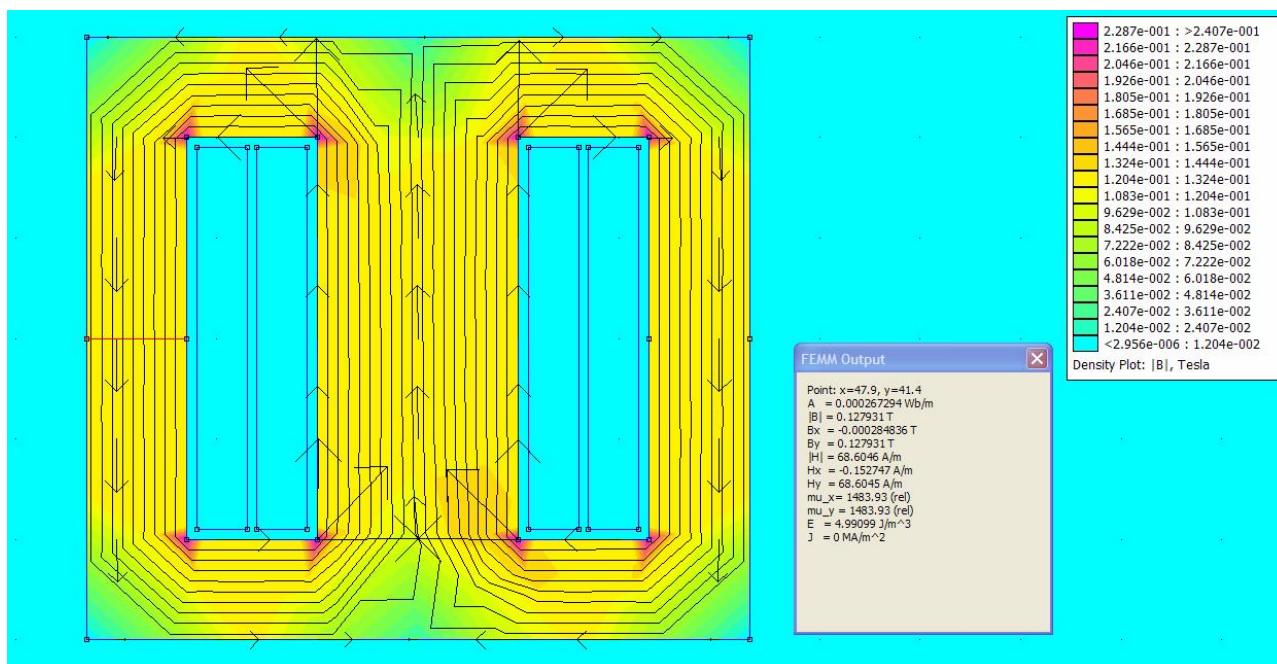


## Návrh realizace transformátoru Thane C. Heinse

(c) Ing. Ladislav Kopecký, duben 2016

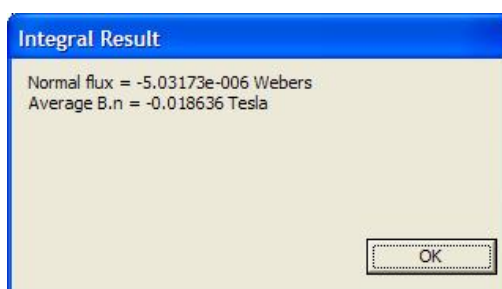
V článku [Bi-toroidní transformátor Thane C. Heinse](#) byl uveden princip vynálezu Thane Heinse, jehož základní myšlenkou je potlačení důsledků Lenzova zákona. V tomto článku se pokusíme navrhnout možnou realizaci tohoto vynálezu s použitím běžných součástek.

Začneme simulací běžného transformátoru s jádrem EE. Na obr. 1 je simulace transformátoru s feritovým jádrem, jehož sekundár není zatížen. Na primární a sekundární cívce je navinuto 10 závitů a primární cívkou teče proud 1A. Průměrná hodnota syčení jádra je cca 0,127 T, což je optimální hodnota syčení pro materiál zvolený pro simulaci.



Obr. 1

Když sekundární cívku zatížíme proudem 0,8A, tak průměrná hodnota syčení jádra klesne na (viz 2. řádek v okně na obr. 2):

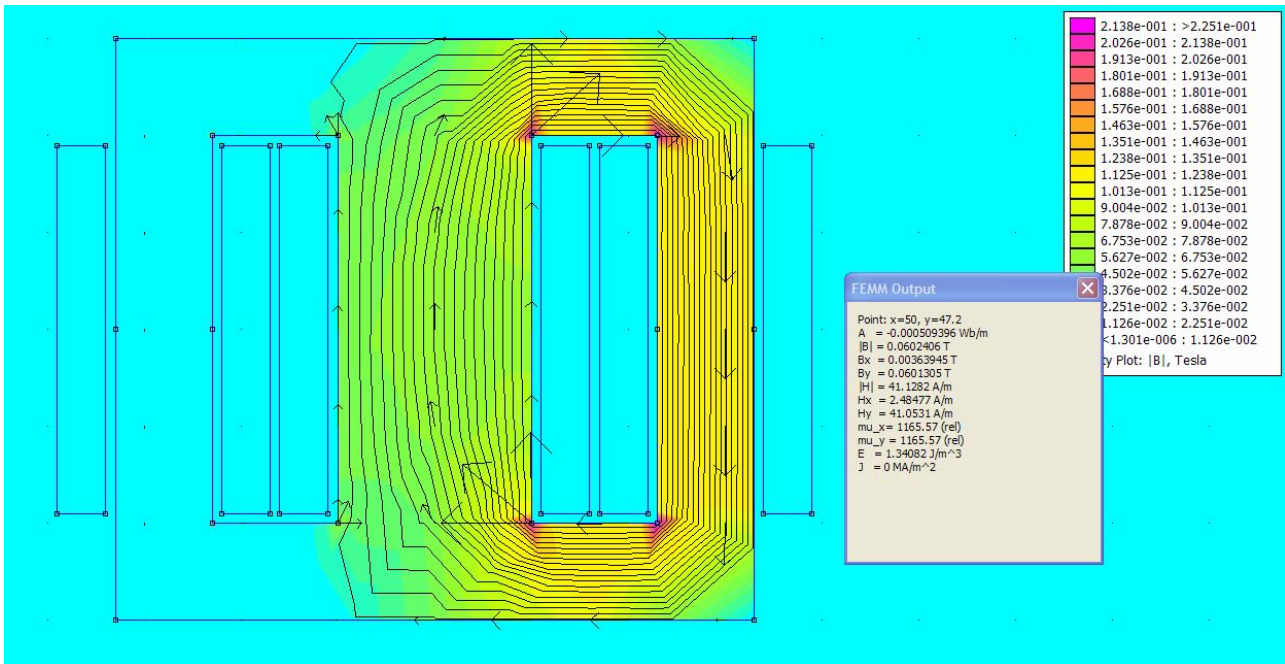


Obr. 2

Zde vidíme důsledky Lenzova zákona. Jedná se v podstatě o elektrickou obdobu Newtonova Zákona akce a reakce, který známe z mechaniky. Thane Heinsovi se podařilo tento zákon obejít tak, že vytvořil paralelní magnetickou cestu, takže v jeho transformátoru sekundární magnetické pole nepůsobí proti primárnímu poli, ale uzavírá se paralelní cestou. Důsledkem je, že účinník je stejně malý jako v případě, kdy sekundární cívka není zatížena a energie se vrací zpátky do zdroje. Pokud využijeme rezonance, tak vlivem zatížení sekundáru nedojde ke snížení činitele jakosti primární

cívky jako u běžného transformátoru. Nyní se pokusíme z tohoto transformátoru s jádrem typu EE vytvořit „bezreakční“ transformátor podle vzoru Thane Heinse.

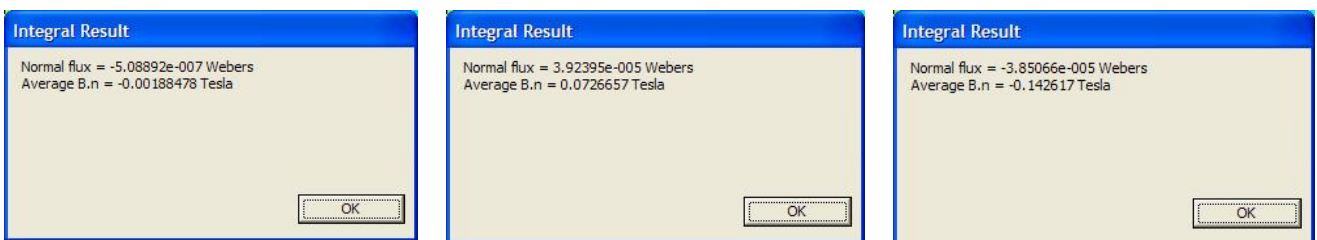
Provedeme to tak, že na prostředním sloupcu bude pouze primární cívka a na dvou krajních sloupcích budou navinuty dvě sekundární cívky. Budeme postupovat stejně jako Thane Heins: jednu sekundární cívku zatížíme malým odporem cca  $1\Omega$  (slepá zátěž), zatímco druhou cívku zatížíme reálnou zátěží. Na obr. 3 máme simulaci této úpravy s následujícími parametry: proud primární cívkou je 1A, proud sekundární cívkou vlevo je 0,8A a proud sekundární cívkou vpravo je 0,2A.



Obr. 3

Nyní se podíváme na průměrné sycení jednotlivých větví: levý sloupek:  $B.n = -0,00485T$ , prostřední sloupek:  $B.n = 0,06041T$  a pravý sloupek:  $B.n = -0,11493T$ .

Dále se podíváme, jak moc se změní sycení středního sloupku v situaci, kdy je sekundární cívka vpravo bez proudu (slepá zátěž zůstává). V tomto případě situace vypadá následovně:



Levý sloupek

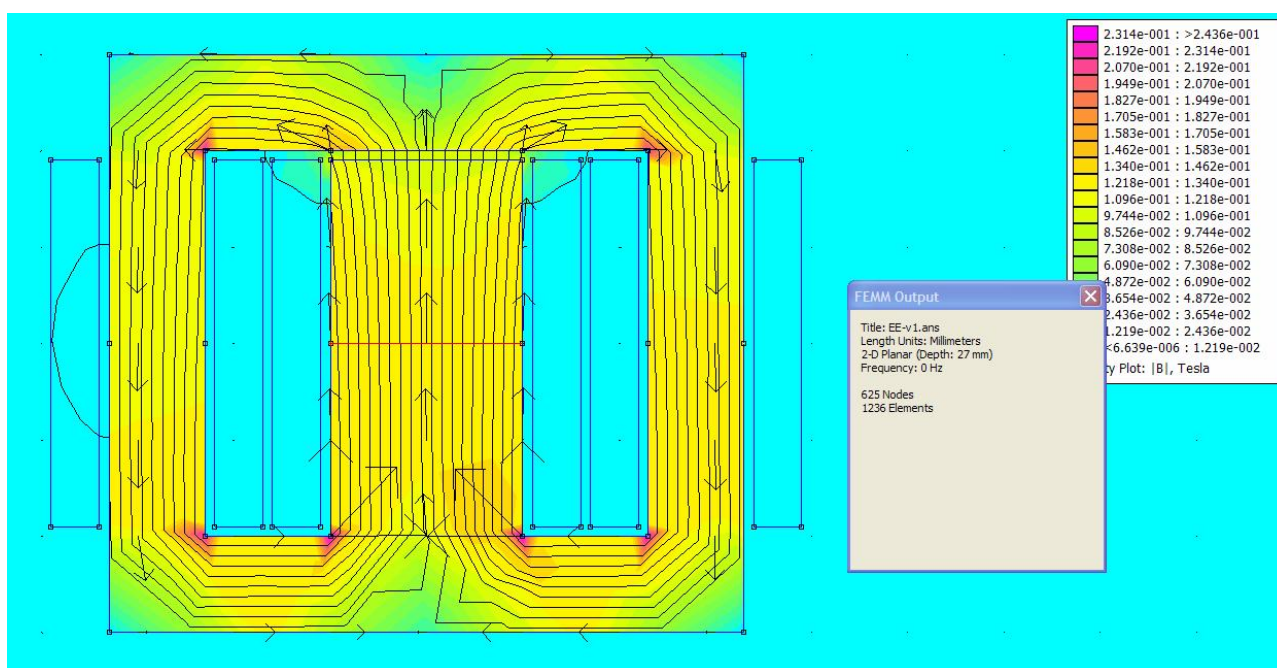
Prostřední sloupek

Pravý sloupek

Obr. 4

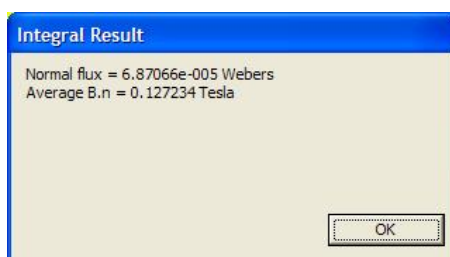
Je zřejmé, že jsme limitováni velikostí zátěže. Je vidět, že v tomto případě paralelní cesta pomohla pouze částečně, na rozdíl od transformátoru Thane Heinse. Je to z toho důvodu, že T. H. použil pro paralelní cestu větší průřez magnetického obvodu pro paralelní cestu než byl průřez jádra primární cívky. Proto se mu povedlo podstatně odstínit vliv zátěže na primární cívku. My jsme však limitováni komerčně vyráběnými jádry. Jak tuto nevýhodu obejít? Zkusíme to tak, že u prostředního sloupku vytvoříme vzduchovou mezeru. (Jádra se vzduchovou mezerou se běžně

vyrábějí a používají se např. pro blokové měniče.) Na dalším obrázku máme stejné jádro se vzduchovou mezerou 1mm:



Obr. 5

Abychom docílili sycení na středním sloupku zhruba na stejné úrovni:



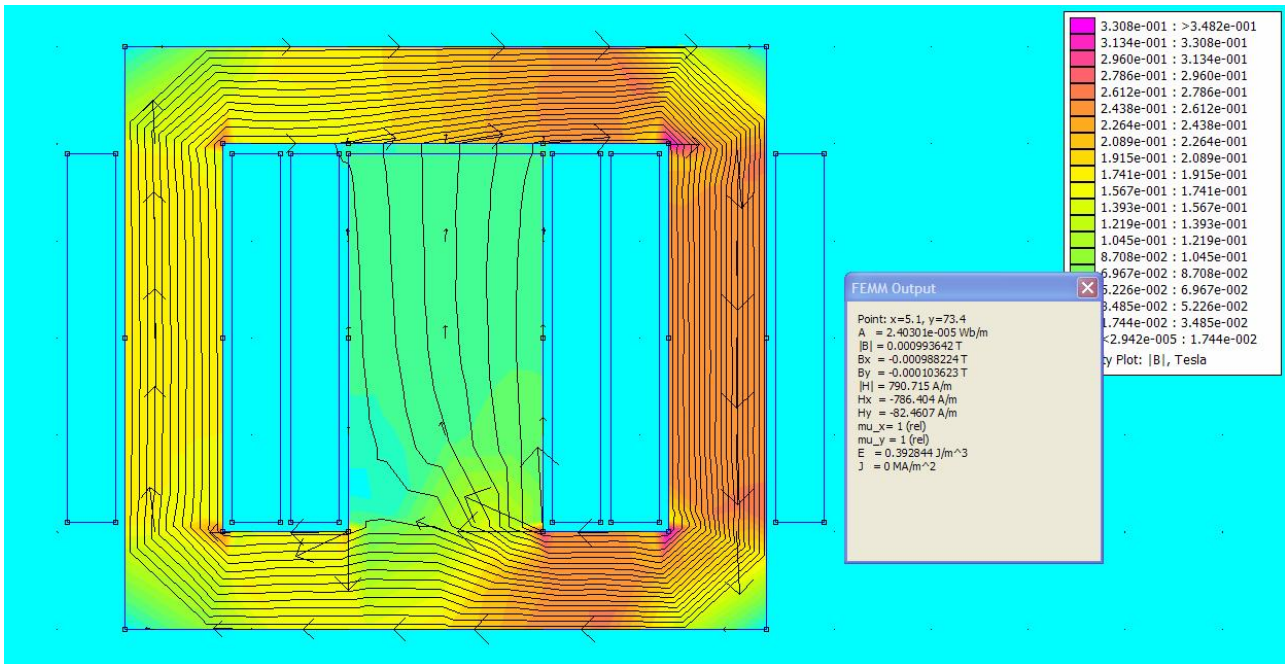
Obr. 6

jako v případě bez mezery, museli jsme počet závitů na prostředním sloupku z 10z zvýšit na 92 závitů. Nyní zvýšíme počty závitů na sekundárních cívkách tak, aby byl na všech třech cívkách stejný počet závitů: 92 a obě sekundární cívky zatížíme tak, že cívkou se slepou zátěží poteče proud 0.8A a cívkou vpravo poteče proud 0,2A. (Primární cívkou teče proud – stejný jako v předchozím případě – tj. 1A.) Na výsledek se můžete podívat na obr. 7 . Na první pohled to vypadá tak, že primární cívka je více izolovaná od zátěže než v předchozím případě transformátoru bez vzduchové mezery. Jestli je to pravda, nyní ověříme tak, že budeme sledovat závislost sycení středního sloupku na velikosti zatížení cívky navinuté na pravém sloupku.

$I_3$ [A] (pravou cívkou)	B.n [T] (levý sloupek)	B.n [T] (střední sloupek)	B.n [T] (pravý sloupek)	$L_1$ [H] (střední sloupek)
0,0	0,18611	0,04704	-0,26803	0,0024321
0,2	0,17638	0,04445	-0,25226	0,0023105
0,4	0,15969	0,04132	-0,22840	0,0021624
0,6	0,11886	0,03680	-0,17750	0,0019645
0,8	-0,01642	0,02505	-0,01717	0,0013778

Tabulka 1: Výsledky simulace TH transformátoru se vzduchovou mezerou

Na výsledky se můžete podívat do tabulky 1 výše. Nejvíce nás bude zajímat závislost sycení středního sloupku na zatěžovacím proudu sekundární cívky vpravo. S tím přímo souvisí indukčnost primární cívky (viz sloupec úplně vpravo).



Obr. 7

Převahu transformátoru s mezerou nejlépe ověříme tak, že obdobnou tabulku (jako tabulka 1) vytvoříme i pro transformátor bez mezery:

$I_3$ [A] (pravou cívkou)	B.n [T] (levý sloupek)	B.n [T] (střední sloupek)	B.n [T] (pravý sloupek)	$L_1$ [H] (střední sloupek)
0,0	-0,00192063	0,0730968	-0,143013	0,000394616
0,2	-0,00487496	0,0606208	-0,114995	0,000327272
0,4	-0,00937797	0,0444957	-0,078110	0,000240208
0,6	-0,01418250	0,0300207	-0,0442214	0,000162048
0,8	-0,01828040	0,0191547	-0,0182741	0,000103381

Tabulka 2: Výsledky simulace TH transformátoru bez vzduchové mezery

Z tabulky 2 je vidět, že s rostoucí zátěží nejen rychleji klesá indukčnost primární cívky, ale i to, že tento transformátor je poměrně měkký (tj. se zátěží rychle klesá výstupní napětí). Poznává se to podle poklesu střední hodnoty magnetické indukce pravého sloupku.

Nakonec vytvoříme tabulku závislosti indukčnosti primární cívky a sycení na proudu sekundární cívky:

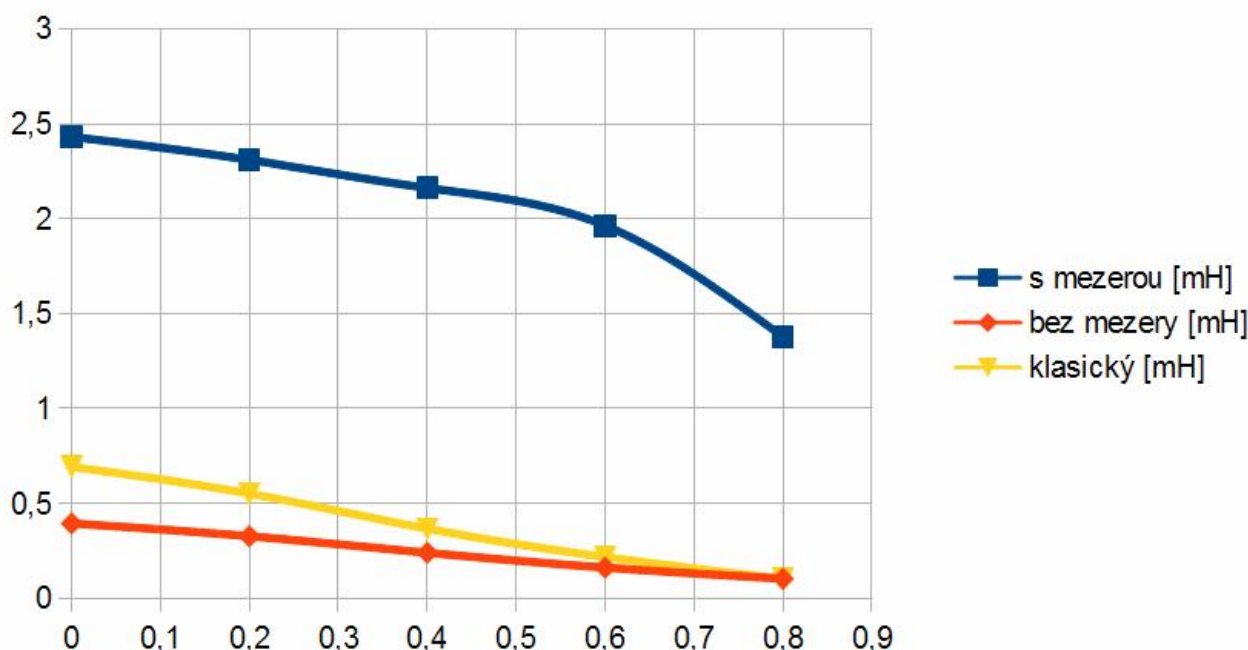
$I_2$ [A] (sekundární cívkou)	$L_1$ [H] (primární cívka)	B.n [T] (střední sloupek)
0,0	0,000692853	0,1283440
0,2	0,000551640	0,1021850
0,4	0,003670230	0,0679874
0,6	0,000217641	0,0403189
0,8	0,000101991	0,0188989

Tabulka 3: Výsledky simulace klasického transformátoru bez vzduchové mezery

Pro lepší přehlednost shrneme do jedné tabulky závislost indukčnosti primární cívky na zatěžovacím proudu pro všechny tři varianty transformátoru a vyneseme do grafu:

proud [A]	Indukčnost [mH]		
	s mezerou	bez mezery	klasický
0	2,4321	0,394616	0,692853
0,2	2,3105	0,327272	0,55164
0,4	2,1624	0,240208	0,367023
0,6	1,9645	0,162048	0,217641
0,8	1,3778	0,103381	0,101991

Tabulka 4



Graf 1

Je třeba poznamenat, že graf výše je zavádějící. V případě transformátoru s mezerou a klasického transformátoru srovnáváme nesrovnatelné, protože cívky klasického transformátoru mají pouze 10 závitů, zatímco u transformátoru se vzduchovou mezerou jich je téměř desetkrát víc (92z). Měli bychom tedy spíš srovnávat závislost indukčnosti na magnetomotorické síle  $F_m$  [Az]. Tím pádem se TH transformátor bez mezery dostává mimo hru, protože ta hezká a zvolna klesající červená přímka platí pouze pro velmi malé výkony. Abychom mohli reálně srovnat výše zmíněné transformátory, musíme zaprvé proudy přepočítat na  $F_m$ , zadruhé musíme upravit počet závitů klasického transformátoru tak, aby indukčnosti primárních cívek obou transformátorů byly při nulové zátěži na sekundáru zhruba stejné. Přitom zvolíme takový proud na primáru, aby sycení jádra bylo v rozmezí 0,12 až 0,13 T (platí pro konkrétní typ feritu v knihovně simulačního programu). Na základě kombinace simulací s výpočty bylo zvoleno 19 závitů primární cívky a při proudu  $I_1 = 0,5A$  bylo průměrné sycení středního sloupku  $B_n = 0,1225 T$ , čemuž odpovídala indukčnost 2,513mH. Když se podíváme do posledního sloupce tabulky 1, zjistíme, že u TH transformátoru se vzduchovou mezerou je počáteční indukčnost (pro sekundár naprázdno)  $L_1 = 2,4321mH$ . Máme tedy zhruba stejné startovací podmínky. Maximální proud v klasickém transformátoru vypočítáme z  $F_m = 92Az$  a počtu závitů  $N = 19z$ , čili  $I_{1,max} = F_m/N = 92/19 = 4,85A$ . Sekundární proud zvolíme tak, aby sycení bylo v rozmezí 0,12 až 0,13 T. Zvolíme tedy proud  $I_1 = 4,85A$  a budeme hledat takový proud  $I_2$ , abychom se vešli do výše uvedeného rozmezí sycení.

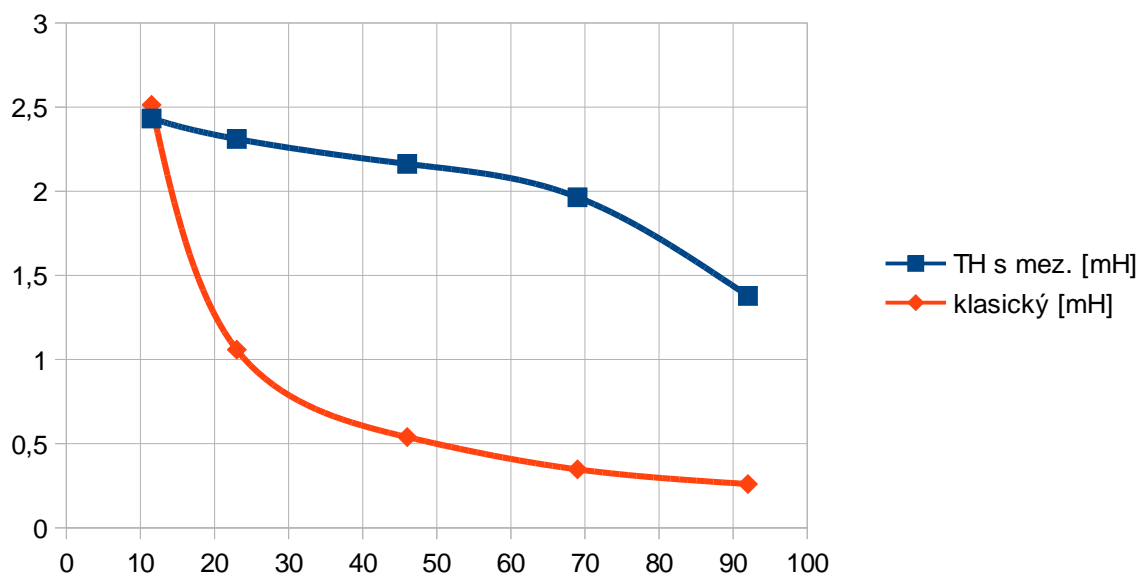
Simulací bylo zjištěno, že při proudu  $I_2 = 4,35\text{A}$  bylo průměrné sycení středního sloupku  $B.n = 0,1233\text{T}$ . Při těchto parametrech simulátor vypočítal indukčnost  $L_1 = 0,26029\text{ mH}$ . Podíváme-li se opět do tabulky 1, zjistíme, že u TH transformátoru s  $\delta = 1\text{mm}$  je při  $F_m = 92\text{Az}$  indukčnost  $L_1 = 1,3778\text{ mH}$ . Tím jsme dokázali, že technologie paralelní cesty, alespoň podle simulací a logických úvah, funguje.

Nyní pomocí výše popsaného postupu doplníme zbývající body závislosti  $L_1$  na  $F_m$  u klasického transformátoru a doplníme do tabulky 5. Nakonec vytvoříme graf.

U TH transformátoru se vzduchovou mezerou ponecháme na primáru konstantní proud  $1\text{A}$ . Pokud budeme předpokládat provoz v rezonančním režimu, je tento postup oprávněný a nebude znamenat podstatnou chybu.

Tr. s mezerou		indukčnost primáru		Tr. klasický	
proud $I_2$ [A]	$F_m$ [Az]	TH s mez. [mH]	klasický [mH]	$I_1$ [A]	$I_2$ [A]
0	11,5	2,4321	2,51301	0,5	0
0,2	23	2,3105	1,05850	1,21	0,7
0,4	46	2,1624	0,53924	2,42	1,9
0,6	69	1,9645	0,34732	3,63	3,13
0,8	92	1,3778	0,26029	4,85	4,35

Tabulka 5



Graf 2: Závislost indukčnosti primární cívky transformátoru na  $F_m$

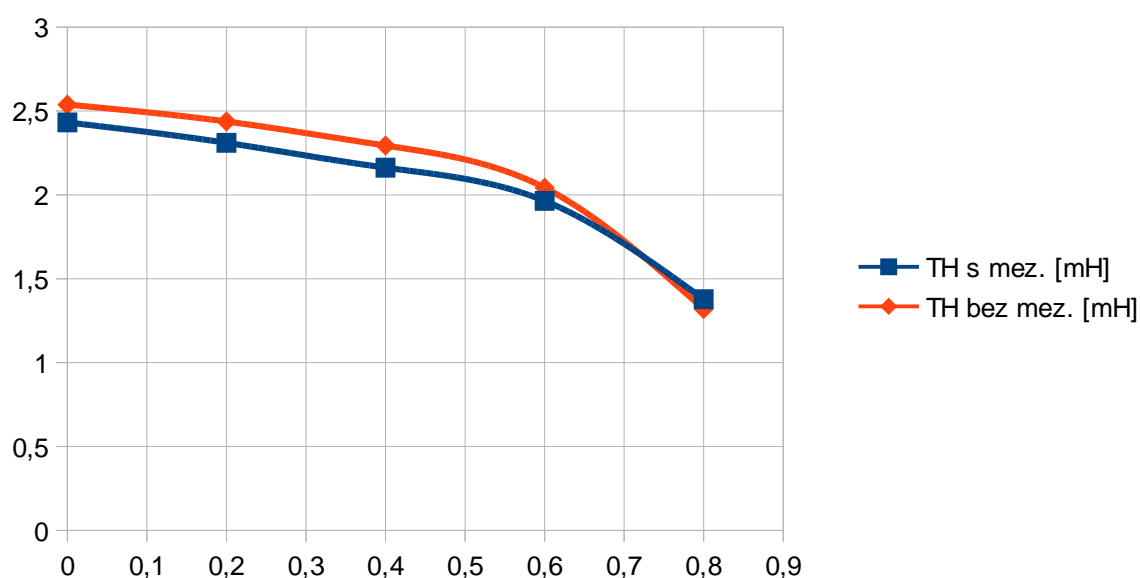
Z grafu 2 je zřejmé, že rozdíl mezi TH transformátorem s mezerou a klasickým transformátorem je propastný.

Nakonec se ještě vrátíme k TH transformátoru bez vzduchové mezery a provedeme jakési srovnání s TH tr. se vzduchovou mezerou. Opět musíme vytvořit pokud možno stejné startovací podmínky. Metodou pokus-omyl byl zvolen počet závitů všech tří vinutí 37 z. Cívkou  $L_1$  teče proud  $1\text{A}$ , cívkou  $L_2$  teče  $0,9\text{A}$  a za těchto podmínek je sycení na prostředním sloupku  $B.n = 0,12727\text{T}$  a

vstupní indukčnost je 2,53816mH. Nyní budeme zvyšovat proud ve třetí cívce a sledovat, jak se mění indukčnost primární cívky a sycení středního sloupku.

I3 [A]	indukčnost primáru:		sycení
	TH s mez. [mH]	TH bez mez. [mH]	B.n [T]
0	2,4321	2,53816	0,12727
0,2	2,3105	2,4375	0,122204
0,4	2,1624	2,29412	0,115
0,6	1,9645	2,04277	0,102393
0,8	1,3778	1,31937	0,0661645

Tabulka 6



Graf 3: Srovnání závislosti vstupní indukčnosti na proudu zátěže pro TH tr. s mezerou a bez mezery

Z grafu 3 je zřejmé, že TH transformátor bez mezery funguje téměř identicky jako s mezerou. Jediný rozdíl je v tom, že u transformátoru s mezerou dosáhneme většího výkonu při dané velikosti jádra.