

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Uživatelské rozhraní programu výpočtu oteplení
elektrických strojů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít ČERVENÝ**
Osobní číslo: **E10B0436P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Uživatelské rozhraní programu výpočtu oteplení elektrických strojů**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte literární rešerši komerčních software používaných k výpočtům oteplení elektrických strojů.
2. Seznamte se s metodami modelování oteplení elektrických strojů.
3. Vytvořte uživatelské rozhraní programu sloužícímu k výpočtu oteplení elektrických strojů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Hak, J. , Ošlejšek, O. : Výpočet chlazení elektrických strojů, VÚES / Brno, 1973
2. Kopylov, I. P. : Stavba elektrických strojů, SNTL 1988
3. Vlach, R. : Tepelné procesy v mechatronických soustavách, VUT, 2007
4. veřejně dostupné informační zdroje, databáze www.ieee.org

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Pechánek, Ph.D.

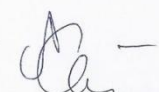
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **23. června 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. srpna 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. června 2014

Anotace

Práce se zabývá literární rešerší softwaru pro modelování tepelných výpočtů a metod, které lze pro tento účel využít. Součástí práce je vlastní návrh grafického rozhraní pro usnadnění práce s programem.

Klíčová slova

Oteplení, asynchronní motor, tepelný výpočet, MKP, CFD, GUI, Matlab

Abstract

The subject of this thesis is modeling the warming of electrical machines. It includes literary summary of available commercial software for this purpose. Part of the work is custom design of a user graphical interface to simplify work with the program.

Key words

Warming, asynchronous engine, thermal calculation, MKP, CFD, GUI, Matlab

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práci, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 20. 8. 2014

Vít Červený

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Pechánkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ANOTACE	4
OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 SOFTWARE A METODY POUŽÍVANÉ K TEPLOTNÍM VÝPOČTŮM	11
1.1 METODY NÁHRADNÍCH SÍTÍ	11
1.1.1 <i>Náhradní ventilační síť</i>	11
1.1.2 <i>Univerzální tepelná síť</i>	11
1.1.3 <i>MATLAB</i>	12
1.1.4 <i>Octave</i>	15
1.2 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ A CFD	17
1.2.1 <i>QuickField</i>	18
1.2.2 <i>Motor-CAD</i>	19
1.2.3 <i>MotorSolve IM</i>	20
1.2.4 <i>FEMM</i>	22
1.2.5 <i>Opera</i>	23
1.2.6 <i>ANSYS Fluid Dynamics</i>	23
2 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ PROGRAMU PRO VÝPOČET OTEPLENÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU	25
2.1 PROGRAM VÝPOČTU	25
2.2 SPUŠTĚNÍ GRAFICKÉHO ROZHRAŇÍ	25
2.3 TEPELNÁ SÍŤ ŘEŠENÉHO STROJE	25
2.4 OVLÁDÁNÍ PROGRAMU	27
2.5 ÚPRAVA GUI V MATLABU	28
ZÁVĚR	30
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1

Seznam symbolů a zkratk

CAD	Computer aided design
FEA	Finite element analysis
GNU	General public licence
GUI	Grafické uživatelské rozhraní
MATLAB.....	Matrix laboratory
FEM	Finite element method
CFD.....	Computational fluid dynamics

Úvod

Před více než sto lety se v průmyslu začaly používat první elektrické stroje. S jejich použitím se objevila i první doporučení pro výpočty a návrh konstrukce. Při řešení návrhu elektrických strojů je nutné brát v potaz velké množství různých faktorů. Pro zajištění bezproblémového chodu stroje je zajištění efektivnosti ventilačního systému stroje velice důležité. Přesné a správné výpočty, inovace a nové materiály dovolují výrobcům snižovat své náklady na výrobu, a tím uvádět na trh výrobky schopné konkurovat cenou a kvalitou. V práci se proto budeme zabývat metodami, které slouží pro tepelný výpočet. Bude provedena literární rešerše softwaru podle metod, které software pro své výpočty využívá. V práci bude navrženo vlastní grafické prostředí, které zefektivní práci s programem pro výpočet oteplení asynchronního motoru a umožní sledovat důležité parametry oteplení.

1 Software a metody používané k teplotním výpočtům

Tepelné a ventilační výpočty lze provádět pomocí matematického softwaru, ve kterém si sami nadefinujeme zadaný problém a navrhne jeho řešení. Další možností je použití úzce specializovaných programů pro návrh motorů nebo v programech, které se zabývají tepelnou analýzou a výpočtem proudění. Hlavním rozdílem je pak využívaná metoda výpočtu. Mezi tyto metody patří metoda náhradní ventilační sítě, metoda náhradní tepelné sítě, metoda konečných prvků a metoda numerických výpočtů proudění tekutin.

1.1 Metody náhradních sítí

1.1.1 Náhradní ventilační síť

Ventilační výpočet je založen na vytvoření náhradní ventilační sítě, která popisuje proudění chladicího média ve zkoumaném stroji. To se pak přivádí k jednotlivým částem stroje, které máme v úmyslu ochlazovat. Jednotlivé cesty chladicího média pak v síti reprezentují větve. Každá tato větev je složena z hydraulických odporů a tlakového zdroje. Stejně jako v elektrických obvodech řadíme hydraulické odpory sériově, paralelně nebo kombinovaně. Dohromady tak získáváme ucelenou síť, kterou můžeme využít pro výpočet. Tlakové zdroje pak charakterizují ventilátory nebo části stroje vyvíjející ventilační účinek[11,22]

1.1.2 Univerzální tepelná síť

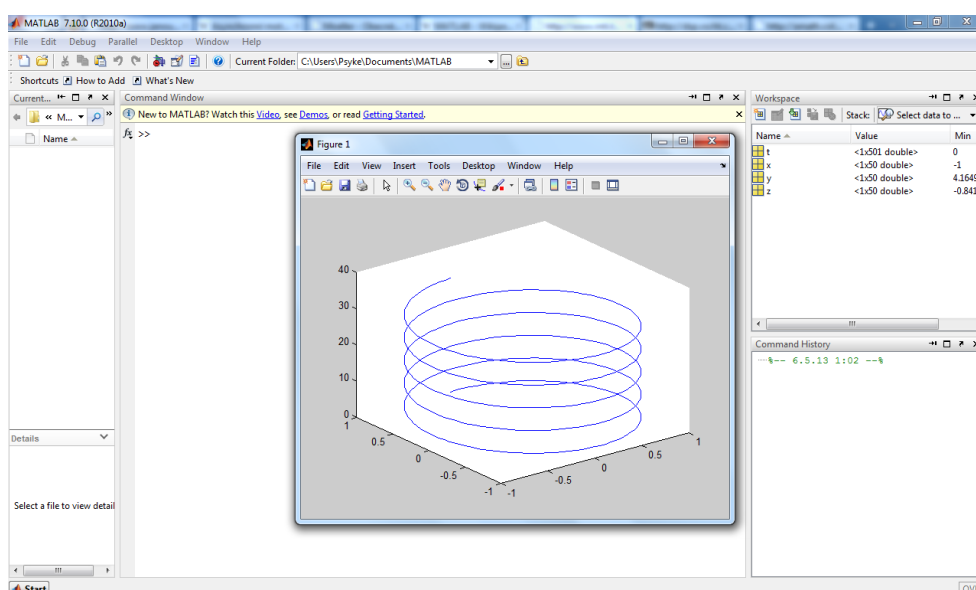
V tepelném modelu sestaveném pomocí tepelné sítě je zkoumaný motor rozdělen na základní tepelné části, které jsou reprezentovány v uzlové konfiguraci. Taková soustava představuje model cest tepelných toků. Taková soustava představuje model tepelných toků cest a nazývá se náhradní tepelnou sítí. Příklad takové sítě je na Obr. 2.1. Síť je tvořena zdroji ztrát, uzly, větvemi a nory. Každý zdroj ztrát, uzel a nor je charakterizován svou teplotou, zdroj pak ještě velikostí tepelných ztrát a každá větev hodnotou tepelného odporu. Výhodou této metody je možnost řešit komplikované úlohy zjednodušením na jednoduchý problém. [21]

1.1.3 MATLAB

Název MATLAB vznikl spojením anglických slov matrix laboratoř. Původně byl napsán, aby poskytoval jednoduchý přístup k matematickým knihovnám. Program původně vznikl pro operační systém UNIX a i díky tomu je základní ovládací rozhraní příkazová řádka. Dnešní MATLAB je interaktivní systém jehož základním datovým typem je dvourozměrné pole. MATLAB našel využití pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. Předností MATLABu je, že není potřeba znát celý systém, ale postačí nám znát správné syntaxe, pomocí kterých lze snadno řešit náročné výpočty. [1]

1.1.3.1 Popis prostředí

Nejdůležitější a nejvíce používanou částí je příkazové okno v prostřední části pracovního prostředí. Pracovní okno slouží k zadávání příkazů do příkazové řádky. Jsou zde také tisknuty na obrazovku varovné nebo chybové hlášení a obsah proměnných. Pravá část je složena ze dvou oken, přičemž jedno slouží pro sledování použitých proměnných a druhé zaznamenává historii příkazů použitých v příkazovém okně. V horní části je poté aktuální pracovní adresář, ze kterého jsou spouštěny pracovní skripty. Cestu aktuálního adresáře lze změnit přepsáním nebo vyvoláním dialogového okna klepnutím na symbol tří teček vedle cesty aktuálního adresáře.



Obr. 1.1 Pracovní prostředí Matlab

1.1.3.2 Oblasti využití

Nejčastější oblasti použití jsou:

- inženýrské výpočty
- vývoj algoritmů
- modelování, simulace a vývoj prototypů
- analýza dat a jejich vizualizace
- inženýrská grafika
- vývoj aplikací včetně tvorby GUI

V univerzitním prostředí jde o standardní nástroj využívaný při výuce matematiky a inženýrských oborech. V průmyslu je využíván jako vysoce efektivní nástroj pro výzkum, vývoj a analýzu dat.[1,3,4]

1.1.3.3 Výhody použití

Cennou vlastností MATLABu je jeho multiplatformnost. Matlab je podporován v mnoha operačních systémech (Windows, Linux, Unix, Solaris, Mac, a dalších). Vzhledem k tomu, že MATLAB je komerční software, vznikly od něj odvozené programy v rámci licence GNU jako je qtOctave nebo Sage. U těchto volně dostupných programů je syntaxe většiny příkazů stejná nebo podobná a tak práce s těmito produkty je stejná jako v MATLABu. Nevýhodou těchto nekomerčních alternativ je to, že pro ně nejsou dostupné doplňkové nadstavby jako pro MATLAB.

1.1.3.4 Nevýhody použití

Hlavní nevýhodou MATLABu je jeho rychlost. Z důvodu, že se jedná o interpretovaný programovací jazyk se musí při každém běhu převádět příkazy na prováděcí kód. Před každým spuštěním musí být tedy kód přeložen zda neobsahuje chybu. Další nevýhodou je to, že se nejedná o objektově orientovaný jazyk a nelze s ním tedy tak pracovat. Vzhledem k tomu, že se jedná o komerční software není jeho kód uveřejněn, což vylučuje jeho použití na průmyslových počítačích, které nedisponují dostatečně velkou operační pamětí pro uchování programu v systému a jeho běhu.

Nevýhodou také je, že při simulování rozsáhlejších programů je nutné vytvářet vlastní algoritmy a metody z důvodu návaznosti na vstupní a výstupní procesy. Z toho tedy plyne nutnost programovat jednotlivé skripty do m-filů. Chceme-li tedy do systému přidat vlastní uživatelskou knihovnu je nutné dodržet zásady pro knihovny které jsou pevně definované a neměnné.

MATLAB vyžaduje i pro jednoduchou činnost znalost programovacích syntaxí. Pro zjednodušení je proto vhodné využívat grafické prostředí. Grafické prostředí se ale vytváří vždy na míru aplikace a zamezuje tak možnosti jednoduchého a vždy shodného ovládání.

Z důvodu, že se jedná o komerční software, není znám zdrojový kód programu. Nemůžeme tak rozšiřovat program, ale ani odebrat kód pro úzce specializované použití a tím šetřit systémové prostředky.

1.1.3.5 Textový editor

Textový editor je vestavěnou funkcí MATLABu sloužící pro tvorbu skriptů a funkcí. Okno editoru dále slouží ke spuštění programu a jeho ladění. Textový editor voláme z hlavní nabídky nebo klávesovou zkratkou CTRL-N [2]

1.1.3.6 Skripty a funkce

Stěžejní vlastností MATLABu je tvorba skriptů. Skript je dávka příkazů, které se postupně vykonávají a jejich výsledky se postupně ukládají do paměti. Díky tomu můžeme předem připravit dávku příkazů pro počítání složitých operací. Tento výsledný skript pak můžeme kdykoli spustit. Tento postup je velmi výhodný při počítání složitých operací, kdy můžeme měnit pouze konstanty, bez nutnosti měnit celý kód a tím dostáváme sadu použitelných výsledků použitelných např. pro tvorbu grafů. Skripty se ukládají do textového souboru s příponou .m. Pro jejich tvorbu můžeme využít libovolného textového editoru nebo od MATLABu verze 5. vlastní editor. Pomocí textových souborů tzv. m-filů definujeme i vlastní uživatelské funkce. Funkce jsou podstatně efektivnější nástroj než skript. Od skriptu se liší vstupní a výstupní hodnotou, se kterou vlastní funkce pracuje.

1.1.3.7 Náповěda

Jednou z mnoha výhod MATLABu je velice kvalitní nápověda, která obsahuje mimo syntaxe funkcí i velké množství příkladů. Po zvládnutí práce s nápovědou se nám tedy dostává kompletní pracovní nástroj. Nápovědu lze vyvolat napsáním `help` do příkazového okna nebo stiskem klávesy F1. Nápověda je rozdělena do několika kapitol. První z nich je věnována začátečníkům a popisuje základní ovládání programu a syntaxe. Dozvíme se zde jak používat matice, kreslit grafy a programovat. V nápovědě také nalezneme příklady použití jednotlivých funkcí. Velice užitečný je rejstřík funkcí, který lze řadit dle abecedy nebo kategorie. Známe-li název funkce může nápovědu vyvolat napsáním *help funkce* do příkazové řádky. Dojde tak k vypsání zkrácené nápovědy pro naši funkci. Napsáním *doc funkce* dojde k otevření nového okna s podrobnější dokumentací.[3]

1.1.3.8 Alternativy

Na trhu se vyskytuje velké množství alternativ k MATLABu . Z komerčních produktů to jsou například Mathematica či Maple. Existují také open source alternativy k MATLABU, jako je GNU Octave, FreeMat a Scilab, které jsou s MATLABovským jazykem v lecčem srovnatelné ovšem kvality prostředí MATLABu zdaleka nedosahují. Existují také různé knihovny, které přidávají podobnou funkčnost jako má MATLAB do jiných existujících jazyků. Takovou knihovnou je například IT++ pro C++

1.1.4 Octave

Octave je často využíván jako nezaplatněná alternativa MATLABu, z důvodu velké kompatibility příkazů. Octave je snadno rozšířitelný a přizpůsobitelný skrze vlastní funkce nebo funkce psané v C++, C nebo Fortranu. Od roku 1994 je součástí základního programového vybavení Debian Linuxu a nalezneme ho i v repozitářích mnoha dalších linuxových distribucích. [6]

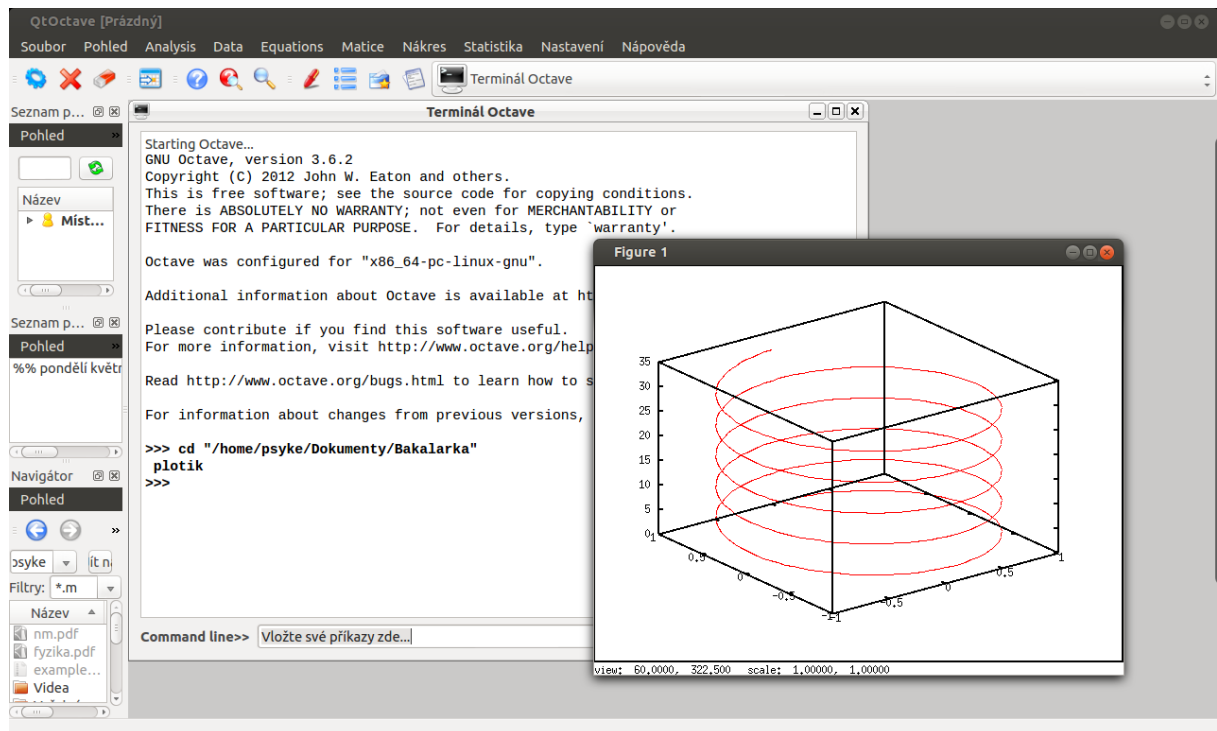
Program Octave byl původně zamýšlen jako uživatelsky příjemný program pro psaní vysokoškolské učebnice týkající se návrhu chemických reaktorů. Stejně jako MATLAB vznik z důvodu zjednodušení práce a oprostění se od programovacího jazyku Fortran. Program byl pojmenován po učiteli, který napsal učebnici k návrhu chemických reaktorů a byl znám svou schopností dělat rychlé kalkulace po kouscích papírků.[5,6]

1.1.4.1 qtOctave

Jedná se o grafický front-end pro konzolovou aplikaci Octave v rámci licence GNU. Svým rozvržením i funkcemi se snaží vyrovnat komerčnímu softwaru MATLAB. Kromě grafického rozhraní pro Octave nabízí i integrovaný editor skriptů stejně jako již zmiňovaný MATLAB. Poslední rok již není vyvíjen a jeho uživatelská podpora byl ukončena. Z tohoto důvodu bude mít další plánovaná verze Octave již grafické rozhraní podobné qtOctavu či MATLABu. [6]

1.1.4.2 Popis prostředí

Nejdůležitější částí je příkazové okno v prostřední části pracovního prostředí které lze libovolně zvětšovat a vyjímat z prostředí do samostatného okna. Pracovní okno slouží k zadávání příkazů do příkazové řádky. I zde jsou tisknuty na obrazovku varovné nebo chybové hlášení a obsah proměnných. Pravá část je složena ze tří oken, přičemž jedno slouží pro sledování použitých proměnných, druhé zaznamenává historii příkazů použitých v příkazovém okně a třetí je pak pohled do aktuálního adresáře. Pro psaní skriptů a funkcí slouží integrovaný editor, ve kterém se také spouští a odladí.



Obr. 1.2 Pracovní prostředí qtOctave

1.1.4.3 Výhody programu

Software je v rámci licence GNU volně šiřitelný a upravitelný. Lze jej tedy využít do úzce profilovaných zařízení, kde můžeme rozhodnout, které funkce budeme používat a snížit tak jejich pořizovací cenu.

1.1.4.4 Nevýhody programu

Není zaručená plná kompatibilita s komerčním softwarem MATLAB. Nelze tedy jednoduše přenést vlastní knihovny a skripty. U složitých algoritmů je tedy potřeba ověřit existenci knihoven i pro software Octave.

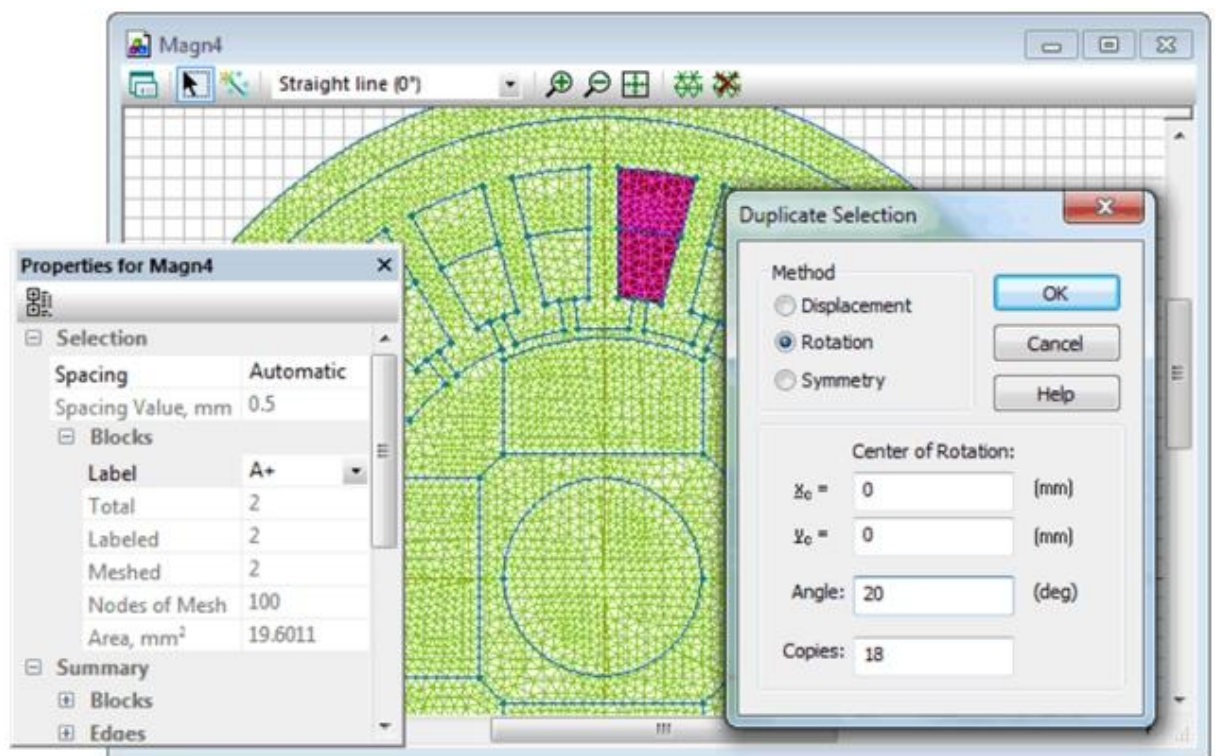
1.2 Metoda konečných prvků a CFD

MKP je jedna z nejnáročnějších metod pro řešení problémů, které jsou popsány diferenciálními rovnicemi. Modelovaná oblast se nejprve rozdělí na konečný počet jednotlivých elementů, kdy jejich parametry jsou zjišťovány v jednotlivých uzlech. Tuto metodu lze využít již při navrhování stroje a tím dosáhnout ideální optimalizace stroje. Celý tento proces může být plně automatizovaný, takže odpadá nutnost zásahů uživatele.

CFD - *Computational fluid dynamics* je základní součástí při výpočtech v mnoha inženýrských odvětvích. Pomocí této metody jsou analyzovány problémy zahrnující proudění tekutin. Hlavní výhodou je zjednodušené zadávání vstupních parametrů a jednoduchá příprava analyzovaného modelu. Z uživatelského hlediska je také přínosem, že v mnoha programech lze model importovat ve formátu běžným pro CAD modely.

1.2.1 QuickField

QuickField je velice efektivní FEA programový balík pro multifyzikální simulaci a analýzu s dlouhou historií. Nabízí možnost řešení dvou ale i trojrozměrných elektromagnetických, ale i teplotních polí. K dispozici je pak i vysoce výkonný preprocesor a postprocesor pro zobrazení výsledku a sada uživatelských programů. Software nabízí řadu výpočtových modulů, které řeší parciální diferenciální rovnice popisující dané fyzikální pole.[15]



Obr. 1.3 Uživatelské prostředí programu QuickField (převzato z [15])

K dispozici jsou tyto moduly:

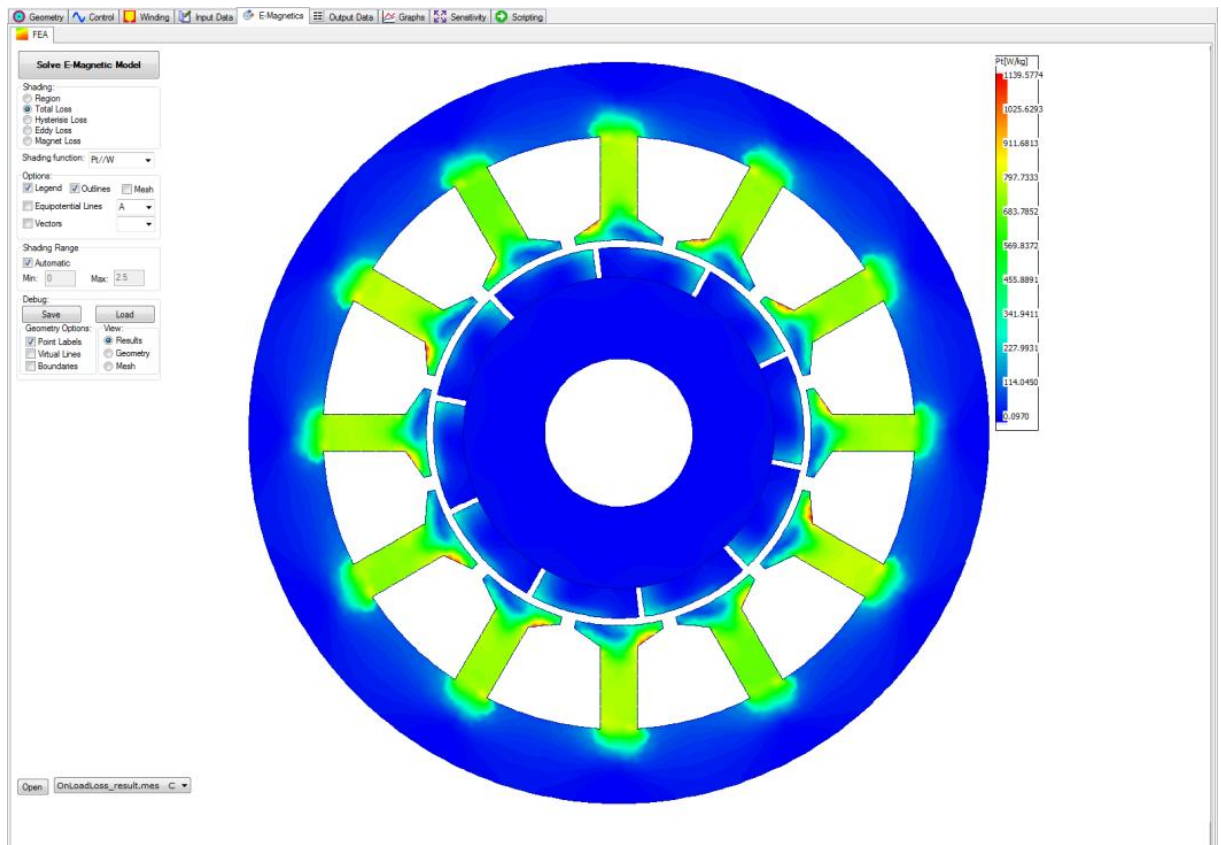
- Transient Magnetics - pro řešení nestacionárních magnetických polí
- DC Magnetics - modul pro řešení stejnosměrných magnetických polí
- AC Magnetics - modul pro řešení harmonických magnetických polí
- Electrostatics - modul pro výpočty elektrostatiky

- DC Conduction - modul pro řešení stejnosměrného elektrického pole
- AC Conduction - modul pro analýzu elektrického pole vytvořeného časově proměnným napětím
- Transient Electric Field - modul pro řešení nestacionárních elektrických polí.
- Heat Transfer - tento modul slouží k řešení teplotních problémů
- Electric circuit - analýza elektrických obvodů
- Stress Analysis - modul pro analýzu mechanických napětí

1.2.2 Motor-CAD

Tento úzce specializovaný software je vyvinut pro výpočet elektromagnetického výkonu motorů a generátorů a optimalizaci jejich chlazení. Tento program je na trhu dostupný více než 12 let, kdy je využíván předními výrobci motorů a univerzit po celém světě. [14]

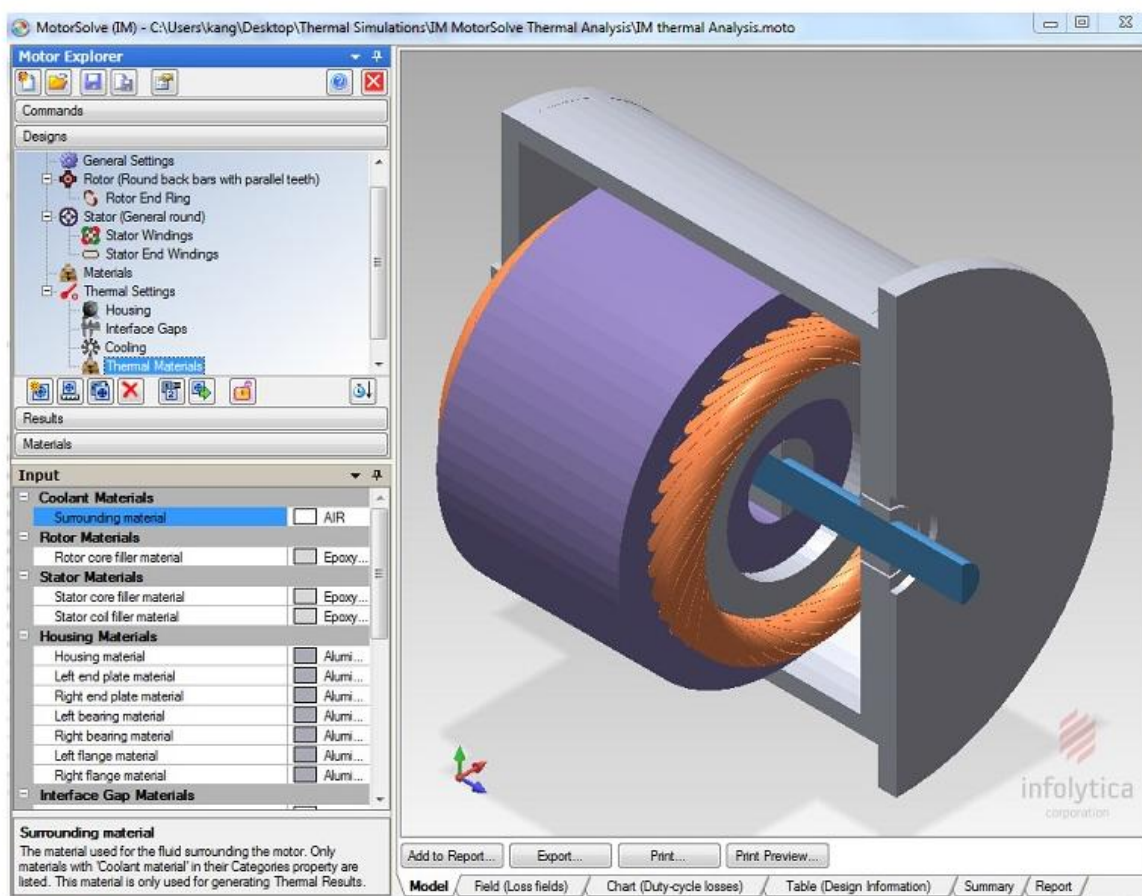
Software umožňuje rychlé a snadné provádění elektromagnetických a teplotních zkoušek již během návrhu prototypů. Výsledky jsou pak prezentovány srozumitelnou formou tak, aby byla zachována maximální efektivita při práci. Pečlivě vytvořené uživatelské prostředí umožňuje snadné zadávání vstupních a výstupních informací. Zadávané hodnoty se okamžitě přenášejí do popisovaného stroje pro eliminaci nechtěných chyb, které mohou vzniknout nepozorností či překlepem. Motor-CAD podporuje širokou škálu typů strojů a možností chlazení. Program obsahuje mnoho dodatečných funkcí jako je 3D vizualizace a CAD a CFD export do jiných návrhových programů.[14]



Obr. 1.4 Uživatelské prostředí programu Motor-CAD (převzato z [14])

1.2.3 MotorSolve IM

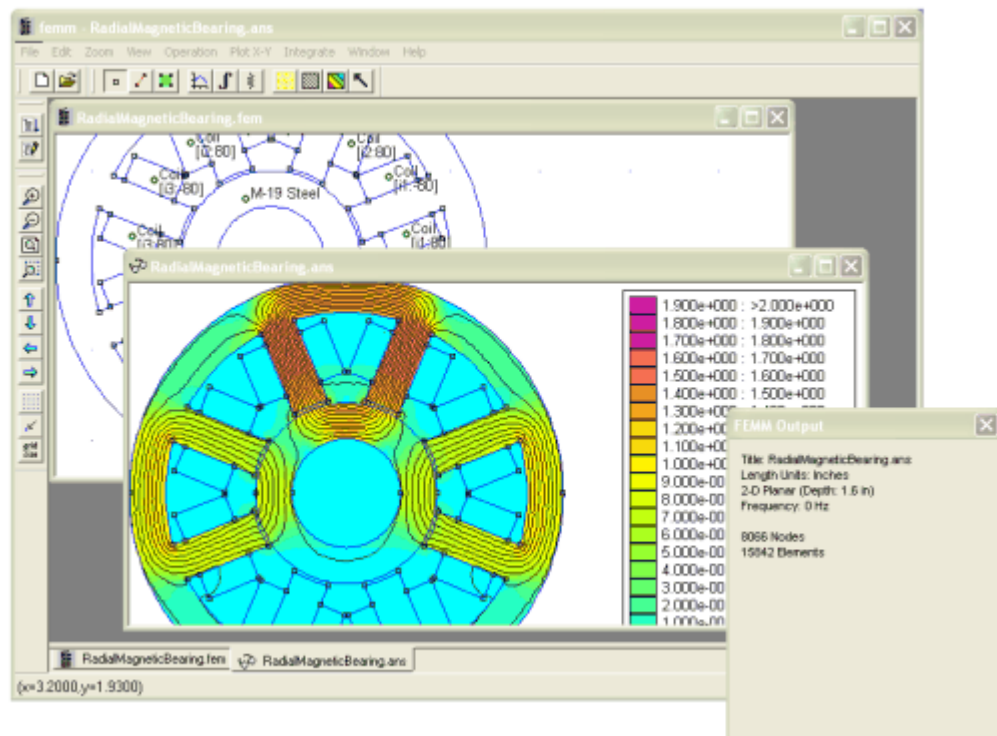
Software pro přesný návrh a analýzu indukčních motorů a generátorů díky řešení zadaného problému software pomocí metody konečných prvků (FEM). Program je založen na přizpůsobitelných šablonách rotorů a satorů a díky tomu je velice snadno ovladatelný. MotorSolve sám navrhuje možné alternativy motoru pro rychlé srovnání vlastností a výkonosti. Obsahuje i funkci pro návrh automatického vinutí tak, aby návrh vyhovoval zvolené konstrukci. Pro návrh elektrického stroje je k dispozici knihovna, která obsahuje přes 200 různých materiálů nebo možnost si vlastní materiál přesně nadefinovat. Pro navrhnutý stroj je pak pomocí jednoho kliknutí vytvořeno náhradní schéma obvodu. [16]



Obr. 1.5 Uživatelské rozhraní programu MotorSolve IM (převzato z [16])

1.2.4 FEMM

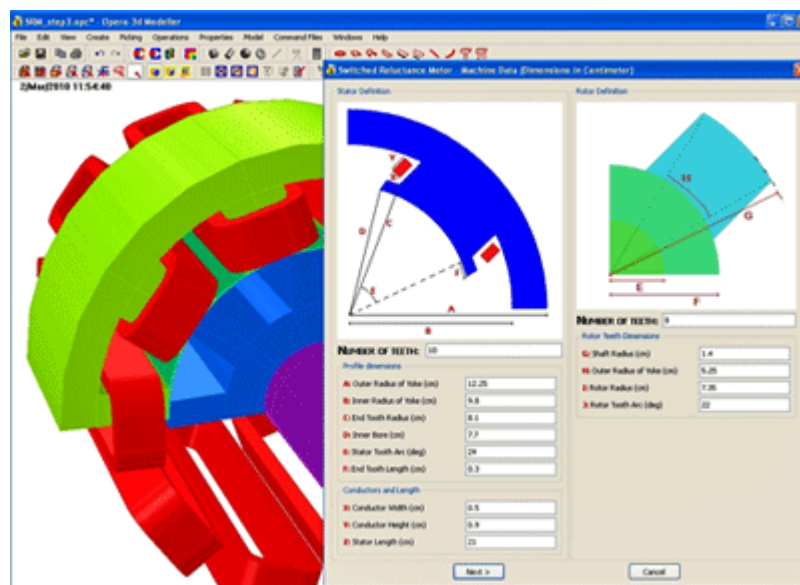
Finite Element Method Magnetics (FEMM) je open-source softwarový balík pro řešení problémů souvisejících s magnetickým a elektrostatickým polem a tepelného proudění. Jak je z názvu patrné, řešení 2D úloh je zajištěno metodou konečných prvků. To zaručuje vysoký výkon a jednoduchost. Program je rozdělen na 3 části: Preprocesor, Procesor a Solver. Preprocesor nabízí rozhraní ve stylu CAD pro rozvržení geometrie problému a definování materiálů a vlastností. Preprocesor pak řešený problém rozloží na konečný počet trojúhelníků, které jsou poté řešeny. Solver je pak rozdělen ještě do čtyř různých programů, které se spouštějí podle druhu řešeného problému. Každý program má sadu dat které popisují problém a řeší jej pomocí parciálních diferenciálních rovnic. Předností programu je možnost propojení se softwarem Mathematica, Octave, Matlab & Simulink a také možnost importu a exportu souborů ve formátech používaných v CAD. FEMM je možné spustit i na operačním systému Linux a pomáhá tak snížit náklady na vývoj a inovace.[16]



Obr. 1.6 Uživatelské prostředí programu FEMM (převzato z [17])

1.2.5 Opera

Opera je softwarový balíček pro modelování statických a dynamických elektromagnetických polí a souvisejících fyzikálních problémů. Tento komerční software je na trhu již přes dvě desetiletí a patří k předním inovátorům v této oblasti. Již od samého počátku je Opera navržena tak, aby poskytla extrémní přesnost simulace a rychlé řešení na běžných stolních počítačích. Opera nabízí kompletní řešení pro 2D a 3D modelování nebo import již hotových modelů. Programovatelný post-processor umožňuje uživatelům prohlížet a analyzovat simulaci a provádět další výpočty. To umožňuje snadné vylepšování návrhu a možnost pozměňovat parametry modelu. Opera je dostupná jak pro 32 tak i 64-bitové systémy Windows a Linux.



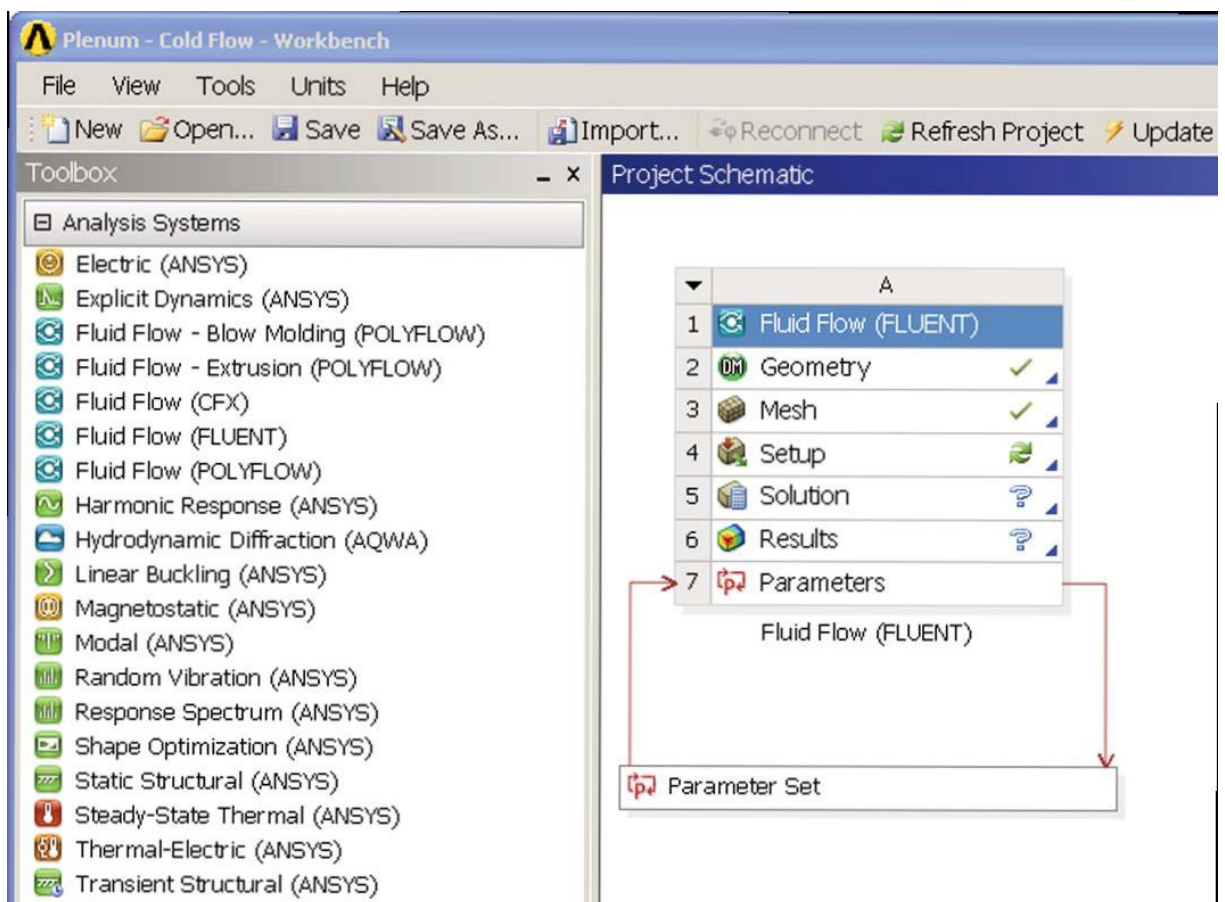
Obr. 1.7 Uživatelské prostředí programu Opera (převzato z [18])

Processor pro řešení využívá metody konečných prvků. Pro zájemce jsou dostupné on-line video semináře v angličtině nebo francouzštině, kde se uživatelé seznámí s programem a naučí se jej efektivně používat. [18]

1.2.6 ANSYS Fluid Dynamics

Společnost ANSYS vyvinula celou paletu programů pro řešení problémů v oblasti dynamiky tekutin a patří mezi vedoucí společnosti ve vývoji CFD softwaru již po více než 40 let. Tento software lze použít pro návrh a optimalizaci nových a vylepšování již existujících zařízení. Mezi programy zahrnuté v balíku Fluid Dynamics patří ANSYS Fluent a ANSYS CFX. Tento programový balík je plně integrován do platformy ANSYS WorkBench a tím poskytuje vysokou produktivitu. WorkBench zahrnuje veškeré procesy při vývoji jako je pre-processing, simulace a zpracování výsledků. Prostředí umožňuje automatickou a snadno nastavitelnou

optimalizaci při návrhových studiích. Uživatel může při řešení problémů stav řešení a nastavovat okrajové podmínky a jiné parametry bez zastavení řešení problému. ANSYS CFX umožňuje analýzu jednoduchých úloh proudění tekutin až po řešení velmi složitých navzájem se ovlivňujících dějů. Pro návrh geometrie modelu slouží v prostředí WorkBench nástroj ANSYS DesignModeler, který lze propojit s většinou nejpoužívanějších CAD softwarových řešení. Pro návrh sítí je určen program ANSYS ICEM CFD. Díky pokročilým technologiím dokáže software naplno využívat veškerý volný procesorový výkon pracovních sestav a tím dramaticky snižuje čas potřebný pro dokončení výpočtů. [19]



1.8 Uživatelské prostředí programu ANSYS (převzato z [19])

2 Uživatelské rozhraní programu pro výpočet oteplení asynchronního motoru

2.1 Program výpočtu

Z důvodu návaznosti na Program pro výpočet ventilace a oteplení asynchronních strojů [7] byl pro vytvoření grafického rozhraní zvolen program MATLAB. Grafické rozhraní zprostředkovává snadné zadání a ovládání původního programu. Pomocí editovatelných textových polí jsou zadávány hodnoty definující zkoumaný asynchronní stroj.

2.2 Spuštění Grafického rozhraní

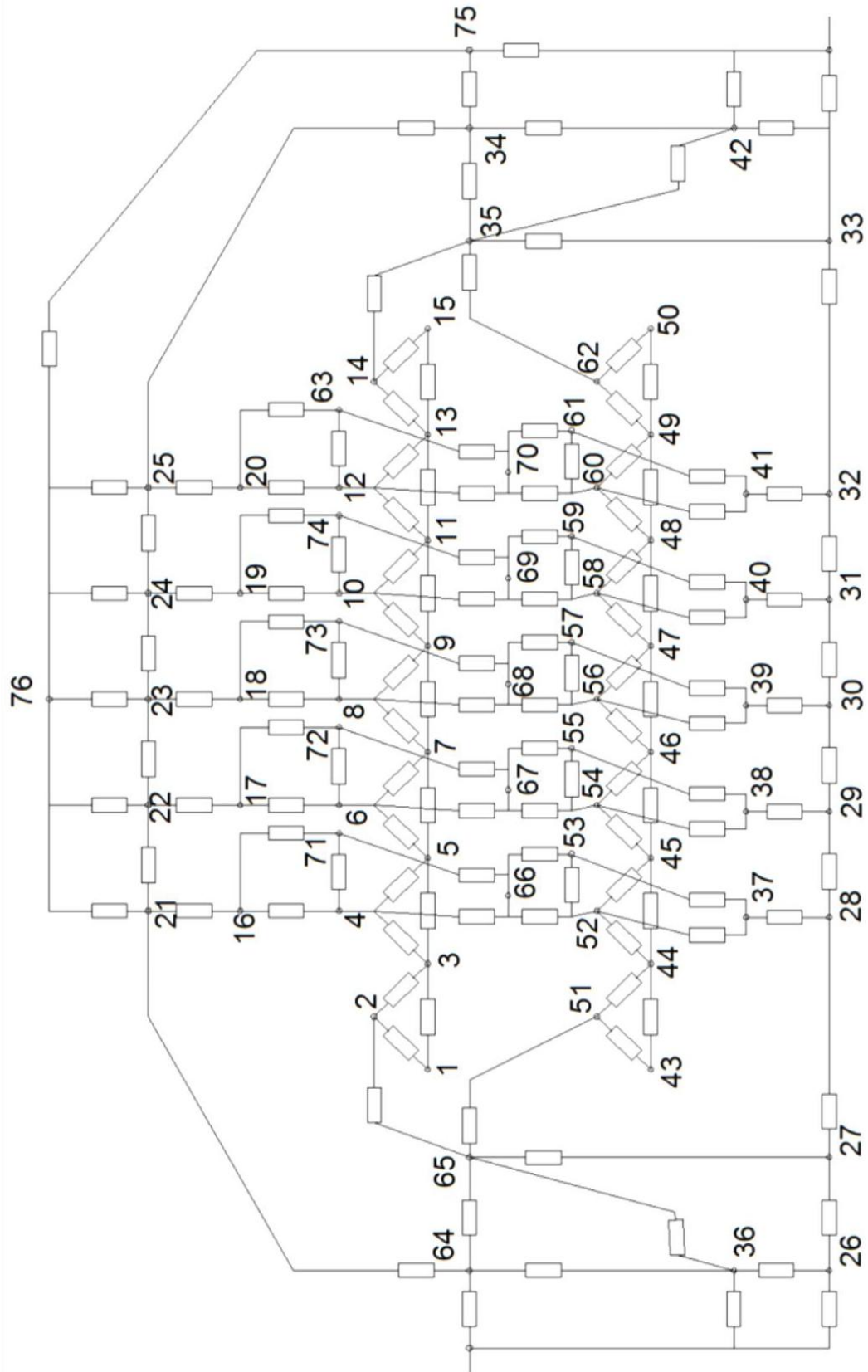
Otevřením souboru *gui.m* v editoru a jeho spuštěním dojde k vykreslení grafického rozhraní. Během inicializačních procesů jsou do rozhraní načteny výchozí hodnoty ovlivňující výpočet a to zejména rozměry stroje, počáteční teplota prostředí, materiálové konstanty atd. Tyto hodnoty se vztahují k asynchronnímu motoru 1LA7 163-4AA společnosti Siemens. U tohoto motoru byl také program ověřen měřením.[7]

2.3 Tepelná síť řešeného stroje

Obrázek 2.1 představuje tepelnou síť zkoumaného motoru. Tabulka 2.1 uvádí popis jednotlivých uzlů. Pro zvolený uzel, v programu uzel č. 8 tepelné sítě, je pak vykreslen výsledný graf.

Uzel	Popis
1,2,3,5,7,9,11,13,14,15	Statorové vinutí
4,6,8,10,12	Zuby Statoru
16,17,18,19,20	Jho Statoru
21,22,23,24,25	Kostra
37,38,39,40,41	Jho Rotoru
51,52,54,56,58,60,62	Rotorová tyč
36,42	Ložiska

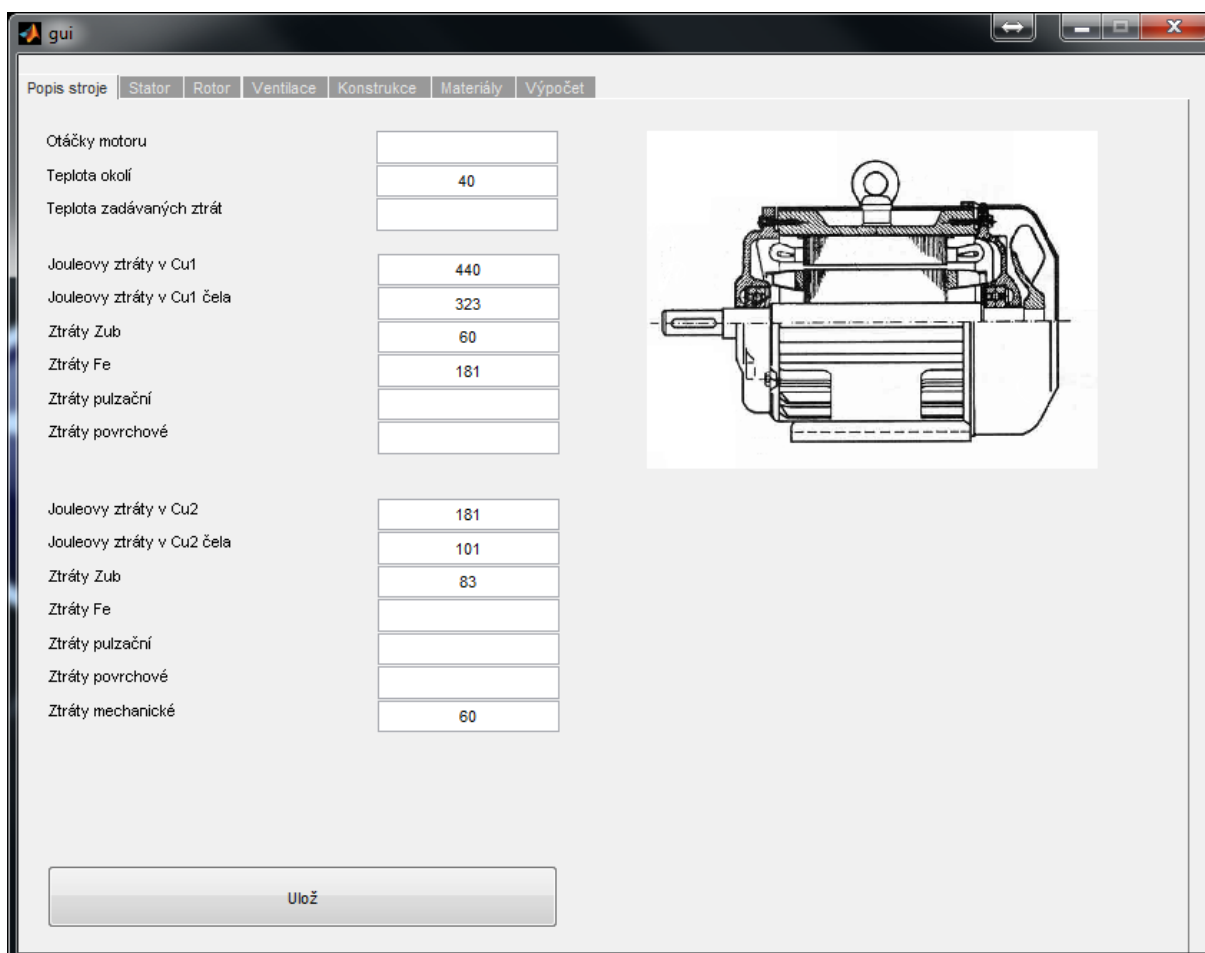
Tabulka 2.1 Seznam uzlů v tepelné síti



Obr. 2.1 Tepelná síť motoru 1LA7 163-4AA. (Převzato z [7])

2.4 Ovládání programu

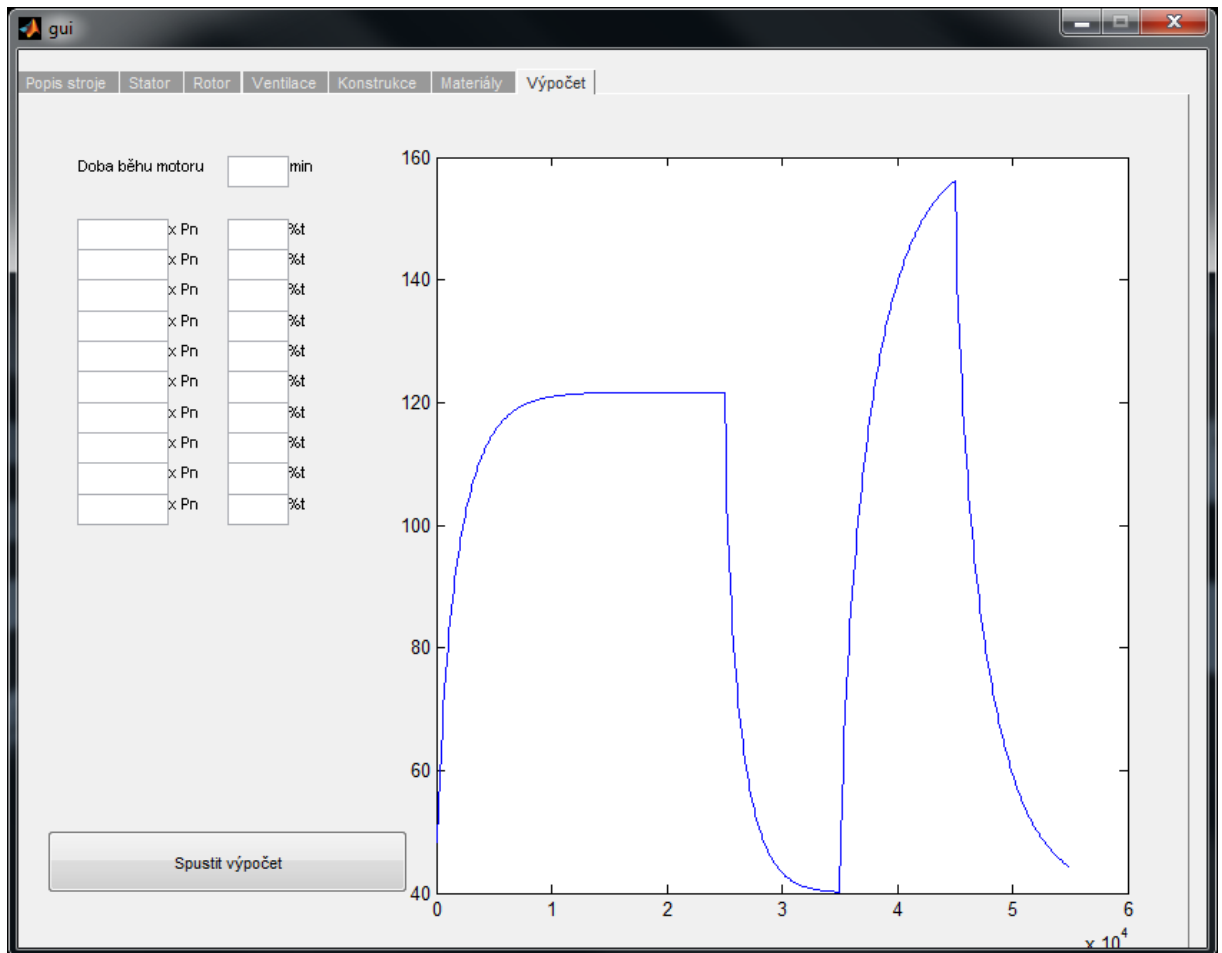
Grafické prostředí je rozděleno do 7 oddělených karet tzv. tabů. První kartou na kterou po spuštění narazíme je karta *Popis stroje* viz. Obr.2.2 , která slouží k popsání nejzákladnějších parametrů provozu stroje, jako jsou jeho otáčky, teplota okolí a jeho ztráty. Na další kartě *Stator* pak definujeme parametry statoru a jeho drážek. Na této kartě je pak k dispozici roletové menu, které slouží k vybrání typu drážek. Karta *Rotor* je určena pro definování rozměrů rotoru a stejně jako u statoru je zde k dispozici menu pro volbu drážky. Toto členění usnadňuje orientaci v rozhraní, a zefektivňuje práci. Karta *Ventilace* pak popisuje ventilační člen stroje a jeho rozměry. Karta *Konstrukce* slouží k dodefinování konstrukčních prvků stroje jako je kostra, ložiska, hřídel, štíty atd. Poslední kartou ovlivňující stroj je karta *Materiály* kde jsou definovány fyzikální vlastnosti použitých materiálů. V kartě *Výpočet* lze pak definovat zatížení po dobu běhu motoru a celkový čas běhu.



Obr. 2.2 Výchozí obrazovka programu

Stisknutím tlačítka 'Spustit výpočet!' pak zahájíme matematický výpočet. Zahájení počítání pak indikuje změna popisku tlačítka na *Počítám* a jeho dočasné zneaktivnění. Po skončení

výpočtu a vykreslení grafu je tlačítko znovu aktivní a program je tak připraven k opětovnému použití. Na obrázku 2.3 vidíme situaci, kdy po spuštění asynchronního stroje stoupne teplota statorového vinutí na cca 120°C. Vlivem ventilace dojde postupně k ochlazení až na hodnotu okolního prostředí. Druhá část grafu popisuje situaci, kdy dojde k okamžitému zastavení stroje. Ve třetí části je pak znázorněna situace kdy je stroj na krátkou chvíli přetížen.



Obr. 2.3 Karta Výpočet s výsledným grafem

2.5 Úprava GUI v Matlabu

Při vytvoření karet v grafickém rozhraní Matlabu byl použit program TabPanel Konstruktor[20]. Tento program umožňuje snadnou editaci grafické figure pomocí návrhového prostředí GUIDE. Pro co nejvíce bezproblémový chod je potřeba verze Matlabu 2010a. Při použití vyšších verzí dochází k častému zaseknutí a následnému pádu celého Matlabu. Vzhledem k tomu, že karty jsou v Matlabu stále oficiálně nepodporované, neexistuje ani příslušná dokumentace. Návrh karet pomocí tohoto konstruktora je komplikované tím, že karty nelze zpětně editovat tak, aby byly změny promítnuty i do průvodního m-file ke GUI.

Při zamýšlené úpravě karty je tak nutné celou kartu odebrat a vytvořit zcela novou na první pokus. Editace rozhraní se pak použít zadáním příkazu `tabpanel('gui','aTab')`.

Po spuštění grafického rozhraní je zavolána funkce `OpeningFcn`, která zajistí načtení výchozích hodnot a jejich přiřazení k příslušným polím a načtení grafických ilustrací. Po stisknutí tlačítka pro výpočet je v příslušné funkci provedeno přiřazení nově zadaných hodnot a spuštěna jejich analýza zakončena vykreslením grafu viz graf 2.3.

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit grafické uživatelské rozhraní pro program výpočtu oteplení elektrických strojů. Grafické uživatelské rozhraní bylo vytvořeno v programu Matlab a bylo propojeno s programem pro výpočet oteplení asynchronního motoru. Uživatel byl seznámen se základní funkčností rozhraní, ovládáním a byla popsána možnost případné editace pro potřeby pozdějších úprav a následné vylepšování aplikace. V práci se také zabýváme metodami, které slouží pro tepelný výpočet a byla provedena rešerše softwaru podle metod, které jsou v softwaru využity.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DUŠEK, František. *Úvod do používání MATLAB*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. 56 s.
- [2] DUŠEK, František. *Matlab a Simulink: řešené příklady*. 1. Vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2000. ISBN 80-7194-273-1.
- [3] KARBAN, Pavel. *Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink*. 1. Vyd. Brno: Computer Press, 2006. 220 s. ISBN 978-80-251-1448-3
- [4] DOŇAR, Bohuslav a ZAPLATÍLEK, Karel. *MATLAB - tvorba uživatelských aplikací*. 1.vyd.Praha: BEN - technická literatura, 2004, ISBN 80-7300-133-0
- [5] OCTAVE.cz [online], © 2006 Michal Just [Cit. 20.8.2014], Dostupné z: <http://www.octave.cz>
- [6] Octave, About software [online], © 1998-2012 John W. Eaton, [Cit. 20.8.2014], Dostupné z: <http://www.gnu.org/software/octave/about.html>
- [7] VLASÁK, Martin. *Program pro výpočet ventilace a oteplení asynchronních strojů*. Diplomová práce. ZČU v Plzni. 2013
- [8] KOLÁŘ, Pavel. *Program pro výpočet ventilace a oteplení synchronních strojů*. Diplomová práce. VUT v Brně. 2009
- [11] HAK, Josef a OLEJŠEK, Oldřich. *Výpočet chlazení elektrických strojů 1.Díl*, Výzkumný a vývojový ústav elektrických strojů točivých, Brno 1973
- [12] KOPYLOV, Igor Petrovič a kolektiv. *Stavba elektrických strojů*, SNTL 1988
- [13] VLACH, Radek. *Tepelné procesy v mechatronických soustavách*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-3976-4.
- [14] Motor-CAD v8 Release. Motor Design LTD [online] © 2013 [Cit. 20.8.2014] Dostupné z: http://www.motor-design.com/cmsAdmin/uploads/motor-cadv8_emag_publication_001.pdf
- [15] QuickField. Tera Analysis LTD [online] © 2014 [cit. 20.8.2014] Dostupné z: <http://www.quickfield.com/allnews/quickfield60.htm>
- [16] MotorSolve IM. Infolytica Corporation [online] © 2014 [Cit. 20.8.2014] Dostupné z: <http://www.infolytica.com/en/products/motorsolve/motorsolve.pdf>
- [17] Finite Element Method Magnetics. [online] © 2010 [Cit. 20.8.2014] Dostupné z: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>
- [18] Opera. Cobham plc. [online] © 2014 [Cit. 20.8.2014] Dostupné z: <http://motor-design-software.com/category/induction-machines/>

- [19] ANSYS Fluent, ANSYS Inc. © 2013 [Cit. 20.8.2014] Dostupné z: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+Fluent>
- [20] TabPanel Constructor v2.8. Elmar Tarajan [online] © 2010 [Cit. 20.8.2014], Dostupné z: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/6996-tabpanel-constructor-v2-8--2010->
- [21] PECHÁNEK, Roman. *Ventilační a tepelná analýza trakčního asynchronního motoru*. Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni, 2011
- [22] VLACH, Radek. *Chlazení elektrických strojů*. Fakulta strojního inženýrství, VUT Brno, 2004. ISBN 80-214-2848-1.