



## Středoškolská technika 2012

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

# REZONANCE PŘI „VÝROBĚ“ ENERGIE - ELEKTRONICKOU REZONANCÍ ZA VYŠŠÍ ÚČINNOSTÍ GENERÁTORŮ

**Tomáš Hanák, Michal Brückner**

VOŠ a SPŠ Žďár nad Sázavou  
Studentská 1, Žďár nad Sázavou



**Konzultant:**      **ing. Milan Řehoř**

## **Obsah**

Obsah.....	2
Úvod .....	3
Trochu teorie .....	3
Elektronická rezonance .....	6
Náš „dokonalý“ generátor: .....	8
Jak je tomu v praxi ? .....	10
Výpočty a experimenty: .....	11
Výsledky.....	12
Tabulka přepočtu snížení emisí fosilních paliv na životní prostředí.....	13
Závěr.....	14
Seznam použité literatury, webových stránek a dalších zdrojů informací .....	14
Obrazová příloha: .....	15

## Elektronická rezonance

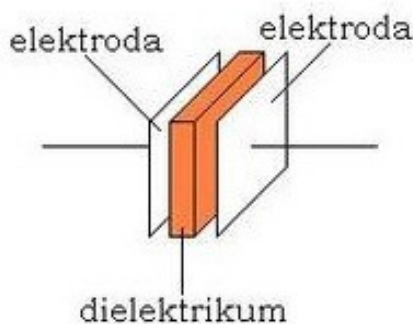
### Úvod

Jsem studentem třetího ročníku na VOŠ a SPŠ ve Žďáře nad Sázavou, oboru Elektrotechnika. Tato práce je pro mě vlastně pokračováním na projektu parní elektrocentrály, na které jsme s mými spolužáky pracovali již v loňském roce a vytvořili jsme tak celou stávající elektroniku. Všichni, kdo pracujeme na elektrocentrále, čerpáme z internetového blogu pana Šedého, kde mě velmi zaujala část, kde se popisuje, jak je možné navýšit účinnost elektrického generátoru – v našem případě krokového motoru, který je použit v naší elektrocentrále. Ve svém volném čase se poměrně intenzivně zabývám stavbou elektrických obvodů a opravami historických elektrospotřebičů. Těchto zkušeností jsem využil v této práci a hlavně jsem si ověřil některé skutečnosti, které jsem doposud nezkoušel.

### Trochu teorie

Nejprve bych chtěl vysvětlit co to vlastně ta elektrická rezonance je. Důležité jsou k tomu dvě elektronické součástky, které se ve střídavém obvodu nechovají jako odpor (zátěž). Tyto součástky jsou kondenzátor a cívka proto nyní popíšu jejich vlastnosti.

Kondenzátor - je [elektrotechnická součástka](#) používaná v [elektrických obvodech](#) k dočasnému uchování [elektrického náboje](#), a tím i k uchování *potenciální* [elektrické energie](#). Základní vlastností pro hodnocení kondenzátoru je jeho [elektrická kapacita](#) (C) [F], technicky je kondenzátor určen maximálním povoleným napětím, druhem dielektrika a provedením vývodů (axiální, radiální, bezvývodový). Někdy se také užívá pojmu [kapacitor](#). Pokud se mluví o kapacitoru, je tím myšlena ideální součástka jejíž jedinou vlastností je [kapacita](#). Jako kondenzátor se označuje součástka skutečná, která má kromě kapacity i další parazitní vlastnosti jako například odpor elektrod.

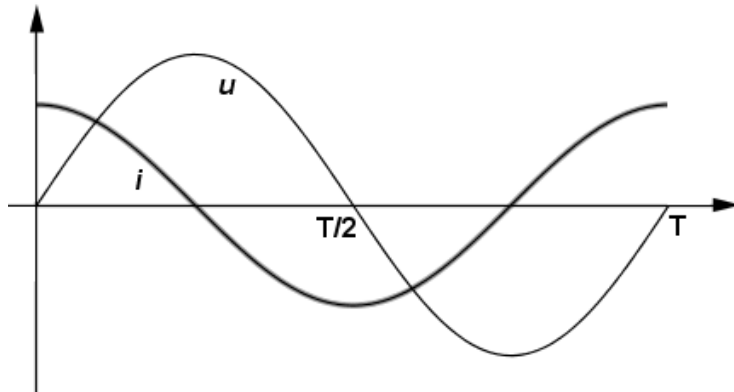


V [obvodu střídavého proudu](#) se kondenzátor opakovaně nabíjí a vybíjí, což má za následek předbíhání elektrického proudu před napětím (*fázový posun*) a vznik [kapacitance](#), tj. zdánlivého odporu proti průchodu střídavého proudu.

Kondenzátor o kapacitě C má v obvodu střídavého proudu kapacitanci  $X_c$  [ $\Omega$ ] pro kterou platí vztah:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

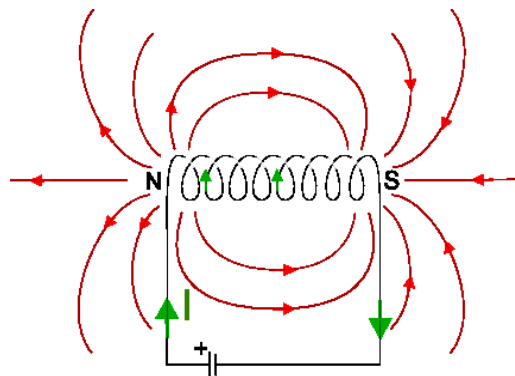
Kondenzátor způsobuje fázový posun proudu vzhledem k napětí. Poněvadž kondenzátor se musí nejprve nabít a potom je na něm napětí, je zřejmé, že v obvodu s kondenzátorem se napětí za proudem zpožďuje a fázový posun je kladný. V jednoduchém obvodu střídavého proudu s  $C$  je  $\varphi = +90^\circ$  čili  $\varphi = +\pi$ . Časový diagram okamžitých hodnot napětí a proudu v obvodu s  $C$  je na obrázku:



Cívka - je [elektrotechnická součástka](#) používaná v [elektrických obvodech](#):

- k vytvoření [magnetického pole elektrického proudu](#), které se dále využívá k působení [magnetickou silou](#) - cívka slouží jako [elektromagnet](#)
- k [indukci](#) elektrického proudu proměnným magnetickým polem - cívka slouží jako induktor (nositel [indukčnosti](#)).
- skládá se z navinutého vodiče na izolační nosnou kostru, uvnitř může být jádro z magneticky měkké oceli.

V obvodu *stálého* [stejnoseměrného proudu](#) se cívka projevuje pouze svým [elektrickým odporem](#). Kolem cívky se průchodem stejnosměrného proudu vytváří *stálé* [magnetické pole](#). [Magnetický indukční tok](#) závisí přímo úměrně na [indukčnosti](#) cívky a velikosti [proudu](#). Indukčnost cívky a tím i magnetické pole je možno zesílit vložením jádra-magnetického obvodu do cívky.

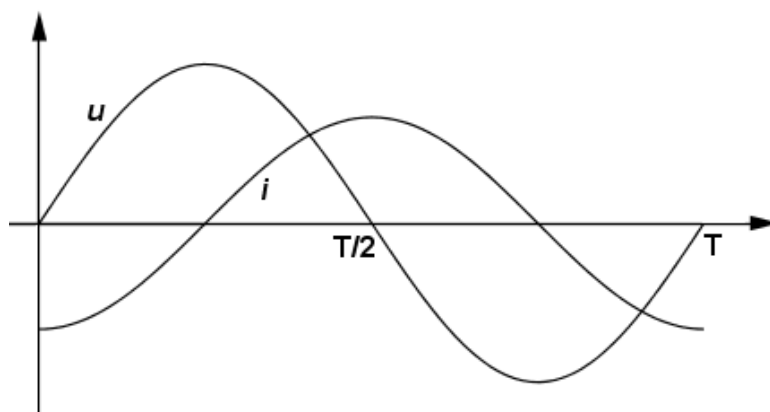


V obvodu [střídavého proudu](#) vzniká kolem cívky *proměnné* magnetické pole, které v cívce indukuje [elektromotorické napětí](#). Indukované napětí působí vždy proti změnám, které je vyvolaly ([Lenzův zákon](#)), což má za následek vznik [impedance](#), u cívky nazývané [induktance](#) ( $X_L$ ) [ $\Omega$ ], tj. odpor cívky proti průchodu střídavého proudu. [Induktance](#) závisí přímo úměrně na indukčnosti cívky a [frekvenci](#) střídavého proudu. Cívka rovněž způsobuje [fázový posuv](#) střídavého proudu oproti střídavému napětí o  $\pi/2$  neboli 1/4 [periody](#).

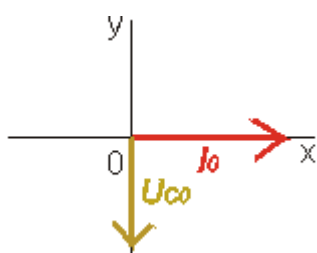
Platí vztah:

$$X_L = 2\pi f L$$

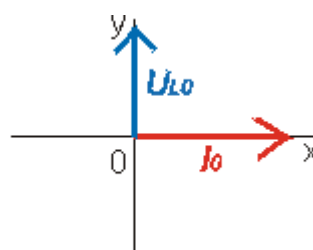
Časový diagram okamžitých hodnot napětí a proudu v obvodu s  $L$  je na obrázku:



Fázový diagram kapacity a indukčnosti:



kondenzátor



cívka

## Elektronická rezonance

Rezonance vznikne paralelním nebo sériovým spojením kondenzátoru a cívky. Při jedné, tzv. rezonanční frekvenci se v tomto obvodu vyrovnává kapacitní a induktivní reaktance a rezonanční obvod se pro tuto frekvenci chová jako činný odpor. Stav obvodu, který nastane při rezonanční frekvenci, se nazývá rezonance. Je to jev, při kterém se v obvodu LC při určitém kmitočtu podstatně zvětší proud u sériového obvodu nebo se podstatně zvětší napětí u obvodu paralelního. Sériový rezonanční obvod má při rezonančním kmitočtu nejmenší impedanci. Paralelní rezonanční obvod má při rezonančním kmitočtu největší impedanci. Obvod má při této frekvenci pouze činný odpor.

Vztah (tzv. Thompsonův vztah) :

Vycházíme z:

$$X_L = X_C$$

Dostaneme:

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

Sériový rezonanční obvod:

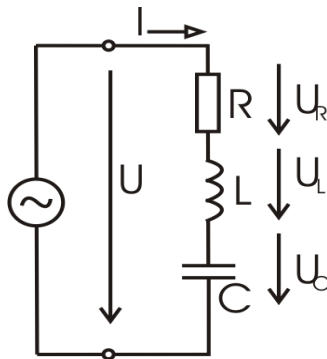
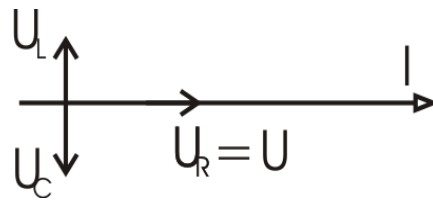


Schéma:

Rezistor R nám představuje ztráty. Protože C a L nejsou ideální.

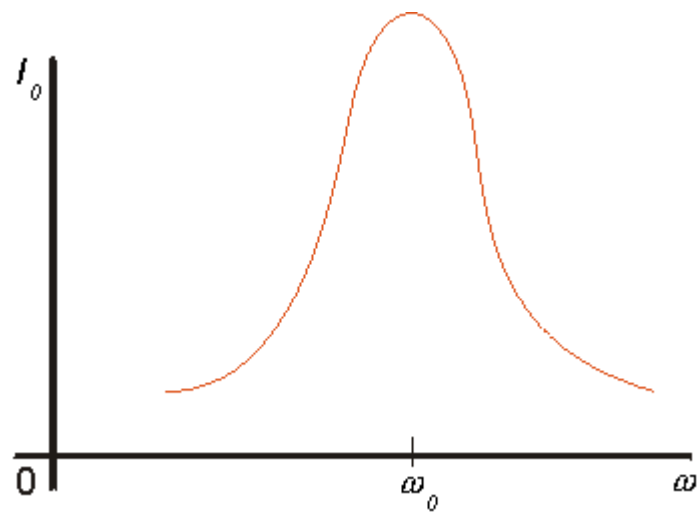
Fázorový diagram:

Fázový posun je roven 0.



$$f = f_0 \Rightarrow |U_L| = |U_C| \Rightarrow \varphi = 0$$

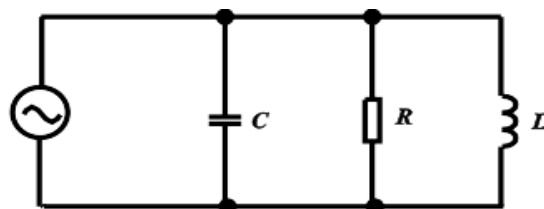
Rezonanční křivka:



$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

Vidíme že čím víc se parametry  $L$  a  $C$  podle Thompsonova vztahu přibližujeme k rezonanci, tím víc nám roste proud v obvodu.

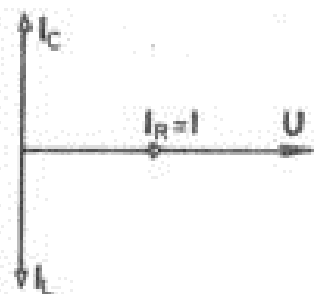
Paralelní rezonanční obvod:



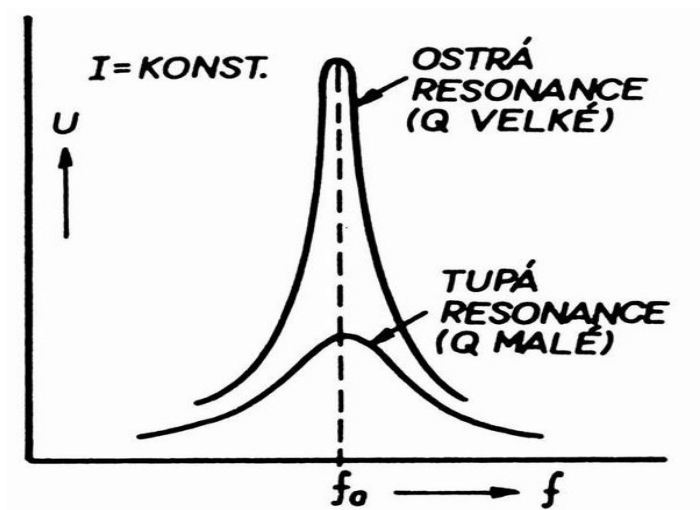
Rezistor  $R$  nám představuje ztráty. Protože  $C$  a  $L$  nejsou ideální.

Fázorový diagram:

Fázový posun je roven 0.



$$f=f_0 \Rightarrow |I_L|=|I_C| \Rightarrow \varphi=0$$



Rezonanční křivka:

$Q$  = činitel jakosti (značí jak jsou součástky kvalitní, bez rezistance)

Vidíme, že čím víc se parametry  $L$  a  $C$  podle Thompsonova vztahu přibližujeme k rezonanci, tím víc nám roste napětí v obvodu.

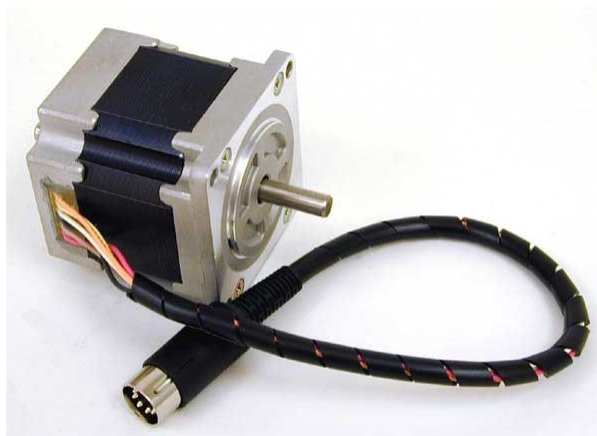
### Náš „dokonalý“ generátor:

Dříve jsme jako generátor měli alternátor z automobilu, ten má však dvě nevýhody, jelikož má budící vinutí, které spotřebuje skoro všechnu energii, kterou jsme schopni vyrábět a také funguje správně až od vysokých otáček, kterých zatím nedosahujeme. Takže se vlastně vyplatí až od velkých výkonů cca 300 až 400 W a výše.



Takže jsme hledali generátor, který bychom mohli použít a nakonec jsme použili krokový motor s neodymovými magnety které jsou hodně silné . Tento krokový motor, který je zapojen jako generátor, má vynikající účinnost přeměny mechanické energie na elektrickou, kterou se v této práci ještě snažím vylepšit. Má dobré parametry již od nízkých otáček a dokáže vyrábět až 100 W. Je malý a odolný proti vodě - totiž "dokonalý".

Stator je tvořen elektrickými cívkami a rotor je tvořen neodymovými magnety na hřídeli.



Krokový motor



Stator

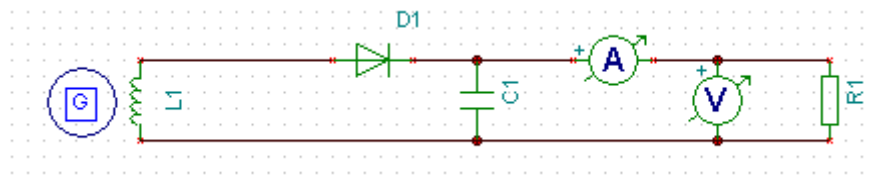


Rotor

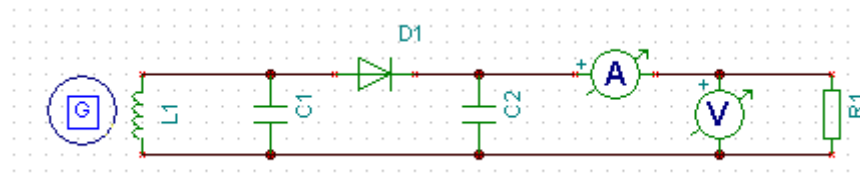
### Jak je tomu v praxi ?

Schéma zapojení:

Před:



Po:



Takhle jsem obvod měřil a zkoušel.

L1 - představuje jednu cívku krokového motoru (generátoru)

D1- usměrňovací dioda

C1 na prvním a C2 na druhém obrázku jsou vyhlazovací kondenzátory

R1 – zátěž (spotřebič)

A (ampérmetr) a V (voltmetr) - měřící přístroje

C1 - na druhém obrázku je kondenzátor který s L1 tvoří paralelní rezonanční obvod a při rezonanční frekvenci nám navyšuje napětí v obvodu a tím zvyšuje účinnost generátoru.

### Výpočty a experimenty:

Ve výpočtech jsem musel zohlednit převodový poměr generátoru z otáček na frekvenci abych mohl provést vlastní návrh.

Následují pracovní fotografie experimentů, kde jsem si ověřil správnost funkce. V elektrickém obvodu jsou zapojené žárovčky, které zviditelňují chování rezonančního obvodu při různých otáčkách krokového motoru jako generátoru. Generátorem jsem otáčel pomocí vrtačky, na které jsem mohl měnit plynule otáčky.



Žárovky před experimentem



Krokový motor – generátor má malé otáčky



generátor se svými otáčkami blíží rezonanci



Při rezonančních otáčkách žárovky svítí na max.



Rezonanční otáčky jsou překročeny a žárovčky  
pohasínají

### **Výsledky**

Musím přiznat, že výsledky, které jsou na výše uvedených fotografiích jasně patrné, mě velice nadchly. Představte si, že výsledky, které jsem naměřil bez rezonance a s rezonancí, se od sebe lišily asi o 100%! Znamená to tedy, že v těchto podmínkách (krokový motor jako generátor o výkonu do 100 W), je možné provozovat tento generátor s dvojnásobnou účinností pomocí rezonančního obvodu! Účinnost se navýšila a zvedlo se napětí, se kterým se dá dobře pracovat a to naprosto jednoduchou a levnou cestou!

## **Tabulka přepočtu snížení emisí fosilních paliv na životní prostředí**

Níže uvedená tabulka představuje snížení emisí fosilních paliv na životní prostředí. Pro ilustraci je zde uveden předpokládaný výkon našeho krokového motoru 80 W, což při non stop provozu činí za rok 0,701 MWh.

Zadané parametry:

výkon krokového motoru ... 80 W = 0,08 kW  
 počet hodin provozu za rok ... 8.760 hod (non stop provoz)  
 vyrobené množství energie za rok ... 701 kWh = 0,701 MWh

Spotřeba energie	MWh
	0,701

Normové množství znečišťujících látek v kg/MWh						
typ znečišťující látky		kotel ZP	kotel dřevo	elektřina systémová	kotel HU pevný	kotel HU mostecké
tuhé látky	(kg/MWh)	0,002	3,34	0,093	2,54	2,01
SO <sub>2</sub>	(kg/MWh)	0,001	0,267	1,75	4,79	4,30
NO <sub>x</sub>	(kg/MWh)	0,168	0,801	1,48	0,61	0,607
CO	(kg/MWh)	0,034	0,267	0,140	9,16	9,16
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	(kg/MWh)	198,4	0,238	0,139	2,04	1,80
CO <sub>2</sub>	(kg/MWh)	198,4	0	1 161	357	357

Množství znečišťujících látek přepočtené na množství energie kg						
typ znečišťující látky		kotel ZP	kotel dřevo	elektřina systémová	kotel HU pevný	kotel HU mostecké
tuhé látky	kg	0,001	2,34	0,065	1,78	1,41
SO <sub>2</sub>	kg	0,001	0,187	1,23	3,36	3,02
NO <sub>x</sub>	kg	0,118	0,562	1,04	0,43	0,426
CO	kg	0,024	0,187	0,098	6,42	6,42
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	139,1	0,167	0,098	1,43	1,26
CO <sub>2</sub>	kg	139,1	0	814	250	250

## **Závěr**

Na základě výsledků mé práce spatřuji ještě velké rezervy a možnosti při výrobě elektrické energie. Tato práce zase o kousek posunula k dokonalosti celé zařízení parní elektrocentrály, která směřuje k maximálnímu využití všech poznatků ke zvýšení účinnosti výroby elektrické energie v domácnosti. Myslím si, že se blíží doba nejen decentralizace výroby elektrické energie, ale i s tím související zpřístupnění elektřiny do všech domácností i v odlehlých místech, kde není nebo se nevyplatí budovat elektrickou přípojku. I když se o tom nemluví, jen v naší republice je asi 30 tisíc domácností bez elektrické energie.

Výsledky uvedené v této práci jsou pro mě naprosto úžasné – vyzkoušel jsem si, že je možné pomocí rezonančního obvodu provozovat generátor s dvojnásobným výstupním výkonem!

## **Seznam použité literatury, webových stránek a dalších zdrojů informací**

[1] *Antonín Blahovec*: Elektrotechnika

[2] Internetové zdroje

<http://petersedyabcd.blog.cz/>

<http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt016.htm>

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD\\_strana](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana)

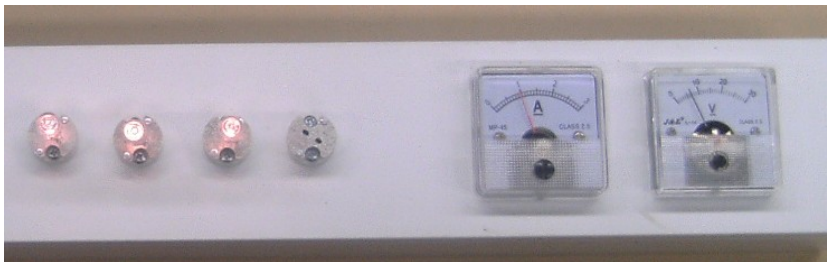
<http://www.techmania.cz/edutorium/index.php>

[3] *David Kolář*: Ekologická parní elektrocentrála

Enersol 2011

## **Obrazová příloha:**

Neměnné otáčky krokového motoru (bez „rezonančního“ kondenzátoru):



Stejně otáčky krokového motoru jako výše (se zapnutým „rezonančním“ kondenzátorem):

