

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Numerický výpočet chlazení elektrického zařízení

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na numerický výpočet chlazení elektrického zařízení. Obsahuje teoretický úvod, ve kterém je vysvětlena problematika šíření tepla. Dále se zde nachází popis zvoleného elektrického zařízení.

Klíčová slova

numerický výpočet, přenos tepla, tepelný tok, chlazení, rozvaděč

Abstract

The thesis is focused on numerical simulation of electric device cooling. It contains theoretical introduction, in which is explained the transferring of heat. Further, the chosen electric device is described here.

Key words

numerical simulation, transferring of heat, heat flux, cooling, switchboard

Prohlášení

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 28.6.2013

Jméno příjmení

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za pomoc při zpracování daného tématu a také bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli během studia ke splnění všech povinností. A také děkuji svým rodičům, kteří mne po celou dobu studia podporovali.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 7 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 8 |
| ÚVOD | 9 |
| 1 ZTRÁTY V ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJÍCH | 10 |
| 1.1 DRUHY ZTRÁT | 10 |
| 1.2 VZNIK TEPLA VE VODIČI | 11 |
| 1.3 ZPŮSOBY ŠÍŘENÍ TEPLA..... | 11 |
| 1.3.1 Šíření tepla vedením..... | 11 |
| 1.3.2 Šíření tepla prouděním..... | 14 |
| 1.3.3 Šíření tepla sáláním | 16 |
| 2 ROZVADĚČ RM6 24KV PRO PRŮBĚŽNÝ ROZVOD | 17 |
| 3 ANALÝZA VÝPOČTŮ | 17 |
| 4 ZÁVĚR | 18 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 19 |
| PŘÍLOHY | 1 |

Seznam symbolů a zkratk

ϑ Teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Θ Termodynamická teplota [K]

λ Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

α Součinitel přestupu tepla z jednoho prostředí do druhého [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

c Měrná tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

ρ Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

σ Teplo vyvíjené v jednotce objemu za jednotku času [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$]

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na numerický výpočet oteplení elektrických zařízení. Cílem této práce bylo popsat teorii k problematice šíření tepla v elektrických zařízeních, použitý způsob výpočtu, analytický výpočet daného návrhu, vytvoření modelů k výpočtu a následnou analýzu výstupů z provedených simulací.

V první části se nachází teorie k této problematice, jedná se o způsoby šíření tepla a známé druhy ztrát.

U návrhu zařízení došlo ke komplikacím, a dodatečně zvolený návrh jsem nebyl schopen analyticky vyřešit. Následně mělo dojít k vytvoření modelu a provedení numerického výpočtu za pomoci programu ANSYS. Z důvodů prvotních obtíží s návrhem jsem neměl potřebné údaje k zjednodušení matematického modelu a nedokázal jsem tento problém vyřešit ani za pomoci tohoto nástroje.

1 Ztráty v elektrických přístrojích

Během změn elektromagnetického pole dochází v látkách k pohybům částic, které nesou elektrický náboj. Dochází k předávání části kinetické energie částic do okolí, kde dochází k interakci částic s atomy a dále v pevných látkách s atomy krystalické mřížky. Teplota látky se tím zvyšuje. Energie elektromagnetického pole se mění v kinetickou energii tepelného pohybu atomů a molekul látky. Obecně mluvíme o množství tepla a proudění tepla. Díky tomu, že v elektrizačních systémech vytváříme elektrické pole, k čemuž nám slouží elektromagnetická indukce, můžeme později elektrickou energii přeměnit v kinetickou energii mechanického pohybu těles a konat tak práci. Část energie se během tohoto děje přemění v teplo. Tato energie pro nás tvoří ztráty. Jedná se vlastně o energii neuspořádaného pohybu elementárních částic. [1]

1.1 Druhy ztrát

Rozlišujeme ztráty:

- Jouleovy ztráty způsobené pohybem elektronu ve vodičích
- Ztráty vířivými proudy – vířivé proudy ve vodičích indukované střídavým magnetickým polem (v podstatě jde opět o Jouleovy ztráty)
- hysterezní ztráty – natáčení elektrických dipólů v dielektrikách způsobené střídavým elektrickým polem
- ztráty výboji – vznikají urychlováním částic nesoucích elektrický náboj elektrickým proudem

Pro elektrické přístroje jsou nejdůležitější Jouleovy ztráty. Někdy mohou významnou roli hrát také hysterezní ztráty ve feromagnetickém koaxiálním zapouzdření vodičů a dielektrické ztráty v izolantech při vysokých napětích nebo vysokých frekvencích. [1]

1.2 Vznik tepla ve vodiči

Za běžného stavu protékají proudovými drahami elektrického přístroje provozní elektrické proudy. Díky přetížením a nadproudům mohou být tyto proudy krátkodobě zvýšené. Může také dojít ke zkratu. Při stacionárním stavu, tj. za ustáleného ss proudu nebo při efektivní hodně ustáleného střídavého proudu, můžeme Jouleovo ztrátové teplo vypočítat ze vztahu:

$$Q = I^2 R t \quad [J, A, \Omega, s]$$

Při nestacionárním proudu použijeme vztah:

$$dQ = i(t)^2 R dt [1]$$

1.3 Způsoby šíření tepla

Existují tři způsoby šíření tepla, které jsou odvozeny z fyzikální podstaty daných dějů. Jedná se o přenos tepla vedením v látkách neboli kondukcí, prouděním látek čili konvekcí a dále se uvažuje šíření tepla sáláním jinak také zářením popřípadě radiací.

1.3.1 Šíření tepla vedením

Při přenosu tepla vedením předávají částice prostředí s vyšší kinetickou energií část energie částicím s nižší energií, dochází k přenosu tepla. Rychlost přenosu tepla vyjadřujeme veličinou zvanou tepelný tok nebo tepelný výkon a definovanou vztahem

$$I_Q = dQ / dt ,$$

Kde Q značí množství přenášeného tepla a τ příslušný čas. Plošná hustota tepelného toku J_Q je

pak definována vztahy

$$J_Q = dI_Q / dS_n$$

nebo vektorově

$$dI_Q = J_Q \cdot dS .$$

Hnací silou vedení tepla je teplotní spád vyjádřený gradientem teploty. Fourier (r. 1811) našel na základě experimentů lineární závislost mezi hustotou tepelného toku a gradientem teploty

$$J_Q = - \lambda \text{ grad } T.$$

Fenomenologický koeficient λ , tzv. součinitel tepelné vodivosti, vyjadřuje schopnosti látky vést teplo a má číselnou hodnotu jako hustota tepelného toku při gradientu teploty 1 K.m^{-1} v dané látce.

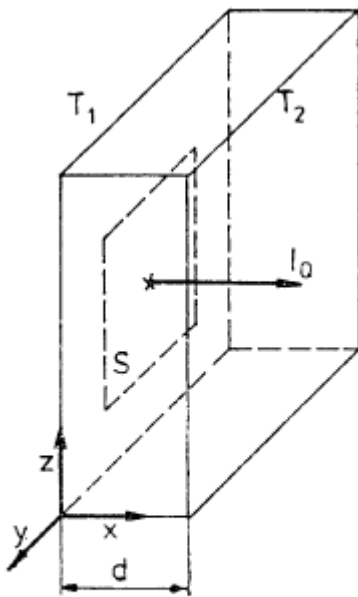
Přenos tepla vedením se v pevných látkách uskutečňuje přenosem kinetické energie částic. Je prostředkován buď volnými elektrony, nebo přenosem kmitů krystalové mřížky látky vlněním podobným akustickému. Přitom energie, kterou si částice (atomy nebo molekuly) předávají, se nemůže přenášet plynule, ale jen po kvantech energie hf podobných těm, která přenášejí v elektromagnetickém vlnění fotony. Přenos kvant energie kmitů krystalické mřížky proto připisujeme částicím zvaným fonony a šíří se látkou rychlostí zvuku.

Na přenosu tepla se tedy mohou podílet jak volné elektrony, tak i fonony a výsledný součinitel tepelné vodivosti fononové a elektronové je pak

$$\lambda = \lambda_f + \lambda_e$$

Dobré vodiče elektřiny obsahují dostatek volných elektronů a u nich je $\lambda \approx \lambda_f$. [3]

1.3.1.1 Ustálené vedení tepla



Obr. 1: Ustálené vedení tepla rovinnou homogenní stěnou [2]

Prochází-li teplo prostorem tak, že se teplota v kterémkoli místě s časem nemění, nazýváme takový přenos tepla ustáleným.

Odvoďme vztah pro výpočet ustáleného tepelného toku vymezenou částí nekonečné rovinné stěny o konstantní tloušťce d , z homogenní látky o součiniteli tepelné vodivosti λ . Soustavu souřadnic zvolme tak, aby osy y a z ležely v jednom povrchu stěny (obr 1.) a osa x byla k ní kolmá. Na tomto povrchu ($x = 0$) necht' je konstantní teplota T_1 a na protilehlém povrchu ($x = d$) konstantní teplota $T_2 < T_1$.

$$\partial^2 T / \partial x^2 = 0.$$

Obecné řešení této diferenciální rovnice je $T(x) = c_1 x + c_2$. Z okrajových podmínek plyne, že $T = T_1$ pro $x = 0$ a $T = T_2$ pro $x = d$, takže určíme integrační konstanty $c_1 = (T_2 - T_1) / d$, $c_2 = T_1$. Teplota v uvažované homogenní stěně klesá tedy z T_1 na T_2 úměrně se vzdáleností x podle rovnice

$$T(x) = (T_2 - T_1) \cdot x / d + T_1.$$

Známe-li funkční závislost $T(x)$, můžeme podle rov. 3 stanovit hustotu tepelného toku. V našem případě je $\text{grad } T = (T_2 - T_1) / d$ a hustota tepelného toku je

$$J_Q = \lambda (T_2 - T_1) / d.$$

Částí stěny o ploše S prochází tepelný tok

$$I_Q = \lambda (T_2 - T_1) \cdot S / d.$$

Za ustáleného stavu je tedy jak hustota tepelného toku, tak i tepelný tok danou částí stěny úměrný teplotnímu rozdílu – ΔT .

Technická praxe zavádí tzv. plošnou tepelnou vodivost Λ definovanou vztahem

$$\Lambda = \lambda / d.$$

Pro ustálený tok tepla stěnou pak platí

$$I_Q = \Lambda S (t_2 - t_1).$$

Součin $\Lambda S = G_T$ se nazývá tepelná vodivost. Při užití tepelné vodivosti je ustálený tok tepla stěnou vyjádřen vztahem

$$I_Q = G_T (t_2 - t_1). [3]$$

1.3.2 Šíření tepla prouděním

Hustota tepelného toku při konvekci se určí z Newtonova ochlazovacího zákona:

$$q = \alpha \cdot \Delta t = \alpha (t_2 - t_1) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

resp. Tepelný tok:

$$Q = q \cdot S = \alpha S (t_2 - t_1) \quad [\text{W}]$$

kde α je součinitel přestupu tepla určovaný z kritériálních rovnic, t_2 je teplota stěny, t_1 je teplota tekutiny a S je velikost teplosměnné plochy. Kritériální rovnice nacházíme v literatuře

nejčastěji ve tvaru $Nu = f(Re, Gr, Pr, \dots)$, kde

$$Nu = \alpha L / \lambda \quad \dots \text{Nusseltovo číslo}$$

$$Re = w L / \nu \quad \dots \text{Reynoldsovo číslo}$$

$$Pr = \nu / a = \eta c_p / \lambda \quad \dots \text{Prandtlovo číslo}$$

$$Gr = \gamma \Delta t g L^3 / \nu^2 \quad \dots \text{Grashofovo číslo}$$

$$Pe = wL / a = RePr$$

V těchto vztazích je L charakteristický rozměr, ν je kinetická viskozita, η je dynamická viskozita, γ je součinitel objemové roztažnosti, Δt je teplotní diference stěny a okolní tekutiny.

Kriteriální rovnice mají různý tvar pro různé případy konvekce beze změny skupenství, kdy rozlišujeme případy volné a nucené konvekce. Podobně i pro případy konvekce se změnou skupenství rozlišujeme kriteriální rovnice pro var, respektive kondenzaci. Často používaná rovnice pro přirozenou konvekci v neomezeném prostoru má tvar

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n,$$

kde konstanty C a n závisí na hodnotě součinu $Gr \cdot Pr$ podle tabulky:

| Gr.Pr | C | N |
|----------------------------------|-------|-------|
| $< 1 \cdot 10^{-3}$ | 0,450 | 0,000 |
| $1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^2$ | 1,180 | 0,125 |
| $5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$ | 0,540 | 0,250 |

| | | |
|----------------------------------|-------|-------|
| $2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13}$ | 0,195 | 0,333 |
|----------------------------------|-------|-------|

Pro nucené proudění v trubce nacházíme kritériální rovnice nejčastěji ve tvaru

$$Nu = f(Re, Pr, L/d)$$

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot (L/d)^p$$

A příslušné konstanty C, m, n, p závisí na režimu proudění. [4]

1.3.3 Šíření tepla sáláním

Teplotní vyzařování. Látkové objekty všech skupenství jsou obecně již od nízkých teplot zdroji elektromagnetického záření, a to v důsledku fluktuací nabitých částic působených tepelným pohybem v látce. Protože vysílané záření závisí všeobecně svou intenzitou i jinými vlastnostmi na teplotě zářiče, označujeme ho názvem teplotní záření a příslušný děj nazýváme teplotní vyzařování.

Kirchhoffův zákon. Schopnost těles vysílat teplotní záření souvisí z hlediska termodynamiky úzce s jejich schopností toto záření pohlcovat. Přesvědčuje o tom následující rozbor.

Přenos zářivé energie W_e kvantitativně vyjadřujeme veličinou zářivý tok (výkon) $\Phi = dW_e/dt$, popř. hustotou zářivého toku $\varphi = d\Phi/dS$. Stejnou definicí jsou určeny intenzita vyzařování M na povrchu zářiče a intenzita záření E na povrchu tělesa, na něž záření dopadá. Z dopadajícího zářivého toku Φ se tělesem odráží (reflektuje) část Φ_r , pohlcuje (absorbuje) Φ_a , a propouští (transmituje) Φ_t . Toto rozdělení vyjadřují poměrné veličiny

odrazivost $R = \Phi_r / \Phi,$

pohltivost $A = \Phi_a / \Phi,$

propustnost $T = \Phi_t / \Phi. [2]$

2 Rozvaděč RM6 24kV pro průběžný rozvod

Zvolené zařízení je rozvaděč s typovým označením RM6 a může být použit až do 24kV. Jedná se rozvaděč využívaný v průběžném rozvodu, je to jednotka kombinující vysokonapěťové funkční jednotky. Umožňuje připojit, napájet a chránit jeden nebo dva transformátory v kruhové nebo paprskové síti.

Může být použita kombinace odpínač – pojistka do 2000kVA a nebo vypínač s ochranou s vlastním napájením do 3000kVA.



Dalším využitím této jednotky je v rámci provozu distribuční sítě, kdy může toto zařízení sloužit jako dodatečný spínací bod doplněný k VN rozvodně pro eliminaci vlivu poruchy na soustavu. Zde existují varianty s 2,3 nebo 4 – směrným připojením a opět s variací vnitřních elektrických přístrojů podle použití, s vypínačem 630 A pro ochranu vedení, s odpínačem pro spínání anebo s integrovaným zdrojem pro napájení dálkového ovládání.

3 Analýza výpočtů

4 Závěr

V této práci jsem se věnoval vysvětlení problematiky šíření tepla. Teoretická část je zaměřena na konkrétní způsoby šíření tepla. Další část je stručný popis zvoleného zařízení.

Z důvodu existence podobného tématu, jsem musel změnit návrh elektrického zařízení, které jsem bohužel díky jeho rozmanitosti nedokázal zpracovat a ani analyticky vyřešit. Simulace se mi nepodařilo namodelovat, jelikož se jednalo opravdu o velmi komplikované zařízení. Nepodařilo se mi tedy získat ani žádný výstup z programu Fluent, jenž považuji za poměrně komplikovaný, ale určitě se jedná o kvalitní nástroj pro řešení problematik v rámci oteplení.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektrické přístroje 1, Rusňák S., Řezáček P., SNTL v Plzni, 2001
- [2] Základy technické fyziky, Horák Z., Práce, Praha 1955
- [3] Elektrotepelná technika, Josef Rada, SNTL, Praha 1985
- [4] <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/teorie/T10-01.pdf>

Přílohy