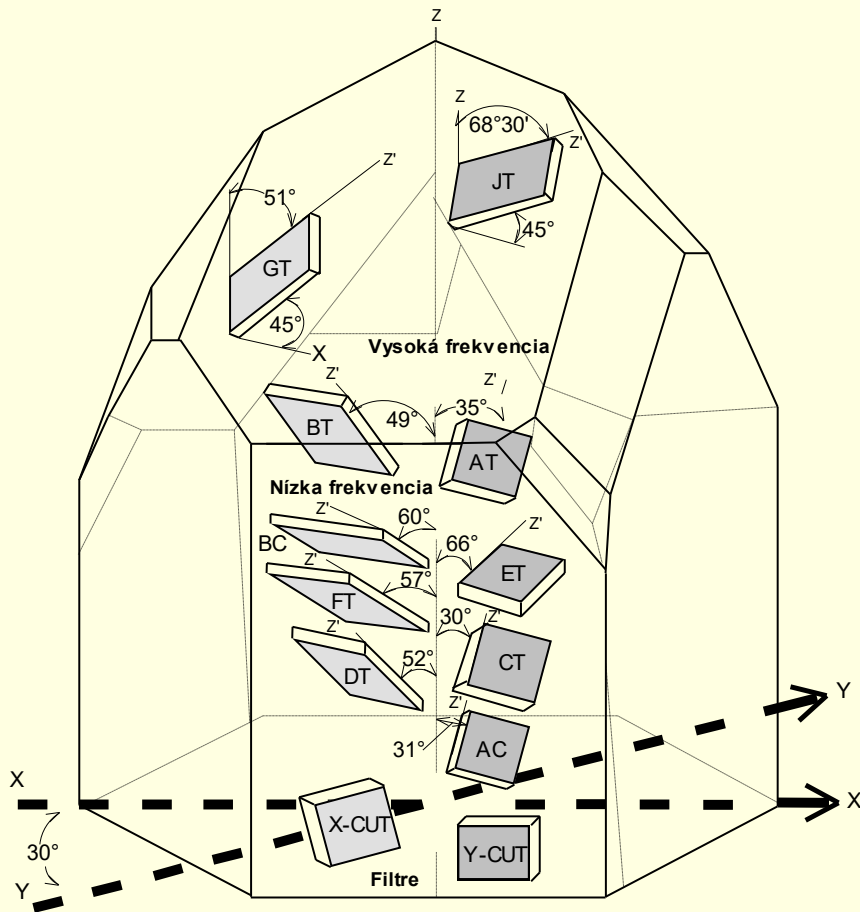
$$\frac{1}{n^2} R_{Cu2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{Cu2}$$

$$n^2 C_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 C_2$$

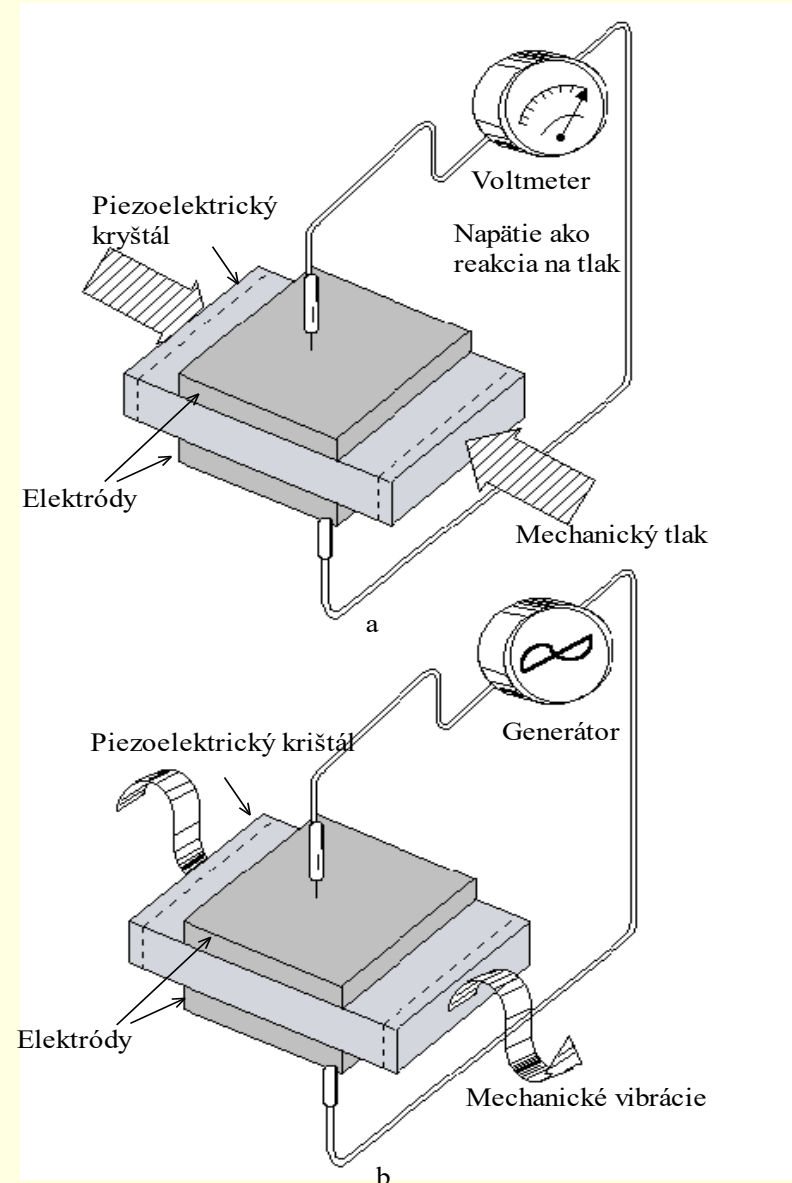
2.5. Piezoelektrické prvky

Činnosť piezoelektrických prvkov je založená na využití piezoelektrického javu:

•priamy piezoelektrický jav



•nepriamy piezoelektrický jav



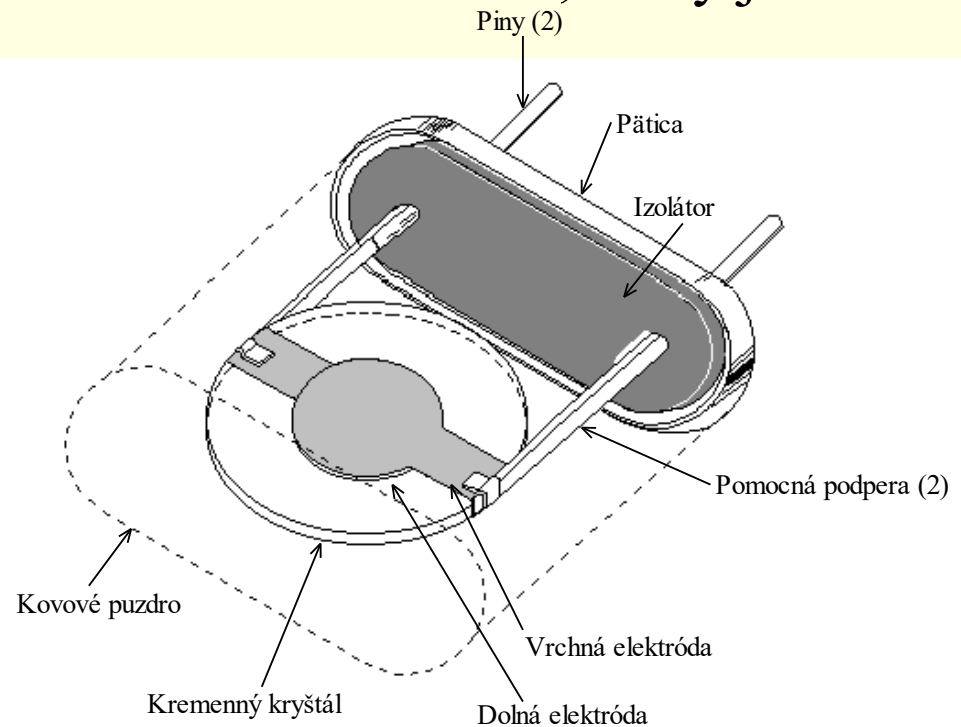
2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

- na stabilizáciu frekvencie oscilátorov,
- konštrukciu filtrov,
- na meranie času a pod.

sa používa PKJ s kremenným piezoelektrickým rezonátorom.

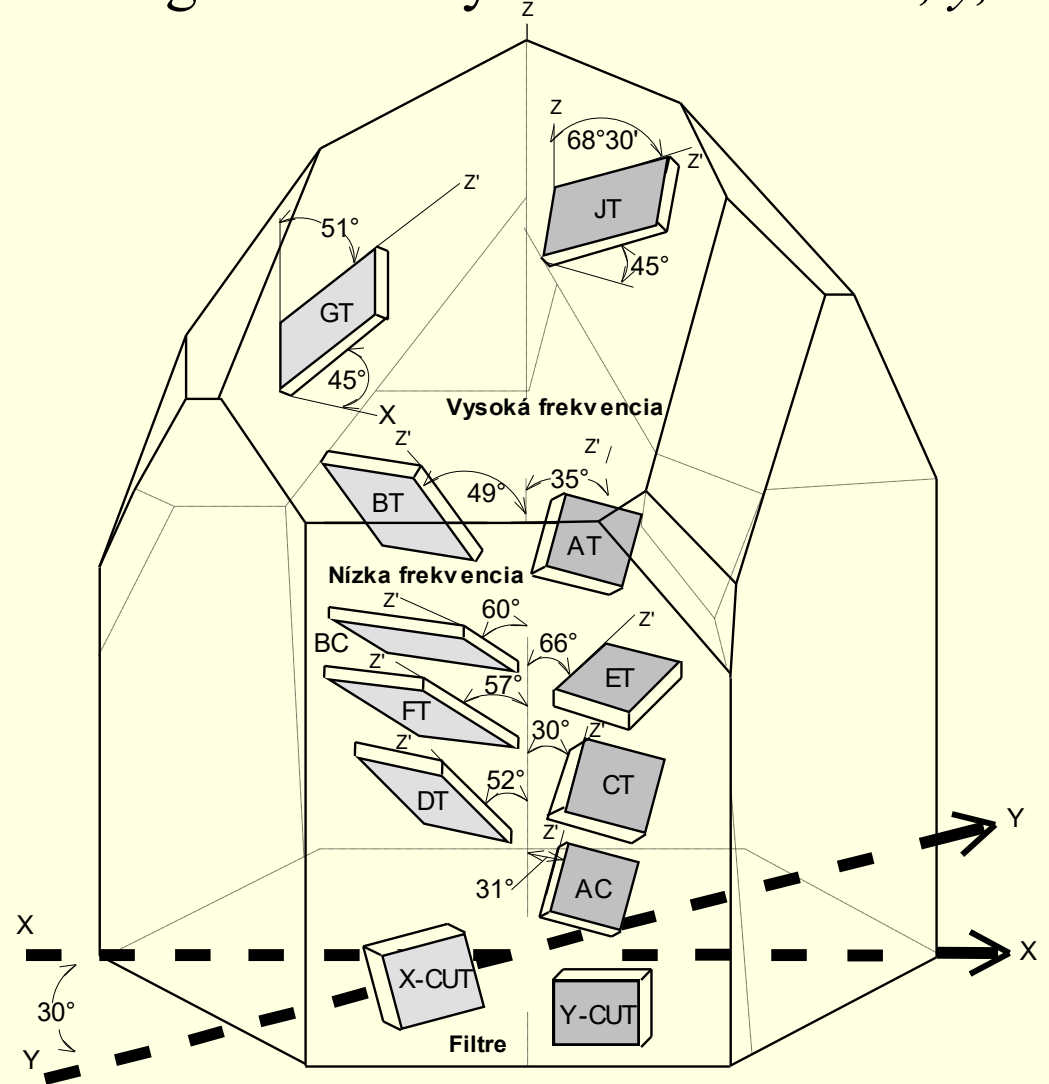
Základom PKJ je piezoelektrický výbrus v tvare tyčinky alebo doštičky kruhového, obdĺžnikového alebo iného tvaru, ktorý je vyrezaný a vybrúsený z monokryštálu kremeňa.

Piezoelektrický výbrus je umiestnený spolu s držiakmi v sklenenej vákuovej bunke alebo v kovovom puzdre.



2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

Orientácia výbrusu spočíva v sústave uhlov, vymedzujúcich jednoznačne polohu výbrusu v ortogonálnom systéme súradníc x, y, z .



2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

I. Piezoelektrický rezonátor je piezoelektrický výbrus, vybavený dvoma alebo viacerými elektródami, kmitajúci vynútenými kmitmi v okolí mechanickej rezonančnej frekvencie.

Ako teleso s niekoľkými stupňami voľnosti môže kmitať mnohými rôznymi, jednoduchými alebo vzájomne viazanými pozdĺžnymi a priečnymi typmi kmitov.

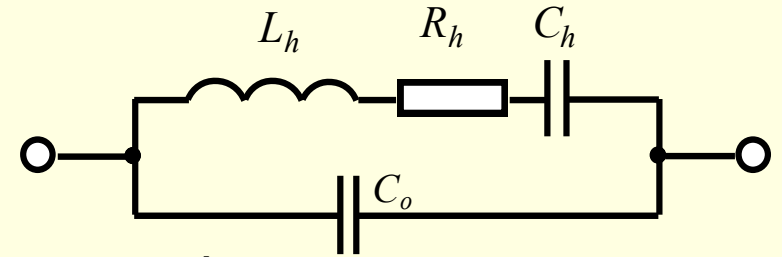
Obyčajne sa využíva tzv. *h*-tá rezonančná frekvencia hlavných kmitov, kde má výbrus pri danej orientácii a tvare optimálne vlastnosti.

Vplyvom **priameho** a **nepriameho piezoelektrického javu** dochádza v rezonátore k vzájomnému pôsobeniu medzi striedavým budiacim elektrickým poľom a mechanickými kmitmi.

Výsledkom tohoto pôsobenia sú výrazné elektrické charakteristiky, zodpovedajúce charakteristikám vysoko selektívneho rezonančného obvodu.

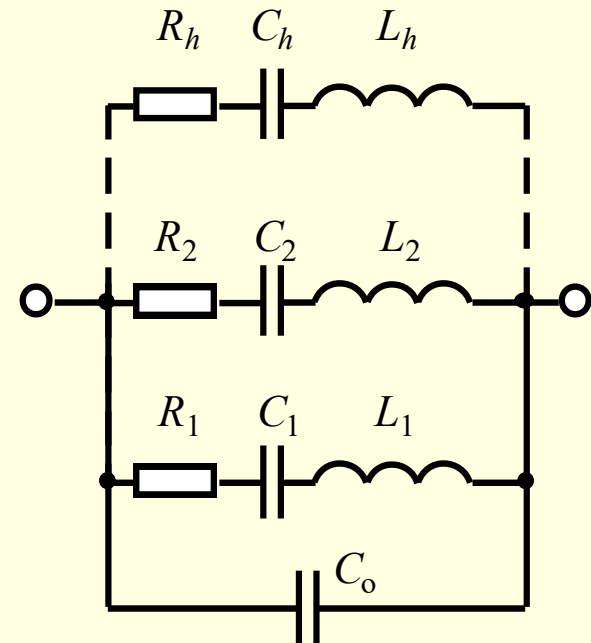
2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

V základnom usporiadaní piezoelektrického rezonátora s dvomi elektródami možno jeho vlastnosti v okolí h -tej rezonančnej frekvencie vyjadriť elektrickým náhradným obvodom v tvare dvojpoľu.



a) v okolí h -tej rezonančnej frekvencie

Všeobecne v širšom frekvenčnom rozsahu je náhradný obvod tvorený n -vetvami sériového spojenia RLC.



b) v širokom frekvenčnom rozsahu

2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

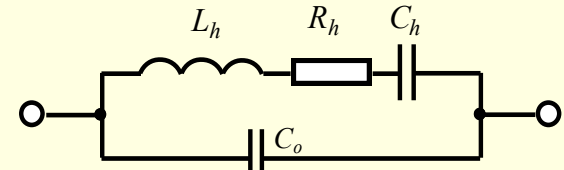
II. Elektrický náhradný obvod rezonátora

pozostáva z paralelného spojenia sériového rezonančného obvodu dynamických zložiek R_h , L_h , C_h zodpovedajúci h -tej rezonancii

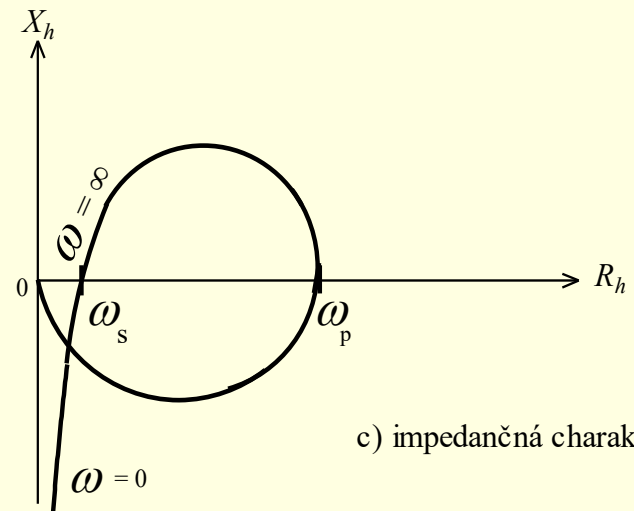
$$Z_h = R_h + j \left(\omega L_h - \frac{1}{\omega C_h} \right) = R_h + jX_h$$

a statickej kapacity C_0 danej tvarom a usporiadaním rezonátora.

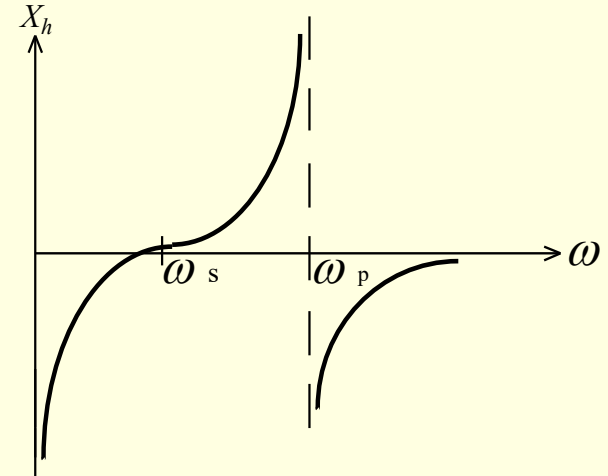
$$\omega = 2\pi f$$



a) v okolí h -tej rezonančnej frekvencie



c) impedančná charakteristika



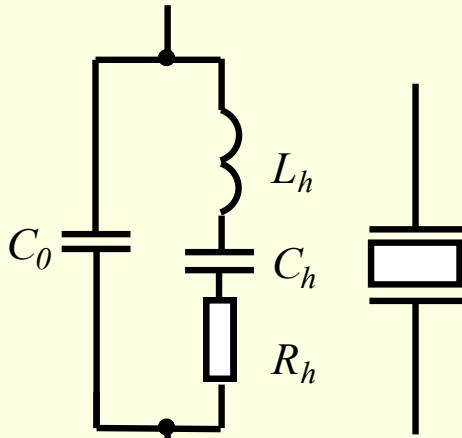
2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

Pre bezstratový náhradný obvod rezonátora ($R_h=0$) sú obidve frekvencie dané vzťahmi:

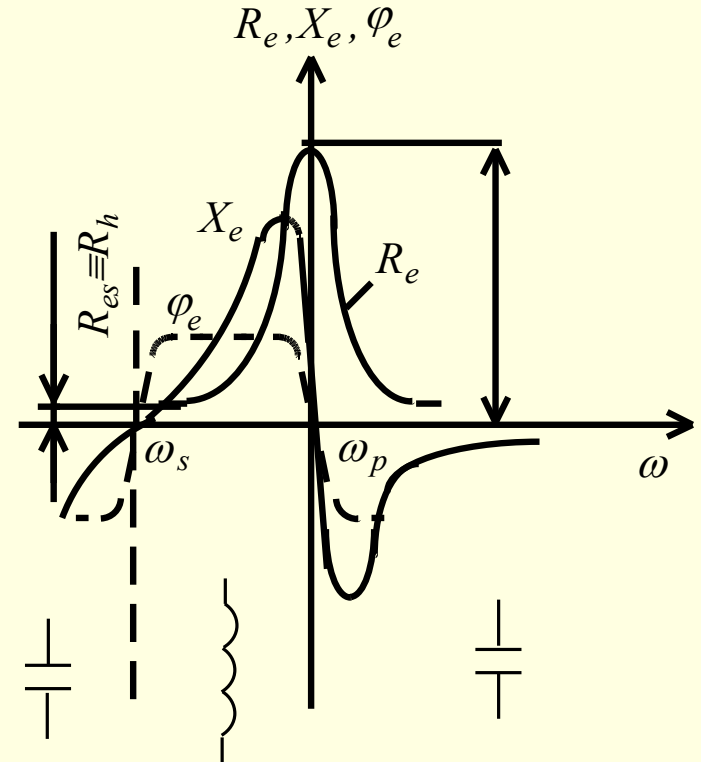
$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_h C_h}}, \quad f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_h C_h C_0}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C_h}{C_0}}$$

koeficient elektromechanickej väzby k

činiteľ akosti Q_h ($10^3 - 10^6$)



$$Q_h = \frac{\rho_h}{R_h} = \sqrt{\frac{L_h}{C_h}} \cdot \frac{1}{R_h} = \frac{\omega_s L_h}{R_h}$$



2.5.1 Piezoelektrické kryštálové jednotky - PKJ

III. Stabilita rezonančnej frekvencie sa udáva krátkodobá a dlhodobá.

• *Krátkodobá stabilita* udáva nepravidelné odchýlky od f_N pôsobením prevádzkových vplyvov. Teplotný súčiniteľ frekvencie:

$$TKf_N = \frac{1}{f_N} \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\mathcal{G}_{\max} - \mathcal{G}_{\min}} = \frac{1}{f_N} \frac{\Delta f_N}{\Delta \mathcal{G}} \left[^\circ\text{C}^{-1} \right]$$

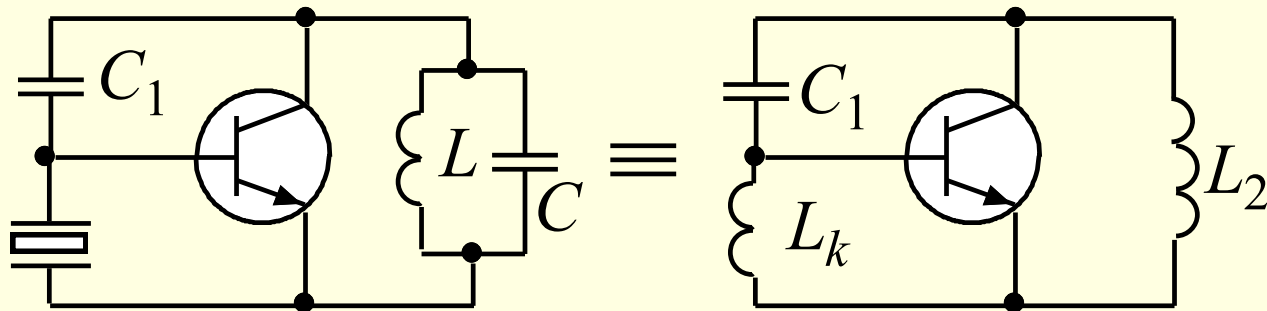
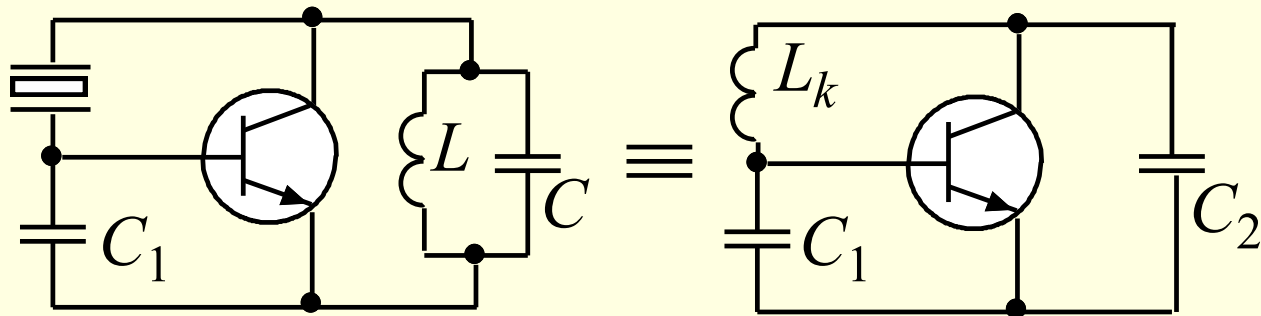
• *Dlhodobá stabilita* udáva prípustné zmeny Δf_N vplyvom starnutia rezonátora v dôsledku prevádzkových a klimatických podmienok v dlhšom časovom období (1 deň až 1 rok). Typicky dosahované hodnoty sú ($\pm 1 \cdot 10^{-7}/6$ mesiacov až $\pm 5 \cdot 10^{-9}/6$ mesiacov).

2.5.2 Zapojenia a vlastnosti kryštálov riadených oscilátorov

Jednoduché zapojenia využívajú kryštál dvojakým spôsobom:

- zapojenie pracuje v blízkosti paralelnej rezonancie kryštálu,
- zapojenie pracuje na frekvencii sériovej rezonancie.

V obidvoch prípadoch sa jedná o trojbodové spätnoväzobné oscilátory



2.5.3 Metódy ladenia kryštálom riadených oscilátorov

Kryštálom riadené oscilátory boli podrobené dôkladnej analýze ako meniť ich frekvenciu pri zachovaní pokiaľ možno čo najvyššej stability. Pri tom musíme rozlišovať metódy dovoľujúce:

- jednorázovú a viac-menej trvalú zmenu frekvencie od
- zmien vratných.

1.) Pokiaľ ide o trvalé zmeny frekvencie, dajú sa dosiahnuť:

- odbrusovaním samotného výbrusu (čím frekvencia rastie), alebo
- zväčšovaním, či zmenšovaním hmotnosti polepov.

Elektrolytickým odleptávaním časti vrstvy polepov sa dá dosiahnuť zmena frekvencie $\Delta f/f - 20 \cdot 10^{-3}$ bez zníženia dlhodobej stálosti frekvencie.

Zníženie frekvencie sa dá realizovať aj tzv. jódomovaním kryštálu. Nevýhodou tejto metódy je nutnosť dlhodobého vystarnutia výbrusu, v priebehu ktorého sa ustáľuje frekvencia.

2.5.3 Metódy ladenia kryštálom riadených oscilátorov

2.) Pokiaľ sa jedná o zmeny frekvencie vratné, možno ich dosiahnuť nasledujúcimi metódami:

- *Tlakom na výbrus.*
- *Zmena tlaku v kryte kryštálu.*
- *Zmenou teploty výbrusu.*
- *Pomocou zmien jednosmerného napätia priloženého na hlavné, alebo na špeciálne elektródy výbrusu.*
- *Pomocou reaktančného prvku zapojeného do série alebo paralelne k výbrusu.* Táto metóda doladovania alebo ladenia frekvencie sa vzhľadom na jej výhodné vlastnosti používa v praxi najčastejšie.