

SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN LOW-VOLTAGE SWITCHBOARD MNS

Aleš Czudek

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xczude03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Vyroubal

E-mail: xvyrou02@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: The content of this work is the diagnosis of the temperature profile of industrial low voltage switchboards. Place of origin, flow and heat dissipation are important aspects in the design of the cabinet, particularly with regard to the layout of your devices. The correctness of the design cabinet can be verified by measuring the temperature field practical cabinet during testing or in work mode. Another option is to simulate the temperature profile of the low voltage. This can prevent waste of materials and saving money for the development.

Keywords: SolidWorks, Flow Simulation, PDM, PLM, CAD, ABB, SACE, Emax, Emax 2, breaker, switchgear, simulation

1. ÚVOD

Pod pojmem rozvaděč nízkého napětí se rozumí elektrické zařízení s napětím do 1000V při střídavém proudu nebo 1500V s proudem stejnosměrným. Konstrukční i funkční provedení rozvaděče definuje norma ČSN EN 61439-1. Tato norma definuje také dovolené oteplování rozvaděče ale i parametry a postupy k měření teplotního profilu při testech. Oteplování se v současnosti testuje vždy u vyrobených prototypů, kde v případě neúspěšného testu je nutné změnit jeho konstrukční uspořádání a znovu vyrobit určité komponenty. Jedná se zejména o přípojnice, které do značné míry ovlivňují teplotu v rozvaděči. Z ekonomických důvodů by mohlo být výhodnější použití počítačových simulací s přesně nadefinovanými klimatickými podmínkami a dalšími parametry.

2. VZNIK TEPLA A JEHO VLASTNOSTI

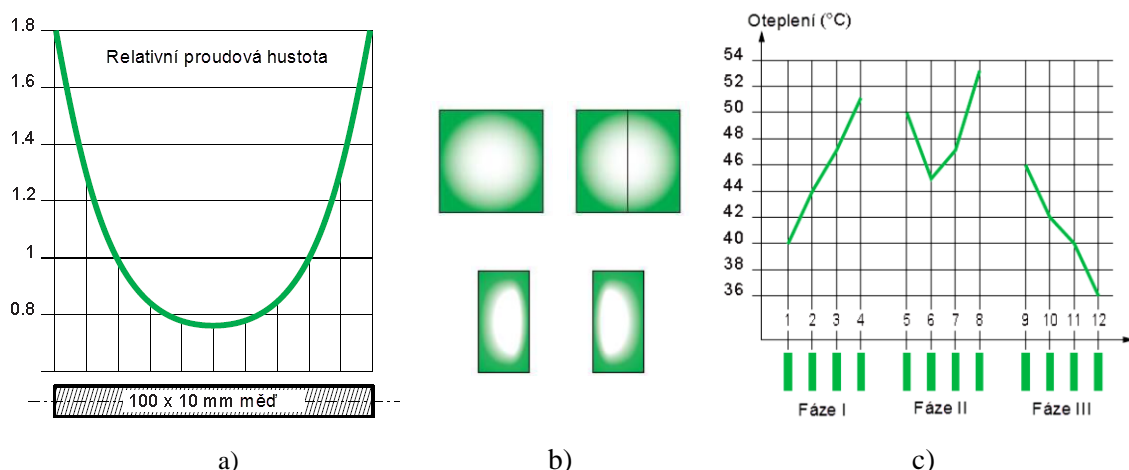
Teplota jako stavová veličina určuje stav termodynamické rovnováhy, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny. V praxi se však teplota těles a prostředí neustále mění, protože se vlivem přenosu tepla vzájemně ovlivňují. Přenos tepla mezi systémem a jeho okolím může probíhat různými způsoby. Popisují je mechanismy přenosu tepla vedením, prouděním nebo zářením, jež jsou obecně známé. Nárůst teploty v rozvaděči souvisí především se vznikem tepla, které vyzařují vodiče, v podobě ztrátového tepla (přeměna el. energie na tepelnou). Tyto tepelné ztráty jsou známé jako Joulovo teplo definované Joulovým zákonem a jsou závislé na odporu vodiče.

2.1. VLASTNOSTI VODIČŮ PŘI PRŮCHODŮ STŘÍDAVÉHO ELEKTRICKÉHO PROUDU

Ze zmíněného Joulova zákona lze vyvodit závislost odporu na výkonových ztrátách na vodiči. Odpor se ve vodiči dokáže dynamicky měnit v závislosti na jeho tvaru a délce. Mezi vlivy působící na oteplování vodiče patří protékající střídavý proud, který má ve vodiči tendence se vytlačovat k okrajům. Tento jev se nazývá Skin effect, tzv. povrchový jev. Vytlačováním střídavého proudu ve vodiči se zvyšuje proudová hustota na okrajích vodiče, a tím se zvyšuje odpor vodiče a dochází ke ztrátám elektrické energie měnící se v teplo vyzařované do okolí (Obrázek 1, a). Protékající střídavý proud vytváří kolem vodiče siločáry magnetického toku. Část tohoto toku prochází samotným

vodičem a indukuje v něm uzavřené vířivé proudy. Ty však v blízkosti středu vodiče mají opačný směr, než protékající proud a odčítají se od něj. K povrchu jsou směry souhlasné, čímž se proudy sčítají a podporuje se proudová hustota. Procházející proud a jeho hustota závisí jak na poloměru vodiče r , tak na čase t . V obrázku 1 a) lze pozorovat rozvržení proudové hustoty měděného vodiče o rozměrech 100 x 10 mm. Zvyšující se proudová hustota na okrajích vodiče vyvolává zvýšení odporu vodiče, což přispívá ke zvyšování výkonových a tím i tepelných ztrát.

Dalším jevem uplatňujícím se ve vodiči je jev blízkosti, tzv. Proximity effect. Ten nastává v případě, že je v blízkosti další vodič, kterým prochází elektrický proud.

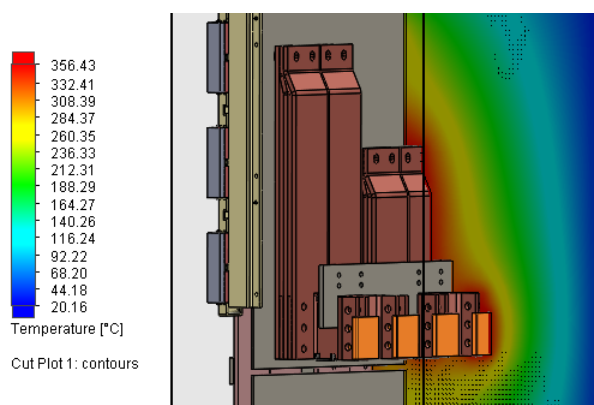


Obrázek 1: a) Proudová hustota ve vodiči obdélníkového průřezu, b) Znázornění Proximity effectu, c) Ohřev trojfázového vedení s plochými vodiči

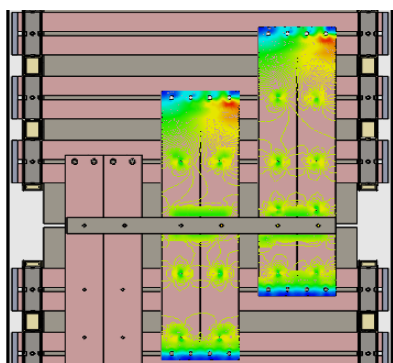
Jev lze popsat pomocí obrázku 1 b), na němž je znázorněno rozložení proudové hustoty na rozpůleném a celistvém vodiči. Při rozpůlení vodiče se proudová hustota mění se vzdáleností vodičů od sebe. V případě, že vzdálenost mezi vodiči je vyšší než 3 násobek délky hrany původního průřezu vodiče, je proudová hustota rozpůlených vodičů vyrovnaná jak na vnitřních, tak na vnějších stranách vodičů. Tento poznatek je důležitý u několikafázových přípojníc, které jsou umístěny blízko sebe. Popsané jevy jsou důležitými parametry při návrhu a umístění přípojníc v rozvaděči. Při jejich optimálním návrhu lze předejít jejich nadměrnému oteplování (obrázek 1 c).

3. SIMULACE OTEPLOVÁNÍ ROZVADĚČE

Simulace teplotního profilu rozvaděče jsou prováděny v programu SolidWorks, což je v současnosti jeden z nejuspěšnějších a zároveň velmi používaných strojírenských 3D CAD systémů. Doplňující nadstavbou programu SolidWorks je balíček Flow Simulation, který je určen pro komplexní simulace dynamiky tekutin a sdílení tepla. Je použitelný v nejrůznějších oblastech, jako je proudění plynu ve vzduchotechnice, kapalin v potrubí, analýza chlazení uzavřených prostorů, či exponovaných součástí, nebo externí aerodynamika. Mezi funkce patří také simulace vyzářovaného ztrátového výkonu, jež je důležitým parametrem při vyhodnocování výsledků simulací v tomto projektu (viz. Obrázek 3).



Obrázek 2: Příklad oteplení přípojníc v rozvaděči



Obrázek 3: vyzářené Joulovo teplo

Před samotným výpočtem simulace je potřeba model rozvaděče lehce upravit pro zjednodušení výpočtů. Úpravy závisí především na výkonových možnostech výpočetní techniky a také na času potřebného pro výpočty. Jednou z úprav je nahrazení konstrukce, skládající se ze složitých C profilů. Poté je nutné nasimulovat veškeré hlavní i dílčí podmínky, jež na rozvaděč během testu působí. Patří mezi ně především hodnota proudu protékajícího vedením, nebo i okolní teplota, vliv radiace, gravitace a jiné klimatické podmínky. Po jejich nastavení lze spustit výpočet simulace, který podle výkonu počítače může probíhat až desítky hodin, v závislosti na vhodném zjednodušení modelu.

4. MODULOVÉ ROZVADĚČE MNS

Simulace je prováděna na vyvíjených rozvaděčích MNS, což jsou inteligentní modulové rozvaděče firmy ABB. Hlavní části jsou vzduchové jističe ABB SACE EMAX 2. Moduly jsou zastoupeny komunikačními jednotkami, jež umožňují přímé ovládní a vizualizaci. Užití těchto rozvaděčů lze najít v energetice, například jako hlavní a podružný distribuční rozvaděč, v elektrárnách, na rafinériích, na vrtných ropných plošinách, na lodích, v průmyslových závodech, v úpravách odpadních vod atd. Dlouhodobou zkušenost s výrobou rozvaděčů má mj. firma ABB s.r.o. v Brně, se kterou je spolupracováno na tomto projektu.



Obrázek 4: Rozvaděč MNS [1]

5. ZÁVĚR

Počítačové simulace nejsou v průmyslu při vývoji rozvaděčů prozatím příliš rozšířené. Jejich aplikací lze při návrhu ušetřit hodně času a ve výrobě mnoho materiálu, což se odrazí v ekonomice podniku. Simulace zároveň řeší dovolené oteplování rozvaděčů definované zmíněnou normou.

REFERENCE

- [1] ABB Rozváděčové systémy - IEC. *NN rozváděče do 1000V* [online]. 2007 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.abb.com/product/cz/9aac100800.aspx>
- [2] ČSN EN 61439-1 ed.2. *Rozvaděče nízkého napětí: Část 1: Všeobecná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] DUCLUZAUX, A. SCHNEIDER ELECTRIC. *Cahier technique no. 83: Extra losses caused in high current conductors by skin and proximity effects*. AXESS - Valence, 2002. Dostupné z: <http://www2.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/electrical-know-how/general-knowledge/ect83.pdf>
- [4] SolidWorks. *SolidWorks* [online]. 2010 [cit. 2014-12-3]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks>