

Počítačová simulace, vizualizace a analýza fyzikálních polí v praxi (1. část)

Ing. Jan Růžička,
konzultant v oblasti projektování

Touto částí zahajuje vlastní seriál avizovaný v minulém čísle. Předchozí obecný popis etap řešení bude ilustrován na jednoduchém příkladu z magnetostatiky, ve kterém bude analyzováno pole válcové cívky s jádrem.

Tento příklad a veškeré další příklady seriálu jsou řešeny programem QuickField™-Professional ver. 5.8 (dále jen QF). Jde o program určený zejména k řešení úloh elektromagnetického (EM) pole metodou konečných prvků. Zahrnuje v sobě i možnost řešit teplotní, napěťová a deformační pole těles. Umožňuje řešit i tzv. slabě sdružené úlohy. Jednotlivé moduly programu jsou mezi sebou provázány tak, že výsledky řešení jednoho z polí lze použít jako vstupní veličiny jiného pole. Například lze sledovat, jak EM pole vytváří teplotní a deformační pole v tělese. Bližší informace o programu a jeho použití lze nalézt v [3] a [4].

Příklad č. 1

Zadání

Je dána válcová cívka (solenoid) s feromagnetickým jádrem o průměru 36 mm a délce 200 mm, umístěná ve volném prostoru. Vinutí má 400 těsně navinutých závitů v šířce 190 a výšce 3 mm. Jeho měděným vodičem teče stejnosměrný proud 2 A. Magnetické vlastnosti jádra, které dosud nebylo magnetováno, popisuje tabelovaná magnetizační křivka.

Tab. Magnetizační křivka válcové cívky

B (T)	0,2	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7
H ($A \cdot m^{-1}$)	70	150	300	450	920	3 000	5 000

Poznámka: Zadání je shodné se zadáním příkladu č. 1 autorova článku [2].

Úloha

- zobrazit průběh magnetické indukce v cívce a jejím okolí barevnou mapou,
- určit průběh magnetické indukce v rotační ose cívky.

Řešení

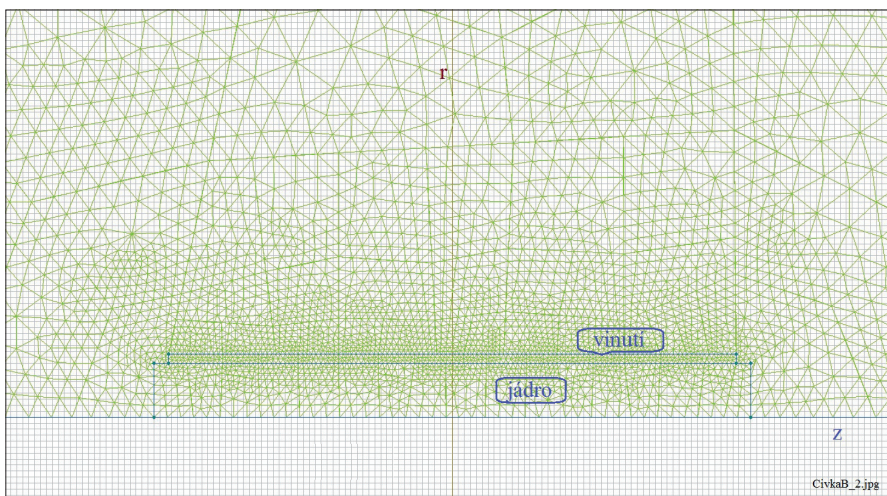
1. Příprava úlohy (preprocessing)

Po zadání jména úlohy *CivkaB* se z nabídky standardních oblastí vybere magnetostatika. V dalším kroku se jako souřadný systém zvolí osová symetrie a jako délková jednotka mm.

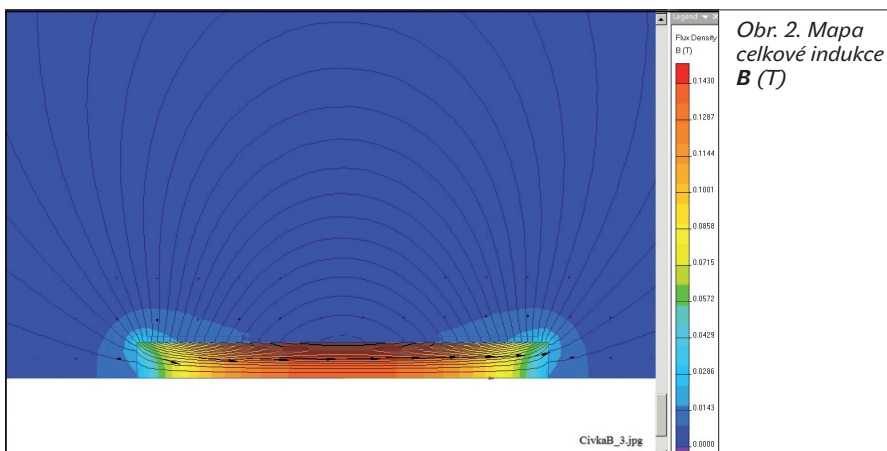
1.1 Tvorba geometrického modelu

Následně se na monitoru zobrazí souřadnicový osový kříž na čtverečkovém pozadí. Vodorovná osa je rotační osa z a svislá pro radiální souřadnice r . Čtverečková mříž usnadňuje pravoúhlé kresby. Před zahájením vlastní

čuje se zvolit ji tak, aby vzdálenosti k obrysu zdroje od ní v různých směrech se příliš nelišily. V uváděném případě bude zvolena sférická oblast s poloměrem $r = 2\ 000$ mm. Na monitoru tak bude vlastně vytvářet osový řez zadání. Vzhledem k osové symetrii se kreslí pouze horní polovina řezu, tj. vždy $r \geq 0$! Hranici



Obr. 1. Geometrický model cívky



Obr. 2. Mapa celkové indukce B (T)

kresby je třeba se rozhodnout, jaký tvar a velikost řešené oblasti budou zvoleny. Obecný univerzální návod neexistuje. V silnoproudé elektrotechnice je obvykle zjišťováno blízké okolí zdrojových těles (zařízení). Je třeba si uvědomit, že čím větší oblast bude zvolena, tím přesnější obraz pole v zařízení a jeho blízkém okolí se získá. Proti tomu však působí skutečnost, že velká oblast znamená mnoho uzlových bodů pro výpočet a delší výpočtovou dobu. Výsledkem musí být vždy určitý kompromis mezi těmito protichůdnými požadavky. Co se týče tvaru hranice oblasti, doporu-

oblasti tak představuje půlkružnice se středem v počátku a její průměr, kterým je úsečka ležící v ose z . Vlastní cívku tvoří dvě podoblasti (bloky): vinutí a jádro, které se zobrazují jako sousedící obdélníky. Další podoblastí je okolí cívky – vzduch. Geometrický náčrt se vytváří v interaktivním grafickém editoru. Oblast a podoblasti tak lze vytvořit buď výběrem z nabídky uzavřených tvarů (obdélník, kružnice, elipsa), nebo řetězením úseček a oblouků. Součástí editoru je tzv. lupa, která umožňuje potřebnou oblast zvětšit a usnadnit kresbu. Aktuální poloha kurzoru se zobrazuje

na dolní liště programu. Geometrický model cívky po zasíťování je na obr. 1.

1.2 Vlastnosti bloků

Pojmenovaným blokům a vnější hranici je nutné zadat fyzikální vlastnosti:

- jádro – v zadávacím okně oblasti se zaškrtně volba *nonlinear* a zadají se údaje podle tabulky,
- vinutí – zde se zadá relativní permeabilita $\mu_x = \mu_y = 1$ a celkový proud $I = 800$ A,
- vzduch – zadá se pouze $\mu_x = \mu_y = 1$.

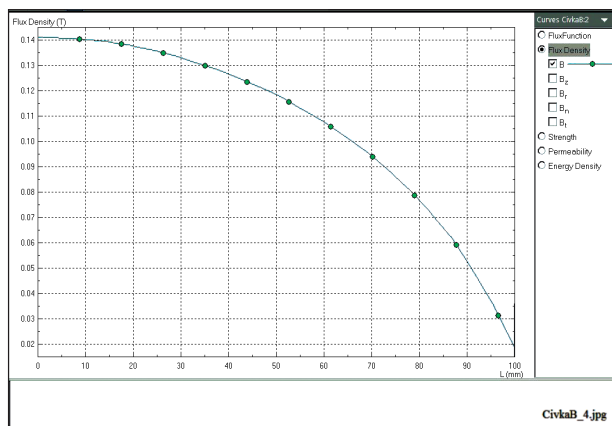
1.3 Vlastnosti hranice

Z nabízených možností se podél celé hranice řešené oblasti zvolí podmínka nulového magnetického toku (tzv. Dirichletova podmínka).

Poznámka: QF umožňuje zadat i průběh magnetického toku (nebo jiné veličiny) podél hranice funkčním vztahem. To značně rozšiřuje aplikační možnosti programu.

1.4 Síť

Příprava úlohy bude ukončena vygenerováním sítě. Z kontextové nabídky lze zvolit automatické vygenerování ve všech blocích nebo pouze v některých, kde lze zadat jemnost sítě. Zvolí se: ve všech blocích. Výsledkem je tzv. adaptivní síť, která svoji hustotu přizpůsobuje šířce síťovaného bloku. Všimněme si velké hustoty ve vinutí a jeho okolí.



Obr. 3. Průběh indukce v ose jádra

indukce B (T). Zvětšený střed oblasti s cívkou je na obr. 2. Program umožňuje zobrazit průběh veličiny podél zvolené úsečky (popř. řetězu úseček) nebo kruhového oblouku. Po zakreslení křivky lze obdržet grafický nebo tabulární výstup. V řešeném případě po zakreslení úsečky od středu do pravého konce cívky v ose z je výsledkem graf na obr. 3. Tím je úloha příkladu splněna.

2. Řešení úlohy (processing)

Proběhne zcela automaticky po kliknutí na ikonu.

3. Analýza výsledků (postprocessing)

Po skončení výpočtu program automaticky přejde do poslední fáze, postprocessingu. V řešené oblasti se zobrazí ekvičáry, v tomto případě křivky konstantního magnetického toku Φ (Wb). Z kontextové nabídky lze zobrazení doplnit barevnou mapou vybrané veličiny (indukce, intenzity, magnetického toku aj.). Pro zobrazení lze zvolit buď celkovou veličinu, nebo pouze vybranou složku. V tomto případě byla zvolena celková

ném případě po zakreslení úsečky od středu do pravého konce cívky v ose z je výsledkem graf na obr. 3. Tím je úloha příkladu splněna.

(pokračování)

Studentská verze programu QF a manuál jsou bezplatně ke stažení na [4]. Tato verze slouží mj. i jako prohlížeč úloh s neomezeným počtem uzlů.

Literatura:

- [1] RŮŽIČKA, J.: *Simulace, vizualizace a analýza fyzikálních polí v počítači*. Elektro, 8-9/2011.
- [2] RŮŽIČKA, J.: *Umíme správně spočítat solenoid s jádrem?* Elektro, 5/2006.
- [3] <http://www.quickfield.cz>
- [4] <http://www.quickfield.com>

Občanská výpomoc aneb Trable se svítidly

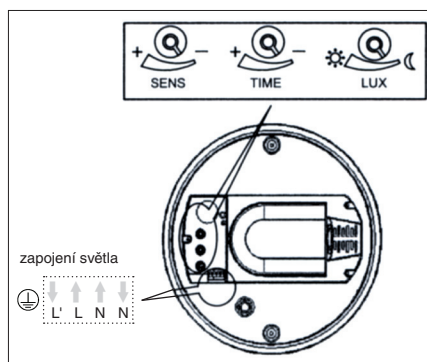
Bohumil Švančar,
elektromontér a revizní technik, Nymburk

Poznámka redakce: Na redakci se obrátil čtenář, který je v elektrotechnice odborník, postupoval podle všech pravidel i podle dokumentace dodané k výrobku, a přesto cesta k úspěšné instalaci moderních svítidel byla více než trnitá. Je na vině nedostatečná příprava a měli bychom zveřejňovat více článků o nových, neobvyklých výrobcích na trhu, nebo jde jen o nevhodnou dokumentaci dodanou výrobcem? Posuďte sami:

V letošním roce (2011) jsem na požádání v rámci občanské výpomoci provedl výměnu jednoduchých žárovkových svítidel za mikrovlnná sensorová svítidla typu WLX-101HF. Šlo o osvětlení veřejného schodiště v jistém bloku obytných domů. Po připojení podle přiloženého návodu svítilo sensorové svítidlo neustále, a přitom nebylo aktivováno pohybem. Při reklamaci v prodejně se zjistilo, že nákras na připojení v přiloženém návodu je nesprávný, a bylo mi navrženo připojení provést jinak, což jsem i učinil. Poté se zdálo, že se svítidly bude spokojenost, ale ejhle: Po několika dnech mi bylo sděleno, že tři svítidla (ze čtyř instalovaných) svítí neustále. Z důvodu úspory elektrické energie nájemníci odňali žárovky, což lze pochopit. Pro mě jakožto elektromontéra to znamenalo svítidla demontovat, dodat provizorní osvětlení

(objímky se žárovkami) a uvést do provozu původní schodišťový automat.

Při opakované reklamaci v prodejně mně byla svítidla vyměněna za typ W131 a zdálo se, že už konečně bude spokojenost, ale opět ejhle:



Při stažení regulačních prvků na minimum se svítidla při pohybu osob rozsvěčují i za denního světla, což se stávalo i u svítidel předchozích. Tento jev je nežádoucí ze dvou důvodů: plýtvá se elektrickou energií a žárovky se zbytečně opotřebovávají. Mimoto u obou těchto typů svítidel nejsou zhotoveny otvory pro možnost vývodů k závislým svídlům, přestože svorkovnice pro tento účel jsou ve svídlích instalovány.

A já se ptám čtenářské veřejnosti tohoto časopisu, jaké kdo má zkušenosti z provozem uvedených svítidel? Ono to totiž má další dopad: elektromontér je nezaslouženě diskreditován a nemá kde uplatňovat náhradu za náklady spojené s reklamací svítidel; toto obnáší demontáže a opětné montáže svítidel, řešení jejich jiného uchycení a mezi tím i uvedení původního osvětlení do provozu, nemluvě o přepravě a negativního dopadu na zdravotní stav z příčiny nervování.

Pro mě je to do konce života zkušenost, abych byl opatrný při výběru nových, technicky trochu složitých výrobků čerstvě uvedených na trh. Nepřeji nikomu ze čtenářské veřejnosti prožívat takovou doslova kalvárii. ☒