

# Toroidní generátor

© Ing. Ladislav Kopecký, červenec 2017

Běžné generátory lze zpravidla použít i jako motory a naopak. To je důvod, proč u nich nelze dosáhnout účinnosti přesahující 100%. Příčinou je platnost Lenzova zákona, jenž zní: „*Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou.*“

Zdroj: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lenz%C5%AFv\\_z%C3%A1kon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lenz%C5%AFv_z%C3%A1kon)

Při generování elektrického napětí  $U_i$  mechanickým pohybem se uplatňují dva principy, které jsou vyjádřeny následujícími dvěma vztahy:

$$U_i = B.l.v \quad (1)$$

kde  $B$  je magnetická indukce,  $l$  je aktivní délka vodiče v magnetickém poli a  $v$  je rychlost pohybu vodiče.

$$U_i = N.d\Phi/dt \quad (2)$$

kde  $N$  je počet závitů,  $\Phi$  je magnetický tok a  $t$  je čas.

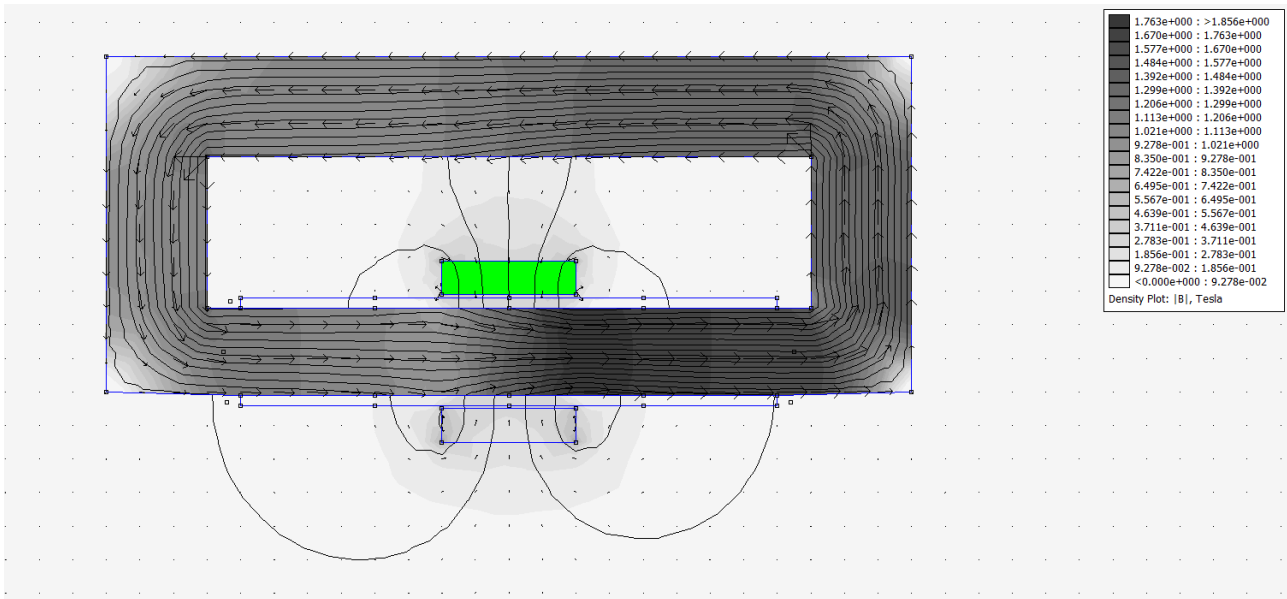
Pokud se při generování elektřiny uplatňuje vztah (1), nelze nikdy dosáhnout účinnosti 100% nebo vyšší, neboť se zde uplatňuje Lenzův zákon. Pokud z takového generátoru odebíráme proud, dochází k brzdění generátoru a brzdná síla  $F$  je lineárně závislá na velikosti odebíraného proudu  $I$ , přičemž platí:

$$F = B.I.l \quad (3)$$

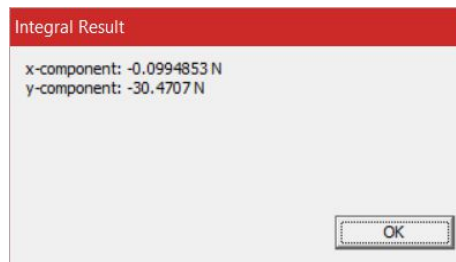
Princip, jenž využívá vztah (2), se uplatňuje u různých generátorů, kde dochází k různým manipulacím s magnetickým tokem  $\Phi$ . I tam vzniká reakce, která brání změně, ale tato reakce nemusí být vůbec lineární, ale záleží na konstrukčním uspořádání daného generátoru. Zde můžeme za jistých okolností dosáhnout účinnosti nad 100%. Například se uvádí, že Ecklinův generátor může při správném návrhu dosáhnout účinnosti 120%. Ecklinův generátor je popsán například zde: <http://www.rexresearch.com/ecklin/ecklin.htm>.

Nyní provedem malý experiment a využijeme k tomu magnetickou simulaci s pomocí programu FEMM. Tento program je pouze 2D, takže budeme muset simulační schéma z 3D nějak „transformovat“ do 2D prostoru. To však vůbec v tomto případě vůbec nevádí. Dejme tomu, že máme toroidní jádro, na němž je navinuta cívka. Dále máme dva magnety, které se díky nějakému mechanismu pohybují (rotují) nad povrchem vinutí. Magnety jsou umístěny na bočních stranách cívky shodnými póly k sobě, takže kdyby mezi nimi nebyla cívka s toroidním jádrem, tak by se tyto magnety odpuzovaly. Budeme zkoumat silové účinky mezi magnety a cívkou, když jí protéká proud. Po transformaci z 3D prostoru do 2D bude rotační pohyb nahrazen pohybem přímočarým ve směru osy  $x$ . Na obr. 1 máme stacionární simulaci magnetického pole v našem experimentu. Označili jsme jeden z magnetů a program vypočítal síly působící na magnet. Na obr. 2 můžete vidět, že síla  $F_x$  v porovnání s  $F_y$  prakticky nulová. To znamená, že toto uspořádání nikdy nemůže fungovat jako motor. Může ale fungovat jako generátor? Na základě Lenzova zákona se můžeme domnívat, že princip vyjádřený vztahem (1) použít nelze: jestliže zařízení nefunguje jako motor, nebude fungovat ani jako generátor. Zbývá pro funkci generátoru použít vztah (2), což znamená manipulaci s magnetickým polem pomocí permanentních magnetů. Na obr. 1 si můžeme všimnout, že vlivem magnetů jsou v jednom místě siločáry zhuštěné a v jiném zředěné. Pokud magnety budou rotovat, bude se v jednotlivých závitěch indukovat napětí podle (2). Proti rovnovážnému stavu

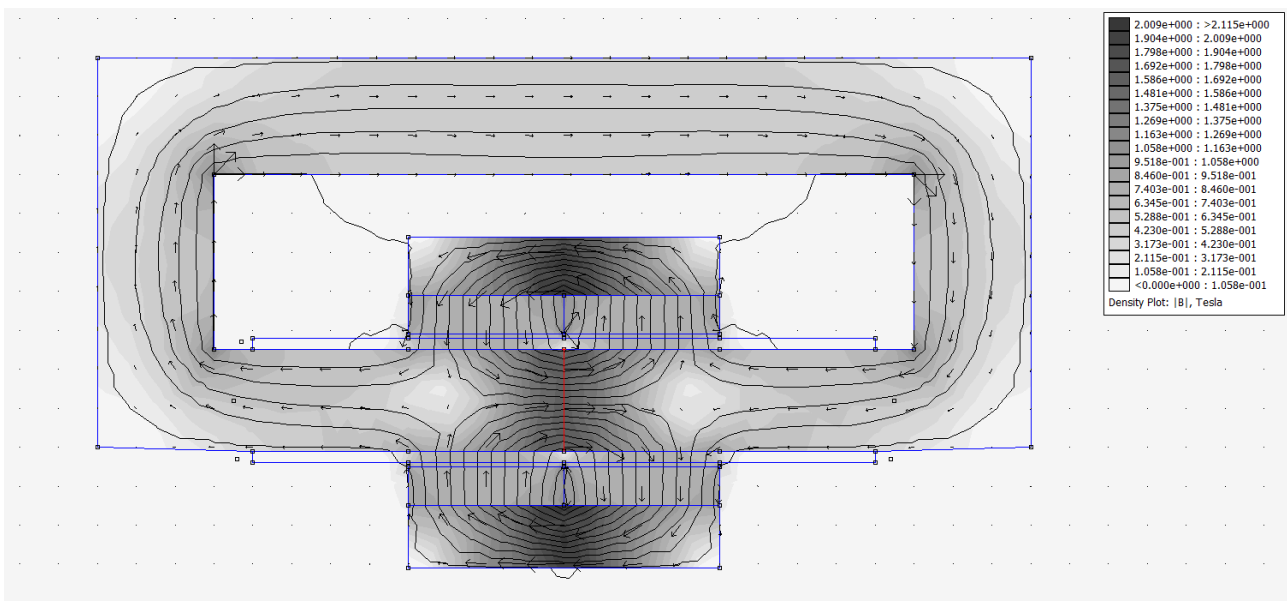
budou jak kladné, tak záporné změny, což vyvolá jak kladné napětí, tak záporné napětí. To znamená, že na vývodech cívky bude naměřitelné jen minimální napětí v řádu milivoltů. Abychom dosáhli významné velikosti napětí, musíme cívku rozdělit.



Obr. 1: Experiment s toroidní cívkou a magnety



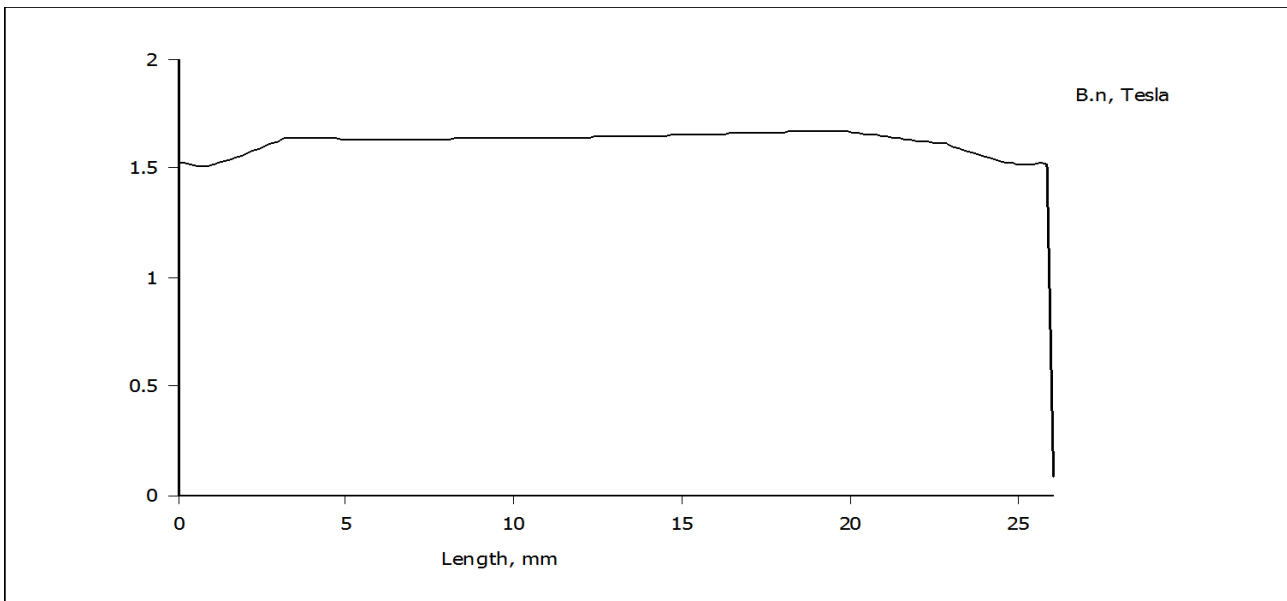
Obr. 2: Složky síly působící na horní magnet na obr. 1



Obr. 3: Vylepšený experiment

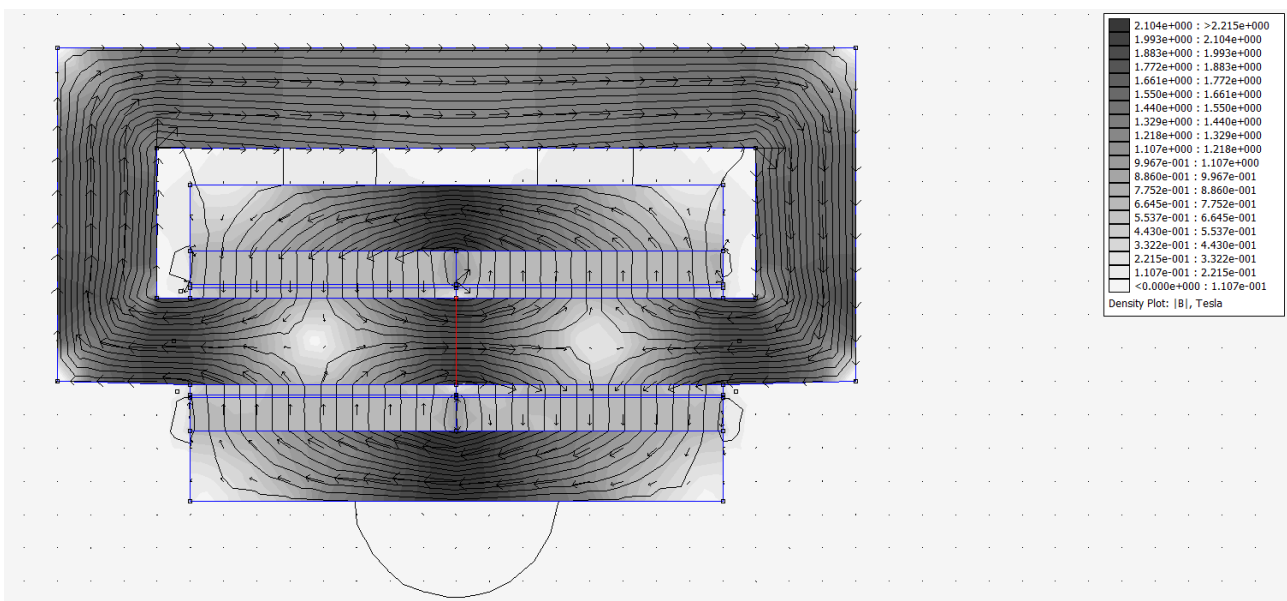
Náš experimentální obvod nyní vylepšíme tak, že přidáme druhou dvojici magnetů a dva sousední magnety opatříme z druhé strany ocelovým plátem. Směr siločar naznačuje orientaci magnetů, takže není nutné ji popisovat. Na obr. 3 máme situaci, kdy cívkou neprotéká proud. Za této situace je

magnetická indukce  $B$  v místě pod stykem obou párů magnetů (viz červenou čáru) větší než 1,6 T. Pokud se  $B$  změní z nuly na tuto hodnotu, indukované napětí v cívice bude poměrně velké.



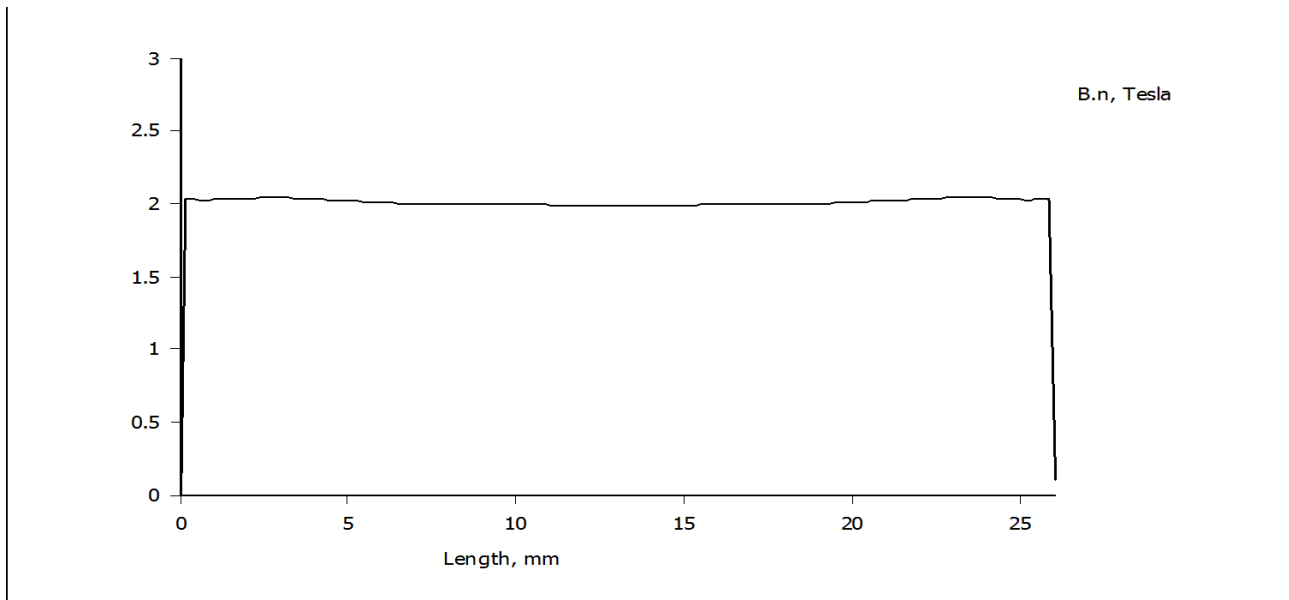
Graf 1: Průběh magnetické indukce pod/nad magnety

Nyní provedeme další změnu a to takovou, že zvětšíme magnety na celou plochu toroidní cívky a cívku rozdělíme na dvě části.



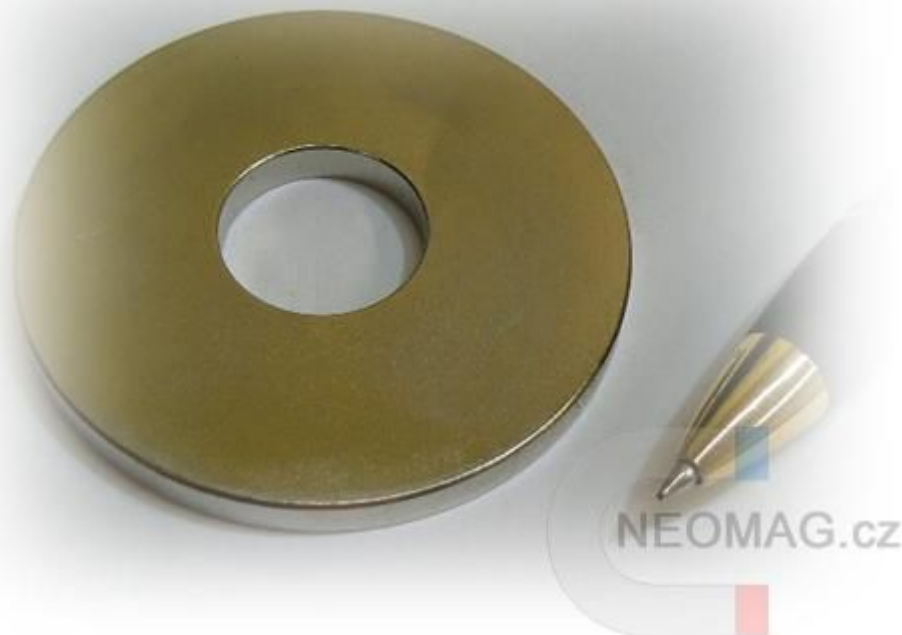
Obr. 4: Další vylepšení experimentu

Tentokrát cívkami necháme protékat proud. Jestliže se v jedné z cívek indukuje kladné napětí, dá se předpokládat, že v druhé cívce se bude indukovat napětí záporné. To znamená, že opačná bude i polarita proudu v jedné z cívek. Důsledkem bude, že magnetické toky vyvolané zatíženými cívkami se budou odčítat a vliv zátěže na magnetický tok vyvolaný magnety bude nulový. Bude tedy výhodné, když zařídíme, aby obě cívky byly vždy stejně zatížené. V grafu 2 vidíme průběh  $B$  při proudu 2A protékajícím oběma cívkami. Z výše uvedených simulací vyplývá, že čím větší bude plocha magnetů v porovnání s výškou prstence, tím získáme vyšší napětí na výstupu generátoru a tím bude menší vliv zatěžovacích proudů.



Graf 2: Průběh magnetické indukce pod/nad magnety

Nyní se podíváme na možnost praktické realizace generátoru. Použijeme běžně dostupné díly: toroidní transformátor a prstencové neodymové magnety.



Obr. 5: Prstencový neodymový magnet

Magnet má následující rozměry:

- A - Vnější průměr 60 mm
- B - Vnitřní průměr 20 mm
- C - Výška 5 mm = směr magnetování

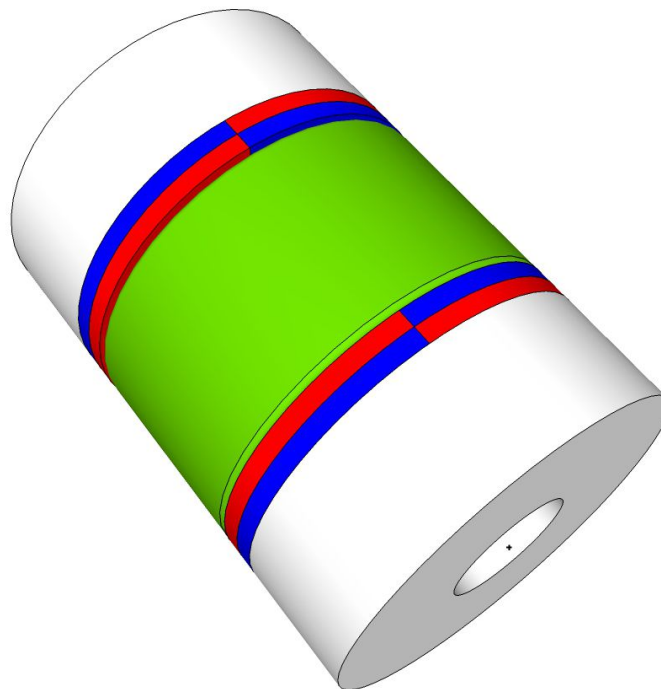
Magnet musíme nějakým způsobem rozdělit na dvě poloviny. Osvědčená technologie pro tyto případy je vodní paprsek. Na dalším obrázku je zobrazen toroidní transformátor. Pokud bychom chtěli použít přímo transformátor, museli bychom vinutí odmotat a navinout znovu a vytvořit dvě

vinutí vedle sebe. Další možností je zakoupit vinuté jádro a nechat navinout cívky na profesionální navíječe toroidních cívek.



Obr. 6: Toroidní transformátor

Dále bude potřeba vyrobit ocelové kotouče pod magnety, hřídel a další konstrukční prvky generátoru. Jedná se vesměs o jednoduché díly, jež dokáže vyrobit každá zámečnická dílna vybavená soustruhem a frézou.



Obr. 7: Zjednodušený 3D model toroidního generátoru