

OPONENTSKÝ POSUDOK

na doktorandskú dizertačnú prácu Ing. Martina Širůčka pod názvom: „Zlepšování parametrů výkonových transformátorů“

1. Všeobecné poznatky a aktuálnosť témy

Doktorand Ing. Martin Širůčka vypracoval a predložil v študijnom odbore „Elektrotechnika“ dizertačnú prácu pod názvom „Zlepšování parametrů výkonových transformátorů“.

Dôležitú úlohu pri prenose a distribúcii elektrickej energie hrajú vysokonapäťové transformátory. Vznik poruchy na transformátore a jeho odstávka vyvolá nie len prerušenie dodavky elektrickej energie k spotrebiteľovi a veľké ekonomické škody, ale môže spôsobiť aj ekologickú katastrofu. Preto považujem tému dizertačnej práce za vysoko aktuálnu. Využitie prírodných esterov ako náhrada minerálnych olejov znižuje riziko ekologických katastrof. Sledovanie stavu izolačného systému olej-papier umožňuje určiť stupeň zostarnutia a tým zvyškovú životnosť transformátora.

2. Splnenie cieľov dizertačnej práce

Ciele práce sú popísané prehľadne a zrozumiteľne. Pri skúškach na izolačnom systéme olej-papier boli zvolené vhodné parametre, poukazujúce na kvalitu izolačného systému a zistené ich limitné hodnoty. Bol preskúmaný vplyv elektrického namáhania na životnosť papierovej izolácie impregnovanej vybraným minerálnym olejom a vysokobiologický odbúrateľnou kvapalinou. Výsledky meraní je možné použiť na stanovenie zvyškovej životnosti výkonových transformátorov. Základné ciele práce sú splnené v plnom rozsahu.

3. Zvolené metódy spracovania

K riešeniu danej problematiky doktorand pristupoval správne. Veľmi dôkladne preštudoval súčasný stav problematiky o čom svedčí množstvo použitej literatúry. V teoretickej časti podrobne opísal jednotlivé zložky izolačného systému olej-papier a vplyv degradačných činiteľov na elektroizolačné vlastnosti. V experimentálnej časti zvolil vzorky pevnej izolácie a impregnačných kvapalín, ktoré následne podrobil meraniam. Všetky merania boli vykonané podľa príslušných medzinárodných a národných noriem. Pri vyhodnotení výsledkov meraní ako po tepelnom tak aj elektrickom namáhaní dokázal ich správne interpretovať a využiť na stanovenie kritériálnych hodnôt.

4. Výsledky dizertácie a prínos práce

Využitie výsledkov dizertačnej práce má veľký význam pre diagnostiku vysokonapäťových transformátorov, pre monitorovanie stavu ich izolačného systému

a určenie zvyškovej životnosti transformátorov. Za prínos práce z pohľadu využitia perspektívnych olejov považujem návrh metódy určenia kritériálnych hodnôt pre vybrané diagnostické parametre týchto olejov. Z pohľadu diagnostiky výkonových transformátorov za hlavný prínos považujem matematické vyjadrenie elektrickej relatívnej rýchlosti starnutia a kombinovanej relatívnej rýchlosti starnutia izolačného systému olej-papier s minerálnymi a perspektívnymi olejmi.

5. Formálna úprava dizertačnej práce

Formálna úprava dizertačnej práce je na veľmi dobrej úrovni. Jednotlivé kapitoly logicky na seba nadväzujú. Pri vypracovaní práce doktorand vhodne použil odbornú literatúru. Ako pripomienku môžem uviesť, že v Prílohe 1 str.1/5 na obr.41 je zobrazený 3fázový transformátor a nie 1fázový ako je napísané pod obrázkom.

Otázky na doktoranda:

1. Pri elektrickom namáhaní izolačného systému olej-papier ktorá z týchto zložiek je viac elektrický namáhaná? (pozri str.21)
2. Na str.31 je napísané, že stupeň polymeracie nesmie klesnúť pod 200. Nie je to príliš nízka hodnota?
3. Na str.38 obr.7 – prečo pri degradácii papierovej izolácii impregnovanej minerálnym olejom nedochádza k vzniku oxidu uhličitého?
4. Prečo oleje na báze prírodných esterov vykazujú vyššiu generáciu nosičov elektrostatického náboja v porovnaní s minerálnymi olejmi? (pozri Príloha 3 str.5/15).

6. Vyjadrenie k publikáciám

Výsledky svojej práce doktorand prezentoval ako autor a spoluautor v 31 publikáciách. Publikoval v domácich a zahraničných vedeckých časopisoch, na domácich medzinárodných a zahraničných vedeckých konferenciách. Takýto počet publikácií svedčí o množstve výsledkov jeho práce. Doktorand Ing. Martin Širůčka je spoluriešiteľom výskumných projektov riešených na katedre, o čom svedčí jeho spoluautorstvo na záverečných správach.


7. Záver

Záverom môžem skonštatovať, že dizertačná práca Ing. Martina Širůčka v plnej miere spĺňa požiadavky kladené na doktorandské dizertačné práce. Preto predloženú dizertačnú prácu

– odporúčam –

k obhajobe a navrhujem po jej úspešnom obhájení udeliť jej autorovi akademickú hodnosť doktor.

V Košiciach 13.01.2014


prof. Ing. Irida Kolcunová, PhD.
oponentka práce



Oponentský posudek disertační práce

Zlepšování parametrů výkonových transformátorů

Autor: Ing. Martin Širůček, ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření

Recenzent: doc. Ing. Pavel Mach, CSc., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie

Dizertační práce je zaměřena na studium degradace nejrozšířenějšího druhu elektroizolačního systému olej-papír. Aktualita zpracovávaného tématu je nesporná. Přestože tento klasický systém byl mnohokrát studován a popsán, stále zde zůstává řada problémů souvisejících se vzájemnou provázaností dílčích degradačních mechanismů. To vede ke stavu, kdy jednotliví uživatelé volí různé přístupy k pravidelným kontrolám, a to jak v čase kontrol, tak v počtu a typu sledovaných diagnostických parametrů.

Práce je obsáhlá, obsahuje 115 stran základního textu a 53 stran příloh (systém stránkování příloh mi však zcela uniká). Je členěna do 9 kapitol včetně úvodu a závěru a doplněna přílohami.

V první kapitole autor popisuje současný stav v oblasti elektroizolačních systémů transformátorů a dále jsou stanoveny cíle práce. Prvním z nich nalezení nejvhodnějších diagnostických parametrů a jejich limitních hodnot u elektroizolačních systémů olej-papír s vysoce biologicky odbouratelnými kapalinami u výkonových transformátorů. Druhým cílem je stanovení vlivu různých druhů elektrické degradace na životnost elektroizolačních systémů olej-papír s minerálními oleji a vysoce biologicky odbouratelnými kapalinami a využití těchto znalostí ke stanovení zbytkové životnosti výkonových transformátorů. U jednotlivých cílů byly také stanoveny dílčí kroky, které povedou k jejich splnění.

V další části práce autor charakterizuje jednotlivé složky elektroizolačního systému. Po této části následuje část zaměřená na typy degradace elektroizolačního systému olej-papír. Je podrobně popsána tepelná degradace, elektrická degradace a chemická degradace.

Dále se autor zabýval diagnostikou výkonových transformátorů. Jsou uvedeny typy diagnostiky a diagnostika elektroizolačních kapalin. Zde končí kompilační část práce. Autor využil ke zpracování této části značný objem literatury, která je vhodně citována. Tuto část, která tvoří základnu k vlastní experimentální a diagnostické práci, považuji za velmi dobře zvládnutou.

V další části práce autor uvádí přípravu, realizaci a způsoby vyhodnocení provedených experimentů. Vhodně stanovil elektrické a neelektrické parametry, které byly zahrnuty do diagnostiky. Při stanovování testovacích podmínek využíval autor řady norem, což považuji, s ohledem na význam jak normalizovaných postupů, tak stanovení zatěžovacích a někdy i limitních hodnot, za velmi správné.

V další části práce se autor zaměřil na vliv elektrické degradace na elektroizolační systém olej-papír. Realizoval degradaci síťovou frekvencí a pulzním střídavým napětím a sledoval změny u elektroizolačního systému na bázi jednoho minerálního a jednoho perspektivního oleje.



V závěru práce doktorand hodnotí splnění vytyčených cílů a přínos práce pro danou vědní oblast a pro praxi.

Připomínky:

1. Na str. 75 nahoře je uvedena rovnice $\ln t = 1/T_{exp} * A + \ln B$. V této rovnici neudává sklon přímky člen $\ln B$, jak je uvedeno, ale parametr A , který je tangentou úhlu, který svírá přímka s osou x .
2. Za kapitolu k další diskuzi považuji kapitolu 6.3, kde autor diskutuje určení kritériálních hodnot parametrů perspektivních olejů a snaží se logickým postupem transformovat teploty doporučené normou IEEE na teploty použitelné pro normu IEC. Zmiňovaná norma IEEE [78] se však týká „IEEE Guide for Loading Liquid-Immersed Step-Voltage and Induction-Voltage Regulators“ a dle mého názoru se týká zatěžování uvedených typů regulátorů, nikoli samotných izolačních kapalin. Naopak norma citovaná v další kapitole [119] se již perspektivních olejů týká.
3. Na str. 65 dole autor uvádí, že hranice mezi dobrým a vyhovujícím stavem oleje bude určena jako 50 % doby, kdy dojde k dosažení maximální určené limitní hodnoty ($\tan \delta = 8 \%$) a zmiňuje, že hodnota 50 % byla zvolena na základě limitní hodnoty pevnosti v tahu sloužící pro určení životnosti elektroizolačního systému olej-papír dle ČSN 60076-7. Jak pevnost v tahu souvisí s hranicí mezi dobrým a vyhovujícím stavem oleje?
4. Vztahy v obr. 38 neodpovídají vztahům (7.4-2) a (7.4-3)
5. V kapitole 8 jsou uvedeny některé závěry jako obecné, tyto závěry jsou však učiněny nad jedním minerálním a jedním perspektivním olejem. Proto je tyto závěry nutné vztáhnout k těmto dvěma olejům, nikoli je prezentovat jako obecné.

Závěr

Práce je rozsáhlá, je psána dobrým jazykem s minimem chyb a má kvalitní grafickou úpravu. V práci je velmi dobře zpracována rešeršní část postavená na značném objemu citované literatury i neméně kvalitní experimentální část. Oceňuji, že doktorand při zpracování práce akceptoval řadu norem pro oblast dané problematiky, a tím vytvořil práci použitelnou u výrobců daných strojů. Doktorand vykonal značný objem experimentální práce a prokázal, že je schopen úspěšně aplikovat teorii na výsledky experimentální činnosti.

Disertace splnila stanovené cíle, doktorand prokázal schopnost práce s literaturou, značnou teoretickou erudici i experimentální zručnost. Výsledky, které získal, jsou nové a budou přínosné i pro praxi. Mé připomínky nesnižují kvalitu práce.

Předloženou doktorskou disertační práci proto

doporučuji k obhajobě.


Doc. Ing. Pavel Mách, CSc.

V Praze dne 14. ledna 2014

Oponentní posudek na disertační práci

Ing. Martina Širůčka

„Zlepšování parametrů výkonových transformátorů“

S odborným zájmem jsem se podrobně seznámil s předloženou prací, jejíž fundovanost, hloubka a rozsah převyšují standardní požadavky na obdobná díla. Současně jde o aktuální problematiku důležitého prvku systému elektroenergetiky, jimiž jsou výkonové transformátory nejen v sítích vln 50 Hz, ale i v aplikacích stejnosměrného přenosu energie.

Disertant se zaměřil na potenciálně frekventovaný zdroj poruch, jímž bývá elektroizolační systém s cílem práce nalézt možnosti k zajištění spolehlivého chodu systému cestami materiálových variant, diagnostických metod k nasazení účinné preventivní údržby, predikce životnosti a v důsledku toho k hlubšímu ekonomickému pohledu na funkčnost transformátoru v provozu. Úměrně cíli práce jsou přehledně nahlíženy i ostatní konstrukční uzly a obvody stroje.

Výzkum a experimentální rozsah jsou též iniciovány výzkumnými záměry elektroenergetiky (ČEZ, ČEPS), konkrétně zkoumání interaktivních dějů v elektroizolačních systémech, v nalezení elektroizolačních kapalin šetrných k životnímu prostředí a ve vytvoření systému provozní údržby.

Tyto požadavky vyžadují nově stanovit kritériální hodnoty diagnostických parametrů rozhodovacích procesů a to jak z aktuálního stavu stroje, tak i z měření v časových intervalech. Do úvahy jsou brána on-line i off-line diagnostická měření.

Charakteristickými pasážemi práce jsou pak relativní rychlost stárnutí elektroizolačního systému pro určení zbytkové životnosti, souvislost životnosti s podstatnými degradačními parametry, dále kombinovaná relativní rychlost stárnutí, varianty řečeného pro namáhání 50 Hz i pro vf generující se od napěťových pulzů a to vše pro různé srovnávané druhy minerálních a biologicky odbouratelných olejů s různými druhy pevné izolace dvousložkového systému.

Je vidno, že experimentální rozsah práce je značný, podpořený teoretickými analýzami a statistickým srovnáním na vysoké úrovni matematické statistiky. Výstupy jsou výsledné, výpovědischopné a numericky a graficky velmi přehledné. Je evidentní, že disertant pronikl do zpracovávané tematiky s nezvyklou hloubkou a odborností, výstup jeho práce je průmyslově použitelný.

A nyní k jednotlivým obligatorním bodům posudku.

1. Zhodnocení významu práce pro obor:

- k dosavadním kritériálním parametrům pro hodnocení izolačních materiálů dostává obor jejich hodnoty získané na základě experimentů,
- je prezentován ucelený diagnostický systém spolu s metodikou relativní rychlosti stárnutí a to pro elektrickou a tepelnou degradaci,
- výsledky jsou implementovány do systému údržbové činnosti,
- byla podáno nově na základě předchozího porovnání a diskutována možnost užití neminerálních olejů se stávajícím a doporučena jejich aplikace ve specifických aplikacích,
- nově je prezentována degradace vf napětím pulzního namáhání ve srovnání se sinusovým 50 Hz průběhem a podána adekvátní materiálová doporučení.

Významem pro obor je novum a průmyslová využitelnost výsledků experimentů.

2. Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Teoretická zdůvodnění zde předchází rozsáhlý experiment, jde o aplikovaný výzkum systematicky vedený.

Metody řešení jsou adekvátní dobré úrovni disertace, oceňuji vyhodnocení experimentu exponenciálními a mocninnými modely a nasazení metod matematické statistiky.

Stanovený cíl byl naplněn.

3. Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Výsledky práce považuji přínosné pro obor, cenné je doporučení vystačit v prvním přiblížení v hodnocení parametrů kapalné složky dvousložkového systému a doporučení orientace na vyjmenované parametry v degračním mechanismu.

Původnost práce je zdokumentována na str. 96 a 97 a souhlasí s mým vyjádřením k bodu 1.

4. Vyjádření k systematice, přehlednosti a formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce
K tomuto bodu nemám nejmenších námitek a odkazuji se na kladné hodnocení v úvodu tohoto posudku.

5. Vyjádření k publikacím studenta

Rozsáhlý je seznam studované i použité literatury (130 titulů) a značný a plně dostatečný je rozsah (vesměs spoluautorských) publikací autora (31 titulů) i v prestižních mezinárodních uvedeních.

Z důvodů uvedených hodnotím disertační práci Ing. Martina Širůčka jako dílo vysoké úrovně v oboru využitelné a **doporučuji je k obhajobě.**

V Plzni dne 8.1.2014

Ing. Lumír Šašek, CSc.