

VÁŠ DOPIS ZNAČKY / ZE DNE	NAŠE ZNAČKA	VYŘIZUJE / LINKA	DATUM
DFEL/Le/17 / 27.04.2017	22160/05/17 Sk	Skala /+420 377 634 473	10.05.2017

Věc : **Oponentský posudek disertační práce studenta**

Ing. Michal Svoboda – Implementace Condition Based Managementu
elektroizolačních systémů

1. Aktuálnost zvoleného tématu

V elektroenergetice je potřeba dosahovat trvale co nejvyšší spolehlivosti zařízení, protože každý výpadek v dodávkách elektrické energie znamená velké finanční ztráty. Tyto náklady jsou potřeba vynaložit nejen na opravu zařízení v podobě materiálu či mzdy pracovníků a případnou náhradu škod, ale především jsou to ztráty z nevýroby. Předkládaná práce se zabývá právě zvyšováním spolehlivosti elektroizolačních systémů a její význam pro obor i téma samotné je aktuální.

2. Splnění cílů práce

Na základě studentem provedených studií, rozborů, měření a jejich analýz lze konstatovat, že vytčených cílů práce

- Návrh metodiky výpočtu zbytkové životnosti
- Zpřesnění matematických modelů izolačního systému olej - papír
- Sestavení diagnostického systému pro online monitoring vybraných parametrů
- Návrh SW pro výpočet zbytkové životnosti izolačního systému
- Sestavení funkčního prototypu zařízení
- Ověření správnosti navržené metodiky v laboratorních podmínkách

bylo dosaženo.

3. Zvolené metody řešení

Student se v práci věnoval zejména exponenciálním modelům odolnosti izolačního systému olej – papír. Využíval FEM metody pro výpočet rozložení potenciálu ve složitých izolačních systémech výkonových transformátorů, dále MATLAB pro zobrazování grafů a závislostí a další, např. CAD systémy. K chemickým rovnicím a reakcím v izolačních systémech (s. 41, 42 a další) se bohužel nemohu zodpovědně vyjádřit.

4. Dosažené výsledky, původní přínos práce, nové poznatky

Původním výsledkem studentovy práce jsou koeficienty regresních exponenciálních modelů izolačních systémů pro jedno a dvojfaktorový model stárnutí transformátorové lepenky a různého impregnanu. Dále to je návrh a vývoj SW pro výpočet zbytkové životnosti izolačního systému. V neposlední řadě je to i experimentální určení třífaktorového modelu odolnosti elektroizolačního systému olej – papír a provedené ověřovací experimenty.

5. Přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Přínosem je zejména návrh a vývoj SW pro výpočet zbytkové životnosti izolačního systému, viz výše.

6. Formální úprava, jazyková úroveň

Po formální stránce je práce zpracována na velmi vysoké úrovni. Obrázky, grafy a schémata jsou zpracovány kvalitně. Práce je psána v českém jazyce. V práci je jen málo překlepů. Z typografického hlediska nemám vážnější připomínky, snad jen popis obrázků by měl začínat velkým písmenem, formátování čísel rovnic je na s.52 odlišné a popis obrázku 7 na s.25 přetekl na další stranu.

7. Publikace studenta

Dle uvedeného seznamu lze konstatovat, že student Ing. Michal Svoboda v letech 2010 až 2015 byl autorem nebo spoluautorem 54 domácích a zahraničních publikací. Klíčovou publikací je článek v IEEE Electrical Insulation Magazine. Lze proto konstatovat, že jádro vlastní práce bylo náležitě publikováno.

8. Dotazy a připomínky k práci

Formální připomínky

- s.9 Seřazení zkratk a symbolů není abecední, je uvedena společně latinka a řecká abeceda
- s. 10 překlep ve zkratce OD
- s.13, kap. 2.1, ř.3 „... zařízení hospodářské prostředky...“
- s.17, kap. 2.2 druhy údržby „... týchž mechanismů...“ není přesné vystižení popisované podstaty. Jak však plyne z dalšího textu vlastní práce, student problematiku chápe správně.
- s. 18, kap. 2.2.1, poslední věta Havárie je mezní stav. Podstatná je i ztráta z nevýroby.
- s. 24, 2 odst. shora Zde záleží na správném nastavení podmínky (nahodnocení, podhodnocení)
- s.49, kap. 4.5.2 překlep v 1.větě „... známe a používané...“. Dále „... jedné se taktéž...“
- s. 52 Odkaz na rovnici (1) na s.16 před soustavou rovnic (9) není správný
- s. 58 překlep v 2ř nad obrázkem „... vychází...“
- s.59, ř.6 překlep „...rozdálný...“ a dále v kap. 4.6., odst. 2 – autor má na mysli zřejmě vibrace, i když toto slovo ve větě chybí.
- s.74, 7ř zdola, překlep
- s. 76, 3ř, překlep
- s.78, 4.odst „ventilátory ani čerpadla“ - překlep
- s.80, 5 kapitola, ř.3 „... hodntoy...“

Věcné dotazy a připomínky

- s. 43 Z grafu je patrné pouze časové měřítko, nikoliv napěťové. Není šipka označující nárůst napětí orientována opačně?
- s.51 Oteplovací zkouška se provádí dvěma metodami. Bod dva ale popisuje POKRAČOVÁNÍ oteplovací zkoušky z bodu 1, nikoliv jinou metodu. Dále je zřejmě nesrovnalost v tom, že transformátor při U_n se zatěžuje proudem vyšším než jmenovitým, aby v něm byly „celkové“ ztráty. Prosím oteplovací zkoušky při obhajobě objasnit.
- s. 78 Lze využít ultrazvukovou detekci výbojové činnosti?
- s. 79 Proč se nepoužívá teplota 75 °C pro pracovní teplotu?

9. Doporučení k obhajobě

Téma práce odpovídá studovanému oboru disertace. Práce je zpracována na velmi vysoké technické i formální úrovni, je vidět velká pečlivost studenta. Na základě výše uvedených skutečností disertační práci na téma „**Implementace Condition Based Managementu elektroizolačních systémů**“ studenta Ing. Michala Svobody doktorského studijního oboru Elektrotechnika

doporučuji k obhajobě.



.....
Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

oponent

V Plzni dne 10.05.2017

V Praze 22. 5. 2017

OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Název: Implementace Condition Based Managementu elektroizolačních systémů

Autor: Ing. Michal Svoboda

Předkládaná dizertační práce je zaměřena na problematiku výzkumu metod pro sledování stavu izolačních systémů elektrických stojů za provozu v souvislosti s rozhodnutím o následné údržbě. Hlavní cíle dizertační práce spočívají v návrhu metodiky výpočtu zbytkové životnosti stroje pro nastavení preventivní údržby, výběru vhodných on-line diagnostických metod a realizace softwarového řešení systému a jeho částečného ověření v laboratorních podmínkách.

Zvolené téma dizertační práce je aktuální a respektuje současný trend v oblasti asset managementu elektroenergetických zařízení, který se stále více orientuje na sledování stavu strojů v reálném čase. S nárůstem autonomních systémů se zvyšuje množství sledovaných veličin, které lze s výhodou využít pro prediktivní metody odhadů zbytkové životnosti.

První část práce obsahuje na přibližně osmdesáti stranách poměrně široké spektrum problematiky konstrukce a diagnostiky transformátorů. Tato část práce je, dle mého názoru, zbytečně obsáhlá a občas není příliš zřejmá přímá provázanost na následující části práce. Například není úplně jasné, proč byly v práci podrobně uváděny jednotlivé diagnostické metody transformátorů a posouzení stavu izolačního systému pomocí health indexu, když v textu chybí popis jak jsou tyto metody implementovány v navrženém programu.

Ve druhé části práce jsou pak provedeny vlastní experimenty stárnutí vzorků izolačních materiálů a nakonec je navržen, realizován a ověřen software pro stanovení zbytkové životnosti stroje. Zde bych určitě uvítal o něco obsáhlejší rozbor publikovaných matematických modelů stárnutí izolačních systémů, kterých je celá řada. Vlastní experimenty stárnutí pro ověření na vzorcích izolačních materiálů považuji za zajímavé a důležité. V části věnující se programu ELMON I a ELMON II by bylo vhodné zmínit, která část programu je vlastní prací autora a uvítal bych také srovnání dosažených výsledků se zahraniční literaturou.

Za původní přínos dizertační práce pak považuji zejména návrh metodiky výpočtu zbytkové životnosti elektrických strojů a samotný návrh a realizaci programu pro on-line monitoring a výpočet zbytkové životnosti stroje. Tyto výsledky jsou důležité a cenné i pro možnou aplikaci v praxi.

Po formální stránce je práce na velmi dobré úrovni a splňuje všechny požadavky kladené na vědecké práce tohoto typu.

Publikační činnost autora dizertační práce považuji za nadstandardní. Po dobu svého studia je autorem či spoluautorem 53 publikací na tuzemských a zahraničních konferencích a spoluautorem jedné publikace v impaktovaném časopise.

K dizertační práci mám následující připomínky, které mohou být diskutovány v rámci obhajoby:

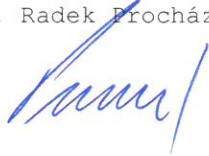
- Ve shrnutí dosažených výsledků je uvedeno, že nejvýznamnějším úkolem práce bylo nalezení metodiky pro hodnocení stavu izolačního systému stroje na základě on-line diagnostických metod. Z textu práce však tato metodika není příliš zřejmá, a proto by bylo dobré v rámci obhajoby tuto metodiku stručně popsat.
- Do jaké míry jsou pro provozovatele transformátorů výsledky odhadu zbytkové životnosti transformátoru pomocí navržené metodiky relevantní (zejména v souvislosti s prezentovanými výsledky na obr.

64, obr. 66 a obr. 68, kde je patrný velký rozptyl hodnot)? Jak má provozovatel přistupovat k údajím o zbytkové životnosti s přesností na několik desetinných míst (obr. 79), nebylo by lepší zahrnout vhodný statistický přístup?

- Z jakého důvodu nebyly experimentálně určeny a ověřeny modely odolnosti pro izolační systém s minerálním olejem?
- U stanovení regresních modelů stárnutí by bylo slušné uvést míru shody modelu s daty například pomocí R nebo R^2 parametrů.

Uchazeč prokázal schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Dizertační práce splňuje podmínky v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a s čl. 107 odstavec 1 a 2 Studijního a zkušebního řádu ZČU, a proto ji doporučuji k obhajobě.

doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.



Oponentský posudek disertační práce

Implementace Condition Based managementu elektroizolačních systémů

AUTOR: Ing. Michal Svoboda
STUDIJNÍ OBOR: Elektrotechnika
PRACOVNÍ MÍSTO: Fakulta elektrotechnická Západočeské univerzity v Plzni
ŠKOLITEL: doc. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.
OPONENT: Ing. Jiří Velek, vedoucí odboru Technická politika, ČEPS, a.s.,
Elektrárnská 774/2, 101 52 Praha 10

Disertační práce se zabývá problémem **Implementace Condition Based Managementu elektroizolačních systémů** (provoz a správa izolačních systémů na základě jejich diagnosticky zjištěného stavu). Jako reprezentativní příklad izolačního systému zvolil autor izolační systém výkonového transformátoru. V práci se zabýval nejen teorií degradace izolačního systému, ale i metodami jeho diagnostiky, odhadem zbytkové životnosti a v závěru popsal nástin počítačového programu, kterým by bylo možné stav izolace hodnotit. Autor využil většiny současně známých poznatků v oblasti diagnostiky izolačních systémů papír-olej a pokusil se vyvodit obecné závěry vedoucí k odhadu míry degradace izolace v závislosti na provozních faktorech.

Práce je relativně obsáhlá, obsahuje 116 stran a 17 stran příloh. Je členěna do šesti základních logicky řazených kapitol. První část se zabývá vytyčením úkolu a praktickými otázkami Asset Managementu (správy aktiv), strategiemi údržby, provozu, rozdělením četnosti a predikcí poruch. Další část podává přehled teorie degradace elektroizolačního systému a konstrukce modelů životnosti. Zatímco první část dává znát mírný nedostatek praktických zkušeností v oblasti provozování a správy strojů, její závěry jsou vesměs správné a vystihují zásadní problémy, se kterými se provozovatelé setkávají. Nejobsáhlejší část práce se zabývá konstrukcí, provedením, diagnostickými metodami a faktory, které ovlivňují kvalitu izolačního systému a způsoby měření jejich účinků. Zde se pozitivně uplatňuje dosavadní praxe doktoranda v oblasti výkonových transformátorů. V dalším se práce zabývá experimenty a modelováním odolnosti elektroizolačních systémů. Je popsáno několik vlastních experimentů týkajících se stárnutí izolačního systému ve ztížených podmínkách. Z nich jsou odvozeny matematické modely odolnosti, které v závěru práce slouží jako podklad pro tvorbu programu Elmon, který na základě on-line monitorovaných hodnot a zadávaných výsledků pravidelné diagnostiky určuje rychlost stárnutí a odhadovanou zbytkovou životnost izolačního systému. Tato část osvědčuje schopnost autora k samostatné výzkumně-vývojové činnosti.

a) Význam disertační práce pro obor:

Moderní prostředky monitorování provozu investičně náročných a maximálně spolehlivých zařízení, jakými jsou v oblasti přenosu s rozvodu elektrické energie výkonové transformátory,

stále více pronikají do praxe. S tím roste snaha o maximální využití poskytovaných dat k prevenci a predikci poruchových stavů. Stanovené očekávané životnosti transformátorů je extrémně složitá úloha, jejíž úspěšné řešení závisí na mnoha různých více či méně předvídatelných faktorech, které vycházejí z historie provozu stroje. V posledních letech se všichni velcí výrobci snaží nabídnout různé systémy, které by dokázaly poradit provozovateli staršího zařízení, jak dlouho ještě může se svým zařízením počítat v bezporuchovém provozu. Z tohoto pohledu považuji předloženou práci za velmi aktuální a za významný příspěvek k řešení tohoto náročného úkolu.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle:

Doktorand vychází ve své práci z požadavků praxe provozovatelů, základních teoretických znalostí o mechanice stárnutí izolačních systémů, zevrubně popisuje jednotlivé metody diagnostiky a sběru dat pro další rozhodování, vytváří model stárnutí, který konečně překlápí do počítačového programu, poskytujícího reálné výsledky pro několik ověřených případů. Předložená práce je přísně logicky strukturovaná, využívá obecné metody pro praktickou aplikaci a splnila podle mého názoru plně určený cíl.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce:

Doktorand si předsevzal vytvoření modelu pro výpočet rychlosti stárnutí izolačního systému a následně určení zbytkové životnosti stroje. Ačkoliv rychlost stárnutí je okamžitá veličina závislá víceméně na okamžitém způsobu provozu stroje za určitých podmínek, zbytková životnost musí vzít v úvahu historická data, předchozí způsob provozování, provozní historii zatížení a oprav stroje, případné regenerace oleje apod. Tím je spolehlivé určení zbytkové životnosti složité a obvykle méně přesné. Pro přesné určení zbytkové životnosti je třeba počítat s desítkami faktorů a mnohdy i s daty, která jsou v praxi někdy velmi těžko dostupná. Přesto oceňuji přínos této disertační práce k tvorbě prakticky využitelného prostředku pro řízení provozu transformátorů jako významný a práci jako původní.

d) Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce:

Jak jsem už uvedl výše, práce má velmi jasnou logickou stavbu, řešení problému je velmi dobře členěna do jednotlivých kapitol, které na sebe logicky navazují. Vyjadřování je velmi dobré, dobrá je i jazyková úroveň textu. Práce je přehledná a srozumitelná.

e) Vyjádření k publikacím studenta:

Autor uvádí rozsáhlý seznam pramenů (použitá literatura) – celkem 121 publikací z celého světa. Tento seznam sloužil nejen jako podklad pro předloženou práci, ale je účinnou podporou každému, kdo se bude v dané problematice chtít dobře orientovat.

Vlastní publikační činnost autora je též celkem rozsáhlá - čítá 54 příspěvků zejména na odborných konferencích a symposiích konaných v České a Slovenské republice, vesměs na téma elektrické izolace. Nechybí ani práce, které autor vykonal v průběhu studia – bakalářská a diplomová práce. Mezi publikacemi jsou však i příspěvky na mezinárodních setkáních odborníků a články do uznávaných periodik, např. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2014.

f) Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje či nedoporučuje disertační práci k obhajobě:

Práce dostatečně osvědčuje schopnost autora řešit nové problémy, pracovat s odbornou

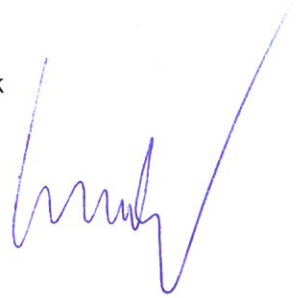
literaturou, vyvozovat závěry a aplikovat je do vlastní práce včetně provádění a vyhodnocení vlastních experimentů, je původní a prokazuje schopnost vlastního myšlení.

Podle mého názoru práce splňuje všechny požadavky, které se na doktorskou disertační práci kladou, a proto ji

jednoznačně doporučuji k obhajobě.

V Praze, dne 22. 5. 2017

Ing. Jiří Velek



Otázky:

- 1) Na straně 16 uvádíte zjednodušené schéma výroby, přenosu a rozvodu el. energie (předpokládám, že v ČR). Přenosová soustava je charakteristická úrovní napětí 400 a 220 kV a distribuční soustava pracuje na napětích 110kV, 22kV (místy i 35kV), a posléze na napětí 0,4kV. Nechybí tedy v obrázku ještě jedna transformační vazba?
- 2) Na straně 22 – popisek grafu označuje interpretaci doby do poruchy tzv. frekvenční křivkou a distribuční funkcí (křivkou). Můžete to blíže vysvětlit?
- 3) Tabulka na straně 53 uvádí tři koeficienty (x, y, z) pro přepočet hot spot teploty při nedosažení proudového zatížení při oteplovací zkoušce. Můžete blíže vysvětlit jejich použití?