

Toroidní elektromotor II

© Ing. Ladislav Kopecký, srpen 2017

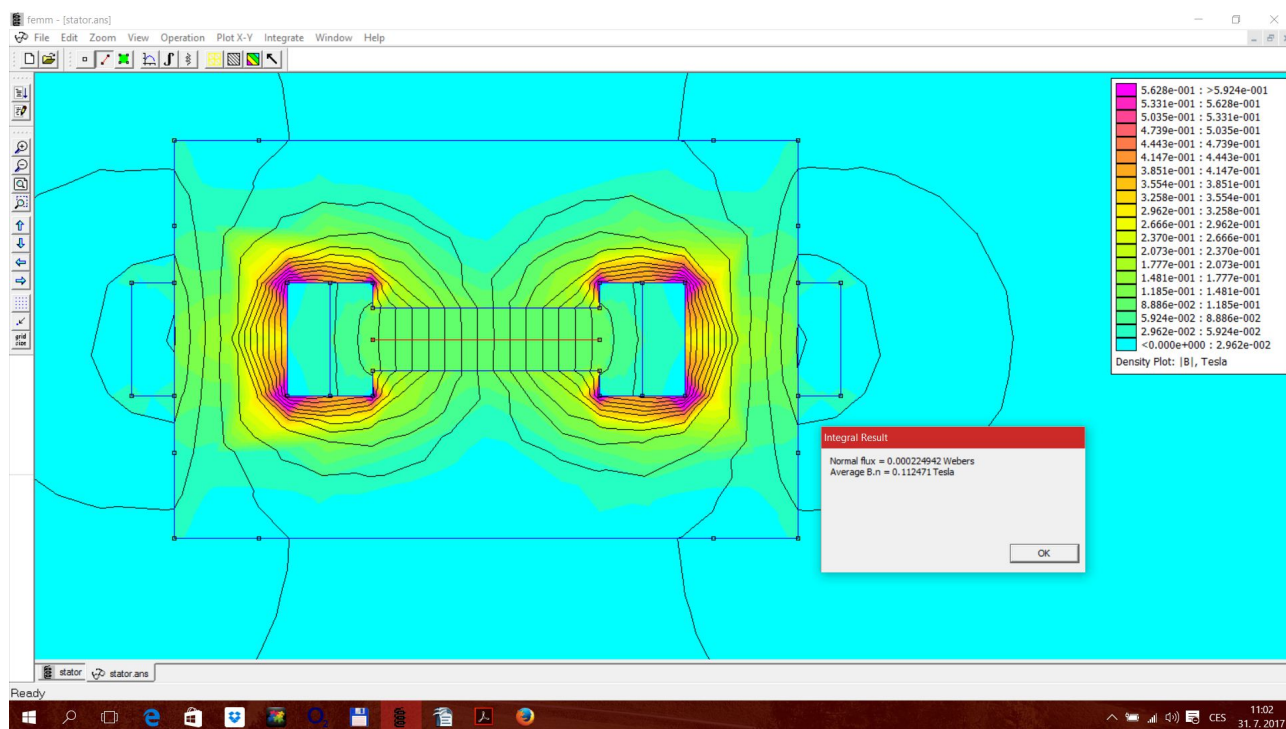
V první části článku jsme ukázali, jak jednoduše lze z toroidního magnetického motoru vytvořit toroidní elektromotor. Stačí permanentní magnety nahradit elektromagnety. Ze simulací vyplynulo, že magnetické pole cívky se chová poněkud jinak než magnetické pole permanentního magnetu a při konstrukci elektromotoru je to nutné zohlednit. Ve druhé části článku provedeme konkrétní příklad návrhu elektromotoru.

Rotor toroidního elektromotoru bude tvořen dvojicí permanentních magnetů a kousků železa, jak ukazuje obr. 10 v první části. Použijeme neodymové magnety 10x10x10mm. Specifikaci těchto magnetů najdete v článku Toroid magnet motor V (<http://free-energy.xf.cz/STROJE/tmm5.pdf>). Magnetické těleso sestavené ze dvou magnetů a dvou kousků železa bude mít rozměry 20x20x20mm.

Stator toroidního elektromotoru budou tvořit dva železné prstence umístěné nad sebou ve vzdálenosti 22mm, aby se mezi nimi mohl pohybovat rotor tvořený výše zmíněnými magnetickými tělesy. Šířka prstenců bude kolem 20mm – ve shodě s rozměry magnetických těles rotoru. Výška prstenců vyplyne z následujícího návrhu statorových cívek. Magnetické pole statoru bude tvořeno osmi cívkami rozestavenými kolem železných prstenců.

Základní parametry elektromotoru známe a můžeme se pustit do návrhu statorových cívek.

Vyjdeme z výše zmíněného obr. 10 v první části, z něhož vyjmeme magnetická tělesa a zjistíme střední hodnotu B_n . Potom nakreslíme jednu cívku s jádrem a zvolíme takový počet závitů, abychom dosáhli zhruba stejné střední hodnoty B_n .

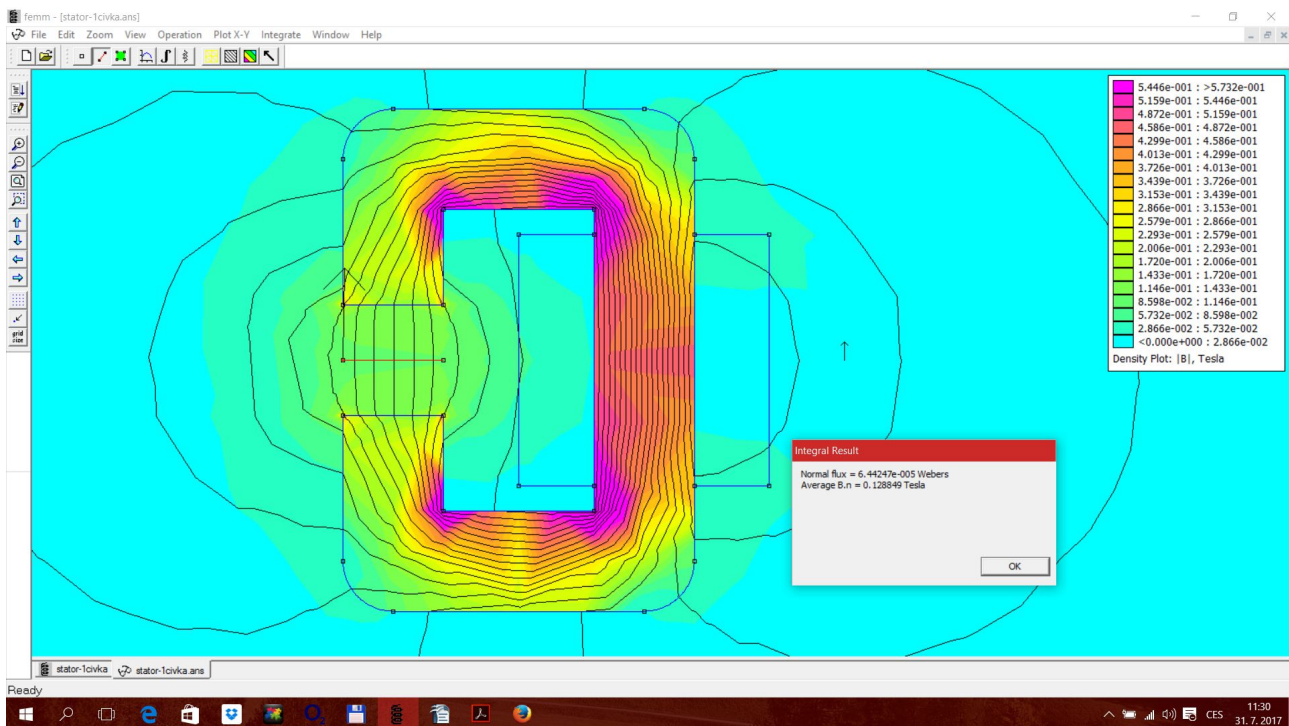


Obr. 1: Zjišťování B_n v mezeře

Pro navinutí cívek použijeme kostřičku pro jádro o průřezu 20x20mm, která se dá koupit u prodejců elektronických součástek. Rozměrům této kostřičky (obr. 2) jsme přizpůsobili rozměry jádra statorové cívky (obr. 3). Také jsme zvýšili počet závitů z 500 na 600, abychom dosáhli přibližně stejné hodnoty B_n v mezeře mezi železnými prstenci.



Obr. 2: Kostra cívky



Obr. 3: Statorová cívka s jádrem

V osmé části seriálu o toroidním magnetickém motoru (<http://free-energy.xf.cz/STROJE/tmm8.pdf>) je uveden postup výpočtu rozměrů železných prstenců. Tento postup bez uvedení podrobností použijeme i zde.

Výpočet poloměru R_1 vnitřní kružnice:

$$R_1 = b/2/\operatorname{tg}(360/(2N)) = 20/2/\operatorname{tg}(360/2 \times 8) = 10/\operatorname{tg} 22,5^\circ = 24,14\text{mm}$$

Poloměr R_1 zaokrouhlíme na celé milimetry: $R_1 = 24\text{mm}$. To bude vnitřní průměr prstence. Magnetický obvod jedné cívky má průřez $20 \times 20\text{mm}$. Po obvodu prstenců bude rozmístěno 8 cívek s jádry. Vnější hrany jader se budou dotýkat kružnice o poloměru $R_1' = 25\text{mm}$.

Vnější poloměr R2 prstence vypočítáme následovně:

$$\alpha = \arctg b/2/(R1' + a) = \arctg 10/(25 + 20) = 12,529^\circ$$

$$R2 = b/2/\sin \alpha = 10/\sin 12,529^\circ = 46,1\text{mm}$$

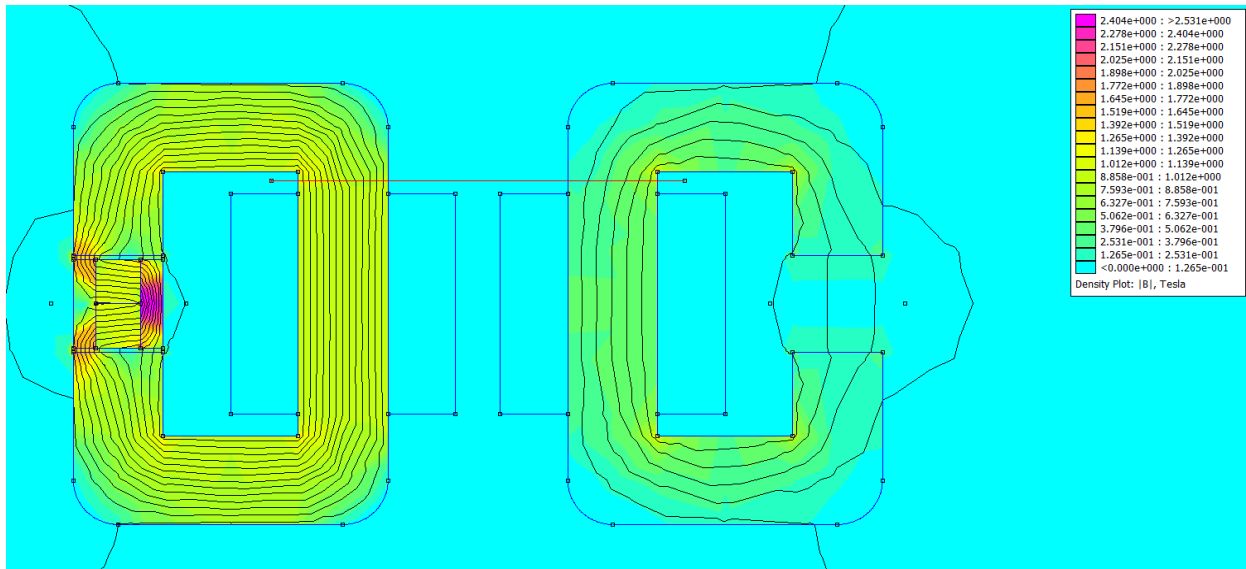
Vnější poloměr prstence zaokrouhlíme nahoru na $R2 = 47\text{mm}$.

Šířka železného prstence bude $R2 - R1 = 47 - 24 = 23\text{mm}$.

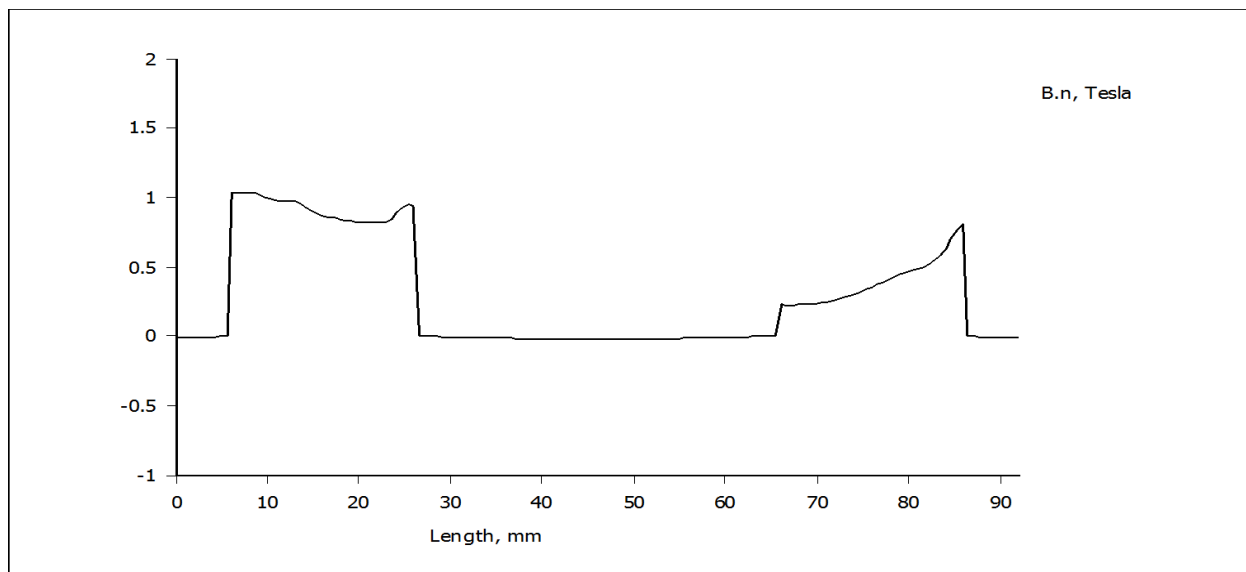
Nyní se podíváme na vliv, jaký má přítomnost magnetického tělesa na magnetickou indukci ve statorové cívce. To má význam proto, že při časové změně magnetického toku $\Phi = B.S$ se v cívce indukuje napětí:

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

To je pochopitelně nežádoucí, protože toto napětí ovlivňuje proud tekoucí cívkou a navíc jsou zde ztráty vířivými proudy.

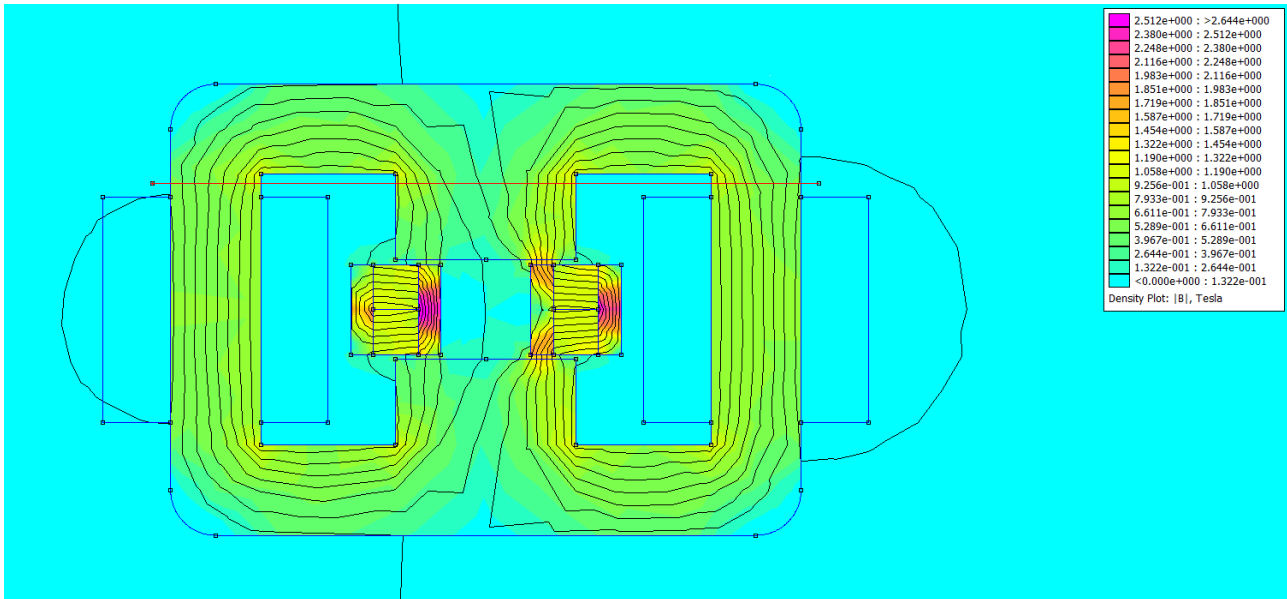


Obr. 4: Určení vlivu magnetického tělesa na B v cívce

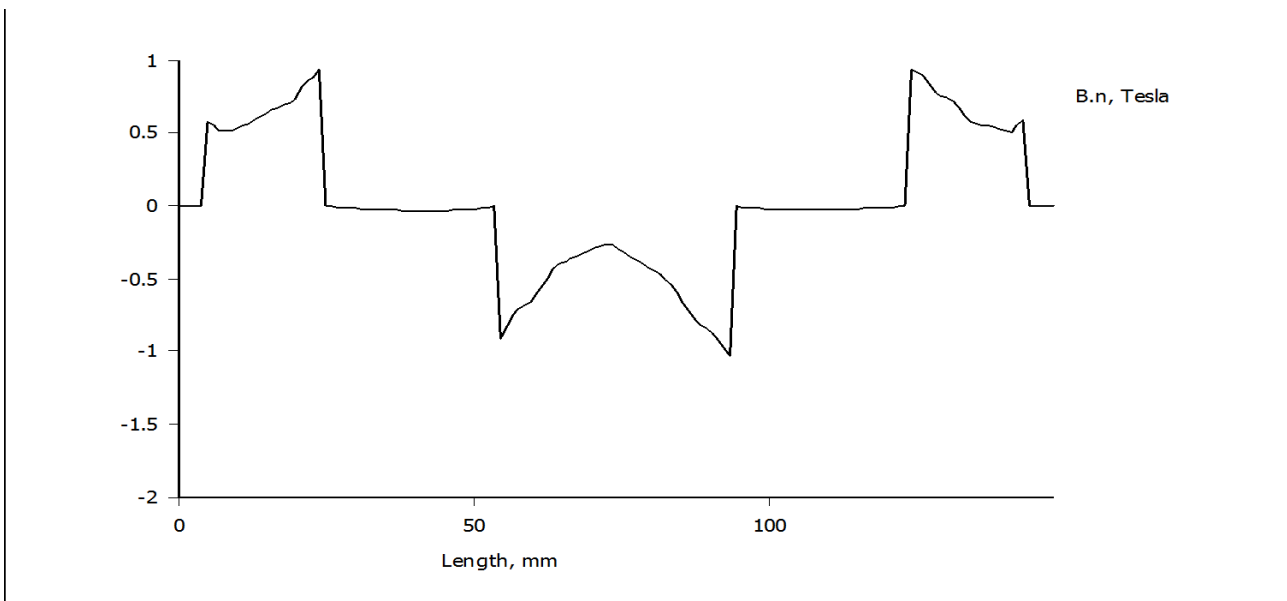


Graf 1: Vliv magnetického tělesa na B v cívce

Graf 1 ukazuje, že tento vliv je značný, proto musíme přijmout opatření, která jej co nejvíce omezí. Náprava bude poměrně snadná – stačí zvolit jiný průřez jádra cívky, aby byl větší než půdorys magnetického tělesa. Pokud zvolíme takový tvar průřezu cívky, aby měl dvojnásobnou délku oproti délce magnetického tělesa a magnetických těles v rotoru bude stejný jako počet statorových cívek, potom vliv pohybu rotoru na B v cívkách bude minimální.



Obr. 5: Opatření pro zamezení vlivu rotoru na B v cívce – poloha 1

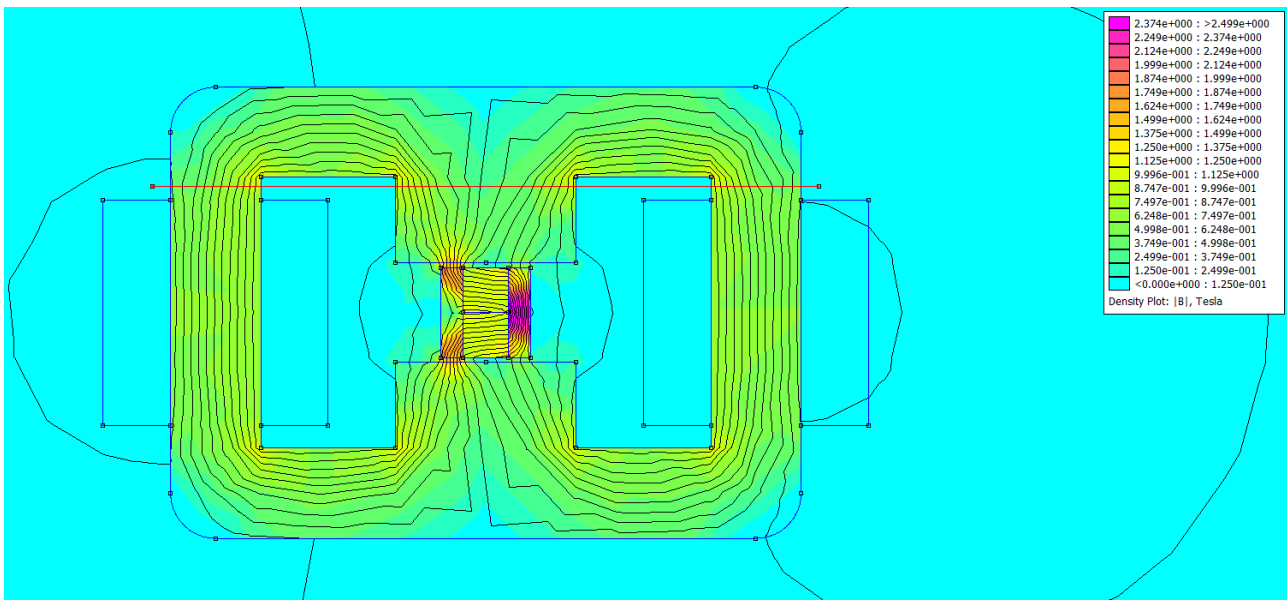


Graf 2: Průběh B podél červené čáry – poloha 1

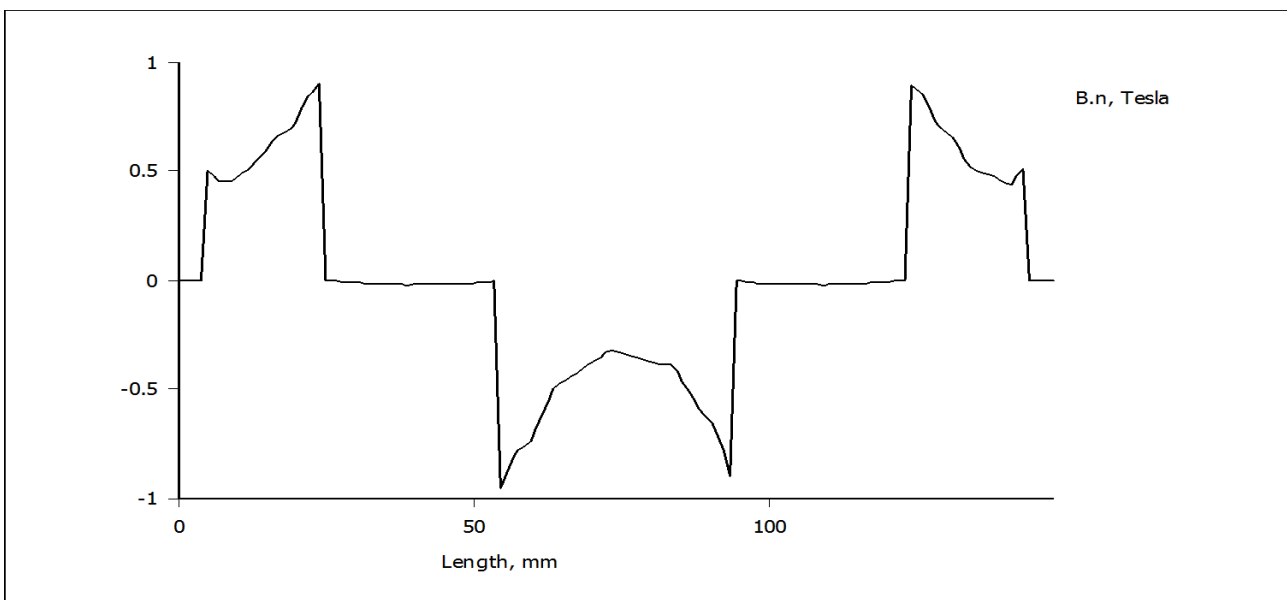
Na obrázcích 5 a 6 máme příslušnou simulaci. Ta úplně neodpovídá realitě, protože máme k dispozici pouze 2D simulaci. Tímto obvodem se dvěma cívkami jsme se 3D realitě co nejvíce přiblížili.

Porovnáme-li grafy 2 a 3, zjistíme, že se téměř neliší. To znamená, že ve statorových cívkách se bude indukovat minimální napětí podle vztahu (1). Dalším kladem tohoto opatření je to, že v magnetickém obvodu budou vznikat zanedbatelné vířivé proudy, takže pravděpodobně můžeme magnetické obvody statorových cívek vytvořit z plného železa a nemusíme použít plechy z elektrotechnické oceli.

Nyní provedeme přepočty rozměrů železných prstenců. Místo osmi cívek jich zvolíme pouze šest. Jádro cívky nyní bude mít obdélníkový tvar o předpokládaných rozměrech $a \times b = 20 \times 40$ mm.



Obr. 6: Opatření pro zamezení vlivu rotoru na B v cívice – poloha 2



Graf 3: Průběh B podél červené čáry – poloha 2

Výpočet poloměru R1 vnitřní kružnice:

$$R1 = b/2/\text{tg}(360/(2N)) = 40/2/\text{tg}(360/2 \times 6) = 20/\text{tg} 30^\circ = 34,64\text{mm}$$

Poloměr R1 zaokrouhlíme dolů na celé milimetry: $R1 = 34\text{mm}$. To bude vnitřní průměr prstence.

Vnější hrany jader se budou dotýkat kružnice o poloměru $R1' = 35\text{mm}$.

Vnější poloměr R2 prstence vypočítáme následovně:

$$\alpha = \text{arctg} b/2/(R1' + a) = \text{arctg} 20/(35 + 20) = 19,983^\circ$$

$$R2 = b/2/\sin \alpha = 20/\sin 19,983^\circ = 58,52\text{mm}$$

Vnější poloměr prstence zaokrouhlíme nahoru na $R2 = 59\text{mm}$.

Šířka železného prstence bude $R2 - R1 = 59 - 34 = 25\text{mm}$.

Železný prstenek je o 5mm širší než bude předpokládaná šířka magnetického tělesa. Abychom

mohli prstavec zúžit, místo vnější kružnice zvolíme tvar šestiúhelníku a to nám dále umožní zmenšit výšku cívky a zkrátit její magnetický obvod (obr. 6). V tom případě musíme prstavec přepočítat tak, aby strana šestiúhelníku měřila 40mm.

Označme: R_1 – poloměr vnitřní kružnice, x – vzdálenost hrany šestiúhelníku od středu, R_2 – poloměr kružnice opsané šestiúhelníku a y – polovina délky strany šestiúhelníku. Potom platí:

$$x = y / \operatorname{tg} 30^\circ = 20 / 0,577 = 34,64 \text{ mm}$$

$$R_2 = x / \cos 30^\circ = 34,64 / 0,866 = 40 \text{ mm}$$

Poznámka: Výpočet R_2 jsme mohli vynechat, protože víme, že šestiúhelník je tvořen šesti rovnostrannými trojúhelníky, takže platí $R_2 = 2y$.

$$R_1 = x - a = 34,64 - 20 = 14,64 \text{ mm}$$

Je zřejmé, že takto definovaný prstavec je příliš malý, takže by se do rotoru nevešlo 6 magnetických těles. Musíme tedy zvolit nějaký kompromis. Například řekneme, že strany šestiúhelníku dělí magnetická tělesa na poloviny. Potom pro poloměr vnitřní kružnice bude platit:

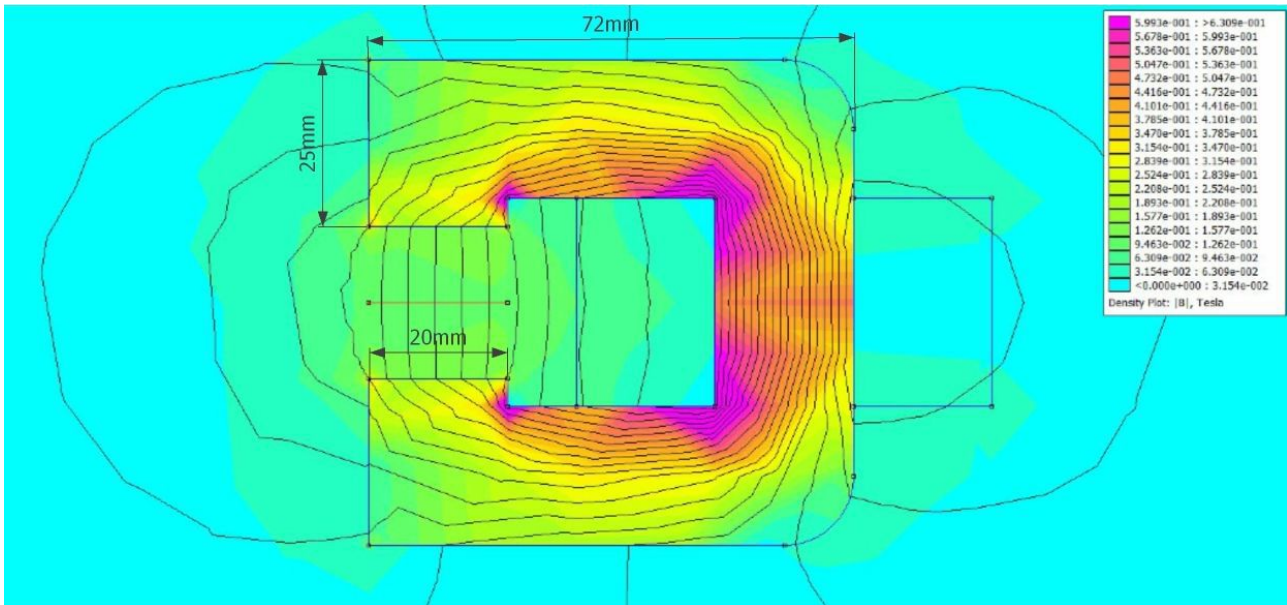
$$R_1' = x - a/2 = 34,64 - 10 = 24,64 \text{ mm}$$

$$x' = x + 10 = 34,64 + 10 = 44,64 \text{ mm}$$

$$y' = x' \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 44,64 \cdot 0,577 = 25,773 \text{ mm}$$

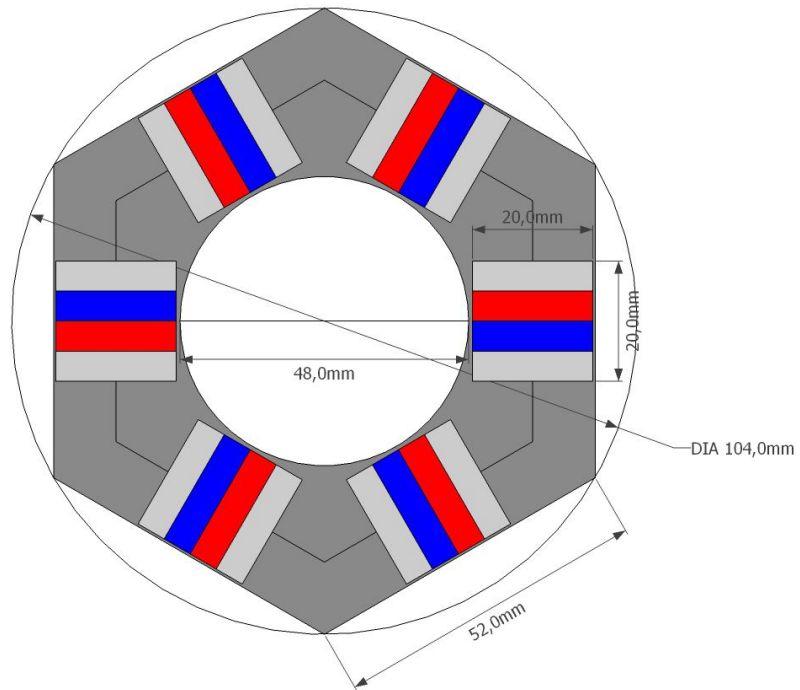
$$R_2' = 2 \cdot y' = 51,546 \text{ mm}$$

Průřez jádra cívky zvolíme 50 x 20 mm. Na obr. 7 najdete prstavec, na němž jsou rozmístěna magnetická tělesa. Jednotlivé rozměry byly zaokrouhleny na celé milimetry.



Obr. 6: Statorová cívka

Tímto pro dnešek skončíme a zbytek si necháme na příště.



Obr. 7: Základní rozvržení toroidního elektromotoru: prstenec s tělesy