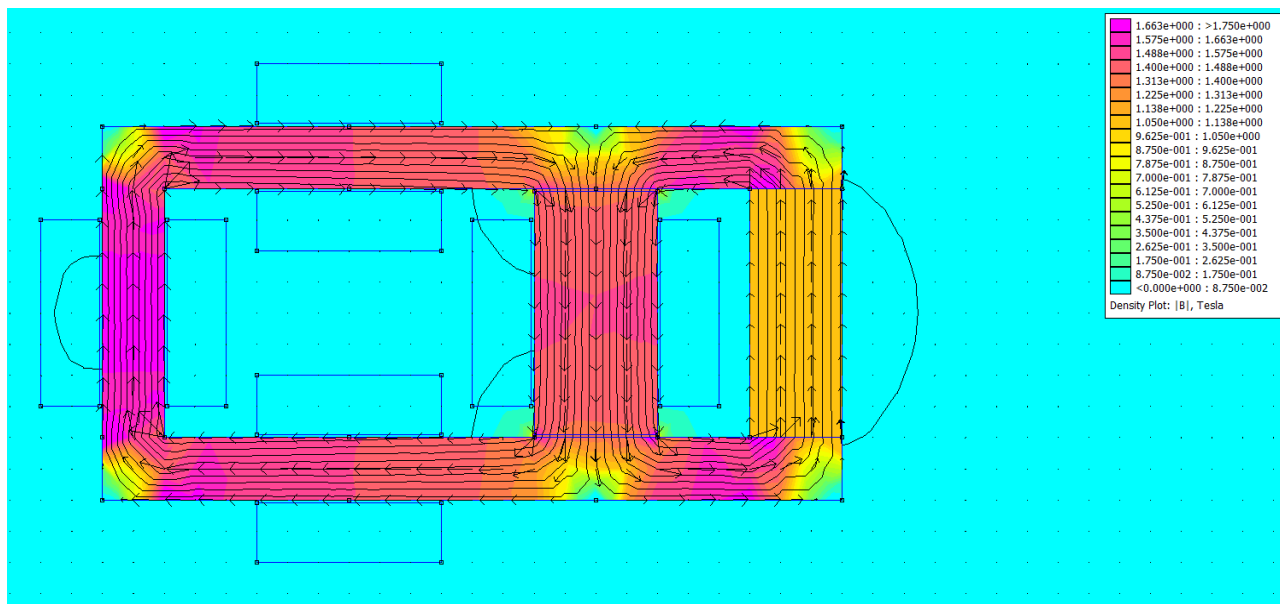


Bezpohybový elektrický generátor s mezerou uprostřed

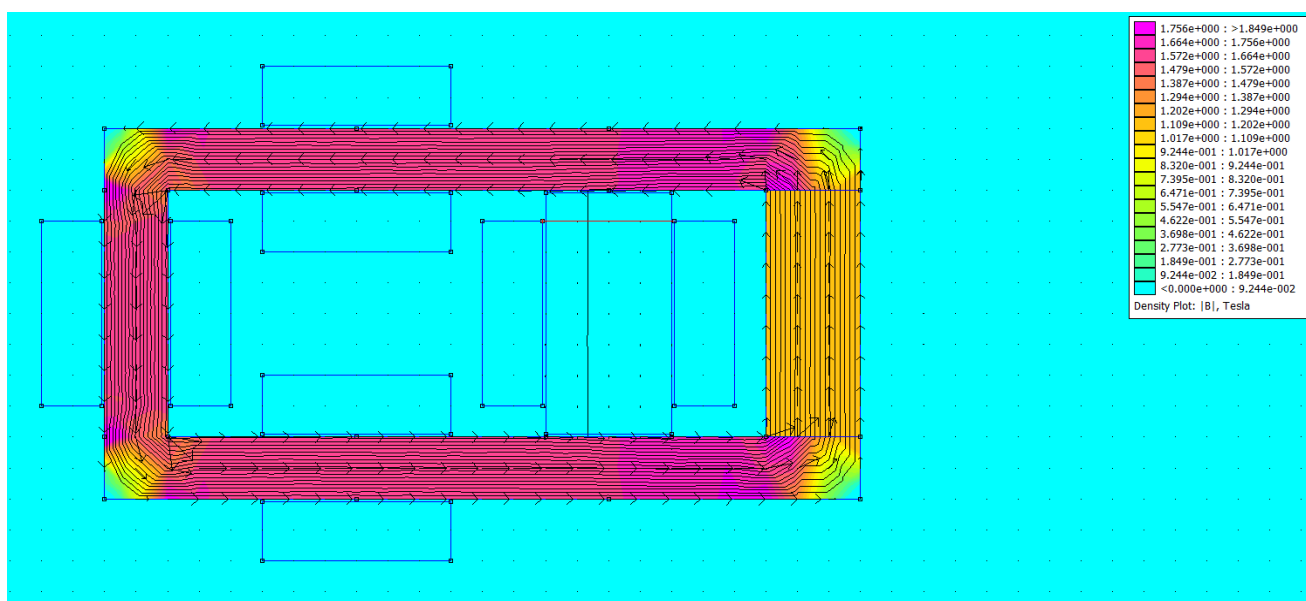
© Ing. Ladislav Kopecký, srpen 2017

V článku [Ecklinův generátor a spínaný reluktanční motor](#) jsem popsal techniku, jak v jednofázovém reluktančním motoru s magnetem ve statoru rekuperovat energii pomocí přidavných sběrných cívek. Spínané reluktanční motory jsou řízeny nesymetrickými můstky, které samy o sobě energii cívky rekuperují a toto je další benefit. Navíc tyto sběrné cívky zabraňují tomu, aby vznikaly nebezpečné napěťové špičky, schopné zničit tranzistory ve spínačích. V tomto článku si ukážeme, že tuto techniku lze uplatnit i u bezpohybových generátorů, podobných MEGu.

Na obr. 1 máme magnetický obvod složený z trafoplechů o průřezu 20x20mm, čtyř cívek a jednoho neodymového magnetu o rozměrech 20x30x80mm. Na sloupku vlevo je navinuta primární cívka a její magnetický tok působí proti magnetickému toku permanentního magnetu, jenž tvoří pravý sloupek. Prostřední sloupek má průřez 20x40mm, a je od zbytku magnetického obvodu oddělen vzduchovou mezerou 1mm z obou stran. Na všechny cívky je navinuto po 750 závitů drátu o průměru 1mm a primární cívkou teče proud 3A. Ostatní tři cívky jsou bez proudu.

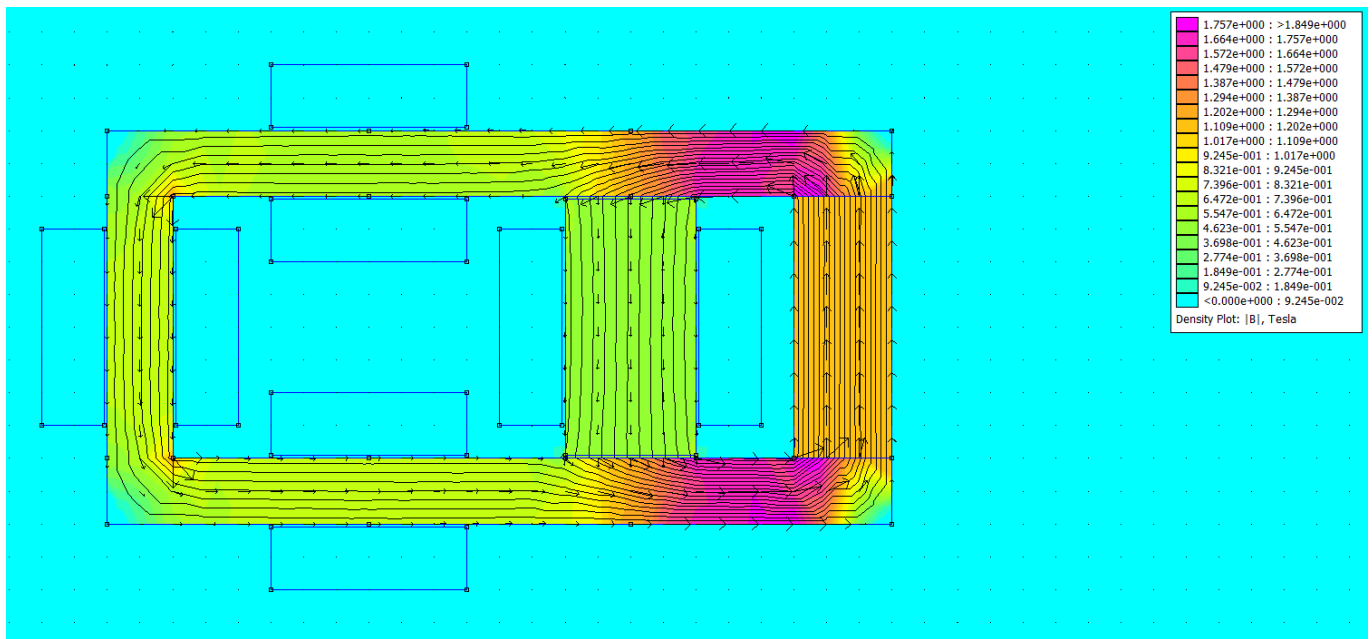


Obr. 1: Gappy MEG – proud primární cívkou: 3A



Obr. 2: Gappy MEG – proud primární cívkou: 0A, proud sekundárními cívkami: 0A

Na obr. 2 máme situaci, kdy magnetické pole je tvořeno pouze magnetem. Pokud tři sekundární cívky připojíme přes správně zapojené diody k zátěži, při zániku proudu primární cívkou sekundárními cívkami poteče proud, který bude bránit zániku magnetického toku, generovanému primární cívkou. Na obr. 3 máme situaci, kdy vlivem indukce teče všemi sekundárními cívkami proud po 1A.



Obr. 3: Gappy MEG – proud primární cívkou: 0A, proud sekundárními cívkami po 1A

Bez permanentního magnetu by zařízení fungovalo jako běžný blokující měnič, kde by se uplatňovala pouze jedna sekundární cívka – navinutá na širokém sloupku. Z takového měniče bychom dostali pouze takový výkon, který je dán součinem magnetické indukce B a intenzity magnetického pole H v mezeře. O teorii blokujícího měniče se můžete dočíst zde: [Blokující měnič](#) a zde: [Výpočet induktoru a vysokofrekvenčního transformátoru](#).

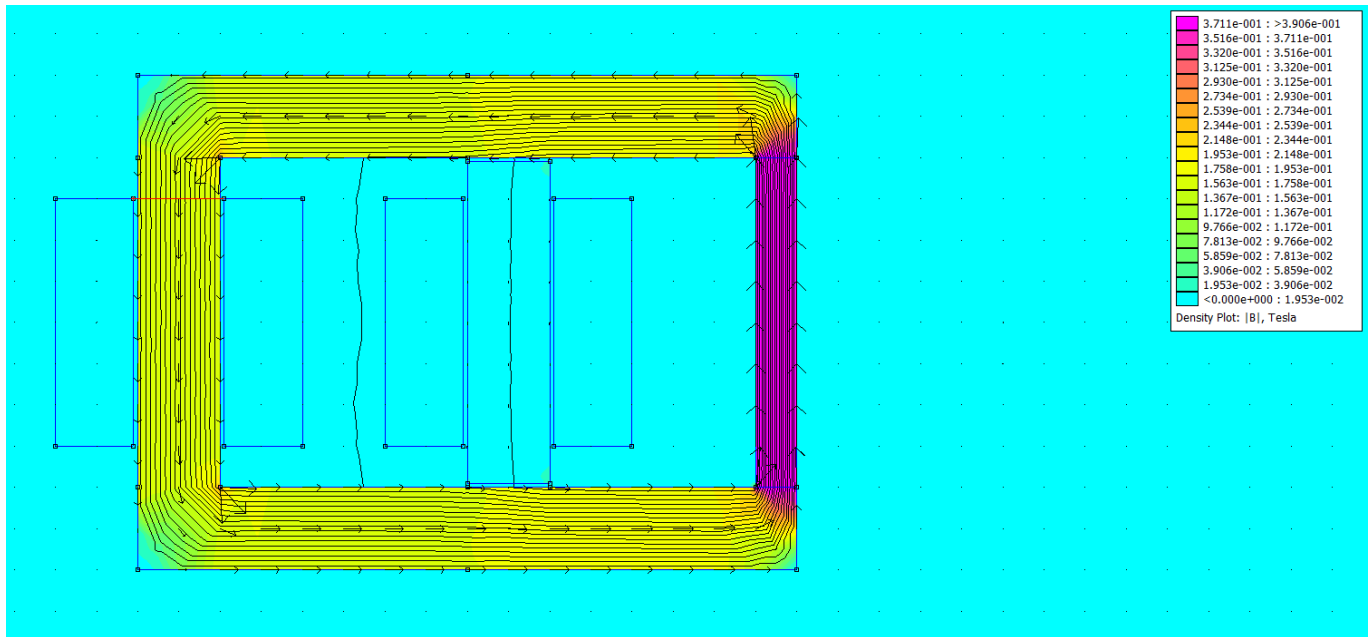
S magnetem se uplatní i další dvě cívky, takže se dá předpokládat účinnost nad 100%. Záleželo by ovšem na velikosti zátěže: čím by byl menší odpor zátěže, tím by se magnetické pole přepólovalo pomaleji, tekla by větší proud a napětí by bylo menší. V krajních případech: naprázdno a při zkratu by výkon byl teoreticky nulový a největší by byl při jedné optimální velikosti zátěže.

Při simulaci jsme použili obyčejné trafoplechy a neodymový magnet. To znamená, že z takového měniče příliš velký výkon nedostaneme, protože můžeme použít jen velmi nízký kmitočet nepřesahující 100Hz. Při vyšším kmitočtu by se začaly silně uplatňovat vířivé proudy. Abychom dosáhli většího výkonu, museli bychom použít kvalitní magnetický materiál, jako je Metglass, použitý v původním MEGu Thomase Beardena. Simulace ukázaly, že použití levného feritu je v této konfiguraci nevhodné, protože feritový magnet má sycení kolem 0,37 Tesla, což je na magneticky měkký ferit již příliš mnoho a dochází k přesycení.

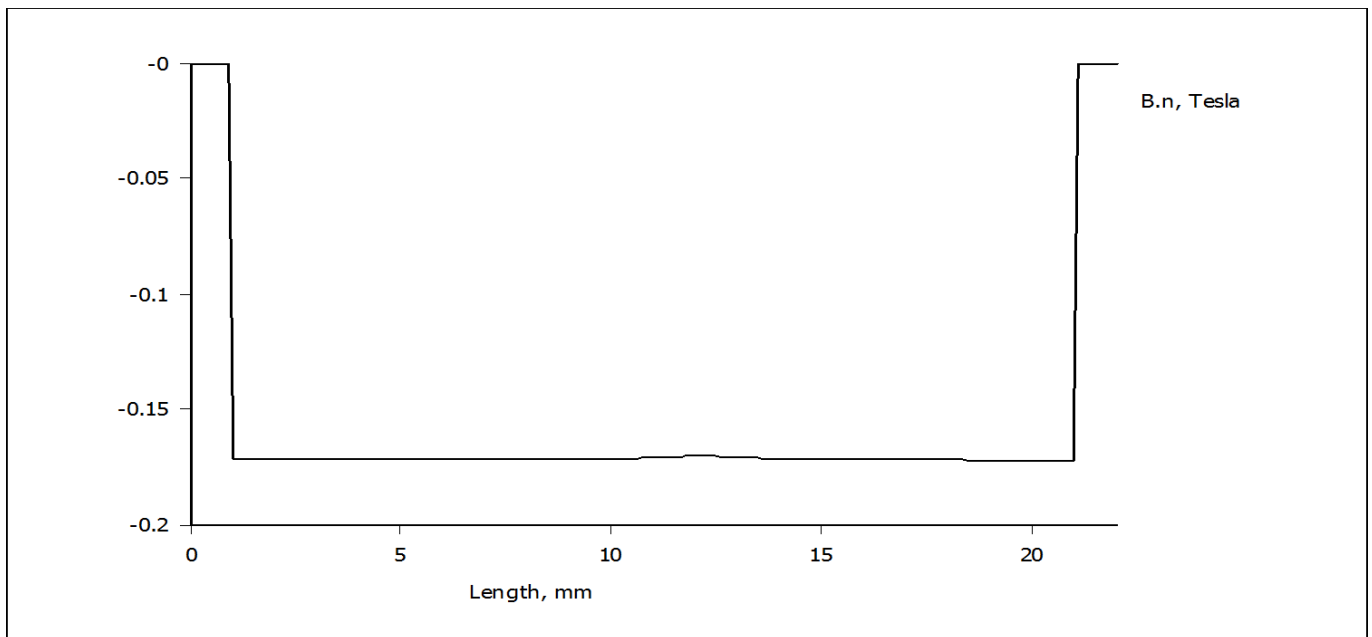
V praxi se také může ukázat, že některé sekundární cívky můžeme vypustit. Buď vypustíme dvě sekundární cívky s jádrem o průřezu 20x20mm, nebo vypustíme cívku s jádrem 40x20mm. V prvním případě by rekuperační roli převzala primární cívka. V případě vypuštění cívky na širokém sloupku by se ve zbývajících dvou sekundárních cívkách indukovalo vyšší napětí, protože vlivem nepřítomnosti této cívky by v sekundárních cívkách došlo ke změně směru magnetického toku rychleji. Tyto děje pomocí programu Femm nelze nasimulovat a musel by se buď použít jiný program, nebo experimentovat ve fyzické realitě. V každém případě neuděláme chybu, když osadíme všechny sekundární cívky. Pří-nejmenším proto, že pomalejší změna směru magnetického toku v jádře primární cívky způsobí menší napěťové namáhání součástek elektronického spínacího můstku.

Pokud bychom použili trafoplechy, sice bychom žádný velký výkon nezískali, ale mohli bychom použít běžné síťové napětí o frekvenci 50Hz, které bychom jednocestně usměrnili. Za pokus by to určitě stálo. Při použití feritu by šířka sloupku s feritovým magnetem musela být poloviční oproti zbytku magnetického obvodu. Na obr. 4 máme zjednodušenou verzi feritového Gappy-MEGu v situaci, kdy

magnetické pole tvoří pouze permanentní magnet. V tomto případě k přesycení magneticky měkkého feritu nedochází. Syčení v oblasti primární cívky je cca 0,17 T, jak ukazuje Graf 1.



Obr. 4: Gappy MEG ve zjednodušené verzi s ferity – $I_1 = 0A$, $I_2 = 0A$



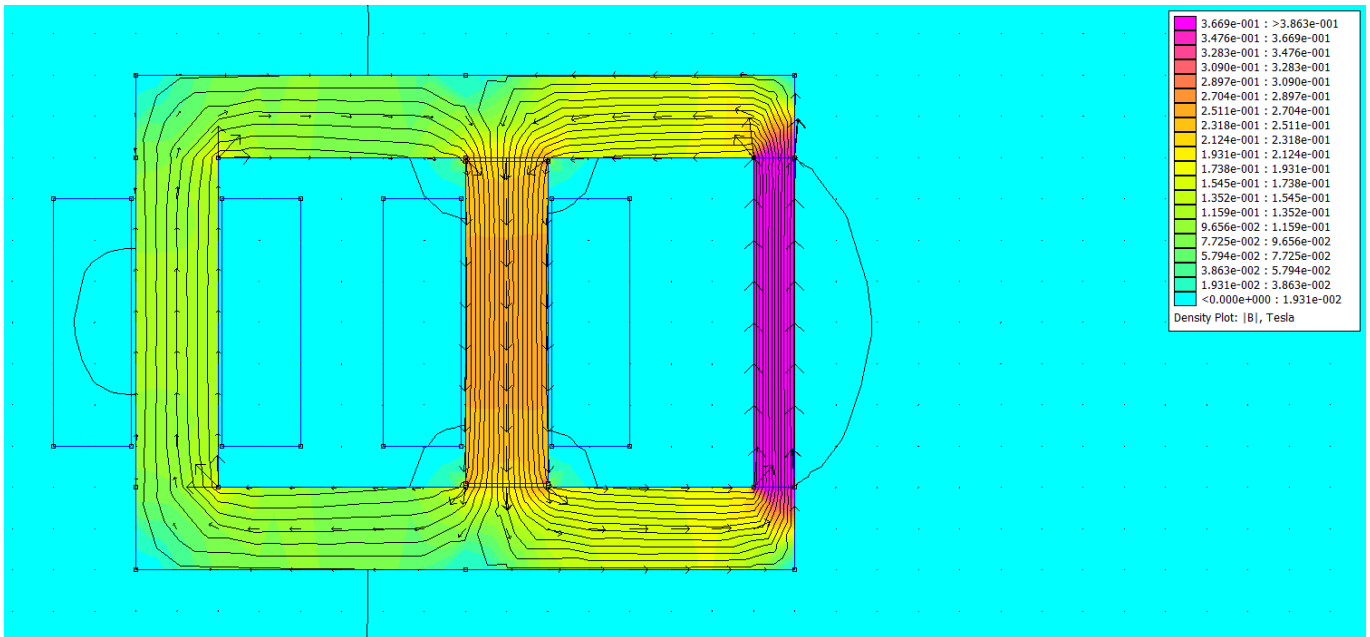
Graf 1: Průběh $B.n$ v oblasti primární cívky.

Za této situace může být proud primární cívkou podstatně menší než v případě použití neodymového magnetu, jak ukazuje obr. 5. Na obr. 6 potom můžete vidět situaci v jednom okamžiku po vypnutí proudu do primární cívky. Sekundární cívka je připojena k zátěži jako běžný blokující měnič přes diodu. Primární cívka je zapojena do nedymetrického můstku, aby byla možná rekuperace energie. Pokud nevíte, jak vypadá nesymetrický můstek, podívejte se na obr. 6, kde najdete zapojení propustného měniče s nesymetrickým můstkem.

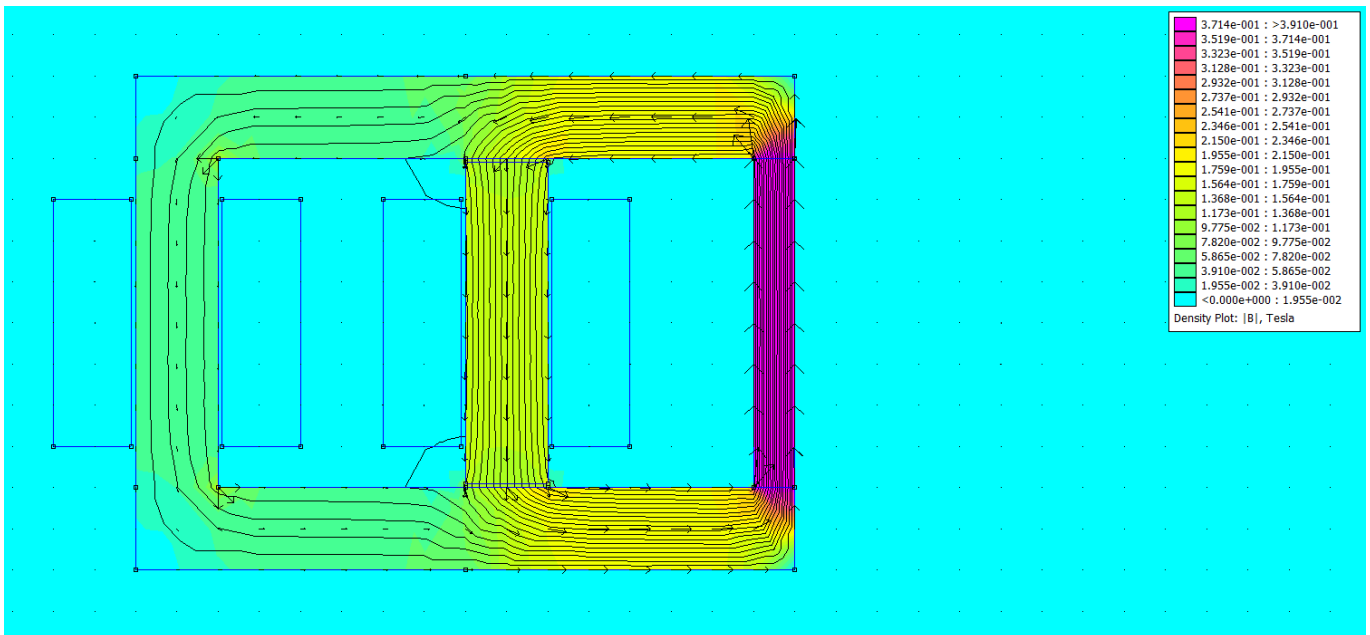
Spínače můstku budou řízeny obdélníkovými pulzy o takové frekvenci, aby bylo dosaženo optimální amplitudy proudu v primární cívce s ohledem na její indukčnost, napájecí napětí a požadované syčení feritového jádra. Podrobnosti o návrhu blokujícího měniče najdete v odkazech výše.

Přínos magnetu k účinnosti blokujícího měničel ze snadno ověřit, když ho odstraníme. Ostatně se o tom můžeme přesvědčit i pomocí simulace. Graf 2 ukazuje průběh B na sloupku sekundární cívky s magnetem a graf 3 to samé bez magnetu. Rozdíl $B.n$ není sice příliš velký, ale další zvýšení účinnosti dosáhneme

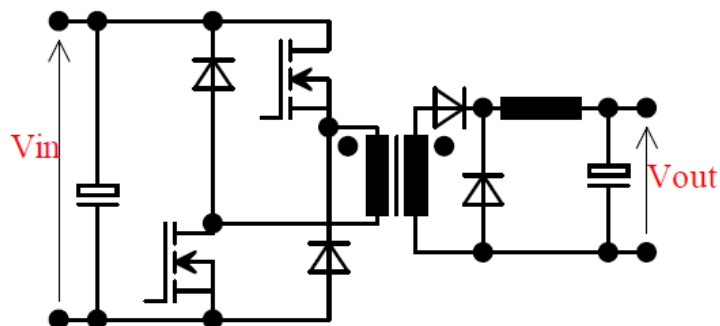
rekuperací energie pomocí primární cívky, nesymetrického můstku a magnetu. Jelikož se jedná o levné řešení, zvýšení účinnosti blokujícího měniče i o několik procent může být ekonomicky velmi přínosné.



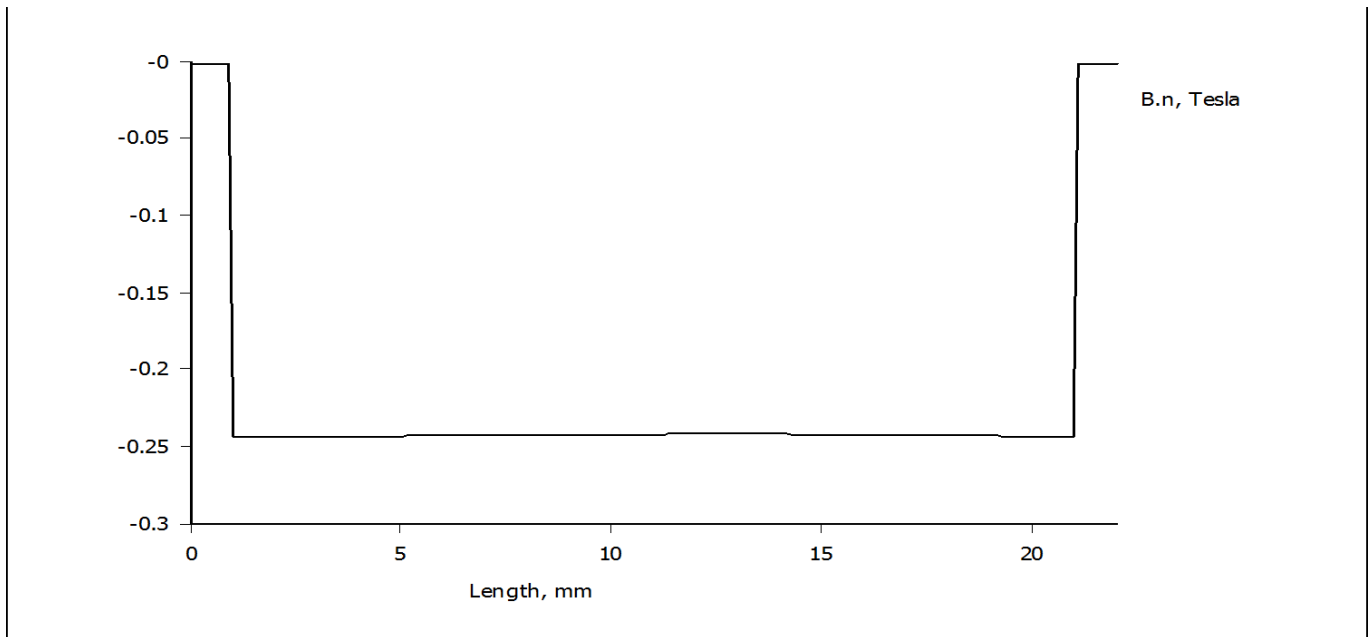
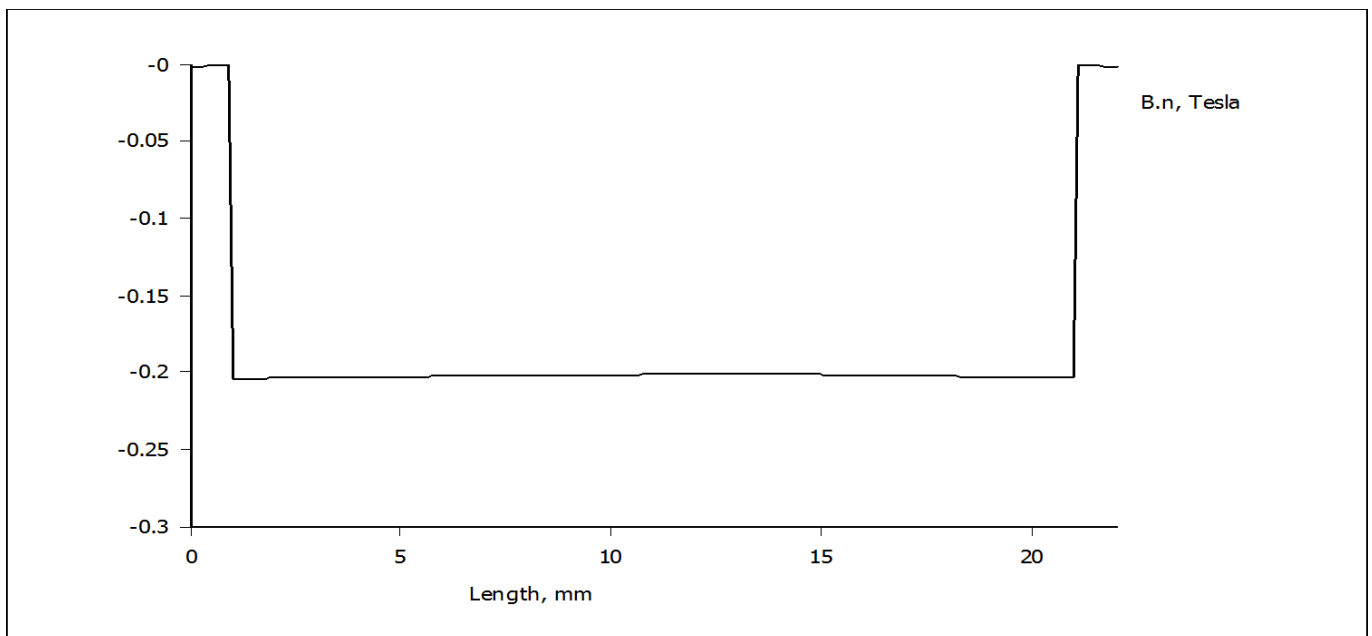
Obr 5: Gappy MEG ve zjednodušené verzi s ferity – $I_1 = 0,5A$, $I_2 = 0A$



Obr 5: Gappy MEG ve zjednodušené verzi s ferity – $I_1 = 0A$, $I_2 = 0,25A$



Obr. 6: Schéma zapojení propustného měniče s nesymetrickým můstkem

Graf 2: Průběh B na sloupku sekundární cívky – s magnetemGraf 2: Průběh B na sloupku sekundární cívky – bez magnetu