

1 Teoretický úvod

Rezonanční obvod je komplexní jednobran tvořený v ideálním případě seriovým nebo paralelním zapojením kondenzátoru a cívky. V reálném strátovém světě však musíme počítat, ještě ze ztrátovým odporem cívky R_L a ztrátovým odporem kondenzátoru R_C . Popřípadně může ještě nastat situace, kdy bude do obvodu přidáno dalších n rezistorů, kondenzátorů či cívek. Rezonanční obvody můžeme rozdělit na dvě skupiny.

1.1 Sériový rezonanční obvod

V sériovém rezonančním obvodu při rezonanční frekvenci f_0 obvodem protéká maximální proud, napětí na prvcích rezonančního obvodu poklesne na minimum. Komplexní složky reaktencí mají opačnou hodnotu, díky tomu proud omezují jen ztrátové odpory R_C a R_L . Schéma sériového rezonančního obvodu: viz. sch. 1.

Odvození vztahu pro výpočet napětí na okraji pásma sériového rezonančního obvodu. Vycházím z toho že pásmo končí u zisku napětí o 3 dB.

$$\begin{aligned}20 \log \frac{U_2}{U_1} &= 3 \\ \log \frac{U_2}{U_1} &= \frac{3}{20} \\ \frac{U_2}{U_1} &= 10^{\frac{3}{20}} \\ U_2 &= U_1 10^{\frac{3}{20}}\end{aligned}\tag{1}$$

kde:

U_1 napětí při rezonanci
 U_2 napětí na konci pásma

1.2 Paralelní rezonanční obvod

V paralelním rezonančním obvodu, při rezonanční frekvenci f_0 si sou reaktance rovny $X_C = X_L$, obvodem protéká minimální proud a napětí na prvcích rezonančního obvodu je maximální. Schéma paralelního rezonančního obvodu: viz. sch. 2 a 3. Ze vztahu $X_C = X_L$ se dá odvodit Thomsonův vztah.

$$\begin{aligned}
X_L &= X_C \\
\omega L &= \frac{1}{\omega C} \\
\omega^2 &= \frac{1}{LC} \\
\omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\
2\pi f_0 &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\
f_0 &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}
\end{aligned} \tag{2}$$

kde:

X_L indukční reaktance
 X_C kapacitní reaktance
 L indukčnost
 C kapacita
 ω úhlová rychlost
 f_0 rezonanční frekvence

Vyjádření R_L jako nezatíženého děliče, ze schématu 1, Za předpokladu C má hodnotu v řátech μF .

$$\begin{aligned}
\frac{R_G}{R_G + R_L} \cdot U_0 &= U_0 - U_m \\
R_G U_0 &= (U_0 - U_m)(R_G + R_L) \\
R_L &= \frac{U_0}{U_0 - U_m} \cdot R_G - R_G
\end{aligned} \tag{3}$$

kde:

U_0 výstupní napětí generátoru
 U_m měřené napětí
 R_L ztrátový odpor cívky
 R_G rezistor sloužící jako omezovač proudu

Odvození indukčnosti L ze vztahu pro X_L .

$$\begin{aligned}
X_L &= 2\pi f L \\
L &= \frac{X_L}{2\pi f}
\end{aligned} \tag{4}$$

Odvození napětí na okraji pásma paralelního rezonančního obvodu. Vycházím z toho že pásmo končí u poklesu napětí pod -3 dB .

$$\begin{aligned}
20 \log \frac{U_2}{U_1} &= -3 \\
\log \frac{U_2}{U_1} &= -\frac{3}{20} \\
\frac{U_2}{U_1} &= 10^{-\frac{3}{20}} \\
U_2 &= U_1 10^{-\frac{3}{20}}
\end{aligned}
\tag{5}$$

kde:

U_1 napětí při rezonanci
 U_2 napětí na konci pásma

2 Schéma

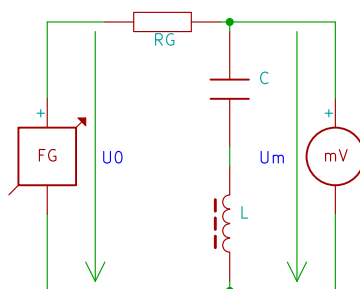


Schéma č. 1: Měření závislosti U_m na f

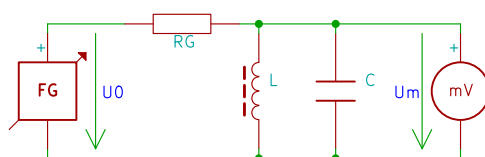


Schéma č. 2: Měření závislosti U_m na f

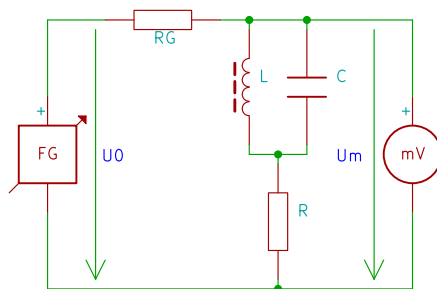


Schéma č. 3: Měření závislosti U_m na f

3 Tabulka použitých přístrojů

Označení v zapojení	Přístroj	Typ	Evidenční číslo	Poznámka
—	DMM	MASTECH MY-64	0659	—
FG	generátor	GoldStar FG-2002C	0382	—
mV	milivoltmetr	TESLA BK-128	0132	—

Tabulka č. 1: Tabulka použitých přístrojů

4 Postup měření

- Zapojíme úlohu podle schématu č. 1 a po kontrole začneme měřit.
- Nastavíme napětí U_0 na hodnotu dle zadání. (U_0 nastavujeme z odpojeným rezonančním obvodem)
- Laděním nalezneme frekvenci f_0 . (U_m bude minimální)
- Proměříme charakteristiku ± 50 kHz kolem f_0 .
- Zapojíme úlohu podle schématu č. 2 a po kontrole začneme měřit.
- Laděním nalezneme frekvenci f_0 . (U_m bude maximální)
- Proměříme charakteristiku ± 50 kHz kolem f_0 .
- Zapojíme úlohu podle schématu č. 3 a po kontrole začneme měřit.
- Laděním nalezneme frekvenci f_0 . (U_m bude maximální)
- Proměříme charakteristiku ± 50 kHz kolem f_0 .

5 Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot

$f[kHz]$	$U_m[V]$	$\delta_{\%}[\%]$	$\Delta U[mV]$
114,2	1,60	± 5	$\pm 80,0$
119,3	1,40	± 5	$\pm 70,0$
122,3	1,20	± 5	$\pm 60,0$
126,5	1,10	± 5	$\pm 55,0$
130,6	0,98	± 5	$\pm 49,0$
135,0	0,80	± 5	$\pm 40,0$
140,4	0,60	± 5	$\pm 30,0$
146,1	0,42	± 5	$\pm 21,0$
150,0	0,30	± 5	$\pm 15,0$
153,1	0,22	± 5	$\pm 11,0$
156,0	0,18	± 5	$\pm 09,0$
158,0	0,20	± 5	$\pm 10,0$
160,0	0,20	± 5	$\pm 10,0$
163,6	0,26	± 5	$\pm 13,0$
167,0	0,35	± 5	$\pm 17,5$
172,0	0,49	± 5	$\pm 24,5$
177,0	0,62	± 5	$\pm 31,0$
182,0	0,79	± 5	$\pm 39,5$
185,0	0,86	± 5	$\pm 43,0$
190,0	1,00	± 5	$\pm 50,0$

Tabulka č. 2: Tabulka změřených a vypočítaných hodnot pro schéma č. 1

$f[kHz]$	$U_m[V]$	$\delta_{\%}[\%]$	$\Delta U[mV]$
099,7	0,016	± 3	$\pm 00,48$
105,1	0,018	± 3	$\pm 00,54$
110,8	0,022	± 3	$\pm 00,66$
120,4	0,030	± 3	$\pm 00,90$
126,0	0,036	± 3	$\pm 01,08$
131,8	0,044	± 3	$\pm 01,32$
135,6	0,054	± 3	$\pm 01,62$
144,4	0,100	± 3	$\pm 03,00$
148,0	0,130	± 3	$\pm 03,90$
151,6	0,180	± 3	$\pm 05,40$
154,0	0,220	± 5	$\pm 11,00$
155,2	0,220	± 5	$\pm 11,00$
159,3	0,180	± 5	$\pm 09,00$
163,1	0,140	± 5	$\pm 07,00$
167,5	0,094	± 3	$\pm 02,82$
173,0	0,070	± 3	$\pm 02,10$
179,0	0,052	± 3	$\pm 01,56$
182,9	0,046	± 3	$\pm 01,38$
187,0	0,040	± 3	$\pm 01,20$
190,4	0,038	± 3	$\pm 01,14$

Tabulka č. 3: Tabulka změřených a vypočítaných hodnot pro schéma č. 2

$f[kHz]$	$U_m[V]$	$\delta\%[\%]$	$\Delta U[mV]$
099,7	0,016	± 3	$\pm 0,48$
105,1	0,018	± 3	$\pm 0,54$
110,8	0,022	± 3	$\pm 0,66$
120,4	0,030	± 3	$\pm 0,90$
126,0	0,034	± 3	$\pm 1,02$
131,8	0,040	± 3	$\pm 1,20$
135,6	0,050	± 3	$\pm 1,50$
144,4	0,070	± 3	$\pm 2,10$
148,0	0,090	± 3	$\pm 2,70$
151,6	0,100	± 3	$\pm 3,00$
155,2	0,100	± 3	$\pm 5,00$
157,0	0,100	± 5	$\pm 5,00$
159,3	0,100	± 5	$\pm 5,00$
163,1	0,080	± 5	$\pm 4,00$
167,5	0,074	± 3	$\pm 2,22$
173,0	0,060	± 3	$\pm 1,80$
179,0	0,048	± 3	$\pm 1,44$
182,9	0,043	± 3	$\pm 1,28$
187,0	0,039	± 3	$\pm 1,17$
190,4	0,036	± 3	$\pm 1,08$

Tabulka č. 4: Tabulka změřených a vypočítaných hodnot pro schéma č. 3

6 Vzory vápočtů

Δ_{U_m} nám udává o kolik voltů jsme od skutečné hodnoty.

$$\Delta_{U_m} = \frac{\delta\%}{100} \cdot U_m = \frac{114,2 \cdot 10^6}{100} \cdot 1,60 = \underline{\underline{80 \text{ mV}}}$$

R_L spočítáme dosazením do vztahu (3). Kde: R_G je odpor měnící proud, v zapojeních se sériovou rezonancí jsme použili jmenovitou hodnotu $1 \text{ k}\Omega$ a u paralelní rezonance $180 \text{ k}\Omega$.

$$R_L = \frac{U_0}{U_0 - U_m} \cdot R_G - R_G = \frac{6}{6 - 1} \cdot 983 - 983 = \underline{\underline{196,6 \Omega}}$$

L spočítáme dosazením do vztahu (4).

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{196,6}{2\pi 190} = \underline{\underline{196,6 \mu H}}$$

Napětí na okraji pásma sériového rezonančního obvodu vypočítáme z využitím vztahu (1).

$$U_2 = U_1 10^{\frac{3}{20}} = 0,18 \cdot 10^{\frac{3}{20}} = \underline{\underline{0,254 \text{ V}}}$$

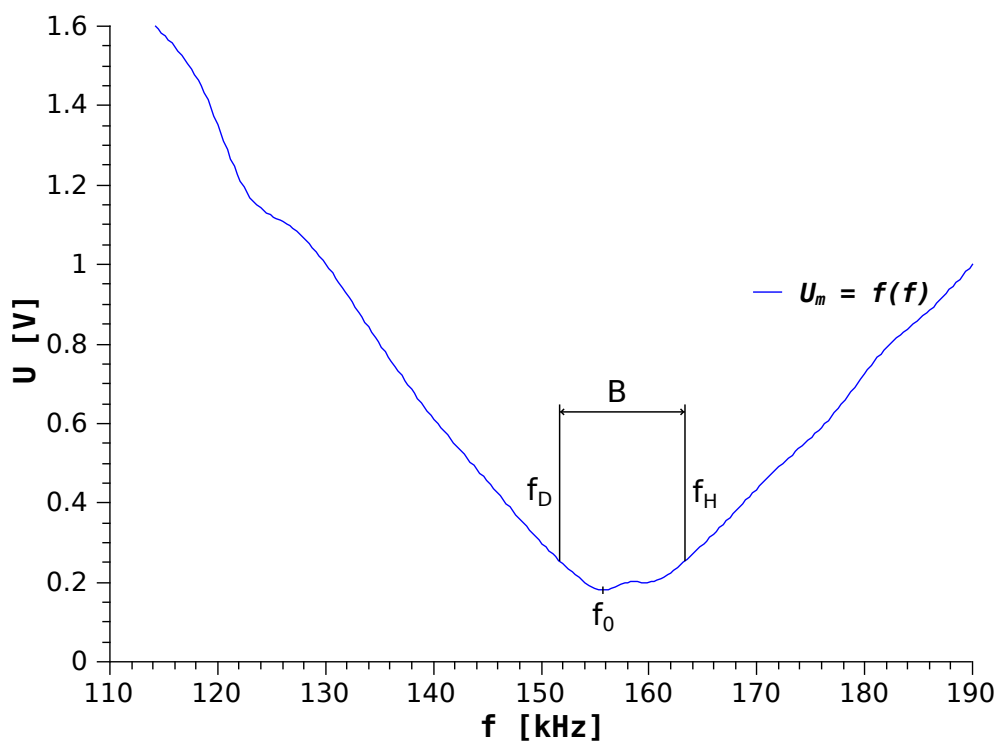
Napětí na okraji pásma paralelního rezonančního obvodu vypočítáme z využitím vztahu (5).

$$U_2 = U_1 10^{-\frac{3}{20}} = 0,22 \cdot 10^{-\frac{3}{20}} \doteq \underline{\underline{0,156 \text{ V}}}$$

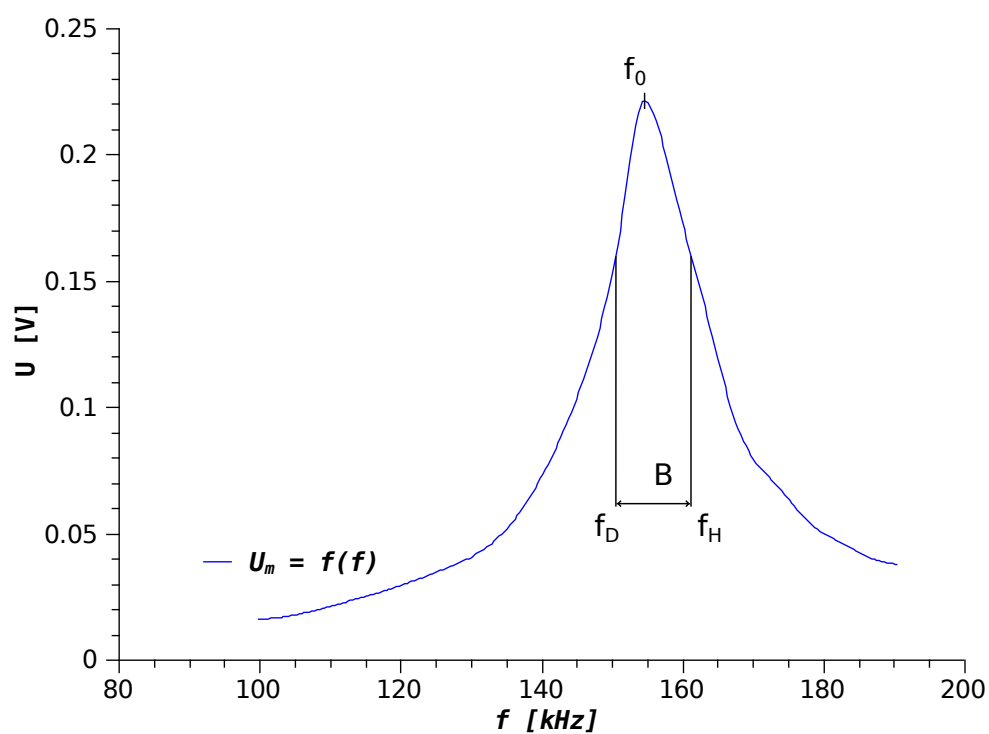
Napětí na okraji pásma paralelního rezonančního obvodu se sníženým činitelem jakosti vypočítáme z využitím vztahu (5)

$$U_2 = U_1 10^{-\frac{3}{20}} = 0,1 \cdot 10^{-\frac{3}{20}} \doteq \underline{\underline{0,071 \text{ V}}}$$

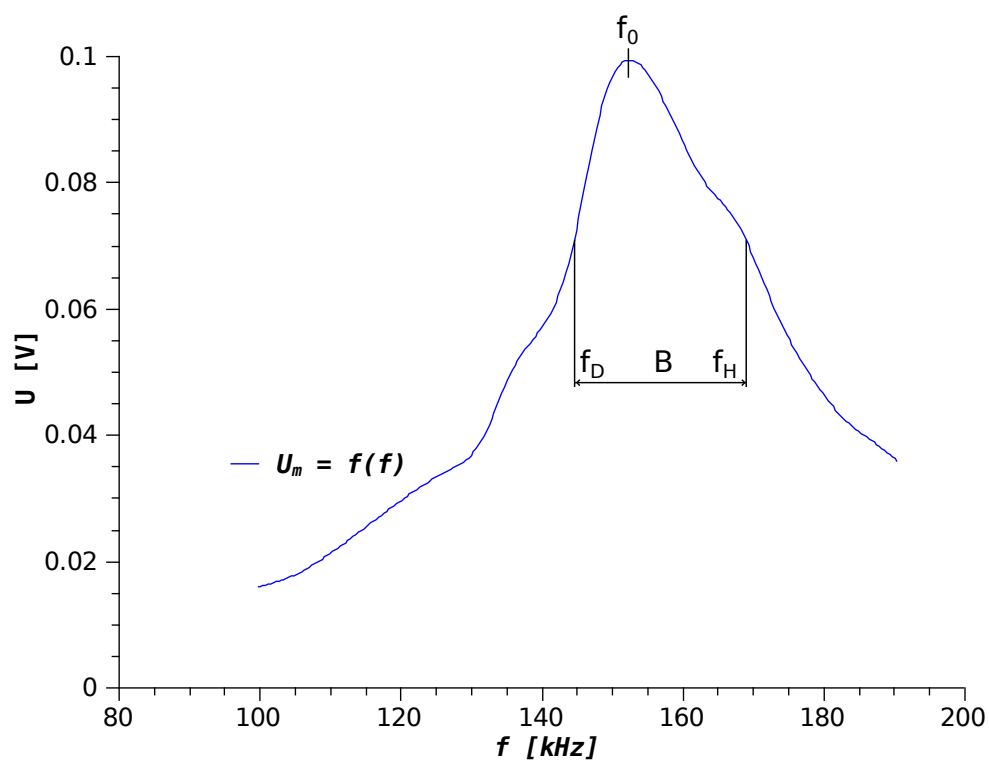
7 Grafy



Graf č. 1: Závislost U_0 na f , zapojení dle schématu č. 1



Graf č. 2: Závislost U_0 na f , zapojení dle schématu č. 2



Graf č. 3: Závislost U_0 na f , zapojení dle schématu č. 3

8 Závěr

8.1 Chyby měřících přístrojů

Procentuální chyba milovoltmetru se pohybovala v intervalu $< \pm 3 \text{ \%}; \pm 5 \text{ \%} >$. Tento měřicí přístroj tedy nespadá do kategorie těch nejpřesnějších, nicméně lepší přístroj pro malá napětí o vysokých frekvencích jsme neměli k dispozici.

8.2 Zhodnocení

1. V úvodu jsem shrnul základní poznatky o paralelním a sériovém rezonančním obvodu, takže bych měl mít bod 1 splněný.
2. Změřil jsem frekvenční charakteristiku sériového rezonančního obvodu v rozsahu $\pm 50 \text{ kHz}$ kolem rezonanční frekvence f_0 . Naměřená charakteristika není plně kompatibilní s teoretickým modelem tohoto zapojení. To může být způsobeno chybou měření nebo porazitními vlastnostmi použitého přípravku.
3. Odpor R_L byl spočítán s využitím vztahu (3). Jeho hodnota byla výpočtem určena na $196,9 \text{ } \Omega$. Tato hodnota však nemůže být považována za správnou, protože jsem musel odvodit vztah ve kterém se nebude vyskytovat C . To bylo prakticky i teoreticky nemožné, tak sem jeho hodnotu X_C zanedbal v doufání, že bude mít kapacitu větší než $1 \text{ } \mu\text{F}$. Z této vypočítané hodnoty jsem pak s využitím odpozeného vztahu (4) určil teoretickou indukčnost cívky L . Tu jsem stanovil na $196,6 \text{ } \mu\text{H}$.
4. Tento bod nebyl realizovatelný, protože nám nebyla sdělena jmenovitá hodnota kondenzátoru C .
5. Změřil jsem frekvenční charakteristiku paralelního rezonančního obvodu v rozsahu $\pm 50 \text{ kHz}$ kolem rezonanční frekvence f_0 . Naměřená charakteristika také není plně kompatibilní s teoretickým modelem tohoto zapojení.
6. Změřil jsem frekvenční charakteristiku paralelního rezonančního obvodu se sníženým činitelem jakosti v rozsahu $\pm 50 \text{ kHz}$ kolem rezonanční frekvence f_0 . Naměřená charakteristika opět není plně kompatibilní s teoretickým modelem tohoto zapojení.
7. Z naměřených hodnot jsem vytvořil grafy, ve vektorovém formátu *.eps, což se dá ocenit zejména při elektronickém prohlížení dokumentu.