

Rezonanční jevy v elektrických systémech

M. Bečan, gym. prof. Jana Patočky, martin.becan@email.cz

D. Majerčík, SPŠ a VOŠ Příbram, dawemk@tiscali.cz

Abstrakt:

Jak je každému známo, v našem okolí se vyskytuje mnoho elektroniky, kterou běžně využíváme. Ale u mnoho elektrických systémů se může, při nedodržení určitých podmínek, vyskytnout nežádoucí jev, který se nazývá rezonance. V mnoha případech může rezonance snížit kvalitu přístroje, proto mnoho výrobců se snaží navrhnout přístroj mimo rezonanční kmitočet. V naší práci jsme pozorovali a vyhodnocovali právě rezonanční elektrický obvod.

1. Úvod

Zpracování tohoto projektu jsme si zvolili, poněvadž jsme chtěli být více zainteresovaný do tohoto fenoménu, názvem rezonance.

Rezonance je vlastně shoda kmitočtů vlastních kmitů soustavy a kmitů cizího zdroje. Rezonance se dělí na mechanickou, akustickou a elektromagnetickou. V našem projektu pracujeme zejména s elektromagnetickou rezonancí, která nastává v rezonančním elektrickém obvodu při průchodu střídavého elektrického proudu. Elektrické obvody jsou ve skutečnosti obvody obsahující součástky jako kondenzátor a cívka.

Naše práce byla zaměřena na rezonanci v elektrických systémech. Na tento jev si v dnešní době dává mnoho výrobců spotřební elektroniky veliký pozor, neboť velmi ovlivňuje funkci samotného přístroje, ba jej dokonce ničí. Na druhou stranu se i elektromagnetická rezonance dosti využívá (př. lékařské přístroje).

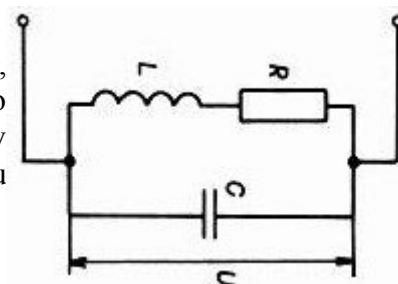
2. Elektrická rezonance

Použité pomůcky při práci byly tyto:

RC generátor Tesla BM 344, voltmetr pro měření rezonančního napětí, kapacitní normál Tesla 100pF – 1100pF, vzduchová cívka, železné jádro a železný kryt cívky, vázaný rezonanční obvod, kapacitní normál Ulrich 1000pF, kondenzátor neznámé kapacity

Základní pojmy a vztahy:

Pro měření jsme používali paralelní rezonanční obvod, neboli paralelní spojení cívky a kondenzátoru. Z toho vznikne paralelní obvod RLC (viz. obrázek 2.1). Ztráty v cívce, v kondenzátoru a ztráty způsobené skin-efektem jsou zahrnuty v odporu R.



Obrázek 2.1 – paralelní rezonanční obvod

Rezonanční frekvence paralelního rezonančního obvodu je určena vztahem:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2},$$

kde L je indukčnost a C kapacita kondenzátoru.

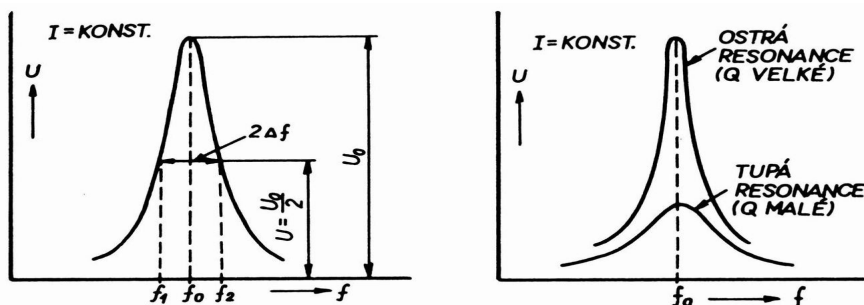
Rezonanční frekvence je určena Thomsonovým vzorcem

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Jakost rezonančního obvodu je určena činitelem jakosti Q . Obvod je tím jakostnější čím má větší hodnotu činitele jakosti Q [$Q = (0;1)$]. Pro rezonanční paralelní obvod platí vztah

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R},$$

Rezonanční křivka obvodu udává závislost impedance Z , napětí U nebo proudu I na proměnlivé frekvenci f nebo proměnlivé kapacitě C . Při paralelní rezonanci má proud I nejmenší hodnotu a impedance Z největší hodnotu (předpokládáme-li $U=\text{konst.}$). Zvolíme-li proud I konstantní, můžeme změřit průběh napětí U v závislosti na změně frekvence, čili tzv. napěťovou rezonanční křivku (viz obrázek 2.2). Tvar rezonanční křivky je závislý na činitele jakosti. Čím je větší činitel Q , tím je rezonanční křivka ostřejší.



Obrázek 2.2 – napěťová rezonanční křivka paralelního rezonančního obvodu

Závislost napětí $U=U(f)$ na činitele jakosti Q je pro paralelní rezonanční obvod dána vztahem

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{1 + 4Q^2 d^2}},$$

kde U_0 je napětí na obvodu v rezonanci a d je poměrné rozladění definované vztahem

$$d = \frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0}.$$

Změříme-li šířku rezonanční křivky, můžeme z něj vypočítat činitele jakosti rezonančního obvodu. Považujeme-li za šířku rezonanční křivky šířku v polovině její výšky ($U=U_0/2$), jak je znázorněno na obrázku 2.2, lze ze předešlých vztahů určit činitele jakosti Q .

$$Q = \sqrt{3} \frac{f_0}{2(f - f_0)} = \sqrt{3} \frac{f_0}{2\Delta f}.$$

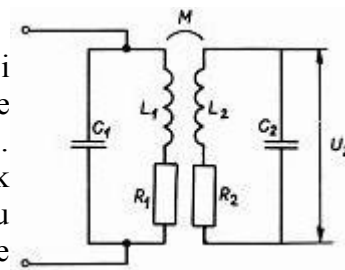
Jevu rezonance lze užít k určení neznámé hodnoty indukčnosti či kapacity. Pro určení indukčnosti použijeme-li kapacitní normál, je možné na základě znalosti f a C vypočítat podle vztahu po úpravě Thomsonova vzorce. Kapacitu můžeme měřit tak, že nejprve paralelně zapojíme ladící kapacitní normál, s konstantní kapacitou C_l , a takto vzniklý obvod naladíme

do rezonance změnou frekvence. Poté zapojíme do obvodu paralelně neznámý kondenzátor a pomocí snižování kapacity normálového kondenzátoru (konečná hodnota C_2), naladíme rezonanci. Výslednou hodnotu kondenzátoru zjistíme podle vztahu

$$C_x = C_1 - C_2$$

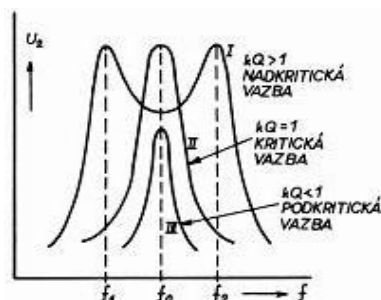
Vazebné obvody:

Dva paralelní rezonanční obvody naladěny na stejnou frekvenci mohou být spolu vázány. To znamená, že energie, přiváděná ze zdroje do prvního obvodu, přenáší se z něho vazbou do druhého. Velmi často se používá induktivní napěťová vazba (viz. obrázek 2.3). Při této vazbě se indukuje do druhého obvodu elektromotorická síla, že energie, která je přiváděna ze zdroje prvního obvodu se přenáší pomocí vazby do druhého obvodu.



Obrázek 2.3 – paralelní rezonanční obvod

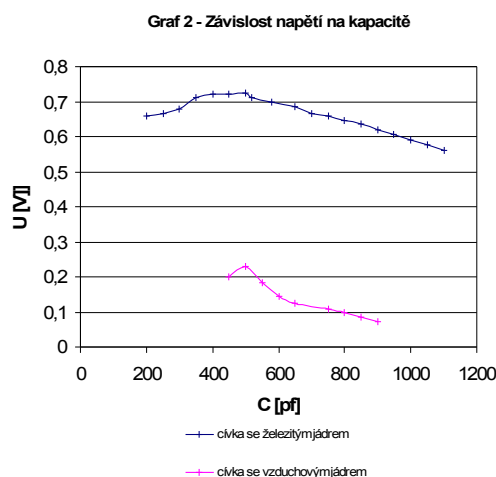
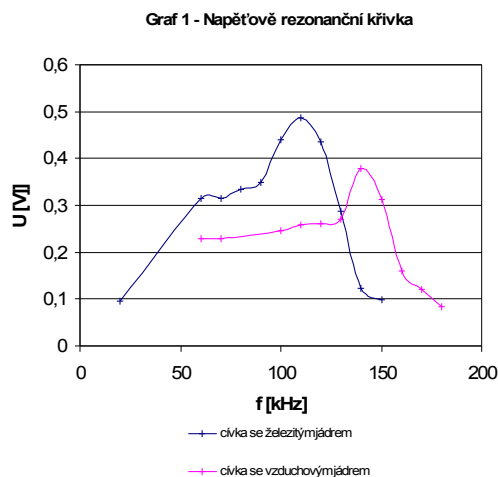
Při indukované vazbě vznikají různé napěťové rezonanční křivky závislé na síle vazby (viz. obrázek 2.4)



Obrázek 2.4 – napěťové rezonanční křivky induktivně vázaného obvodu

Výsledky naší práce:

Při naší práci jsme nejprve porovnávali napěťové rezonanční křivku paralelního obvodu se vzduchovým jádrem a se železitým jádrem. Náš výsledný graf 1 (viz níže) zobrazuje tuto úlohu. Výsledný graf 2 závislosti kapacity na napětí (viz níže).

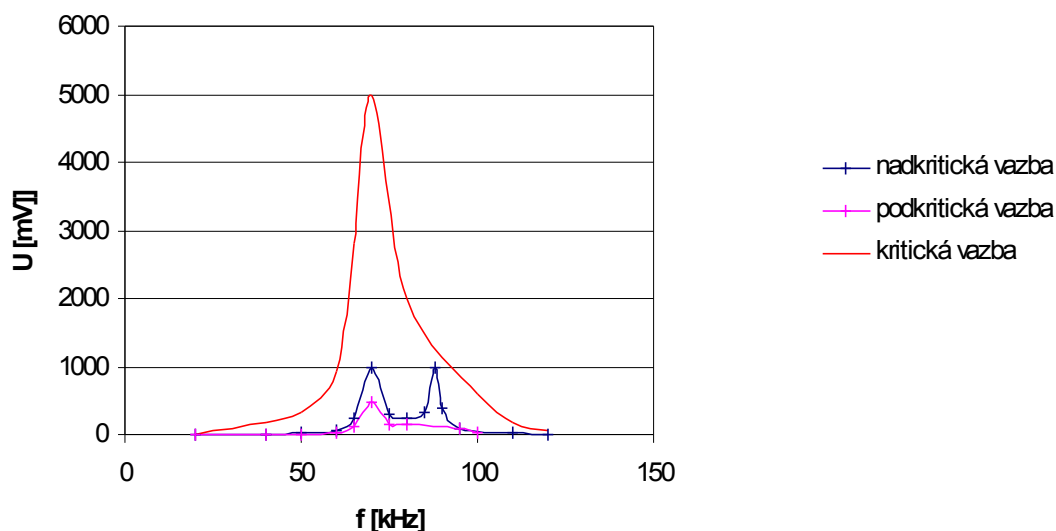


Dále jsme určovali kapacitu neznámého kondenzátoru. Výsledky naší práce viz níže.

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| $C_{x1}=1041,6\text{pF}$ | $C_{x2}=422,5\text{pF}$ |
|--------------------------|-------------------------|

V posledním úkole jsme měřili napětově rezonanční charakteristiku induktivně vázaného obvodu. Náš výsledek je zobrazen v grafu 3.

Graf 3 - Druhy vazeb



3. Shrnutí

V naší práci jsme zejména ověřovali teoretické znalosti, jenž jsou obsahem sekce základní pojmy a vztahy. Musíme uznat, že námi zjištěné hodnoty přibližně odpovídají teoretickým znalostem. Tím pádem můžeme konstatovat, že se nám projekt vydařil.

Poděkování

Chtěli bychom především poděkovat organizaci Fyzikálního týdne, panu Ing. V. Svobodovi, CSc, našemu supervizorovi Ing. Z. Sekerešové. Dále chceme poděkovat všem partnerům Fyzikálního týdne.

Reference:

- [1] KOLEKTIV KATEDRY FYZIKY: *Fyzikální praktikum II: Měření rezonanční křivky paralelního rezonančního a vázaného rezonančního obvodu*, ČVUT Praha, 2005
- [2] *Sborník FT 2005*, FJFI ČVUT, 2005, 34 - 37
- [3] WALKER, J. - RESNICK, R. - HALLIDAY, D.: *Fyzika část 2*, VUT Brno, 1997, 425 -427