

**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. Provedte 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.

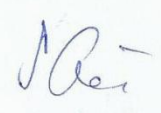
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


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




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Práce se zabývá literární rešerší softwaru pro modelování tepelných výpočtů a metod, které lze využít 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 1. 6. 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 POUŽÍVANÝ K VÝPOČTŮM	11
1.1 MATLAB.....	11
1.1.1 Popis prostředí.....	11
1.1.2 Oblasti využití	12
1.1.3 Výhody použití.....	12
1.1.4 Nevýhody použití.....	13
1.1.5 Textový editor.....	13
1.1.6 Skripty a funkce.....	14
1.1.7 nápověda	14
1.1.8 Alternativy.....	14
1.2 OCTAVE.....	15
1.2.1 qtOctave	15
1.2.2 Popis prostředí.....	15
1.2.3 Výhody programu.....	16
1.2.4 Nevýhody programu.....	16
1.3 QUICKFIELD	16
1.4 MOTOR-CAD	17
1.5 MOTOR SOLVE IM.....	18
2 NÁVRH STROJŮ	19
2.1 PŘÍSTUP A KONSTRUOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH STROJŮ	19
2.2 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ	19
2.3 NUMERICKÉ VÝPOČTY PROUDĚNÍM TEKUTIN	19
2.4 MODELOVÁNÍ POMOCÍ NÁHRADNÍ SÍTĚ.....	20
3 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ PROGRAMU.....	21
3.1 PROGRAM VÝPOČTU	21
3.2 SPUŠTĚNÍ GRAFICKÉHO ROZHRAŇÍ	21
3.3 PARAMETRY ŘEŠENÉHO STROJE.....	22
3.4 VÝPOČET A GRAF.....	27
ZÁVĚR	28
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

V první části se práce zabývá vlastnostmi programového prostředí Matlab ve kterém bude samotné uživatelské rozhraní vytvořeno a v části druhé jeho alternativou qtOctave. Dále popisuje úzce specializovaný komerční software a metody , které jsou využívány pro tepelný výpočet Poslední část pak popisuje uživatelské rozhraní vytvořené pro program výpočtu oteplení asynchronního stroje.

1 Software používaný k výpočtům

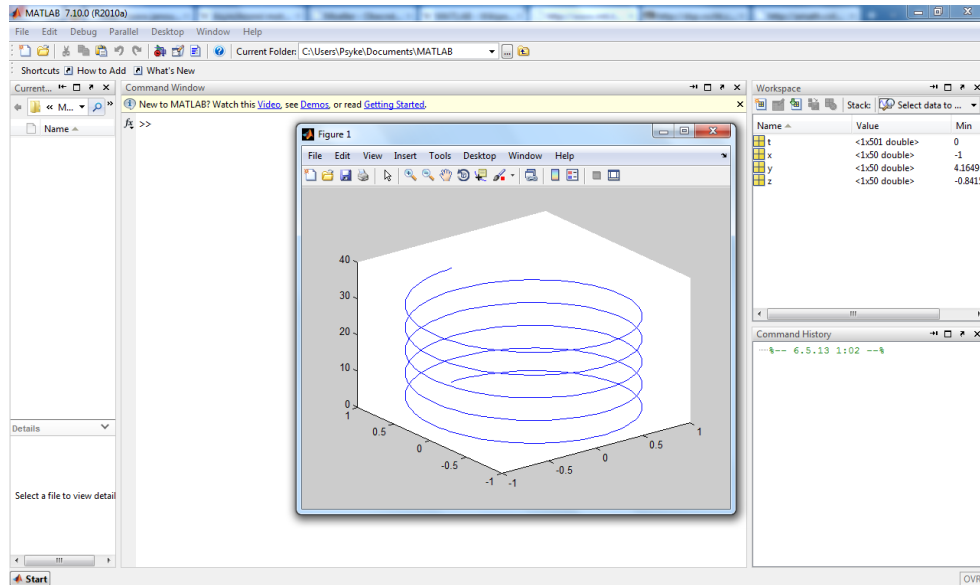
Tepelné a ventilační výpočty lze provádět v úzce specializovaných programech pro návrh motorů nebo v programech, které se zabývají tepelnou analýzou a výpočtem proudění. Hlavním rozdílem je pak využívaná metoda výpočtu.

1.1 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]

1.1.1 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

1.1.2 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 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.

1.1.4 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 odebírat kód pro úzce specializované použití a tím šetřit systémové prostředky.

1.1.5 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]

1.1.6 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.

1.1.7 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]

1.1.8 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 leččem 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++

1.2 Octave

Octave je často využíván jako nezpлатněná alternativa MATLABu, z důvodu velké kompatibility příkazů. Octave je snadno rozšiřitelný 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]

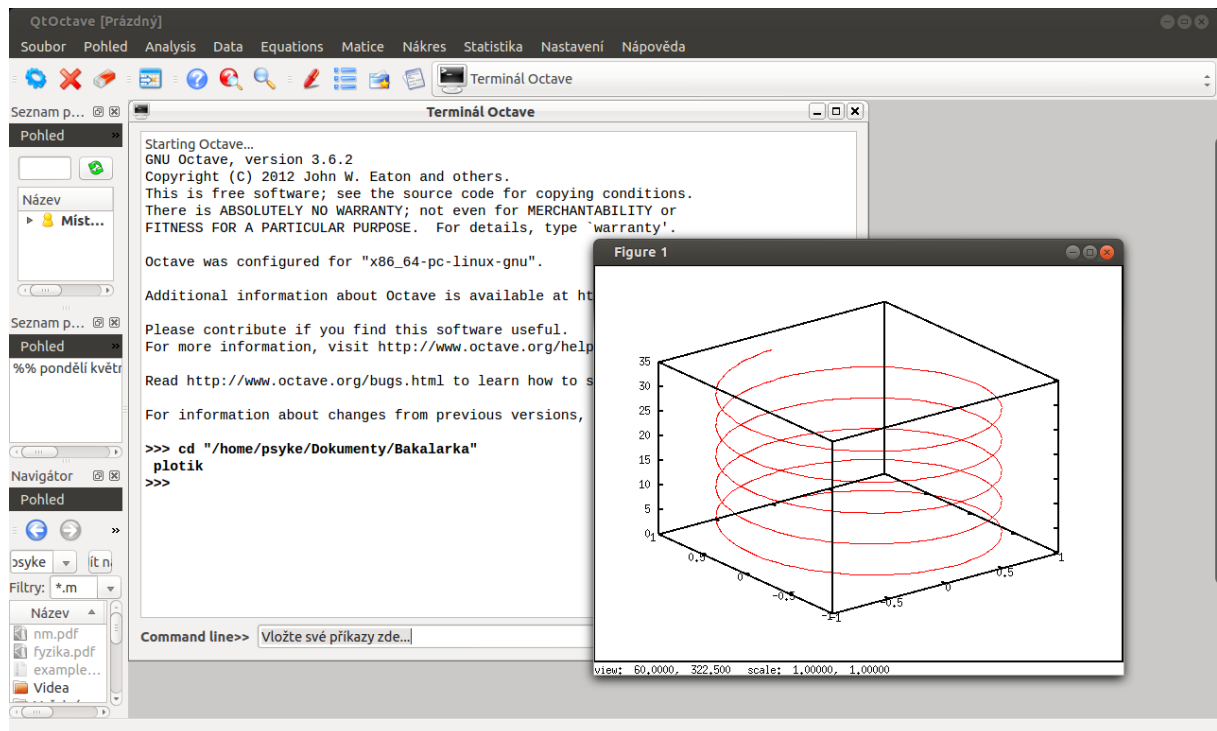
Program Octave byl původně zamýšlen jako uživatelsky příjemný program pro psaní vysokoškolské učebnice týkající se návrhu chemických reaktorů. Stejně jako MATLAB vznik z důvodu zjednodušení práce a oprostění se od programovacího jazyku Fortran. Program byl pojmenován po učiteli, který napsal učebnici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

1.2.1 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]

1.2.2 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

1.2.3 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.

1.2.4 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.

1.3 QuickField

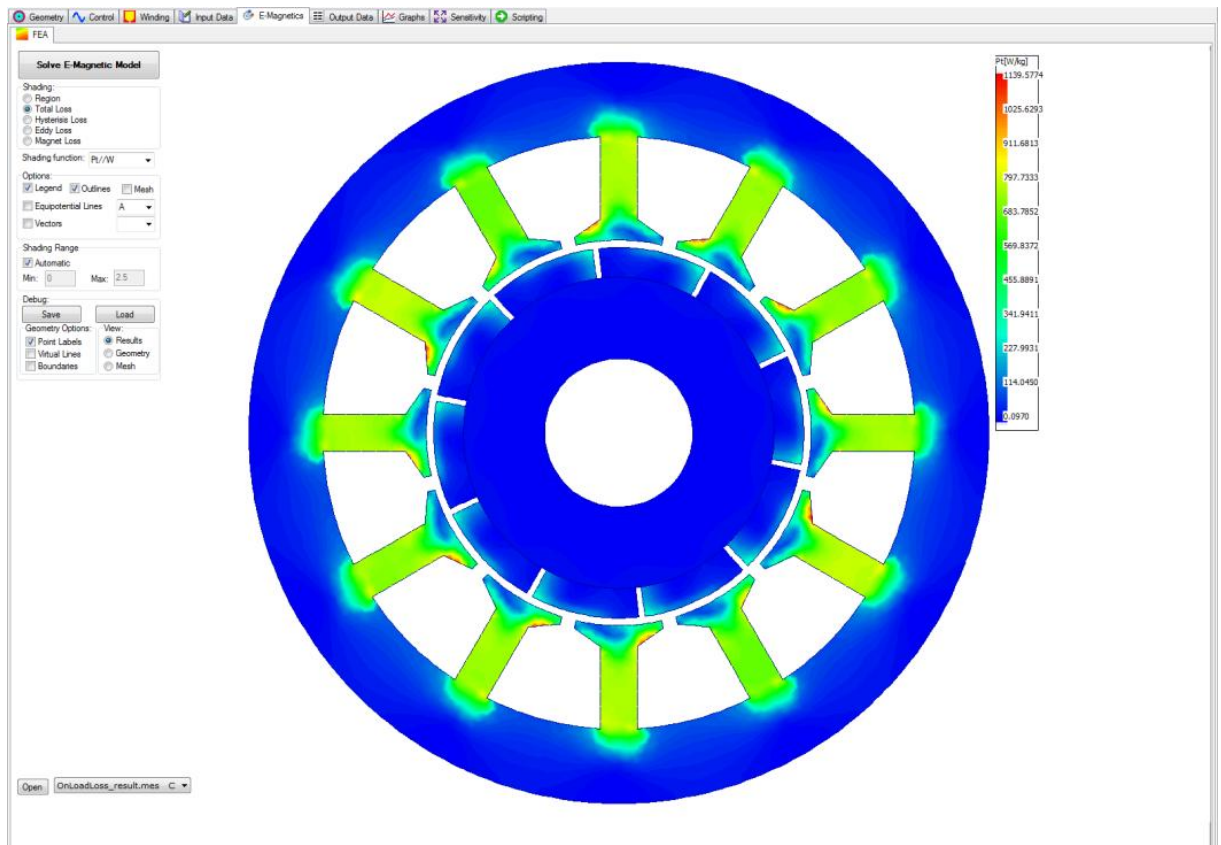
QuickField je velice efektivní FEA programový balík pro multifyzikální simulaci a analýzu. Nabízí možnost řešení dvou ale i trojrozměrných elektromagnetických, ale i teplotních polí. K dispozici je pak i vysoce výkonný preprocesor a postprocesor pro zobrazení výsledku a sada uživatelských programů. Software nabízí řadu výpočtových modulů, které využívají prostředí pro řešení daného problému.[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

1.4 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 tepelných 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. 1.3 Uživatelské prostředí programu Motor-CAD (převzato z [14])

1.5 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 statorů a díky tomu je velice snadno ovladatelný. Obsahuje i funkci pro automatické 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.

2 Návrh strojů

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.

2.1 Přístup a konstruování elektrických strojů

Zdokonalení výrobního procesu můžeme popsat na motoru řady 4A, na který bylo ve srovnání s řadou A2 spotřebováno v průměru o 21% méně materiálu, a tak se snížila i jeho hmotnost o 22%. [12] Z tohoto důvodu jsou zaváděny výpočtové modely, které usnadňují návrh stroje. Jednou z částí návrhu elektrického stroje je pak návrh chlazení. To může značně ovlivnit efektivnost celého stroje a určuje i jeho využití. Ventilační výpočet je pak jedním z ukazatelů na schopnost chlazení.

2.2 Metoda konečných prvků

MKP je jedna z nejvýkonnějších 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.

2.3 Numerické výpočty prouděním tekutin

Tato metoda označovaná zkratkou CFD 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.

2.4 Modelování pomocí náhradní sítě

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. Stejně jako v elektrických obvodech řadíme hydraulické odpory sériově, paralelně nebo kombinovaně. Dohromady tak získáváme ucelenou síť, kterou můžeme využít pro výpočet. [11]

3 Uživatelské rozhraní programu

3.1 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.

3.2 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 od společnosti Siemens pro který byl program vytvořen a ověřen měřením.[7]

Vstupní hodnoty stroje

Poloměr stroje	0.1225
Délka stroje	0.13
Tloušťka kostry stroje	0.005
Tloušťka izolace	0.001
Tepelná vodivost izolace	0.3
Poloměr hřídele	0.02
Tepelná vodivost hřídele	70
Tloušťka vzduchové mezery	0.002
Vnější poloměr ložiska	0.037
Tepelná vodivost ložiska	50

Ventilace

Počáteční teplota	40
Poloměr vstupního síta	0.11
Šířka ventilátoru	0.06
Vnější průměr ventilátoru	0.28
Vnitřní průměr ventilátoru	0.14
Průměr víka ventilátoru	0.31
Vzdálenost mezi krytem a strojem	0.032
Počet lopatek	7

Stator

Tepelná vodivost mědi	390
Tepelná vodivost železa	45
Tloušťka drážky statoru	0.0053
Hloubka drážky statoru	0.021
Tepelná vodivost izolace v drážce	0.3
Delka čela	0.1
Obvod čela statoru	0.05
Výška mědi v drážce statoru	0.02
Počet elementů	5
Počet drážek statoru	48

Rotor

Poloměr rotoru	0.07187
Hloubka drážky rotoru	0.017
Tloušťka drážky rotoru	0.003
Tepelná vodivost železa	45
Počet drážek rotoru	36

Přechodný děj oteplení stroje

T [°C]

t [s]

Zvolený uzel pro graf: 68

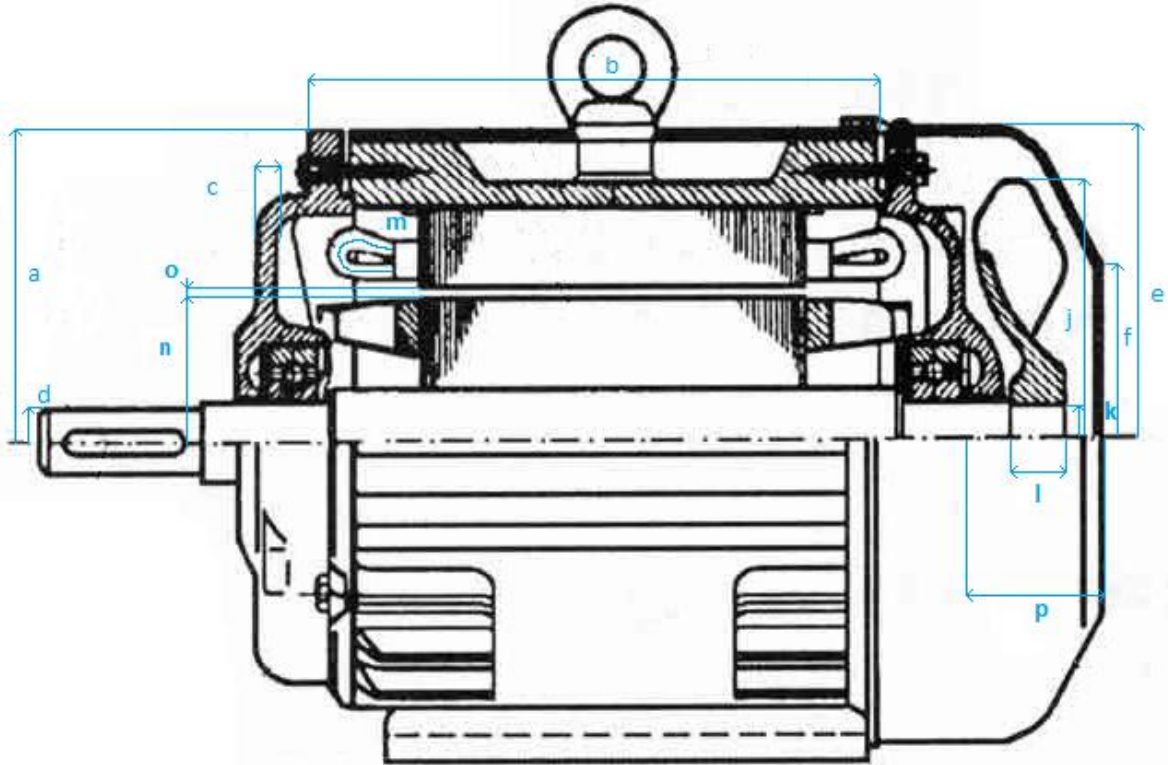
Vypočít!

Připraven

Obr. 3.1 První spuštění programu

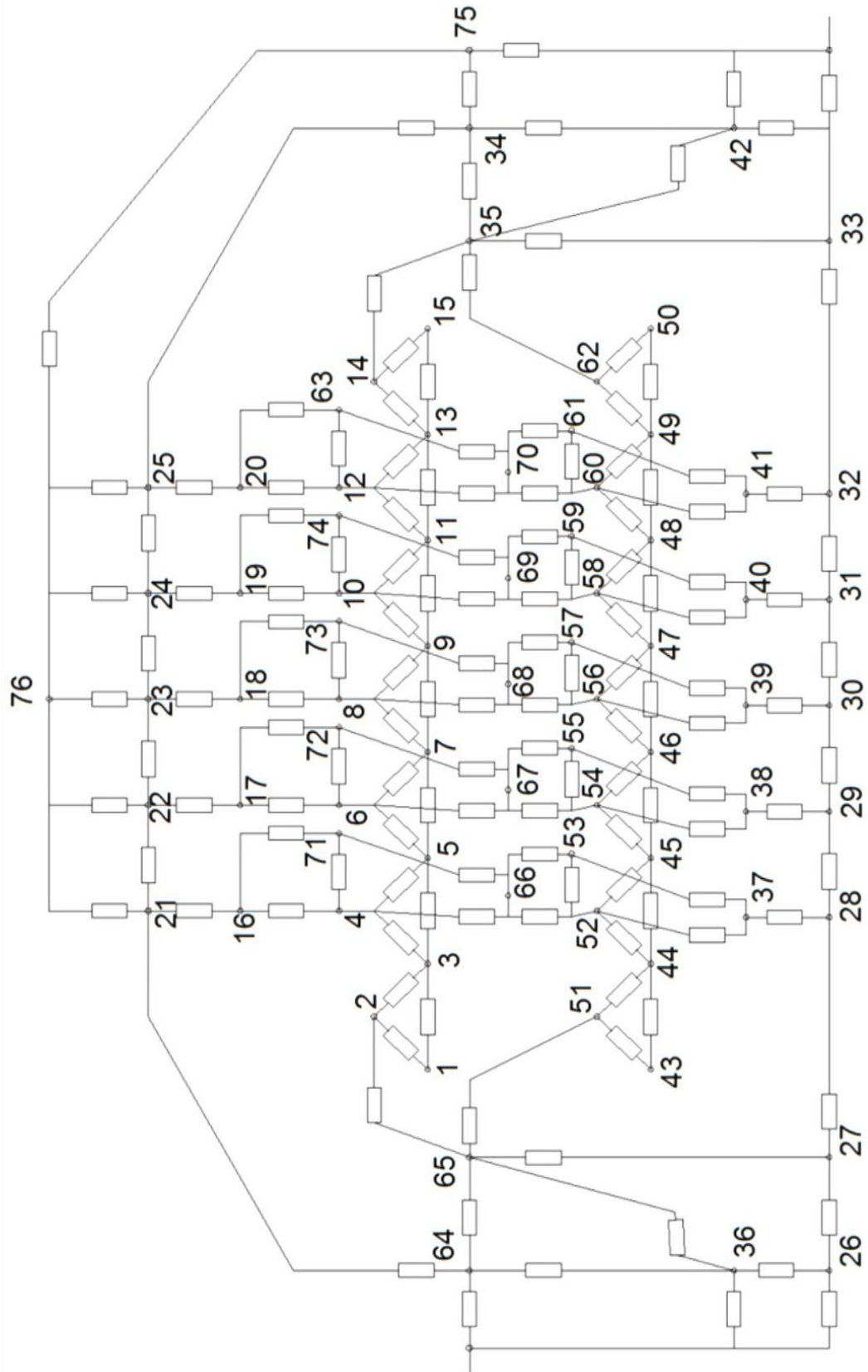
3.3 Parametry řešeného stroje

Parametry řešeného stroje se zapisují do 34 polí v základních jednotkách. Na obrázku 3.2 pak vidíme popis nejzákladnějších rozměrů stroje nutných pro tepelný výpočet.



Obr. 3.2 Řez motorem řady 4A s krytím IP44, IC01-41. a) poloměr stroje b) délka stroje c) tloušťka izolace d) poloměr hřídele e) Poloměr víka ventilátoru f) Poloměr vstupního síta j) vnější poloměr ventilátoru k) vnitřní poloměr ventilátoru l) tloušťka ventilátoru m) délka čela vinutí statoru n) poloměr rotoru o) vzduchová mezera p) vzdálenost mezi krytem ventilátoru a strojem [12]

Pro zvolený bod tepelné sítě je pak vykreslen výsledný graf. Obrázek 3.3 představuje tepelnou síť zkoumaného motoru. Jednotlivé tepelné odpory jsou popsány v tabulce 3.1.



Obr. 3.3 Tepelná síť motoru 1LA7 163-4AA. (Převzato z [7])

R(1,2)	čelo (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(1,3)	čelo (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(2,3)	čelo (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(2,65)	čelo - vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(3,4)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(3,5)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(4,5)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(4,16)	vinutí statoru – jho statoru
R(4,66)	vinutí statoru – vzduchová mezera
R(4,71)	vinutí statoru – zub statoru
R(5,6)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(5,7)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(6,7)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(6,17)	vinutí statoru – jho statoru
R(6,67)	vinutí statoru – vzduchová mezera
R(6,72)	vinutí statoru – zub statoru
R(7,8)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(7,9)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(8,9)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(8,18)	vinutí statoru – jho statoru
R(8,68)	vinutí statoru – vzduchová mezera
R(8,73)	vinutí statoru – zub statoru
R(9,10)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(9,11)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(10,11)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(10,19)	vinutí statoru – jho statoru
R(10,69)	vinutí statoru – vzduchová mezera
R(10,74)	vinutí statoru – zub statoru
R(11,12)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(11,13)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(12,13)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(12,20)	vinutí statoru – jho statoru
R(12,70)	vinutí statoru – vzduchová mezera
R(12,75)	vinutí statoru – zub statoru
R(13,14)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(13,15)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(14,15)	vinutí statoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(14,35)	čelo - vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(16,21)	jho statoru – kostra
R(16,71)	jho statoru – zub statoru
R(17,22)	jho statoru – kostra
R(17,72)	jho statoru – zub statoru
R(18,23)	jho statoru – kostra
R(18,73)	jho statoru – zub statoru
R(19,24)	jho statoru – kostra

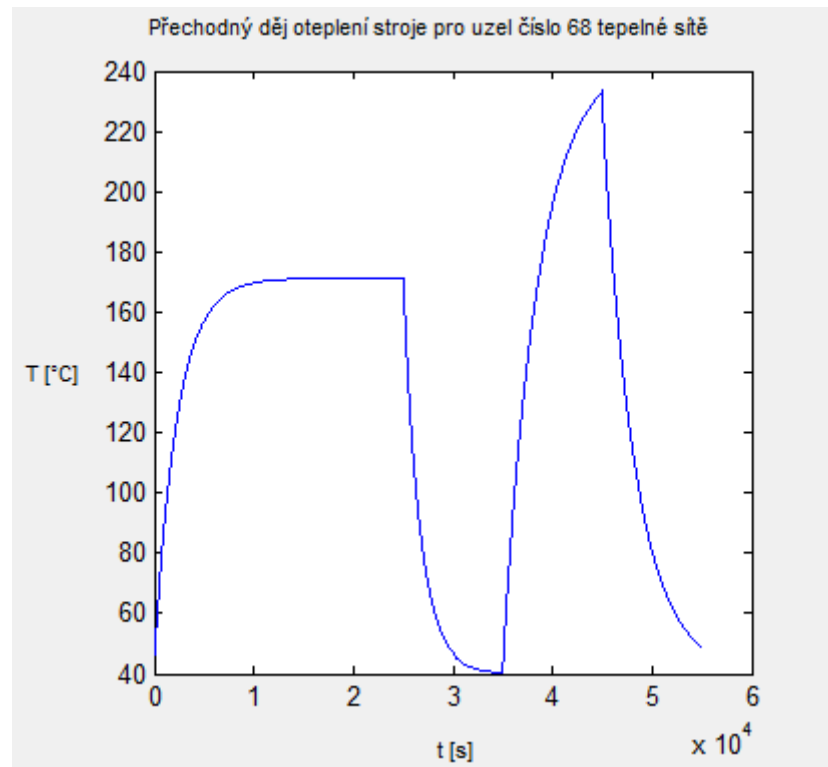
R(19,74)	jho statoru – zub statoru
R(20,25)	jho statoru – kostra
R(20,63)	jho statoru – zub statoru
R(21,22)	kostra – kostra
R(21,64)	kostra – štít
R(21,76)	kostra – vzduch nad strojem
R(22,23)	kostra – kostra
R(22,76)	kostra – vzduch nad strojem
R(23,24)	kostra – kostra
R(23,76)	kostra – vzduch nad strojem
R(24,25)	kostra – kostra
R(24,76)	kostra – vzduch nad strojem
R(25,34)	kostra – štít
R(25,76)	kostra – vzduch nad strojem
R(26,27)	hřídel – hřídel
R(26,36)	hřídel - ložisko
R(27,28)	hřídel – hřídel
R(27,65)	hřídel – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(28,29)	hřídel – hřídel
R(28,37)	hřídel – jho rotoru
R(29,30)	hřídel – hřídel
R(29,38)	hřídel – jho rotoru
R(30,31)	hřídel – hřídel
R(30,39)	hřídel – jho rotoru
R(31,32)	hřídel – hřídel
R(31,40)	hřídel – jho rotoru
R(32,33)	hřídel – hřídel
R(32,41)	hřídel – jho rotoru
R(33,35)	hřídel – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(33,42)	hřídel – ložisko
R(34,35)	štít – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(34,42)	štít – ložisko
R(34,75)	štít – vzduch ve ventilátoru
R(35,62)	kruh – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(36,64)	ložisko – štít
R(36,65)	ložisko – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(37,52)	jho rotoru – tyče rotoru
R(37,53)	jho rotoru – zub rotoru
R(38,54)	jho rotoru – tyče rotoru
R(38,55)	jho rotoru – zub rotoru
R(39,56)	jho rotoru – tyče rotoru
R(39,57)	jho rotoru – zub rotoru
R(40,58)	jho rotoru – tyče rotoru
R(40,59)	jho rotoru – zub rotoru
R(41,60)	jho rotoru – tyče rotoru

R(41,61)	jho rotoru – zub rotoru
R(43,44)	kruh (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(43,51)	kruh (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(44,45)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(44,51)	kruh (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(44,52)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(45,46)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(45,52)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(45,54)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(46,47)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(46,54)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(46,56)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(47,48)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(47,56)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(47,58)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(48,49)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(48,58)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(48,60)	tyč rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(49,50)	kruh (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(49,60)	tyče rotoru (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(49,62)	kruh (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(50,62)	kruh (s uvažováním vedení tepla v podélném směru)
R(51,65)	kruh – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(52,53)	tyč rotoru – zub rotoru
R(52,66)	tyč rotoru – vzduchová mezera
R(53,66)	zub rotoru – vzduchová mezera
R(54,55)	tyč rotoru – zub rotoru
R(54,67)	tyč rotoru – vzduchová mezera
R(55,67)	zub rotoru – vzduchová mezera
R(56,57)	tyč rotoru – zub rotoru
R(56,68)	tyč rotoru – vzduchová mezera
R(57,68)	zub rotoru – vzduchová mezera
R(58,59)	tyč rotoru – zub rotoru
R(58,69)	tyč rotoru – vzduchová mezera
R(59,69)	zub rotoru – vzduchová mezera
R(60,61)	tyč rotoru – zub rotoru
R(60,70)	tyč rotoru – vzduchová mezera
R(61,70)	zub rotoru – vzduchová mezera
R(63,70)	zub statoru – vzduchová mezera
R(64,65)	štíť – vzduch mezi štítem, statorem a rotorem
R(66,71)	vzduchová mezera – zub statoru
R(67,72)	vzduchová mezera – zub statoru
R(68,73)	vzduchová mezera – zub statoru
R(69,74)	vzduchová mezera – zub statoru

Tabulka 3.1 Seznam tepelných odporů v síti (převzato z [7])

3.4 Výpočet a graf

Stisknutím tlačítka 'Vypočti!' pak zahájíme matematický výpočet. Zahájení počítání pak indikuje stavová lišta nápisem *Počítám* a o konci výpočtu jsme informováni změněním na stav *Vypočteno*. Tím dojde i k vykreslení grafu pro zvolený bod a program je dále připraven k



Obr. 3.4 Graf přechodného děje oteplení stroje

opětovnému použití. Na obrázku 3.4 vidíme situaci, kdy po spuštění asynchronního stroje stoupne teplota ve vzduchové mezeře na 170°C. Vlivem ventilace dojde postupně k ochlazení až na hodnotu okolního prostředí. Druhá část grafu popisuje situaci, kdy dojde k okamžitému zastavení stroje.

Závěr

V této práci jsme se seznámili s matematickým softwarem MATLAB a jeho bezplatnou alternativou Octave. Popsali jsme výhody, ale i nevýhody obou softwaru a zhodnotili jejich způsoby využití. Poté se práce zaměřuje na úzce specializovaný komerční software a metody, které jsou využívány pro tepelný výpočet. Poslední část pak popisuje uživatelské rozhraní vytvořené pro program výpočtu oteplení asynchronního stroje a práci s ním.

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. 1.6.2014], Dostupné z: <http://www.octave.cz>
- [6] Octave, About software [online], © 1998-2012 John W. Eaton, [Cit. 1.6.2014], 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. 1.6.2014] Dostupné z: http://www.motor-design.com/cmsAdmin/uploads/motor-cadv8_emag_publication_001.pdf
- [15] QuickField. Tera Analysis LTD [online] © 2014 [cit. 1.6.2014] Dostupné z: <http://www.quickfield.com/allnews/quickfield60.htm>