

Literatura

- [1] Klímeš, C., Skalka J., Lovászová G., Švec P.: Informatika pro maturanty a zájemce o studium na vysokých školách. Enigma, Nitra, 2008.
- [2] Pecinovský, R.: Methodology Architecture First. [online] 2013. Dostupné z: http://vyuka.pecinovsky.cz/prispevky/2013_DIG_Metodika_Architecture_First.pdf [cit. 2013-12-23].
- [3] Fiala, M.: Vytvořte editor kopenogramů. Diplomová práce, VŠE, Praha, 2012. Dostupné z: https://www.vse.cz/vskp/34803_vytvorite_editor_kopenogramu.
- [4] Virius, M.: Základy algoritmicizace. ČVUT, Praha, 1998.
- [5] Milková, E.: Algoritmy: základní konstrukce v příkladech a jejich vizualizace. Vyd. 1., Gaudeamus, Hradec Králové, 2010.

Modelování a vizualizace fyzikálních polí v QuickFieldu

JAN RŮŽIČKA

Ústí nad Labem

Druhy fyzikálních polí (Malé repetitorium)

Přírodní děje často popisujeme pomocí polí. Jedná se zejména o skalární a vektorová pole.

Skalární pole je zobrazení, které události (v čase a prostoru) přiřazuje jedinou reálnou veličinu. Jako příklad lze uvést: hustotu, tlak nebo teplotu prostředí. V elektromagnetickém (dále EM) poli je tímto polem např. elektrostatický potenciál, nebo hustota náboje. Obecně je skalární pole funkcí tří prostorových proměnných a času. Vizualizujeme ho pomocí *isočar* nebo *ekvičar*, tedy míst, kde příslušná veličina má konstantní hodnotu.

Vektorové pole je zobrazení, které události (v čase a prostoru) přiřazuje trojici veličin – složek. Příkladem mohou být rychlost proudu kapaliny, napětí a deformace tělesa aj. V elektromagnetickém poli to je např. magnetická indukce nebo intenzita elektrického pole. S vektorovým polem

souvisí pojem *siločar* a *indukčních linií*. Tečný vektor k siločáře zobrazuje směr intenzity elektrického pole. Hustota siločar v místě, je mírou její velikosti. Pojem indukčních linií platí analogicky pro magnetické pole.

Vývoj zkoumání polí

Hloubka a přesnost poznání polí bezprostředně ovlivňuje ne jen správný a ekonomický návrh mnoha průmyslových zařízení, ale i jejich bezpečný a optimální provoz. Cesty k dosažení tohoto cíle v průběhu lidského poznávání byly různé a postupně se zdokonalovaly. Hlavní směry byly:

- 1) Matematické řešení vztahů pro tato pole.
- 2) Fyzikální model (zmenšenina) skutečného tělesa nebo zařízení.

Analytické řešení rovnic většiny polí je možné pouze v případech s jednoduchou geometrií a okrajovými podmínkami. Poměry u reálných těles se od těchto ideálních, značně liší. Rovněž nelineární vlastnosti materiálů takového řešení vylučují. Nouzově se proto přijímají různá zjednodušení v geometrii i v popisu vlastností těles. Výsledky těchto postupů bývají značně nepřesné, až nepoužitelné. Proto se v minulosti při návrhu nového zařízení a ověřování jeho fungování používaly fyzikální modely. Jako příklad lze uvést modelování leteckých profilů v aerodynamickém tunelu, nebo ověřování proudění vody v přívodním kanálu turbíny na modelu hydroelektrárny. Z elektrotechniky: např. zkoušení modelů transformátorů a elektromotorů. Tyto modely představují velmi dobré přiblížení ke skutečnosti. Jejich značnou nevýhodou je jejich finanční nákladnost. Při použití pro návrh průmyslového výrobku, je nevýhodou rovněž značná doba nutná k realizaci modelu.

I když se ani dnes v průmyslové výrobě bez fyzikálního modelu neobejdeme, výše uvedené důvody byly příčinou rychlého rozvoje *numerického řešení* polí. Významné pokroky byly patrné zhruba od poloviny minulého století a byly akcelerovány nástupem samočinných počítačů. Jejich skutečný boom nastal cca před čtvrt stoletím, po zkonstruování prvního PC. Tím se pro užití numerických metod otevřela možnost přímé vizualizace zadání i výsledků na monitoru. Z numerického modelování polí se díky dramatickému vývoji SW a HW počítačů stal mocný nástroj pro analýzu polí, bez kterého si dnes další vývoj mnoha oborů již neumíme představit. Kromě použití v průmyslu je užití simulačních programů EM polí, i významným pomocníkem při výuce na vysokých školách. Na sklonku minulého století došlo ve světě k bouřlivému rozvoji v tvorbě simulačních programů. Podle užití geometrie rozlišujeme dvě skupiny: tzv. 2D a 3D.

Programy 2D jsou určeny pro řešení dvojrozměrných polí. Zde lze dle konkrétní úlohy volit mezi souřadným systémem rovinným (plane-parallel), nebo osově symetrickým (axisymmetric). Typickou aplikací rovinného systému je řešení pole několika přírodních paralelních vodičů. Typickou aplikací osově symetrického systému je řešení magnetického pole válcové cívky.

Programy 3D umožňují řešit trojrozměrná pole. Jde výhradně o zahraniční programy, které snaží obsáhnout co nejvíce fyzikálních polí. EM pole je tak pouze jedno z mnohých. To souvisí rovněž s propracovaností pre a postprocessorů pro EM pole a zejména uživatelskou vřídností. Ta bývá u 2D programů obvykle větší. Rovněž ceny 3D programů bývají výrazně vyšší než jejich 2D obdoby.

V řebříčku kvality a oblíbenosti nabízených, světově významných a rozšířených simulačních programů zaujímá *QuickField* (dále QF) jedno z nejvyšších míst. Mezi jeho uživatele patří ne jen řada předních světových univerzit, ale i NASA a jaderné středisko v Los Alamos.

QuickField (Co umí a jak pracuje)

V porovnání s jinými programy jsou jeho hlavními přednostmi snadnost vytvoření geometrického modelu úlohy, rychlost výpočtu a přesnost výsledků. Je orientovaný zejména na modelování a analýzu elektromagnetického pole, v menší míře na teplotní a deformační pole.

Standardní oblasti použití jsou:

- Elektrostatika
- Proudová pole stejnosměrná a střídavá
- Magnetostatika
- Střídavá magnetická pole (ne jen harmonická)
- Přechodné elektromagnetické jevy

Umožňuje řešit i tzv. sdružené úlohy, kdy změny jednoho pole vyvolávají změny druhého. Typickým příkladem může být vysokofrekvenční ohřev ocelových součástí ve strojírenství, kde elektromagnetické pole mění teplotní pole i deformační v součástce. Kromě toho umožňuje řešit i obvody s téměř neomezeným počtem prvků.

Teoretický podkladem pro numerické řešení jsou čtyři Maxwellovy rovnice a dvojice materiálových vztahů.

Nástin principu numerického řešení

K numerickému řešení parciálních diferenciálních rovnic v inženýrské praxi slouží metoda konečných prvků (MPK). Základní myšlenka MPK je

založena na diskretizaci oblasti řešení, tj. na její rozdělení do mnoha elementů jednoduchého tvaru, které se nazývají konečné prvky. Prvek je určen svými vrcholy, nazývanými uzly. Nejjednodušším prvkem pro rovinnou úlohu je trojúhelník, QF ho používá. Veličina popsaná parciální diferenciální rovnicí (např. teplota, potenciál, složky vektoru pole) je aproximovaná na každém prvku z uzlových hodnot. Pro uzlové hodnoty počítané veličiny je na základě diskretizace příslušné parciální diferenciální rovnice některou z variant MPK sestavena soustava rovnic. Vyřešením soustavy obdržíme hledané uzlové hodnoty. Podrobnější informace k numerickému řešení lze nalézt např. v [2], [3] a [4]. Výše uvedené kroky provádí program sám – bez zásahu uživatele.

Řešení úlohy lze rozdělit do těchto tří etap:

1. Příprava úlohy (Preprocessing)
2. Řešení úlohy (Processing)
3. Analýza výsledků (Postprocessing)

1. Příprava úlohy

V této etapě vybereme podle druhu řešené úlohy příslušnou standardní oblast analýzy (např. magnetostatiku). Dále zvolíme souřadný systém (např. osově symetrický) a délkovou jednotku (např. mm). Následuje vytvoření *geometrického modelu* úlohy grafickým editorem programu. Jednotlivé oblasti modelu vznikají spojováním hraničních bodů, zadaných z klávesnice, nebo přímo myši. Jejich spojením úsečkami a oblouky lze vytvořit i velmi složitý tvar. K takto vytvořeným oblastem se přiřadí fyzikální *vlastnosti* a k jejich hranicím *okrajové podmínky*. Přípravu úlohy zakončíme vygenerováním diskretizační *sítě*. Tato činnost je zcela automatizovaná a optimalizovaná – uživatel pouze klikne na ikonu pro start generování.

2. Řešení úlohy

Jde o etapu, ve které probíhá vlastní řešení úlohy. Uživatel kliknutím na příslušnou ikonu tento proces pouze odstartuje a v jeho průběhu do něj nemusí zasahovat. Obvyklé doby řešení na běžném domácím PC se dle složitosti a typu úlohy pohybují v řádu sekund až minut.

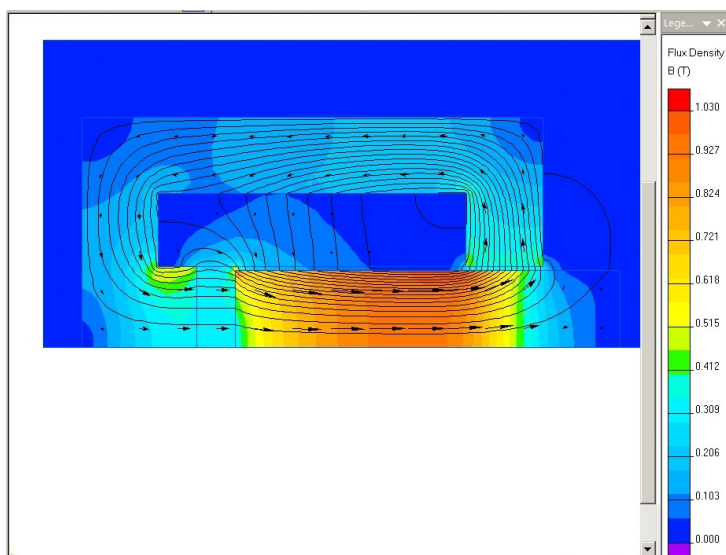
3. Analýza výsledků

Po vyřešení úlohy v předchozí etapě se v této etapě vyhodnocují získaná data. Programy zobrazují rozložení vypočtených veličin pomocí tzv. barevných map. Dále lze zobrazit potřebné ekvičáry, rozložení vektorů

v poli aj. Kliknutím na libovolné místo oblasti, lze v doprovodném okně získat informaci o velikosti všech veličin v tomto místě. Tyto veličiny, které přísluší pouze konkrétnímu místu, se nazývají *lokální*. Pokud vybereme celou podoblast (blok), můžeme získat výčet tzv. *integrálních* veličin bloku (např. mechanickou sílu, celkový proud aj.). U střídavých polí a přechodných jevů lze časový průběh děje snadno zobrazit v animaci.

Na závěr uvádíme tři ukázky map polí realizovaných QF.

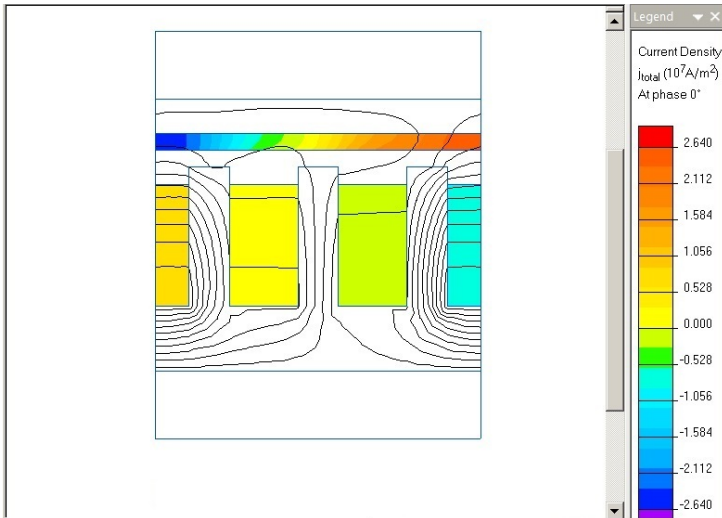
Barevnou mapu indukce a průběh indukčních linií v osovém řezu elektromagnetem vidíme na obr. 1. Oranžová oblast v obrázku přísluší pohyblivé části elektromagnetu – táhlu.



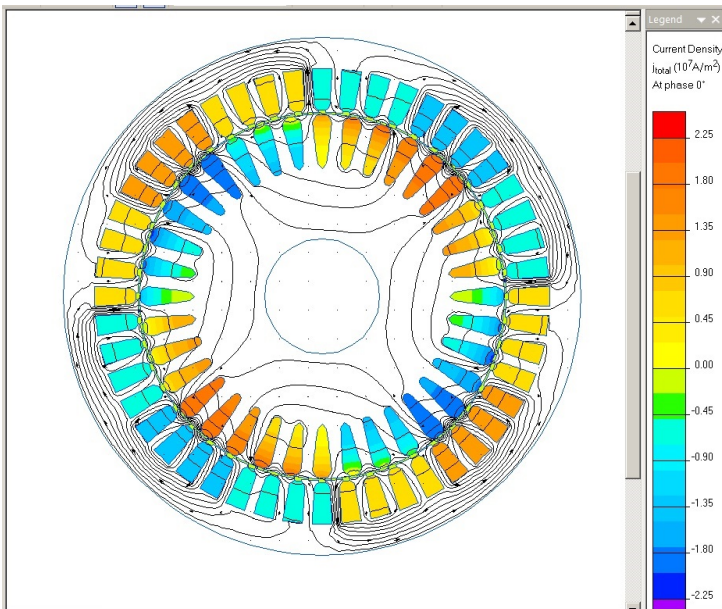
Obr. 1: Magnetické pole válcového elektromagnetu – aktuátoru

Mapu proudové hustoty a indukční linie v lineárním elektromotoru představuje obr. 2. Dobře je patrná duhová oblast indukovaných vířivých proudů.

Mapa proudových hustot v příčném řezu třífázového čtyřpólového asynchronního elektromotoru s kotvou nakrátko je na obr. 3. Současně je zobrazen i průběh indukčních linií. V tomto případě je simulován stav pro nulové otáčky rotoru.



Obr. 2: Pole v lineárním elektromotoru



Obr. 3: Pole v asynchronním elektromotoru

Program existuje ve dvou verzích – profesionální a studentské –, které se liší zejména přesností výsledků, dané hustotou diskretizační sítě a cenou.

Verze *Professional*, má téměř neomezenou hustotu sítě a dává velmi přesné výsledky.

Verze *Student*, má limitovaný počet uzlů a dává méně přesné výsledky. Přesto, že tvorba vlastních aplikací je zde limitovaná malým počtem, uzlů, lze tuto verzi používat i jako prohlížeč aplikací, vytvořených na husté síti ve verzi *Professional*.

Zatím co verze *Professional* je cenově nákladná (pro školy však poskytují výraznou slevu), je *Studentská* verze zcela zdarma. Vtom lze spatřovat její hlavní velký potenciál pro využití v českých školách, zejména pro další vzdělávání pedagogů a doktorandů.

Další informace lze získat na stránkách <http://www.quickfield.cz> nebo <http://www.quickfield.com> a v níže uvedené literatuře.

Literatura

- [1] *Růžička, J.*: Simulace, vizualizace a analýza fyzikálních polí v počítači. (seriál) Elektro 8-9/2011 – 4/2012.
- [2] *Mayer, D.*: Elektrodynamika v elektrotechnice. BEN, 2005.
- [3] *Mayer, D.*: Aplikovaný elektromagnetismus. Koop, 2012.
- [4] *Claycomb, J. R.*: Applied Electromagnetics Using QuickField and MATLAB. Infinity Science Press LLC, 2008.

ZPRÁVY

Ústřední kolo 63. ročníku MO (kategorie A)

Organizací ústředního kola 63. ročníku Matematické olympiády v kategorii A a P byla v letošním školním roce pověřena krajská komise MO Moravskoslezského kraje. Finále soutěže v kategorii A se ko-

nalo od 23. do 26. března 2014 v Ostravě, jejím garantem bylo ostravské Wichterlovo gymnázium. Slavnostní zahájení soutěže v kategorii A se uskutečnilo v neděli 23. března v nové aule VŠB TU Ostrava. Soutěžící i členové Ústřední komise MO byli ubytováni v nedalekém hotelu Garni, který je součástí vysokoškolského ubytovacího komplexu VŠB v Ostravě-Porubě. Zahájení soutěže se zúčastnili přední osobnosti společenského a politického života, zástupci významných vědecko-technických institucí v České republice a zástupci