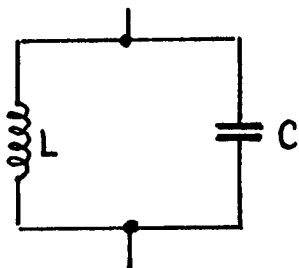


Ing. Mir. Beran

Příspěvek k výpočtu rezonančních obvodů

V rozhlasových přijímačích se nejčastěji setkáváme s paralelními rezonančními obvody, složenými z cívky o indukčnosti L a kondenzátoru o kapacitě C /viz obr. 1/. Kondenzátor C bývá



Obr. 1.

buď o pevné kapacitě, nebo s kapacitou proměnnou. V prvním případě je rezonanční obvod naladěn na jeden kmitočet, jako je tomu např. u mezifrekvenčních transformátorů. Ve druhém případě je možno pomocí kondenzátoru měnit v dosti širokých mezích rezonanční kmitočet, čehož je využíváno ve vstupních částech přijímačů. Je ovšem také možno měnit rezonanční kmitočet proměnnou indukčností. Tohoto způsobu se však v přijímačích používá jen výjimečně..

Rezonanční kmitočet f je dán vzorcem

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \cdot C}} \quad / \text{MHz; } \mu\text{H, pF} / \quad / 1 /$$

Máme-li např. určit kmitočtový rozsah rezonančního obvodu, složeného z cívky o indukčnosti $200 \mu\text{H}$ a ladičního kondenzátoru o minimální kapacitě /včetně spoju/ 50 pF a maximální kapacitě 500 pF , vypočteme nejdříve maximální kmitočet:

$$f_{\max} = \frac{159}{\sqrt{200 \cdot 50}} = \frac{159}{100} = 1,59 \text{ MHz} = \underline{1590 \text{ kHz}}$$

$$/ \text{tj. } 300 : 1,59 = 188 \text{ m} /$$

a potom kmitočet minimální:

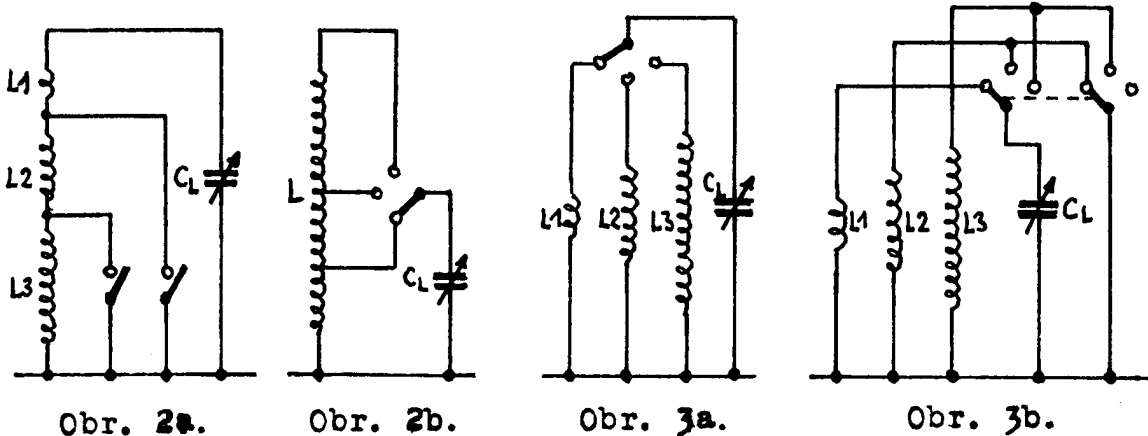
$$f_{\min} = \frac{159}{\sqrt{200 \cdot 500}} = \frac{159}{316} = 0,5 \text{ MHz} = \underline{500 \text{ kHz}}$$

$$/ \text{tj. } 300 : 500 = 600 \text{ m} /$$

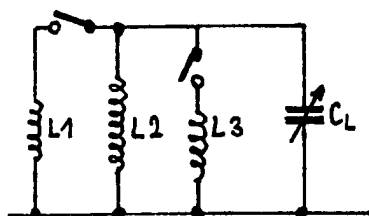
Můžeme tedy u přijímače zjistit předem jeho vlnové rozsahy prostým výpočtem, aniž bychom ho uváděli do provozu. K tomu se uchylujeme v případech, kdy vlnové rozsahy nejsou známy, nejsou na stupnici vyznačeny. Stačí tedy změřit indukčnosti a kapacitu ladičního kondenzátoru. Mohli bychom to ovšem provést i sšacím měřičem kmitočtu, což je někdy dosti obtížné /zvláště u značně zanedbaných či poškozených přijímačů/.

U vícerozsaňových přístrojů je změna vlnového rozsahu provedena buď přepínáním odboček na společné cívce, nebo se do obvodu zapojují cívky samostatné /pomocí přepínače, nebo jsou cív-

ky výměnné/. V prvním případě /viz obr. 2/ je možné několik variant zapojení, ve druhém /viz obr. 3/ se obvykle cívka nezapojeného nižšího kmitočtového rozsahu spojuje žívým koncem se zemí /jinak by při přeladování vznikaly ssacím účinkem nezapojené cívky rezonanční díry/.



Méně obvyklý způsob změny vlnového rozsahu spočívá v paralelním spojování dvou i více cívek



Obr. 4. Paralelní řazení L

/viz. obr. 4/. Tohoto způsobu bylo použito např. u přijímači DKE /2 cívky/ či u přijímači Telefunken T9 /2 a 3 cívky/. V tomto případě jde o paralelní spojování indukčností, pro které platí vztah

$$L_v = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad /\mu\text{H}; \mu\text{H}/ \quad /2/$$

avšak jen za předpokladu, kdy mezi spojovanými indukčnostmi není elektromagnetická vazba /cívky jsou umístěny v samostatných stínících krytech/. Jinak je mezi cívkami tzv. vzájemná indukčnost M, která je dána vztahem

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad /\mu\text{H}; -\mu\text{H}, \mu\text{H}/ \quad /3/$$

přičemž k je tzv. činitel vazby. Ten nabývá hodnot od $k < 0,01$ až $k > 0,9$. U válcových vzduchových cívek, vinutých v jedné vrstvě na společné kostře /válcí/ je $k = 0,2$. Potom výsledná indukčnost L_v je dána vztahem

$$L_v = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M} \quad /\mu\text{H}; \mu\text{H}/ \quad /4/$$

Znaménko minus ve jmenovateli platí v případě, kdy obě vinutí jsou spojena souhlasným směrem, jinak platí znaménko plus.

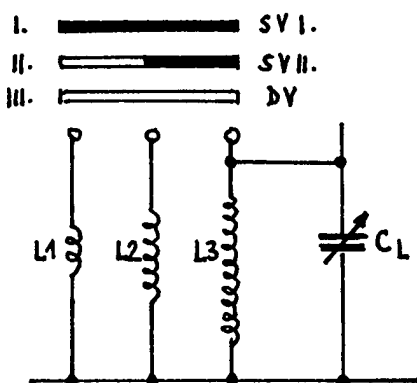
Indukčnost jednovrstvové válcové cívky vypočteme ze vzorce

$$L = \frac{\pi^2 \cdot N^2 \cdot d^2 \cdot 10^{-3}}{\text{š.} / 1 + 0,45 \cdot \frac{d}{\text{š.}} /} \quad /\mu\text{H}; \text{cm}/ \quad /5/$$

příčemž N je počet závitů, d - průměr cívky, δ - šířka vinutí / délka vinutí/.

Celou problematiku si ukážeme na konkrétním příkladě:

Příklad: V přijímači Telefunken T9 /viz SN 36/ jsou laděné /mřížkové/ cívky vinuty jednovrstvově na válcové pertinaxové kostře o ϕ 7 cm. Cívka L1 má 39 závitů při šířce vinutí 2 cm, cívka L2 má 82 závitů při šířce 4,2 cm a L3 má 206 závitů při šířce 5,6 cm. Na rozsahu DV je zapojena pouze cívka L3, ke které se na rozsahu SV II připojuje paralelně cívka L2 a při rozsahu SVI ještě cívka L1 /v tomto případě jsou pak všechny tři cívky paralelně spojeny/.



Výpočet indukčností jednotlivých cívek provedeme podle vzorce /5/:

$$L1 /5/ = \frac{\pi^2 \cdot N^2 \cdot d^2 \cdot 10^{-3}}{\delta \cdot /1+0,45 \cdot \frac{7}{\delta}/} = \frac{3,14^2 \cdot 39^2 \cdot 7^2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot /1+0,45 \cdot \frac{7}{2}/} \doteq \frac{735,6}{5,15} \doteq \underline{142 \mu\text{H}}$$

$$L2 /5/ = \frac{3,14^2 \cdot 82^2 \cdot 7^2 \cdot 10^{-3}}{4,2 \cdot /1+0,45 \cdot \frac{7}{4,2}/} \doteq \frac{3252}{7,35} \doteq \underline{442 \mu\text{H}}$$

$$L3 /5/ = \frac{3,14^2 \cdot 206^2 \cdot 7^2 \cdot 10^{-3}}{5,6 \cdot /1+0,45 \cdot \frac{7}{5,6}/} \doteq \frac{20523}{8,736} \doteq \underline{2349 \mu\text{H}}$$

Ve skutečnosti bylo naměřeno 142 resp. 445 resp. 2350 μH , což je shoda víc než dobrá. /Poznámka: Násobit výrazem 10^{-3} znamená vlastně dělit tisícem/.

Výpočet výsledné indukčnosti pro rozsah II /SV II/ při paralelním spojení cívek L2 a L3 začneme výpočtem vzájemné indukčnosti mezi cívkami L2 a L3 podle vzorce /3/:

$$M /3/ = k \cdot \sqrt{L2 \cdot L3} = 0,2 \cdot \sqrt{442 \cdot 2349} \doteq 0,2 \cdot 1019 \doteq \underline{203,8 \mu\text{H}}$$

Potom výslednou indukčnost dvojice L2//L3 vypočteme dle vzorce /4/:

$$L2//L3 /4/ = \frac{L2 \cdot L3 - M^2}{L2 + L3 - 2M} = \frac{442 \cdot 2349 - 203,8^2}{442 + 2349 - 2 \cdot 203,8} = \underline{418,2 \mu\text{H}}$$

/naměřeno 420 μH /

- 4 -

Výpočet výsledné indukčnosti pro rozsah I /SV I/ při paralelním spojení všech tří cívek, kdy vlastně k dvojici cívek L2 a L3 přiřadíme ještě cívku L1, provedeme obdobným způsobem. Nejdříve opět vypočteme vzájemnou indukčnost - tentokrát mezi dvojicí L2//L3 a cívkou L1:

$$M /3/ = k \cdot \sqrt{L1 \cdot L2//L3} \doteq 0,2 \cdot \sqrt{142 \cdot 418} \doteq \underline{48,76 \mu\text{H}}$$

Potom výsledná indukčnost všech tří cívek bude:

$$L_V /4/ = \frac{L1 \cdot L2//L3 - M^2}{L1 + L2//L3 - 2M} \doteq \frac{56979}{462,5} \doteq 123 \mu\text{H} / \text{naměř. } 125/$$

Protože cívky jsou spojovány souhlasným směrem, použili jsme ve jmenovateli vzorce /4/ znaménko minus.

Můžeme ještě vypočítat sífku jednotlivých rozsahů podle vzorce /1/. Ladíací kondensátor v přijímači T9 má počáteční kapacitu spolu s kapacitami spojů pro rozsah I cca 70 pF, pro rozsah II a III cca 60 pF. Konečná využitelná kapacita je cca 500 pF /s doladovači až 650 pF/.

Pro rozsah I /SV I/ bude:

$$f_{\max} /1/ = \frac{159}{\sqrt{123 \cdot 70}} \doteq \frac{159}{92,8} \doteq \underline{1,73 \text{ MHz}} \quad / \doteq \frac{300}{1,73} \doteq 174 \text{ m/}$$

$$f_{\min} /1/ = \frac{159}{\sqrt{123 \cdot 500}} \doteq \frac{159}{248} \doteq \underline{0,64 \text{ MHz}} \quad / \doteq \frac{300}{0,64} \doteq 468 \text{ m/}$$

Pro rozsah II /SV II/ bude:

$$f_{\max} /1/ = \frac{159}{\sqrt{418 \cdot 60}} \doteq \frac{159}{158} \doteq \underline{1 \text{ MHz}} \quad / \doteq \frac{300}{1} \doteq 300 \text{ m/}$$

$$f_{\min} /1/ = \frac{159}{\sqrt{418 \cdot 500}} \doteq \frac{159}{457} \doteq \underline{0,35 \text{ MHz}} \quad / \doteq \frac{300}{0,35} \doteq 857 \text{ m/}$$

Pro rozsah III /DV/ bude:

$$f /1/ = \frac{159}{\sqrt{2350 \cdot 60}} \doteq \frac{159}{375} \doteq \underline{0,424 \text{ MHz}} \quad / \doteq \frac{300}{0,424} \doteq 707 \text{ m/}$$

$$f /1/ = \frac{159}{\sqrt{2350 \cdot 500}} \doteq \frac{159}{1084} \doteq \underline{0,15 \text{ MHz}} \quad / \doteq \frac{300}{0,15} \doteq 2000 \text{ m/}$$

Vypočtené hodnoty odpovídají zhruba hodnotám naměřeným na dvou přístrojích T9W.

Pokud bychom použili přepínání vlnových rozsahů podle obr. 2a, pak na prvním rozsahu se uplatní indukčnost pouze cívky L1, kdežto cívky L2 a L3 jsou zkratovány na zem. Na druhém rozsahu pracují cívky L1 a L2 v seriovém spojení /L3 zkratována na zem/. Výsledná indukčnost seriově spojených cívek L1 a L2, pokud je mezi nimi vzájemná magnetická vazba, nebude rovna prostému součtu jejich jednotlivých indukčností, ale musíme ještě vzít v úvahu jejich vzájemnou indukčnost M. Obecně platí:

$$L_v = L_1 + L_2 \pm 2M \quad / \mu\text{H}, \mu\text{H} / \quad / 6 /$$

přičemž znaménko plus před výrazem 2M platí v případě, že cívky jsou spojeny souhlasným směrem; jinak bychom použili znaménka minus.

Příklad: V přijímači Telefunken T31 /viz SN 39/ jsou na rozsahu SVII v serií vinutí 3-4 a 4-5. Označme je L1 a L2. Měřením jsme zjistili, že indukčnost L1 = 60 μH a L2 = 110 μH . Jaká bude jejich výsledná indukčnost? Protože vinutí L1 a L2 jsou součástí celé SV cívky, vinuté jedním směrem /s odbočkami/, je mezi nimi vzájemná indukčnost /činitel vazby k odhadneme na 0,43/:

$$M /3/ = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} = 0,43 \cdot \sqrt{60 \cdot 110} \approx 35 \mu\text{H}$$

Potom výsledná indukčnost

$$L_v /6/ = L_1 + L_2 + 2M = 60 + 110 + 2 \cdot 35 = 170 + 70 \approx \underline{240 \mu\text{H}}$$

Tato hodnota byla skutečně naměřena - viz tabulka v SN 39.

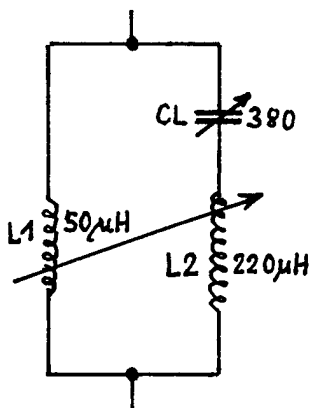
Kdybychom k těmto cívkám připojili do serie vinutí další, jehož indukčnost je 190 μH , potom při k = 0,56 bude:

$$M /3/ = 0,56 \cdot \sqrt{240 \cdot 190} \approx 120 \mu\text{H}$$

$$L_v /6/ = 240 + 190 + 2 \cdot 120 = 430 + 240 = 670 \mu\text{H}$$

což opět odpovídá hodnotám naměřeným.

Zajímavé zapojení rezonančního obvodu je např. u přijímače Modrý bod VII /viz SN 38/. Je to vlastně obvod se dvěma rezonančními kmitočty: paralelním fp a seriovým fs. Obě cívky jsou ploché, voštinového typu. L2 je pevná, L1 je výklopná souběžně s L2. Vazba mezi cívkami je tedy proměnná. Cívky jsou vinuty souhlasným směrem.



Paralelní rezonanční obvod je tvořen celkovou indukčností L_v a kapacitou ladícího kondenzátoru CL. Paralelní kmitočet f_p vypočteme běžným způsobem podle vzorce /1/, celkovou indukčnost L_v podle vzorce /6/ a vzájemnou indukčnost podle vzorce /3/.

V našem případě, kdy L1 se kryje s L2 /L1 není vyklopena/ a tudíž vazba cívek je nejtěsnější /k = 0,4/ bude:

$$M /3/ = 0,4 \cdot \sqrt{50 \cdot 220} = 42 \mu\text{H}$$

$$L_v /6/ = L_1 + L_2 + 2M = 50 + 220 + 2 \cdot 42 = 354 \mu\text{H}$$

Při minimální kapacitě CL = 32 pF bude

$$f_{p_{\max}} /1/ = \frac{159}{\sqrt{354 \cdot 32}} = \frac{159}{106} = 1,5 \text{ MHz} = \underline{200 \text{ m}}$$

kdežto při maximální kapacitě CL = 380 pF plus kapacitě spojů cca 10 pF bude

$$f_{p_{\min}} /1/ = \frac{159}{\sqrt{354 \cdot 390}} = \frac{159}{371} = 0,428 \text{ MHz} = \underline{700 \text{ m}}$$

Odpovídá tedy vlnový rozsah údají, uvedeném na kupléru přijímače.

Kdybychom cívku L1 vyklopili, čímž by se činitel vazby snížil na cca k = 0,2, nastal by posun vlnového rozsahu směrem ke kratším vlnám /vyšším kmitočetům/. Byl by 188,6 až 658 m, o čemž se můžeme přesvědčit výpočtem. Toto posunutí vlnového rozsahu vzhledem k malé selektivitě přístroje není na závadu.

Rezonanční seriový obvod je tvořen indukčností L2 a kapacitou ladičícího kondenzátoru CL. Tento obvod je vlastně paralelním odlaďovačem /je připojen paralelně k obvodu LvCL/. Jeho impedance je při rezonanci /vyladění/ rovna ohmickému odporu cívky, tedy pro vyladěnou frekvenci fs je prakticky zkratem, je odlaďena.

Seriový kmitočet fs vypočteme opět podle vzorce /1/, a to jak pro minimální, tak i pro maximální kapacitu CL:

$$f_{s_{\max}} /1/ = \frac{159}{\sqrt{L_2 \cdot C_{\min}}} = \frac{159}{\sqrt{220 \cdot 32}} = 1,89 \text{ MHz} = \underline{159 \text{ m}}$$

$$f_{s_{\min}} /1/ = \frac{159}{\sqrt{L_2 \cdot C_{\max}}} = \frac{159}{\sqrt{220 \cdot 390}} = 0,54 \text{ MHz} = \underline{556 \text{ m}}$$

Je tedy fs vždy vyšší, než fp, obecně

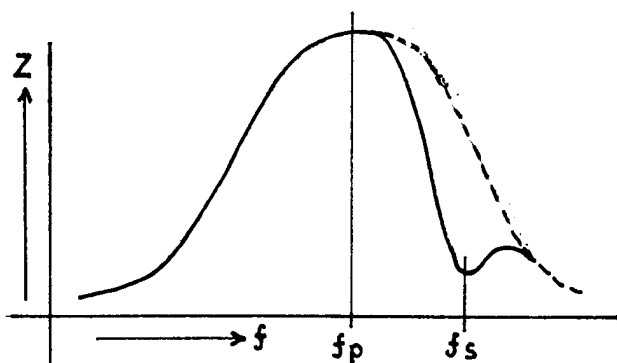
$$\Delta f = f_s - f_p \quad \text{/Hz, Hz/} \quad \text{/7/}$$

V prvním případě /CL_{min}/ je Δf = 1,89 - 1,5 = 0,39 MHz, ve druhém /CL_{max}/ je Δf = 0,54 - 0,428 = 0,11 MHz. Při vyklopení cívky L1 je pak rozdíl kmitočetů Δf menší a činí 0,3 MHz resp. 0,084 MHz. Jak vidíme, jsou rozdíly kmitočetů Δf na začátku vlnového rozsahu /při vyšších frekvencích/ větší, než na jeho konci, avšak vždy odlaďovaný kmitočet /pásmo/ je od přijímaného směrem k vyšším kmitočetům /kratším vlnám/.

Jsou tedy odladovány stanice směrem k vyšším kmitočetům oproti stanicím vyladěným, což lépe vyhovovalo tehdejšími jednoduchým přijímačům, které byly citlivější na vyšších kmitočtech. Jinými slovy - rušící stanice více rušila příjem vyladěné stanice, pokud se od ní nacházela směrem k vyšším kmitočetům /kratším vlnám/.

Poměrně velké rozdíly mezi přijímaným a odladovaným kmitočtem /na zač. středovlnného rozsahu cca 0,4 MHz, na konci cca 0,1 MHz/ vyhovovaly poměrně ploché rezonanční křivce přijímače a také frekvenčnímu odstupu místních vysílačů, který byl dosti značný. Jinak by se totiž místní stanice na tehdejších primitivních přijímačích nedaly od sebe odladit.

Výsledná impedance celého složeného obvodu vypadá přibližně takto:



Čárkovaně je naznačen průběh impedance bez seriového obvodu, kdy nedochází k odladování rušícího kmitočtu.

/Čím vyšší impedance Z, tím silnější příjem a naopak/.

Poznámka: Vzorec /1/ je upravený Thomsonův vzorec, jehož obecný tvar je

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{/Hz; H, F/}$$

který pro běžné jednotky má tvar

$$f^2 = \frac{25330}{L \cdot C} \quad \text{/MHz; } \mu\text{H, pF/}$$

a po odmocnění dostaneme výše zmíněný vzorec /1/.