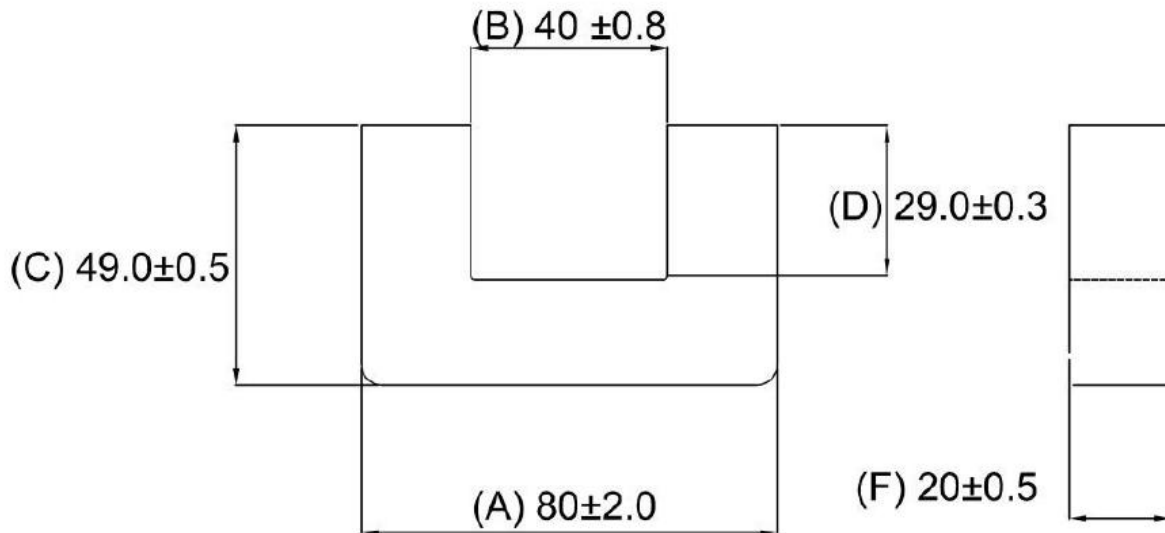


# Návrh realizace transformátoru Thane C. Heinse IV.

© Ing. Ladislav Kopecký, červenec 2016

Ve čtvrté části článku budeme navrhovat TH transformátor s topologií UUI s konkrétními typy jader „UU“ a „I“, přičemž použijeme metodiku z předchozí části. Nejdříve vybereme vhodná feritová jádra. Zvolíme jádro UU8020, jehož rozměrový obrázek najdete na obr. 1 a parametry v tabulce 1.



Obr. 1: Rozměry jádra UU8020

## UU8020 Un-gapped (OL)

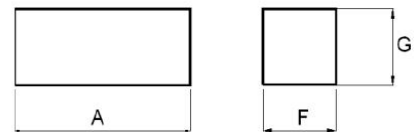
Test Conditions: 1kHz/1mT/CFR COIL, N=100/25°C

Material Grade	Initial Permeability ( $\mu_{iac}$ )	AL Value (nH)	$\mu_e$ Approx./Set	$P_V$ (W/set) (100kHz, 100mT, 100°C)	Ordering code
CF139	2100 ±20%	3900 +30%/-20%	≈2010	≤ 15.01	CF139UU8020 OL
CF297	2300 ±20%	4200 +30%/-20%	≈2140	≤ 12.94	CF297UU8020 OL

Tabulka 1: Parametry jádra UU8020

Dále zvolíme jádro I8020:

Dimension	Nominal (in mm)	Maximum (in mm)	Minimum (in mm)
A	80.0	80.5	79.5
F	20.0	20.8	19.2
G	20.0	20.4	19.6



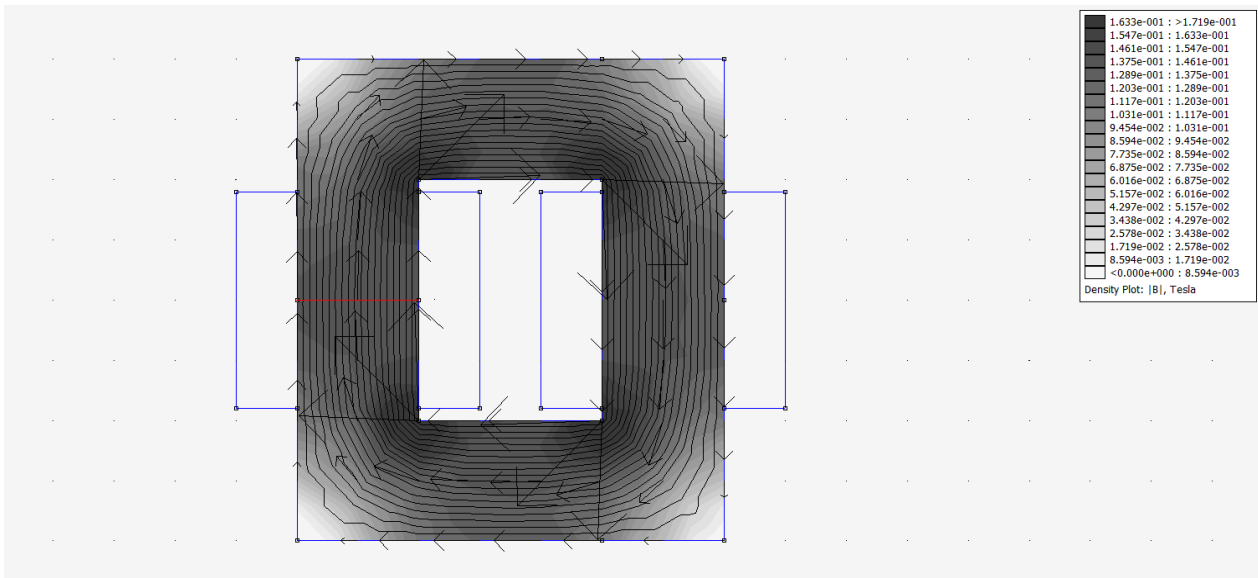
Obr. 2: Rozměry jádra I8020

## I8020 (OL)

Material	Initial Permeability ( $\mu_{iac}$ )	AL Value (nH)	$\mu_e$ Approx.	$P_V$ (W/set)	Ordering code
CF139	2100 ±20%	NA	NA	NA	CF139I8020 OL
CF297	2300 ±20%	NA	NA	NA	CF297I8020 OL

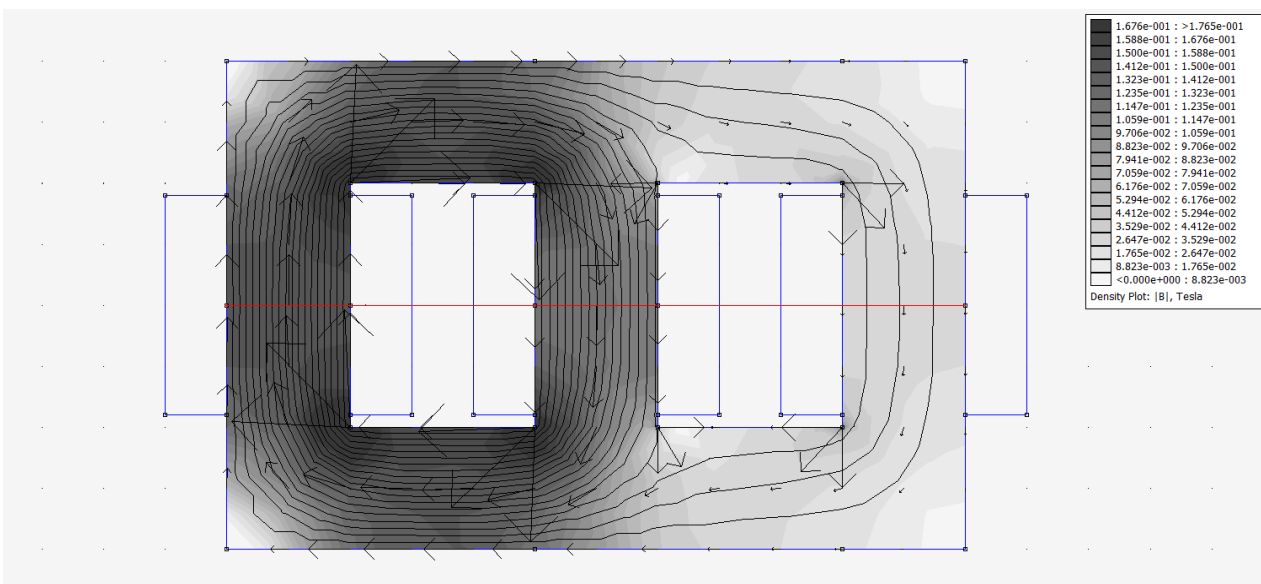
Tabulka 2: Parametry jádra I8020

Začneme transformátorem s jádrem UI naprázdno a určíme počet závitů a proud pro střední magnetickou indukci kolem 0,14T. Simulace ukázala, že když na primární cívku navineme 15 závitů a pustíme do ní proud 1A, průměrná indukce v magnetickém obvodu bude  $B = 0,139894T$ .

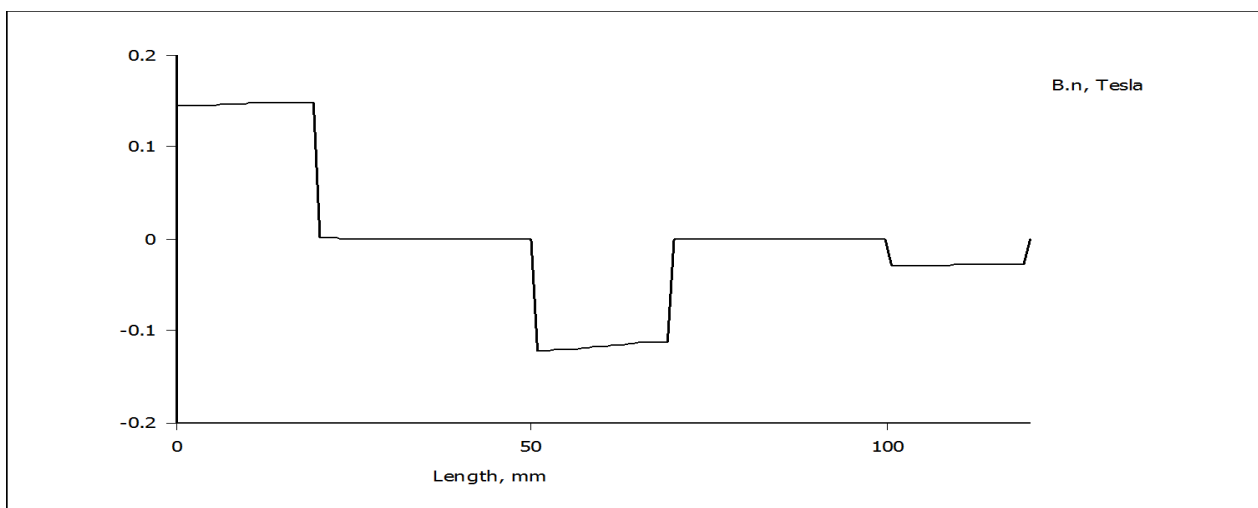


Obr. 3: Transformátor s jádrem UI naprázdno

Nyní zleva přidáme další cívku a jádro U, nejdříve bez mezery a proud 1A pustíme pouze do primární cívky (vlevo). Výsledky simulace můžete vidět na obr. 4 a 5.



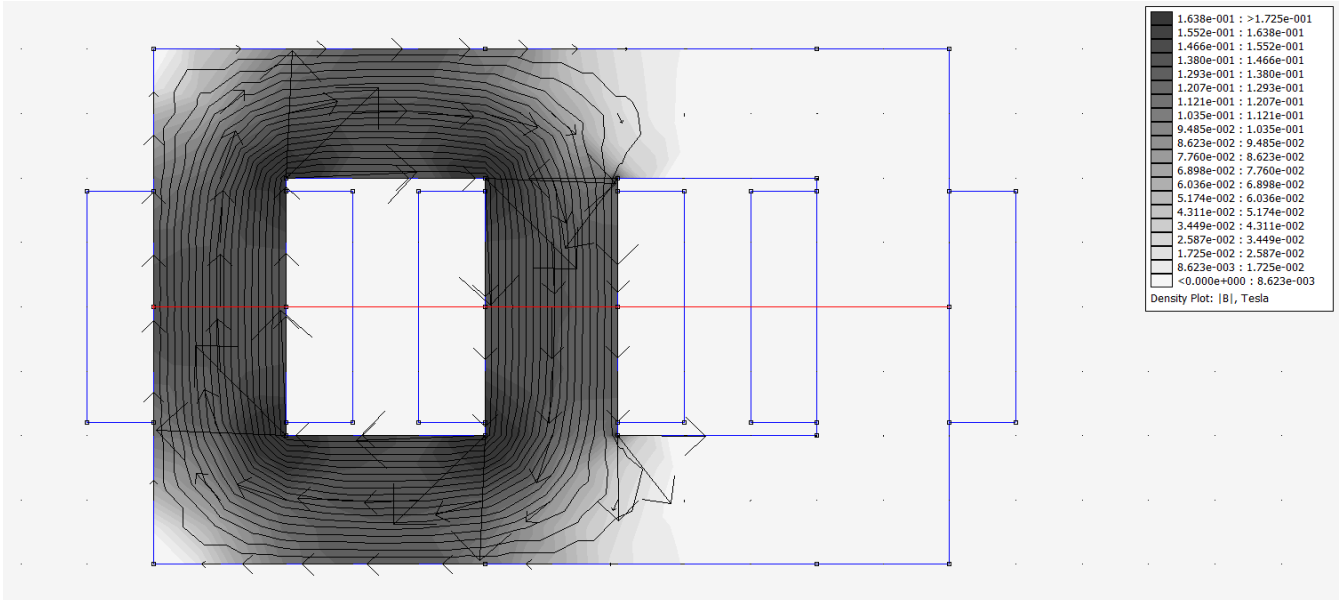
Obr. 4: TH transformátor naprázdno



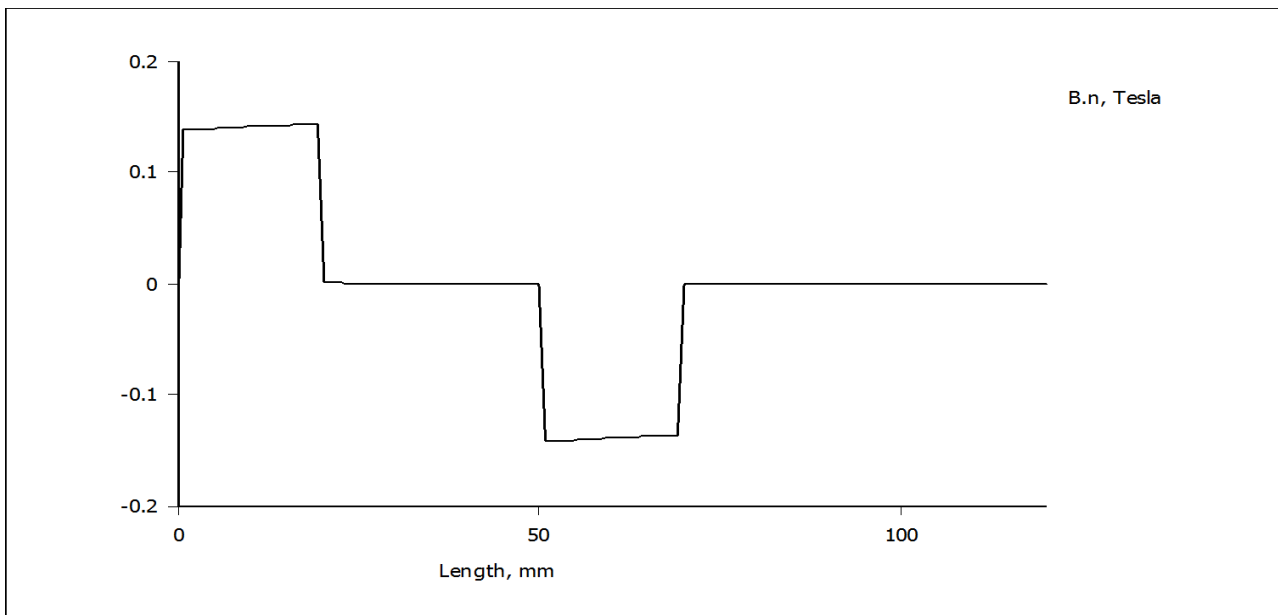
Obr. 5: Průběh B v TH transformátoru na obr. 4

Střední hodnota magnetické indukce v levém sloupku je nyní  $B = 0,146869\text{T}$ , což je více než v případě transformátoru na obr. 3. Je to pochopitelné protože přidáním další paralelní větve se snížil magnetický odpor  $R_m$ .

Nyní do cívky na pravém sloupku přivedeme proud takové velikosti, aby v tomto sloupku byl přibližně nulový magnetický tok  $\Phi$ .



Obr. 6: Zatížený TH transformátor bez mezery



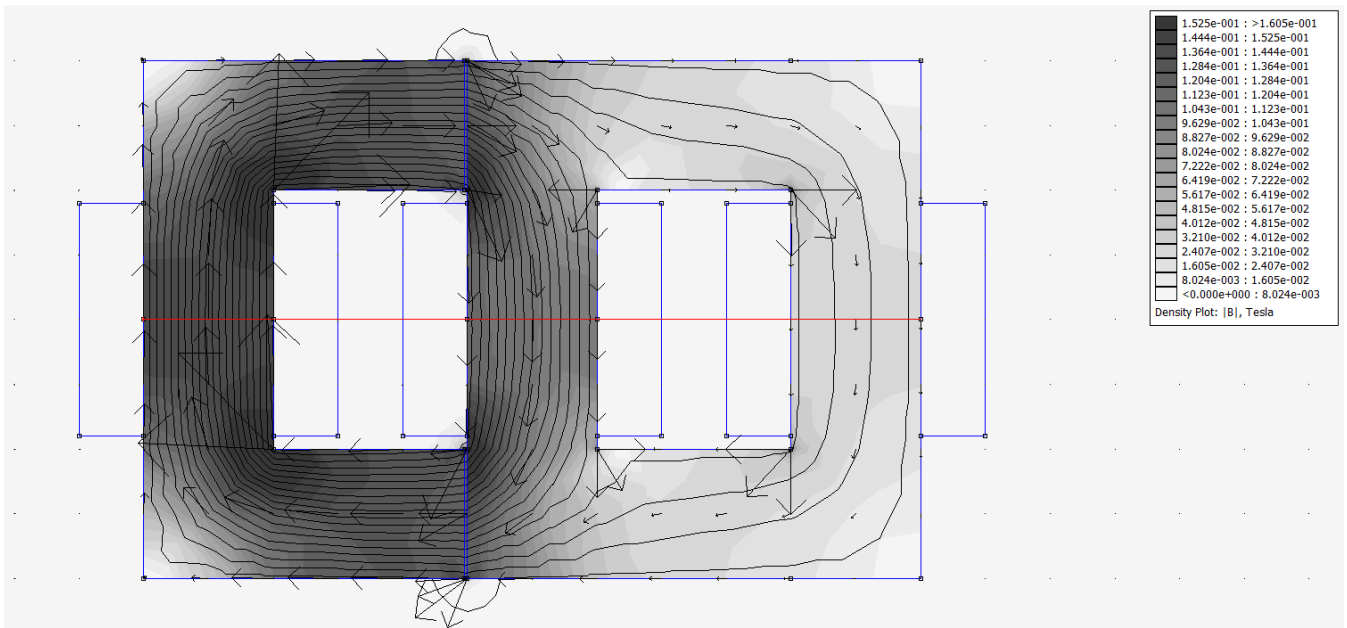
Obr. 7: Průběh  $B$  v TH transformátoru na obr. 6

Abychom docílili nulového toku  $\Phi$  v pravém sloupci, stačil nám proud pouhých  $0,23\text{A}$  a magnetická indukce v levém sloupku klesla pouze nepatrně na hodnotu  $B = 0,140861\text{T}$ .

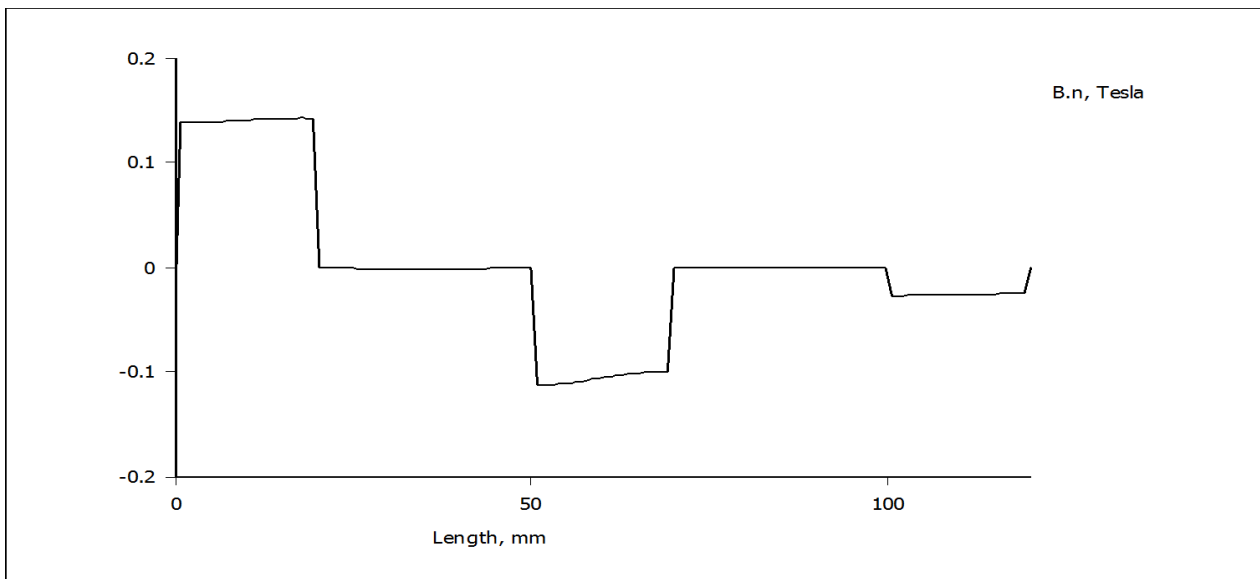
Nyní levé jádro  $U$  s cívkou odálíme, abychom vytvořili vzduchovou mezeru  $0,5\text{mm}$ , a provedeme další simulace – nejdříve naprázdno a potom se zatíženou pravou cívkou. Na obr. 8 a 9 máme výsledky simulace TH transformátoru naprázdno. Abychom dosáhli v levém sloupku střední indukce  $B = 0,140358\text{T}$ . Museli jsme do primární cívky přivést proud  $7,3\text{A}$ .

Dále opět necháme cívku na pravém sloupku protékat proud, který v něm potlačí  $\Phi$ . Na výsledný graf se můžete podívat na obr. 10. Zvolili jsme opět zatěžovací proud o hodnotě  $0,23\text{A}$  a střední hodnota magnetické indukce nám klesla na hodnotu  $B = 0,139584\text{T}$ . Zdálo by se tedy, že vytvoření vzduchové mezery nemá žádný

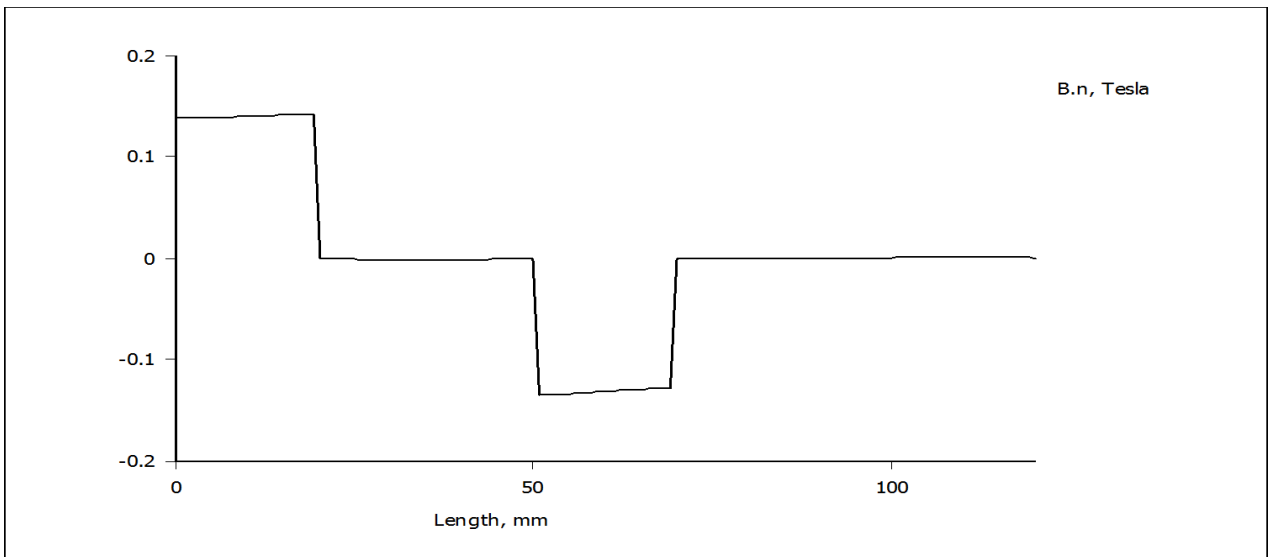
význam. Musíme si však uvědomit, že v provozu bude protékat proud i cívkou na prostředním sloupku a vzduchová mezeru může zabránit ovlivňování primární cívky zatěžováním prostřední cívky.



Obr. 8: TH transformátor s mezerou naprázdno

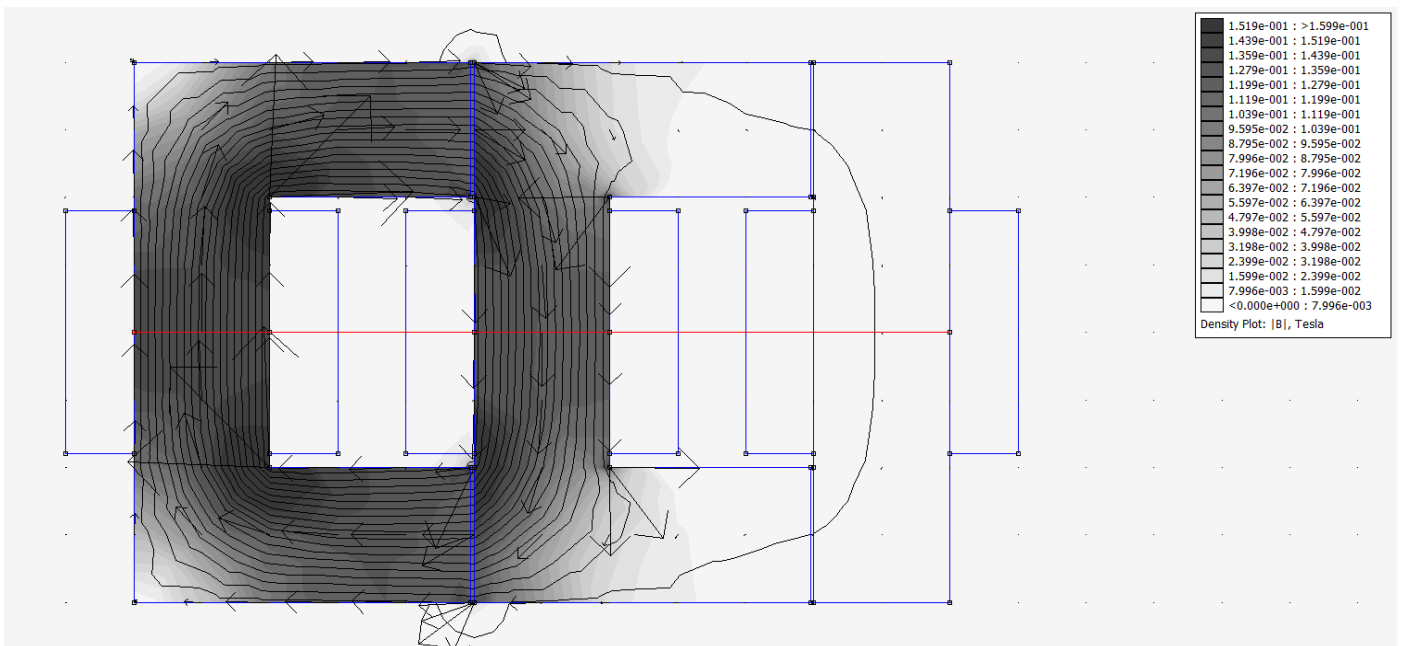


Obr. 9: Průběh B v TH transformátoru na obr. 8 - naprázdno

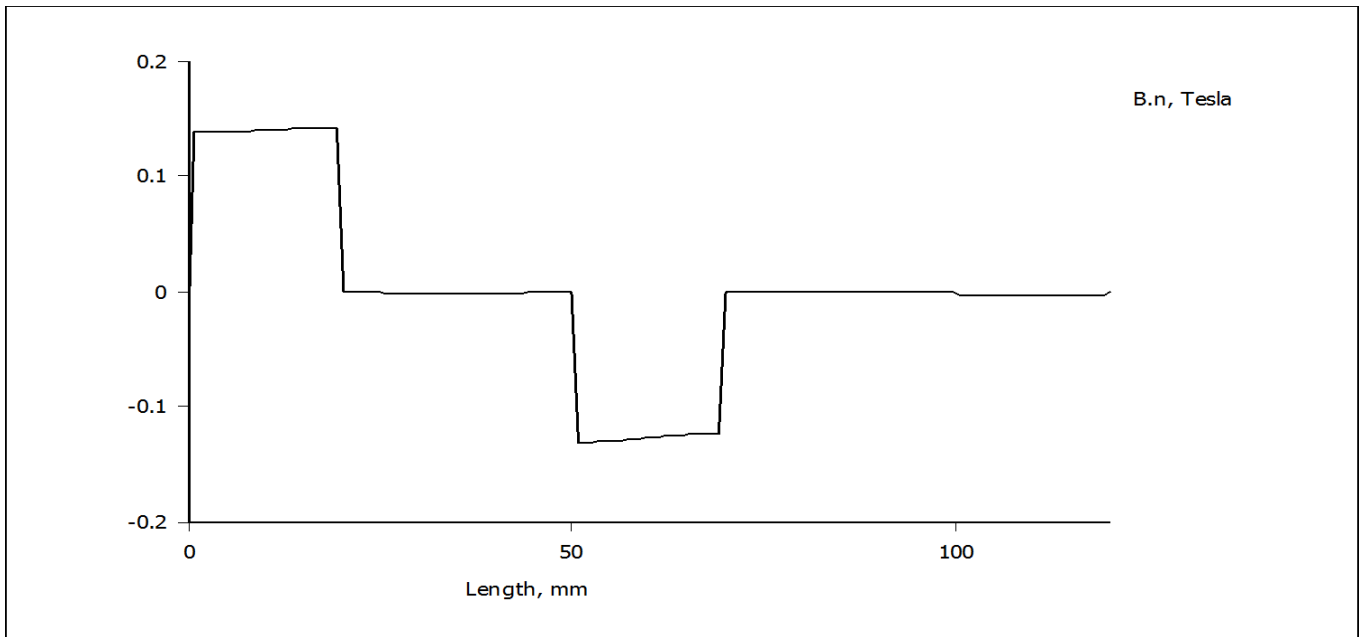


Obr. 10: Průběh  $B$  v TH transformátoru na obr. 8 – pod zátěží

Nakonec ještě vytvoříme druhou vzduchovou mezeru vpravo mezi jádry U a I.

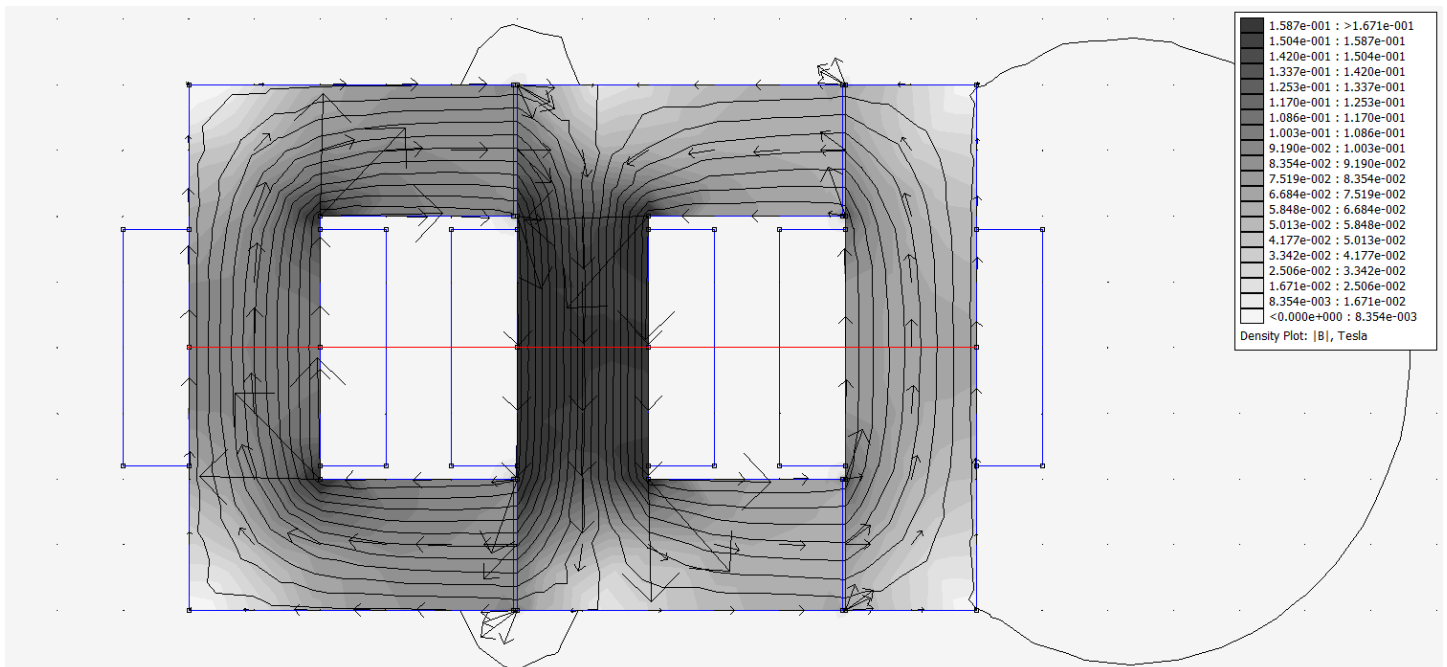


Obr. 11: TH transformátor se dvěma mezerami naprázdno

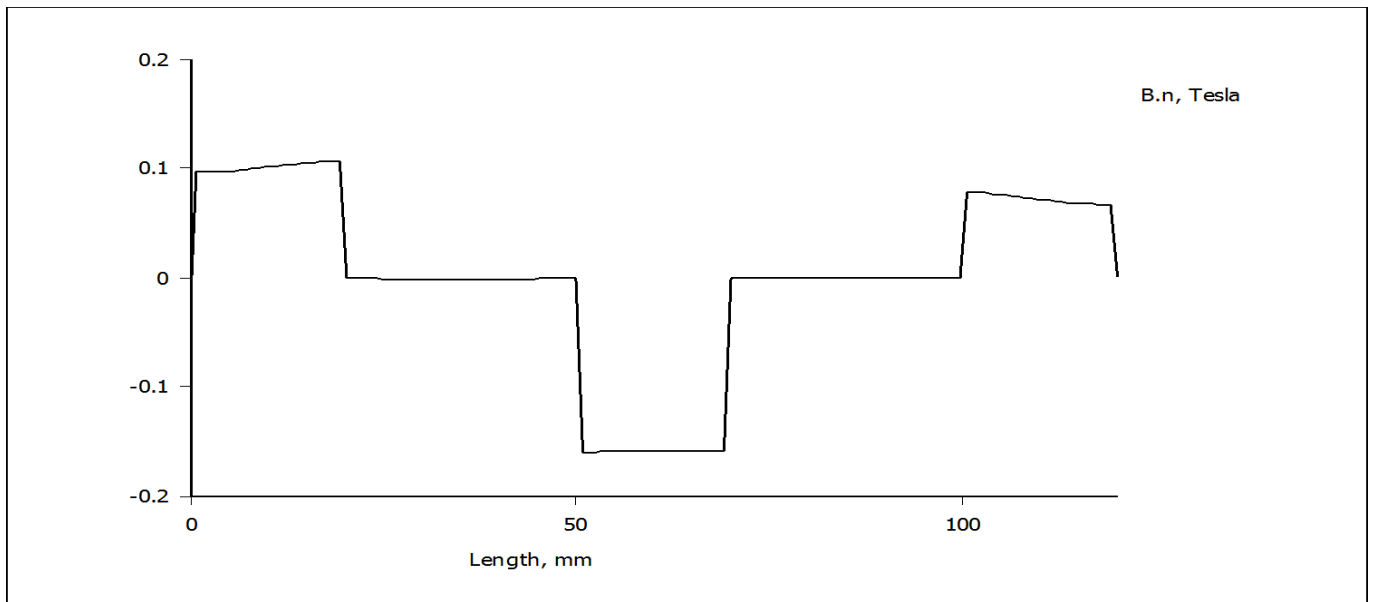


Obr. 12: Průběh B v TH transformátoru na obr. 11 – naprázdno

Jak vyplývá z výsledků simulace na obr. 11 a 12, metodika používaná dříve pozbývá smyslu, protože v pravém sloupku není téměř žádný magnetický tok. Musíme tedy zatížit proudem obě sekundární cívky. Je těžké odhadnout optimální poměr zátěží, proto výsledky simulace se mohou od reality výrazně lišit. Každopádně musíme proud v pravé cívce zvolit větší než v té prostřední a v primární cívce bude proud největší. Nakonec jsme proudy zvolili následovně  $I_1 = 7,3A$ ;  $I_2 = 2A$  a  $I_3 = 6A$ . Domnívám se, že proud  $I_3$  je zbytečně velký a neodpovídá realitě. Zvolil jsem ho tak velký úmyslně jako nejhorší případ. I při tak velkém proudu slepé zátěže (termín používaný Thane Heinsem) střední hodnota magnetické indukce v levém sloupku poklesla na  $B = 0,100901T$ .



Obr. 13: TH transformátor se dvěma mezerami – pod zátěží



Obr. 14: Průběh B v TH transformátoru na obr. 13 – pod zátěží

### Závěr:

TH transformátor s topologií UUI vykazuje lepší vlastnosti než s jádrem EE. Nejlepších výsledků bylo při simulaci dosaženo u transformátoru se dvěma vzduchovými mezerami. Takto získané výsledky bude potřeba ještě ověřit v praxi.

Smyslem TH transformátoru je potlačit, aby se zpětná reakce sekundáru projevila na primární straně transformátoru. Pokud bude TH transformátor pracovat správně, neměl by příliš klesnout účinník. V praxi to poznáme tak, že se energie bude vracet zpátky do zdroje. Pokud pro buzení primáru použijeme rezonanci, neměl by při zátěži příliš poklesnout činitel jakosti  $Q$ . V tomto případě se do zdroje sice žádná energie nevrací, ale zvyšováním rezonančního kmitočtu roste výkon, přičemž příkon zůstává teoreticky stejně velký. Při použití nesymetrického můstku (se dvěma spínači a dvěma diodami) se energie do zdroje vrací, ale na druhé straně musíme s rostoucí frekvencí zvyšovat napětí zdroje, pokud chceme, aby se s frekvencí zvyšoval výkon zátěže (při stejném primárním proudu).