

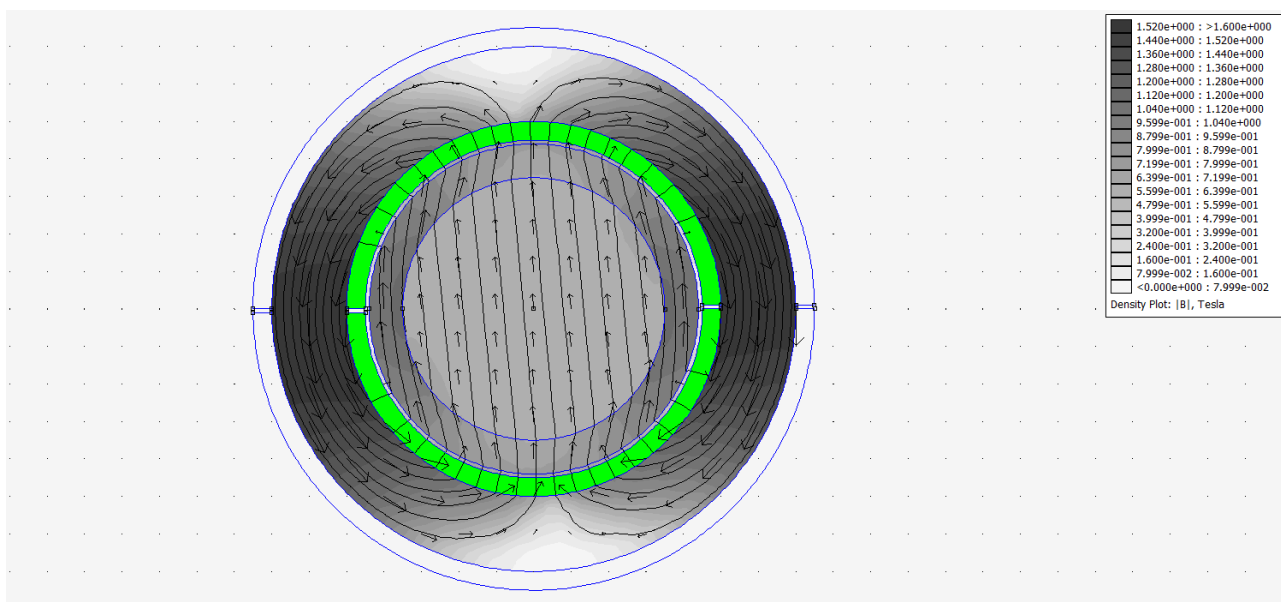
# Návrh toroidního generátoru II

© Ing. Ladislav Kopecký, červen 2018

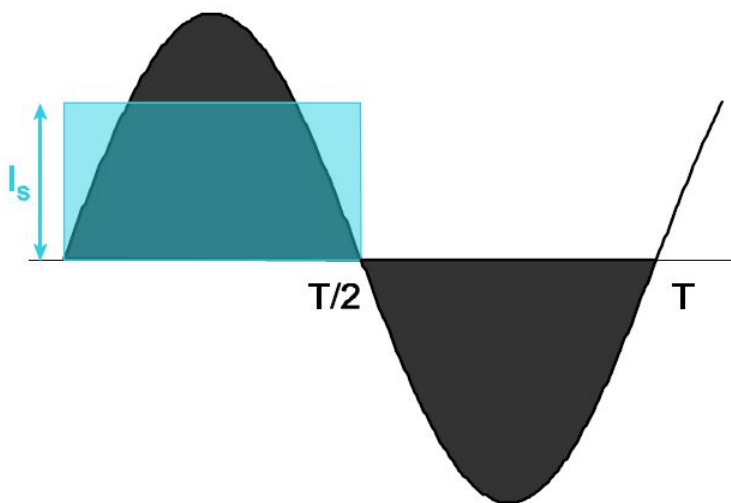
Ve druhé části si ukážeme návrh toroidního generátoru s rotorovým magnetem ve tvaru dutého válce uvnitř toroidu, který je zobrazen na obr. 2 v první části článku. Toroidní jádro má následující rozměry: vnitřní průměr = 100mm, vnější průměr = 140mm, šířka toroidu = 40mm. Výška vinutí je 5mm a vnější průměr rotorového magnetu je 88mm. Abychom zjistili, kolik se na toroid vejde závitů drátu, spočítáme plochu mezikruží na obr. 1, které je vyznačeno zelenou barvou. Provedeme to tak, že od sebe odečteme obsahy kruhů o poloměrech  $R_1 = 50\text{mm}$  a  $R_2 = 45\text{mm}$ .

$$S_{Cu} = \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2) = \pi \cdot (50^2 - 45^2) = 1492\text{mm}^2$$

Na toroid jsou navinuta dvě vinutí, takže tuto plochu vydělíme dvěma. Přitom budeme počítat s nějakou rezervou, takže plocha vinutí jedné cívky bude  $700\text{mm}^2$ .



Obr. 1

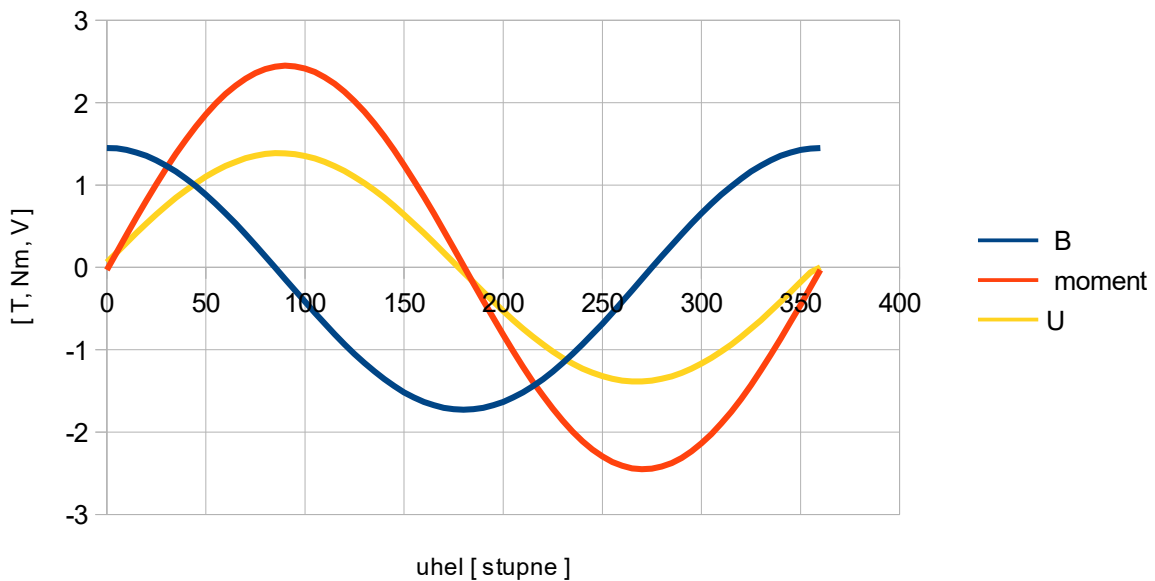


Obr. 2: Střední hodnota proudu

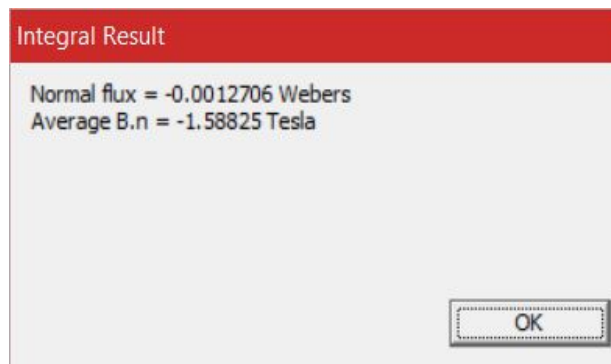
Nyní určíme maximální hodnotu magnetické indukce B. Z obr. 1 je vidět, že se její hodnota mění v závislosti na místě ve vinutí toroidu. Graf 1 potom ukazuje, že závislost B na poloze má sinusový průběh. Abychom tedy zjistili maximální hodnotu B, musíme určit její střední hodnotu ve všech bodech jednoho vinutí. Použijeme k tomu odvození střední hodnoty proudu, viz obr. 2 a následující matematické operace:

$$I_S = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin(\omega t) dt = \frac{2I_m}{T} \left[ \frac{-\cos(\omega t)}{\omega} \right]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2I_m}{T} \left[ \frac{-\cos(\frac{2\pi}{T}t)}{\frac{2\pi}{T}} \right]_0^{\frac{T}{2}} =$$

$$= \frac{I_m}{\pi} (-\cos(\pi) + \cos(0)) = \frac{2I_m}{\pi}$$



Graf 1: Průběhy B, M a U v závislosti na poloze rotoru



Obr. 3: Amplituda magnetické indukce B.n ve vinutí

Na základě výše uvedeného můžeme uvést, že maximální střední hodnota B<sub>max</sub> ve vinutí je dána vztahem:

$$B_{\max} = 2/\pi \cdot B.n \quad (1)$$

V našem případě:

$$B_{\max} = 2/\pi \cdot 1,58825 = 1 \text{ T}$$

Nyní vypočítáme počet závitů na jeden Volt.  $B_{\max}$  známe a předpokládáme, že generátor se otáčí rychlostí 3000 otáček za minutu, takže frekvence je  $n/60 = 50\text{Hz}$ . Zbývá určit průřez železa toroidu:

$$S_{\text{Fe}} = 2.4 = 8\text{cm}^2 = 8 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$N_{1V} = 1/(\sqrt{2} \cdot \pi \cdot B_{\max} \cdot S_{\text{Fe}} \cdot f) = N_{1V} = 1/(\sqrt{2} \cdot \pi \cdot 1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 50) = 5,627 \text{ z/1V}$$

Dále zvolíme průměr drátu 1mm. Jestliže máme plochu vinutí  $700\text{mm}^2$ , na toroid se nám vejde vinutí se 700 závitů. Indukované napětí  $U_i$  tedy bude:

$$U_i = N/N_{1V} = 700/5,627 = 124,4\text{V}$$

Nyní určíme jmenovitý proud. Protože generátor je poměrně malý, zvolíme proudovou hustotu  $J = 4 \text{ A/mm}^2$ . Vypočítáme průřez drátu:

$$S_{\text{Cu}} = \pi \cdot D^2/4 = \pi \cdot 1/4 = 0,7854\text{mm}^2$$

Jmenovitý proud  $I_n$  tedy bude:

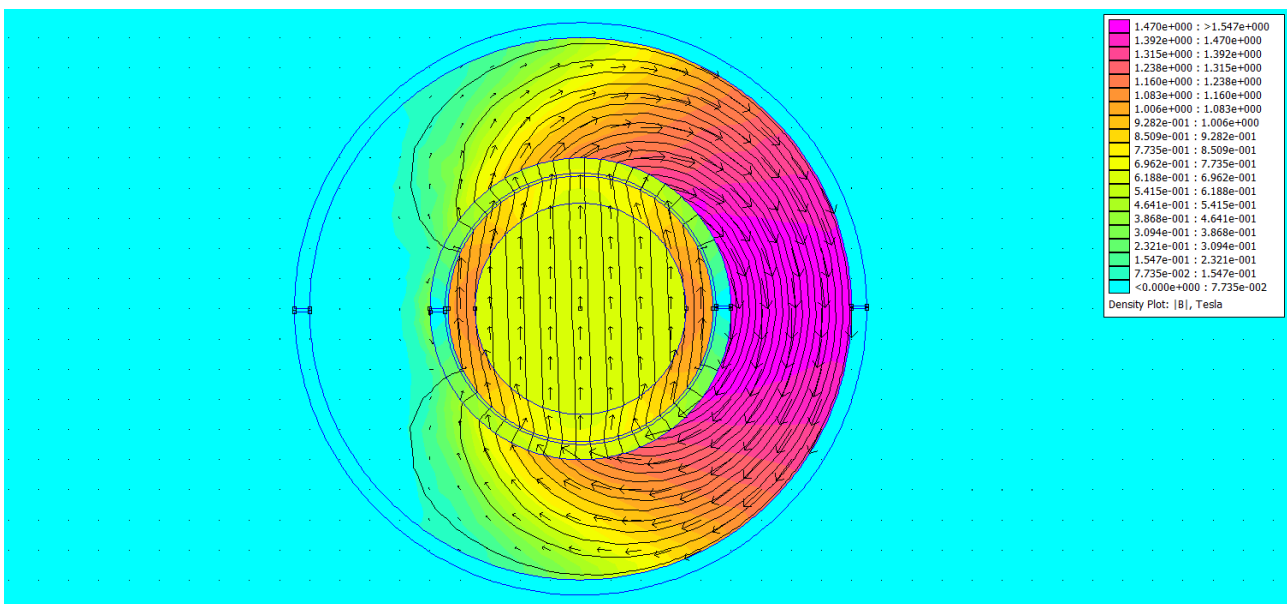
$$I_n = J \cdot S_{\text{Cu}} = 4 \cdot 0,7854 = 3,14\text{A}$$

Známe napětí a proud, takže můžeme vypočítat jmenovitý výkon generátoru:

$$P = U \cdot i = 124,4 \cdot 3,14 = 390\text{W}$$

Hodnota výkonu je pouze orientační. Ve skutečnosti bude o něco nižší. Musíme odečíst ztráty způsobené oteplením vinutí. Ještě bychom měli připomenout, že se jedná o výkon pouze jedné cívky. V generátoru jsou však cívky dvě.

Tento generátor má poměrně velké sycení, takže se u něho předpokládá symetrická zátěž. Při nesymetrické zátěži by bylo toroidní jádro v jednom místě přesyceno. Abychom se tomu vyhnuli, zvětšíme průřez toroidu, který místo  $8\text{cm}^2$  bude  $S_{\text{Fe}} = 16\text{cm}^2$ . Protože magnetický tok zůstane stejný, elektrické parametry generátoru se prakticky nezmění.



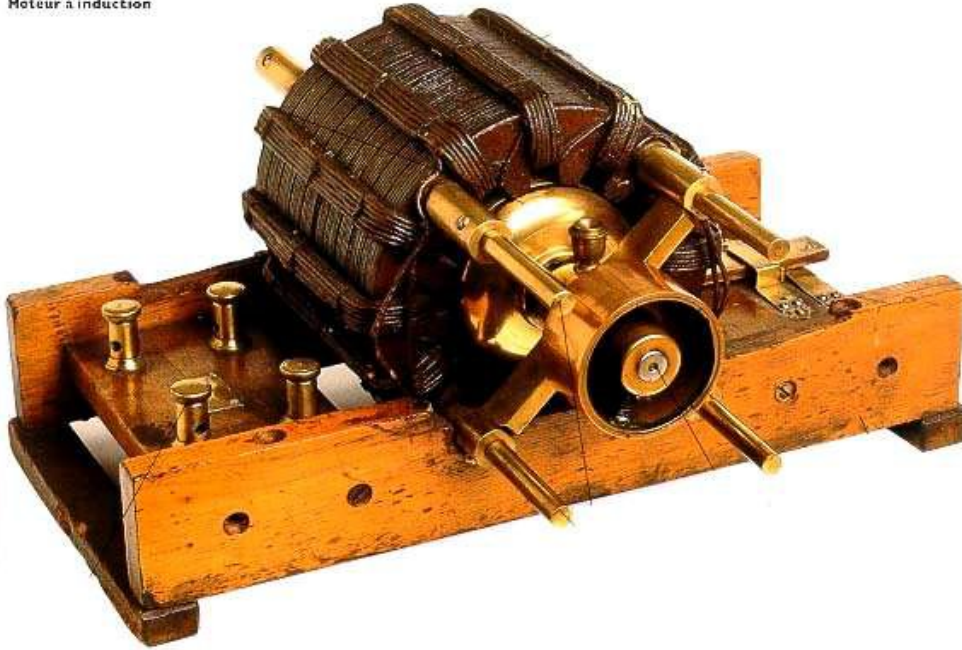
Obr. 4: Upravený generátor s nesymetrickou zátěží

Nakonec ještě určíme konstantu  $k$  ve vztahu (6) zprvní části

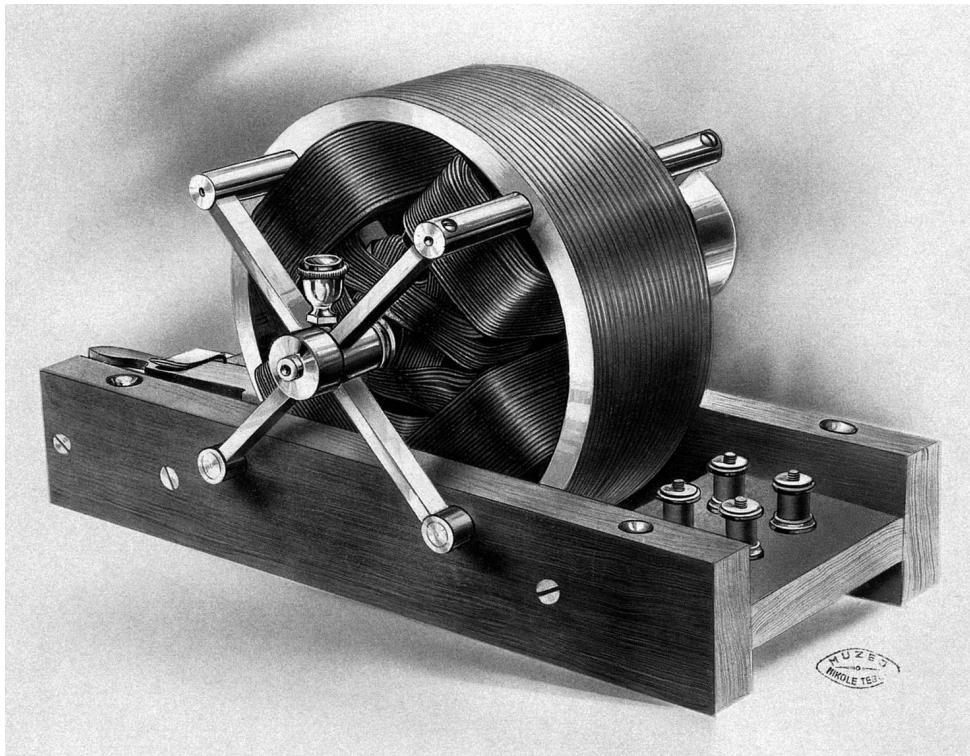
$$k = S_{fe}/\sqrt{P} = 16/\sqrt{390} = 0,81$$

V tomto článku jsme se vůbec nezabývali konstrukcí generátoru, proto na úplný záběr uvedeme pro inspiraci dva obrázky prototypů strojů Nikoly Tesly.

Moteur à induction



Obr. 5



Obr. 6