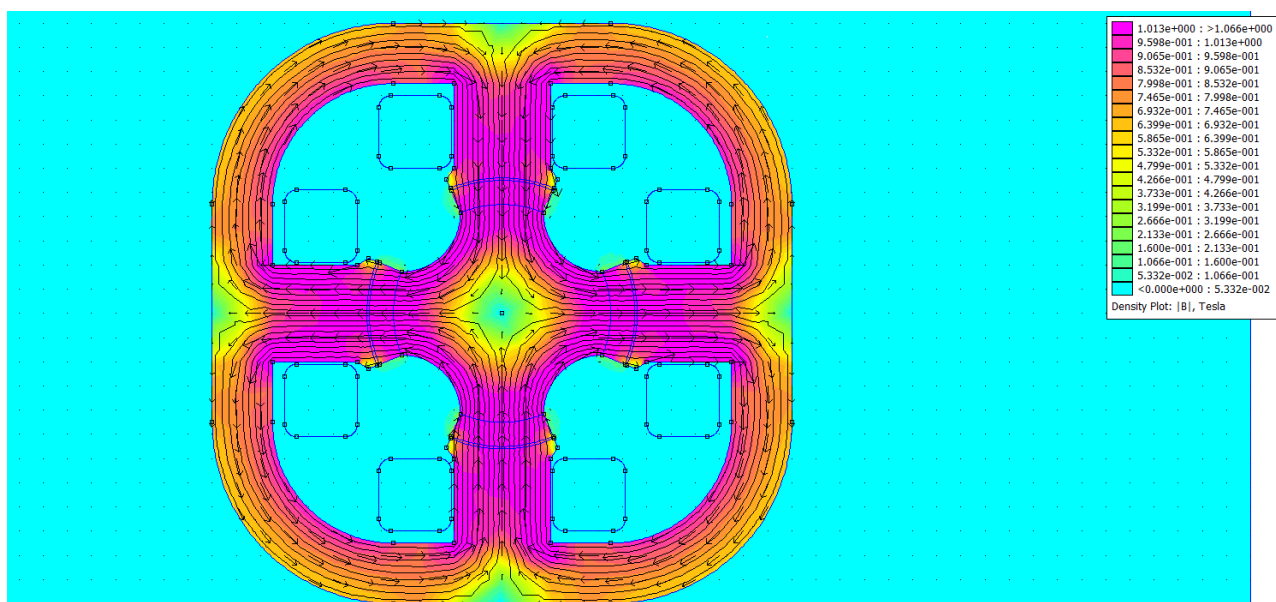


Motory s potlačenou funkcí generátoru

© Ing. Ladislav Kopecký, červen 2018

Každý motor funguje také jako generátor a každý generátor funguje zároveň jako motor. Tento fakt je příčinou, proč konvenční elektrické stroje, jako jsou motory a generátory, mají účinnost nižší než 100%. Současná věda ani nepřipouští, že by bylo možné vytvořit stroj s účinností vyšší. Nedovolují to zákony termodynamiky. Tyto přírodní zákony si však vymysleli lidé, čímž si dobrovolně vytvořili omezení podobně, jako v případě společenských zákonů. Pokud bychom například u motoru dokázali potlačit funkci generátoru, bylo by pravděpodobně možné tuto magickou hranici účinnosti překročit. Technikami, jak toho docílit, se budeme zabývat v tomto článku.

Nejdříve se podíváme na příklad konvenčního motoru. Pro jednoduchost zvolíme jednofázový, čtyřpólový motor s permanentními magnety v rotoru a s vyniklými póly jak ve statoru, tak v rotoru (obr. 1).

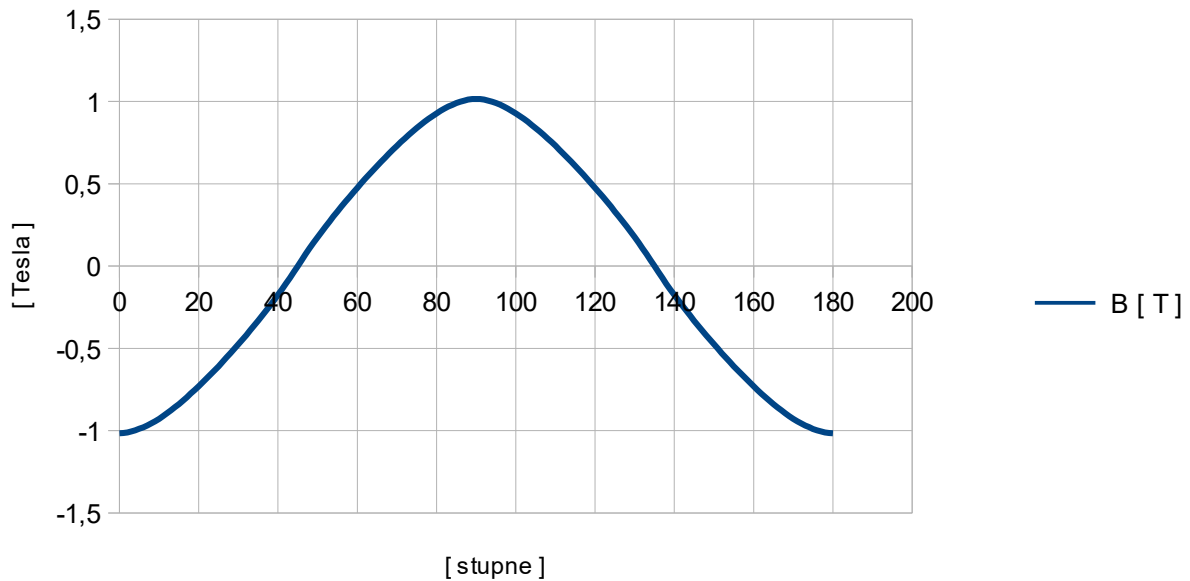


Obr. 1: Příklad konvenčního motoru/generátoru

Nejdříve budeme měřit střední hodnotu magnetické indukce B v průřezu jádra cívky. Přitom budeme postupně otáčet rotorem, abychom zjistili hodnotu B pro různé polohy rotoru. Abychom dostali jednu periodu, stačí, abychom s rotorem udělali polovinu otáčky, protože motor/generátor je čtyřpólový. Velikost jednoho kroku bude 1° , abychom dostali podrobný průběh B . Průběh B najdete v grafu 1. Protože provádět 180 měření by bylo pracné, zautomatizujeme jej pomocí Lua skriptu:

```
showconsole()
clearconsole()
print("angle , B")
open("MG.fem")
mi_saveas("temp.fem")
for n=0,180,1 do
    mi_analyze()
    mi_loadsolution()
mo_addcontour(75,-20)
mo_addcontour(75,20)
f,B=mo_lineintegral(0)
    print(n,B)
    mo_close()
    mi_seteditmode("group")
    mi_selectgroup(1)
```

```
mi_moverotate(0,0,1)
end
```



Graf 1: Průběh B v závislosti na poloze rotoru

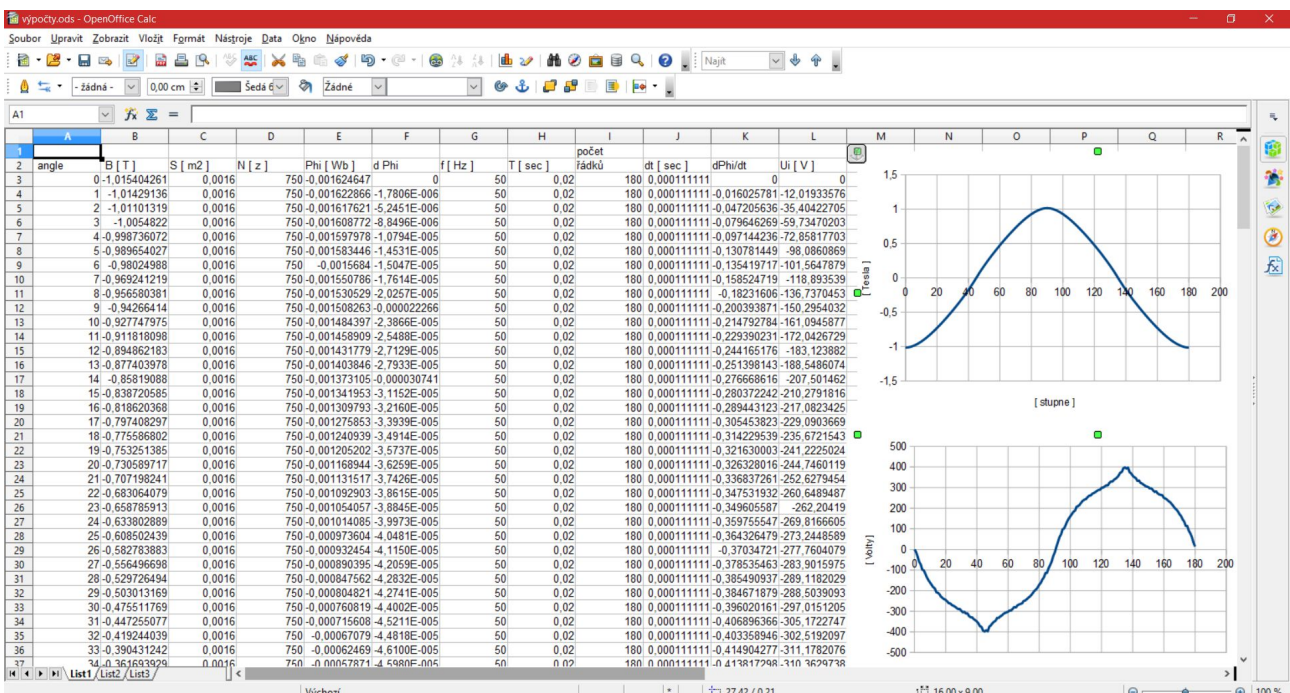
K čemu nám průběh magnetické indukce bude? Budeme ho potřebovat pro určení průběhu napětí U_i indukovaného v cívkách. To se řídí indukčním zákonem:

$$U_i = -N \cdot d\Phi/dt \quad (1)$$

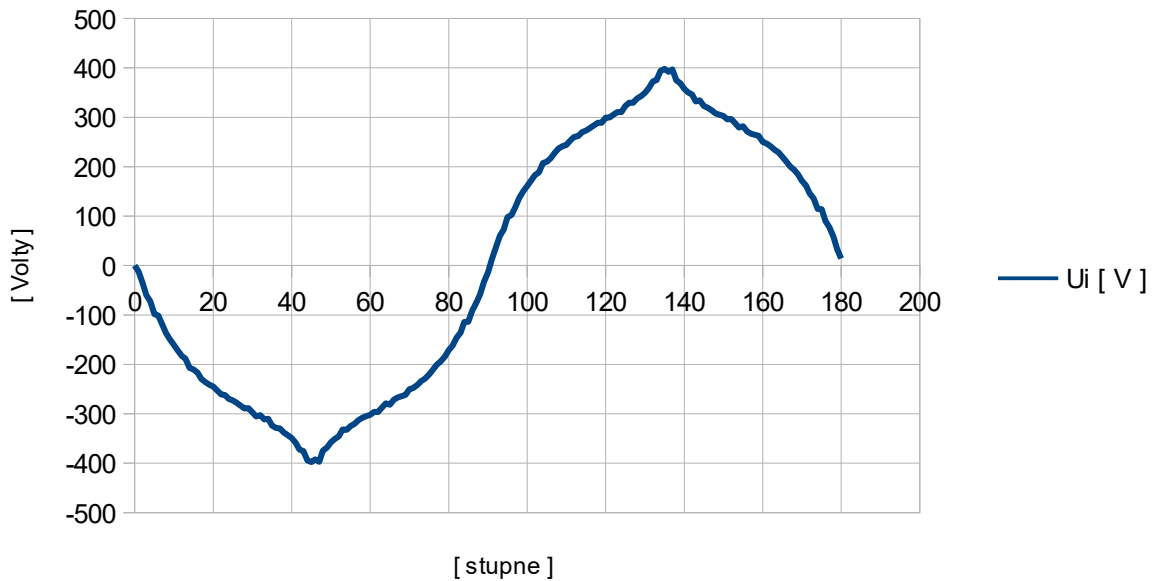
kde N je počet závitů cívky, Φ je magnetický tok a t je čas.

Vztah mezi magnetickou indukcí B a magnetickým tokem je následující:

$$\Phi = B \cdot S_{Fe} \quad (2)$$



Obr. 2: Tabulka pro výpočet U_i



Graf 2: Průběh indukovaného napětí v závislosti na poloze rotoru

Postup výpočtu indukovaného napětí lze vysledovat z obr. 2, kde je zobrazena kopie obrazovky s tabulkovým kalkulátorem. Nejdříve musíme zjistit hodnotu magnetického toku, kterou vypočítáme pomocí vztahu (2), potom od sebe odečteme dvě po sobě jdoucí hodnoty Φ , čímž získáme $d\Phi$. Výpočet elementu času dt bude o trochu složitější. Nejdříve musíme zjistit délku periody T indukovaného napětí, což je převrácená hodnota frekvence $T = 1/f$. (V našem případě $f = 50\text{Hz}$.) Potom T vydělíme počtem řádků tabulky, čímž získáme element času dt . Nyní již můžeme vypočítat U_i pomocí vztahu (1). Průběh indukovaného napětí najdete v grafu 2. Zde můžete vidět, že amplituda U_i je cca 400V. Toto je hodnota indukovaného napětí v jedné cívice o 750 závitů při 1500 ot./min. motoru / generátoru. Z tohoto příkladu můžete vidět, že problém indukovaného napětí není zanedbatelný a je skutečně primární příčinou toho, že u tohoto typu motoru nelze dosáhnout účinnosti vyšší než 100%.

Tolik na úvod a nyní pojďme hledat konstrukci motoru, kde je indukované napětí maximálně potlačeno. Prvním kandidátem bude Adamsův motor. O Adamsově motoru lze na internetu najít mnoho informací, více či méně věrohodných, proto zde nebudeme popisovat, jak funguje, ale přímo přejdeme simulaci interakce jedné jeho cívky s magnety v rotoru. Na obr. 3 máme cívkou s jádrem ve tvaru „I“, jež představuje část statoru a pod ní jsou 4 magnety, představující rotor nebo jeho část. Magnety mají rozměry (šířka x výška x hloubka) 20 x 10 x 40 mm. Nejdříve magnety postupně posuneme o 40mm doprava s krokem 1mm a budeme sledovat, jak se mění střední hodnota magnetické indukce v jádře cívky. Zároveň budeme měřit složku síly ve směru osy x . Cívkou nejdříve poteče proud -5A a od polohy $x = 20\text{mm}$ proud 5A. Při popisech Adamsova motoru se sice uvádí, že proud do cívky je ve formě stejnosměrných impulzů, ale pro srovnání s dalšími příklady jsme zvolili střídavý průběh proudu. Oba grafy můžete vidět na obr. 4. Grafy kromě průběhů síly ukazují, že závislost B na poloze magnetů vůči cívice je zanedbatelná. Při řádném návrhu Adamsova motoru by se tento mohl stát kandidátem na stroj s účinností nad 100%. Jistým problémem ovšem je poměrně malá síla motoru. Pro dosažení většího výkonu by musel mít velmi vysoké otáčky.

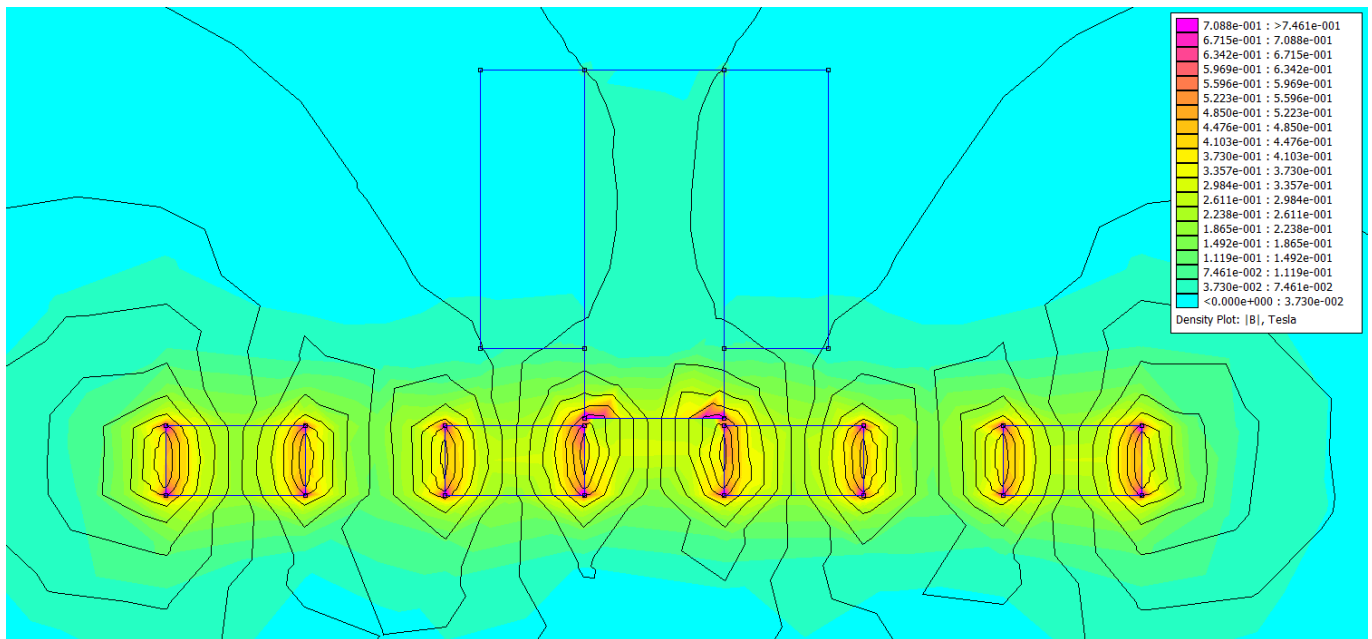
Níže najdete také Lua skript, s jehož pomocí jsme vytvořili grafy na obr. 4.

```
showconsole()
clearconsole()
print("x, B, sila")
open("adams.fem")
mi_saveas("temp.fem")
for x=0,40,1 do
  if x>=20 then
    mi_modifycircprop("coil", 1, 5)
```

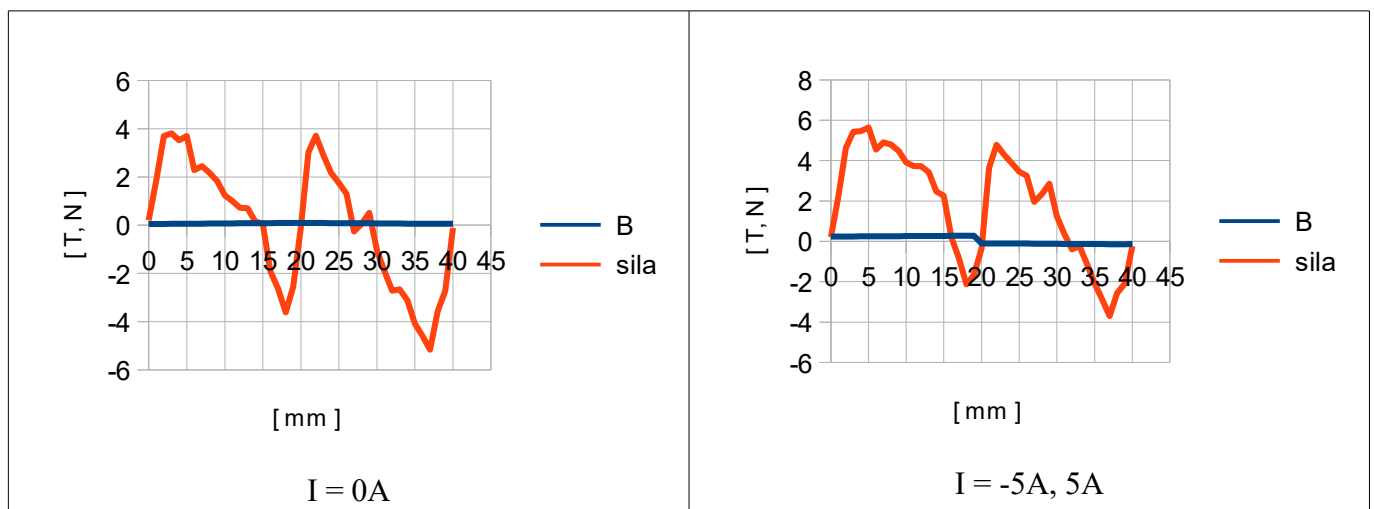
```

else
  mi_modifycircprop("coil", 1, -5)
end
mi_analyze()
mi_loadsolution()
mo_addcontour(100,30)
mo_addcontour(120,30)
f,B=mo_lineintegral(0)
mo_groupselectblock(1)
force=mo_blockintegral(20)
print(x,B,force)
mo_close()
mi_seteditmode("group")
mi_selectgroup(1)
mi_movetranslate(1,0,4)
end

```

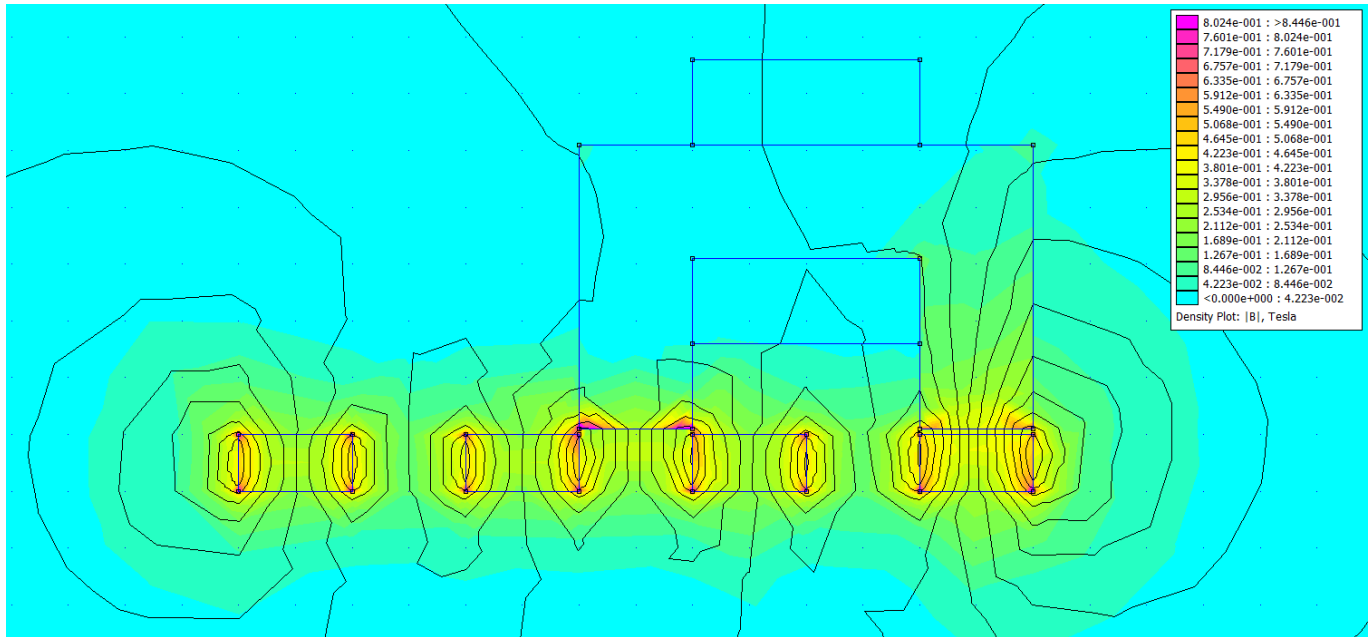


Obr. 3: Simulace části Adamsova motoru.

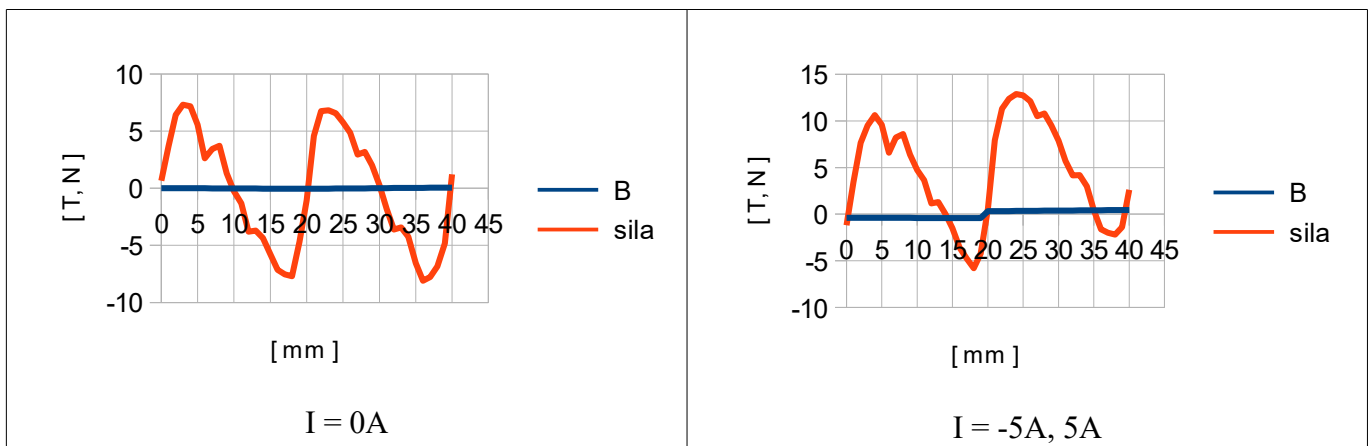
Obr. 4: Závislosti B a F_x na poloze magnetů – Adamsův motor

Nyní zkusíme Adamsův motor vylepšit tak, aby měl větší sílu a nemuseli jsme výkon dohánět příliš vysokými otáčkami. Půjdeme na to tak, že zajistíme, aby na jádro cívky působily dva magnety najednou.

Z tohoto důvodu změníme tvar jádra z „I“ na „U“.



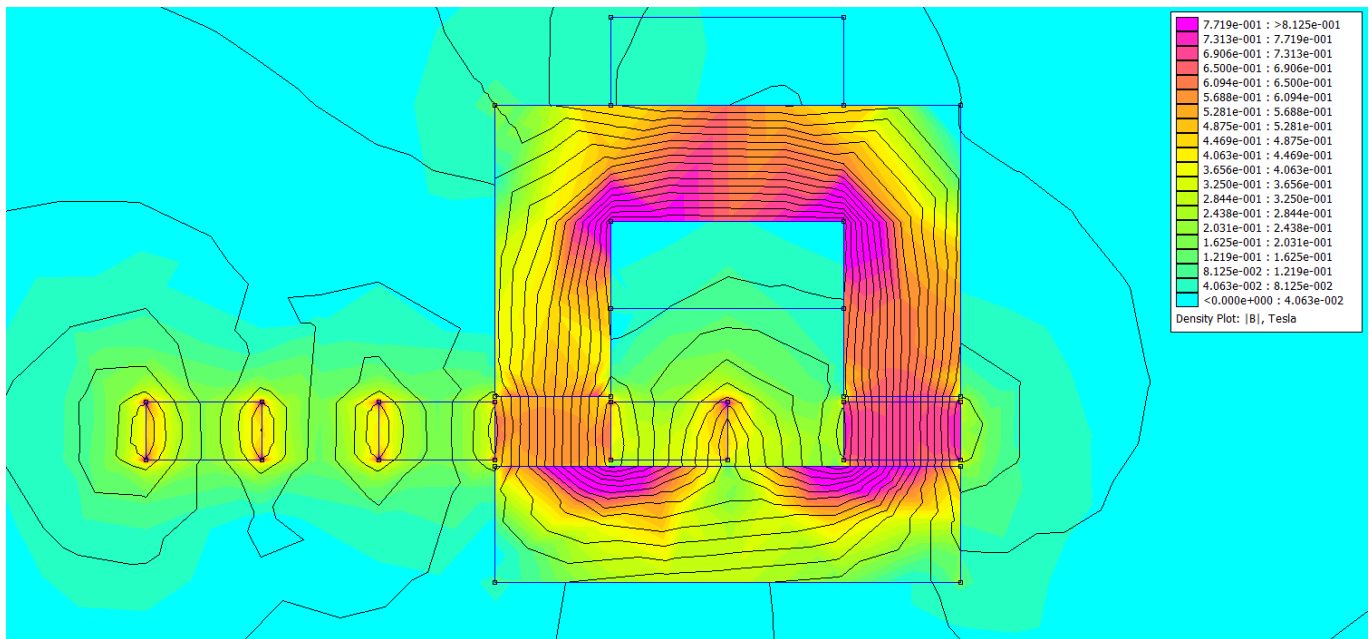
Obr. 5: Upravený koncept Adamsova motoru



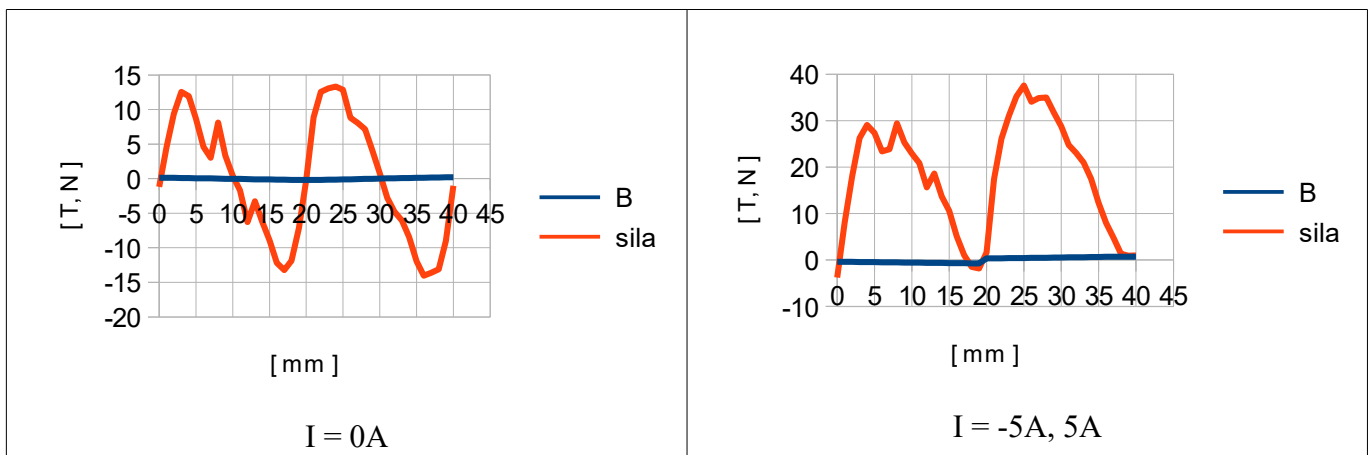
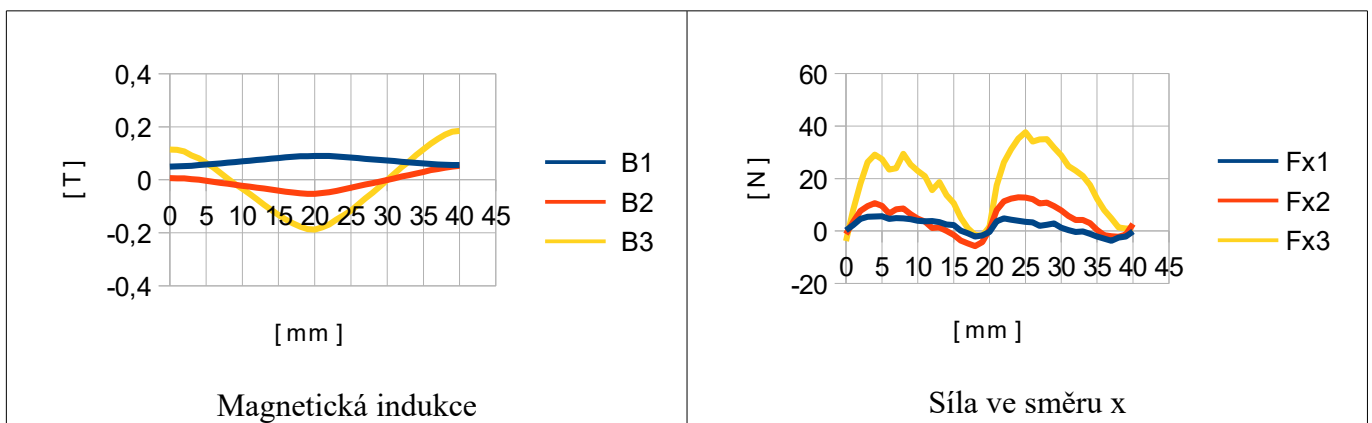
Obr. 6: Závislosti B a F_x na poloze magnetů – upravený Adamsův motor

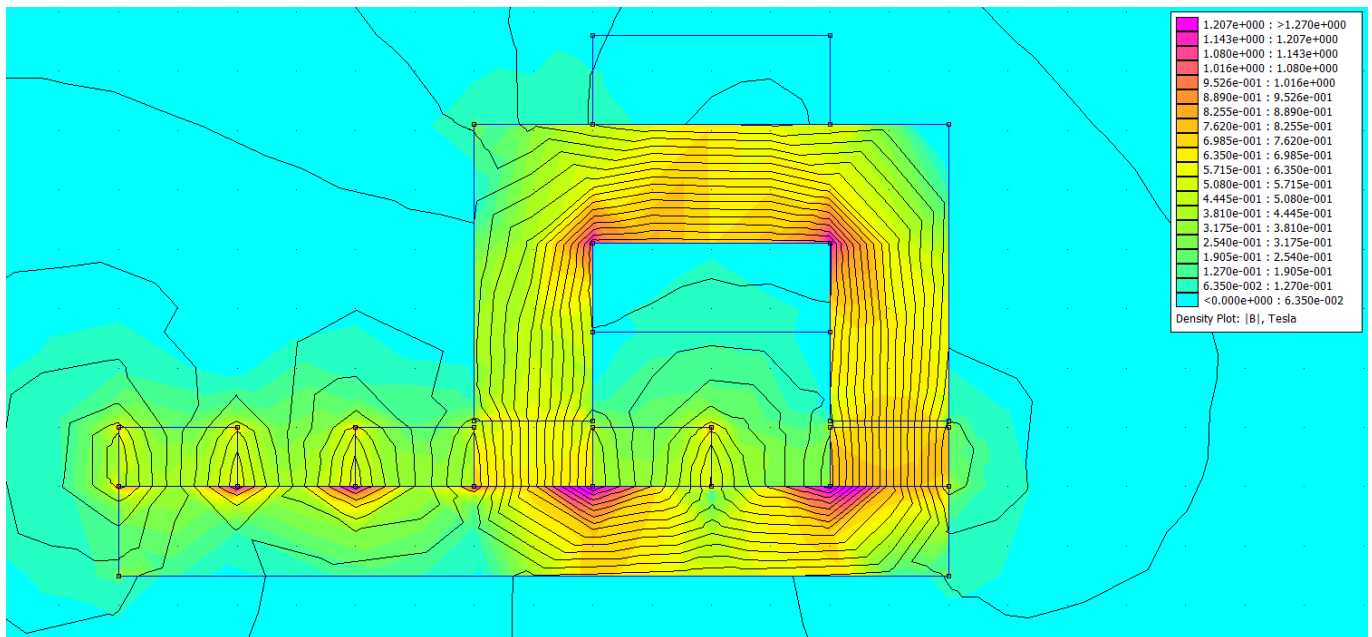
Obrázky 5 a 6 ukazují, že tato úprava pomohla: síla se zvýšila více než dvojnásobně. Přitom indukované napětí je stejně zanedbatelné jako u Adamsova motoru.

Přesto jsou zde značné rezervy, které jsou způsobeny tím, že nemáme uzavřený magnetický obvod. To se nyní pokusíme napravit. Musíme však počítat s tím, že indukované napětí se poněkud zvýší. Jde o to, zda převáží vliv indukovaného napětí nebo zvýšení síly motoru. Následující úprava bude spočívat v tom, že z druhé strany magnetů přidáme jádro ve tvaru „I“, čímž vytvoříme částečně uzavřený magnetický obvod. (Míra uzavření magnetického obvodu bude záviset na výšce magnetů.) Tuto úpravu najdete na obr. 7. Na obr. 8 potom najdete grafy závislosti B a F_x na poloze magnetů. Z nich vyplývá, že došlo k dramatickému zvýšení síly motoru. Přitom se zdá, že střídavá složka magnetické indukce příliš nevrstla. Abychom to zjistili přesně vytvoříme nový graf, kde porovnáme B u všech tří verzí Adamsova motoru bez proudu v cívkách. Dále vytvoříme obdobný graf pro síly F_x . Obr. 9 ukazuje, že sice vzrostl rozkmit magnetické indukce B, ale vzrůst síly F_x byl větší.

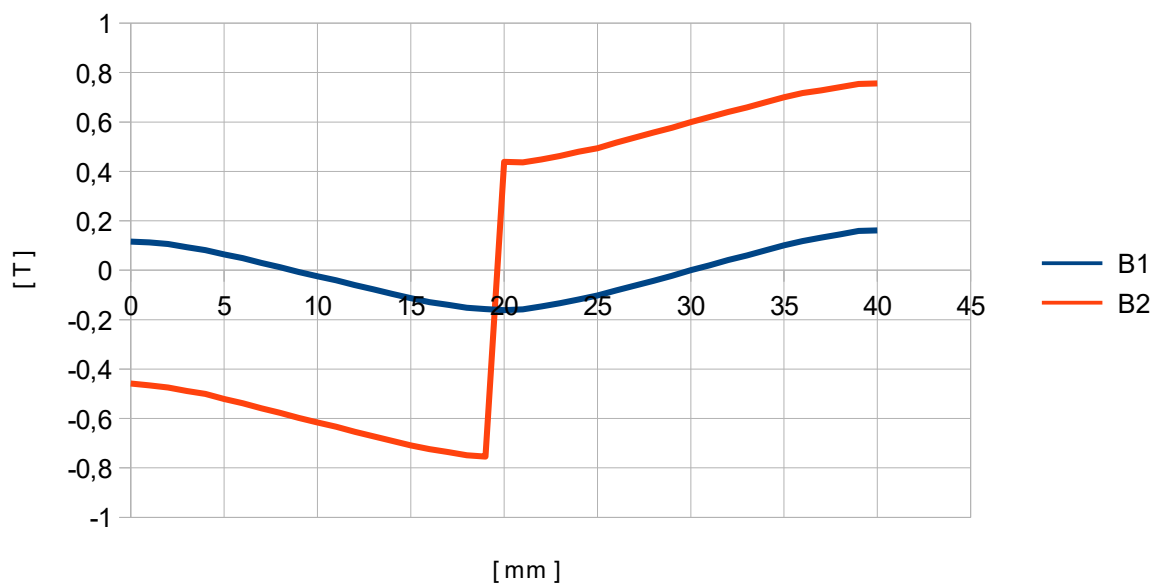


Obr. 7: Upravený koncept Adamsova motoru – verze 2

Obr. 8: Závislosti B a F_x na poloze magnetů – upravený Adamsův motor – verze 2Obr. 9: Porovnání B a F_x pro všechny 3 verze Adamsova motoru



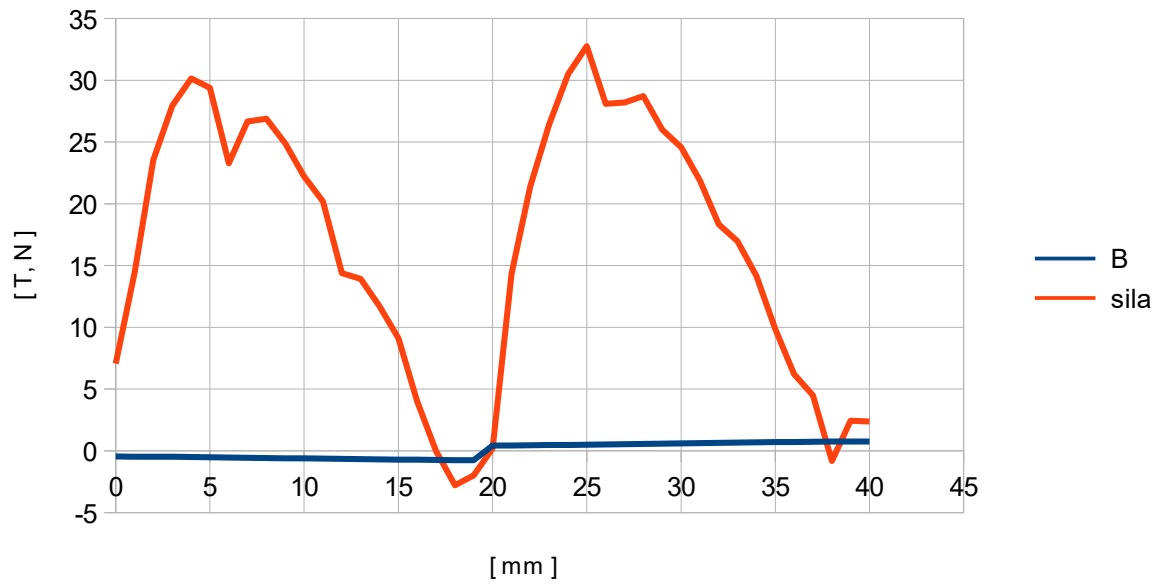
Obr. 10: Upravený koncept Adamsova motoru – verze 3



Graf 3: Průběh B bez proudu a s proudem

Nakonec provedeme ještě jednu drobnou, ale praktickou úpravu. Tato úprava bude spočívat v tom, že feromagnetická podložka pod magnety bude součástí rotoru (viz obr. 10). To umožní zjednodušení konstrukce motoru, která se vzhledem více přiblíží konvenčním elektromotorům. Tato úprava má na elektrické vlastnosti motoru jen nepatrný vliv: Mírně se snížila amplituda síly (graf 4), ale na druhé straně se mírně snížil rozkmit magnetické indukce (graf 3), což bude mít příznivý vliv na potlačení indukovaného napětí v cívkách.

Tím pro dnešek skončíme. Příště se budeme zabývat ještě dalšími metodami potlačení indukovaného napětí.



Graf 4: Průběh B a F_x při proudu $I = -5A, 5A$