

OPONENTSKÝ POSUDEK

disertační práce Ing. Antonína Předoty

„Modelování rázových jevů ve vinutí transformátoru“

Předložená disertační práce Ing. Antonína Předoty, studenta doktorského programu na Fakultě elektrotechnické ZČU se zabývá problematikou modelování rázových jevů ve vinutí transformátorů.

Metoda, která je předmětem řešení práce, je původní autorskou metodou disertanta a má všechny předpoklady stát se pro obor konstrukce a navrhování vinutí elektrických strojů nesporným přínosem, jak je rovněž podrobněji uvedeno i ve 4. odstavci tohoto posudku

Návrh vinutí elektrických strojů je vždy podřízen celé řadě specifických kritériálních požadavků, z nichž požadavek odolnosti vůči elektrickému namáhání napět'ovými impulzy, obvykle atmosférického charakteru, je jeden z nejdůležitějších a zároveň na řešení nejkomplicovanější. To vyplývá z vlastního charakteru atmosférických impulzů, z velké strmosti čela, různé doby trvání týlu, mnohdy dokonce přerušené v těsné blízkosti dosažení vrcholu a následného nelineárního počátečního rozložení napětí přecházejícího ve vlastní kmity vinutí.

Tato komplikovaná problematika je pak u většiny výrobců řešena aplikací empirických postupů v kombinaci s příslušnými softwarovými prostředky, jejichž použitelnost však často není schopna obsáhnout celou šíři požadavků a potřeb. Potenciální uvedení autorem navržené a vypracované metody by tak mohlo přispět k rozšíření prostředků konstruktéra zejména pro případy řešení často specifických a nestandardních požadavků zákazníka.

Nemalým problémem u všech výpočetních metod však stále zůstává správné stanovení parametrů charakterizujících vinutí a vkládaných do výpočetních procesů, jak rovněž autor správně v práci poznamenává. I tady by byl prostor pro další činnost autora v pojednávané oblasti.

V souvislosti se zaměřením i potenciálně přínosnou orientací navrhované metody doporučuji její rozsáhlejší praktické ověření na reálných případech návrhů vinutí zejména u velkých strojů. U většiny výrobců existují u řady realizovaných vinutí experimentální studie „rázových“ poměrů k takovému účelu využitelné. Srovnání výsledků by jistě bylo přínosem. V souvislosti s navrhovaným doporučuji z mého hlediska zamyslet se nad formou grafické prezentace výsledků metody numerického řešení. Pro praktické využití mi 3D grafy připadají poněkud nepřehledné.

Celkově autor Ing. Antonín Předota předloženou prací jednoznačně prokázal odpovídající teoretické znalosti, schopnost samostatné tvůrčí práce i schopnost vytvářet v oboru původní a přínosné výsledky. Svědčí o tom jak obsah předkládané práce, tak i odborné publikace dokladující šíři zájmu autora o pojednávanou problematiku.

Práce je systematicky a přehledně uspořádána, úpravou i stylisticky splňuje požadavky kladené na tento typ prací.

Práci d o p o r u č u j i k obhajobě.

Některé drobné připomínky k práci:

- přiřazení barev průběhů na obr. 6.3 a 6.4 v textu na str. 61 práce neodpovídá realitě na obrázcích
- časová osa 3D grafu na obr. 6.8 je obráceně?
- poněkud nevhodně jsou v souvislosti s pojednávanou problematikou uváděny na několika místech v práci (např. i v Závěru) termíny: stav vinutí „*naprázdno a nakrátko*“. To v souvislosti se stavem vinutí (transformátoru) představuje terminologii pro jinou specifickou situaci. Pro obor vyšetřování „*rázových pochodů*“ jsou používány termíny: *vinutí s volným nebo uzemněným koncem*.
- „*Spínací impulz*“, tak jak je na straně 36 v práci definován, není používán pro transformátory (ČSN EN 60076-4)

Témata k diskusi:

- konstruktéra vinutí často více než napěťové namáhání míst ve vinutí proti zemi (kostře) zajímají napěťové rozdíly v kritických místech. Jaké informace může navrhovaná metoda poskytnout v tomto směru?

V Plzni, 5. února 2012


Jan Hruza



FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

Katedra elektromechaniky a
výkonové elektroniky

Západočeská univerzita
FEL, děkanát

Univerzitní 8
Plzeň
306 14

VÁŠ DOPIS ZNAČKY / ZE DNE	NAŠE ZNAČKA	VYŘIZUJE / LINKA	DATUM
DFEL/Le/12	22160-01/01/12	Skala /+420 377 634 473	16.01.2012

Věc : **Oponentský posudek disertační práce studenta**

Ing. Antonín Předota – Modelování rázových jevů ve vinutí transformátoru

1. Aktuálnost zvoleného tématu, význam práce obor

Znalost rozložení rázového napětí na vinutí transformátoru je důležitá zejména pro určení maximálních hodnot napětí a následný návrh izolačního systému i ochran transformátoru. V současné době se tyto údaje určují na základě experimentálních výsledků, získaných zejména při typových zkouškách transformátorů. Touto cestou lze optimalizovat provedení vinutí a izolační systém transformátoru. V případě, že transformátor zkoušce nevyhoví a musejí se dělat úpravy, se však jedná o postup velice nákladný. Předkládaná práce však poskytuje způsob, jak lze rozložení rázového napětí modelovat a na základě výsledků případnou úpravu vinutí rovnou navrhnout před jeho výrobou.

Simulace, jejich zpřesňování a vyšetřování vlastností transformátorů v kritických a poruchových stavech je problematika nanejvýš aktuální.

2. Splnění cílů práce

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

- *Vytvoření modelů vinutí transformátoru pro řešení rázových jevů pomocí obvodu s rozprostřenými parametry*
- *Sestavení algoritmu pro numerický výpočet*
- *Určení časoprostorového rozložení napětí a proudu ve vnutí a zjištění jejich maxim pro různé druhy rázových vln a různé provozní stavy vinutí*
- *Ověření různých modelů vinutí*
- *Modelování vinutí s prostorově proměnnými parametry*
- *Modelování soustavy zdroj rázového napětí + vedení + vinutí transformátoru*
- *Měření rozložení rázového napětí v transformátoru*

bylo dosaženo.

Jak plyne z vlastní disertační práce, student se seznámil s odbornou literaturou a aktivně se účastnil různých konferencí. Tím získal jistý přehled o dané problematice Na základě těchto vědomostí student navrhl strukturu simulačních modelů, realizoval a vyhodnotil několik experimentů a z těchto učinil příslušné závěry.

3. Zvolené metody řešení

Student se v práci věnoval nejen analytickým metodám řešení, ale využíval velmi významně i podporu počítače, numerických metod a dále pak simulační SW. Velkou zkušenost prokázal i v praktické oblasti, kdy měřením verifikoval výsledky simulací.

4. Dosažené výsledky, původní přínos práce, nové poznatky

Student v práci úspěšně vyřešil model vinutí s rozprostřenými parametry a to dokonce i s prostorově proměnnými parametry. Tyto modely je možné použít pro vstupní napěťové pulzy různých parametrů. Kladně hodnotím velmi pečlivé zpracování jednotlivých modelů vinutí, které studentovi zabralo mnoho času. Vybrané modely a simulace byly verifikovány experimentálně a tím bylo zajištěno detailní naladění jejich parametrů.

5. Přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Přínosem pro rozvoj vědy a techniky je zejména modifikované náhradní schéma transformátoru, použité pro simulace namáhání napěťovým pulzem. Velký význam přikládám i variabilitě sestavení modelu, protože je tím možné respektovat různé druhy vinutí transformátorů. Práci jistě ocení zejména výpočtáři ve firmách, navrhující velké transformátory.

Proto na tomto místě opět zdůrazňuji význam práce, tj. nalezený způsob, jak lze rozložení rázového napětí modelovat a na základě výsledků případnou úpravu vinutí rovnou navrhnout před jeho výrobou.

Dalším přínosem je i model pro soustavu transformátor + vedení.

6. Formální úprava, jazyková úroveň, přehlednost, systematicčnost

Po formální stránce je práce zpracována na velmi vysoké úrovni. Obrázky, grafy a schémata jsou zpracovány kvalitně. Překlepy jsou zcela ojedinělé a nijak nesnižují kvalitu práce. Z typografického hlediska též nemá vážnějších připomínek.

7. Publikace studenta

Dle seznamu publikací, uvedeného v disertační práci, lze konstatovat, že student v roce 2007-2011 byl autorem nebo spoluautorem 21 publikací. Z toho je výlučným autorem 5 tuzemských a 3 zahraničních publikací a spoluautorem dalších 5 tuzemských a 6 zahraničních publikací. Proto lze konstatovat, že jádro práce bylo prezentované dostatečně. Zejména významné jsou publikace označené v práci jako A1, A2 a A9.

8. Dotazy, poznámky a připomínky k práci

Str. 21 - jak byly stanoveny parametry vinutí, použité pro výpočet ?

Navržený model je lineární. Lze v takto navrženém modelu respektovat i případné nelinearity, jako je např. vznik korony?

Poznámka:

Parametry vinutí byly získávány z literatury, resp. naladěním modelu na experimentální výsledky. To však bylo provedeno pro jistý typ rázové vlny. Jestli takto naladěný model bude poskytovat správné výsledky, odpovídající realitě, i pro jiný typ a tvar rázového napětí - to by bylo vhodným rozšířením práce v budoucnu.

9. Doporučení k obhajobě

Na základě výše uvedených skutečností písemnou práci „Modelování rázových jevů ve vinutí transformátoru“ doktoranda Ing. Antonína Předoty doktorského studijního oboru „Elektrotechnika“ na Fakultě Elektrotechnické v Plzni

V Plzni dne 16.1.2012

doporučuji k obhajobě.



Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

oponent

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Ing. Antonína Předoty

„Modelování rázových jevů ve vinutí transformátorů“

Aktuálnost tématu a splnění cíle

Doktorská disertační práce Ing. Antonína Předoty je zaměřena na problematiku, která je z teoretického i praktického hlediska předmětem výzkumu již několik desetiletí. V posledních letech je aktuální využití moderních technik a programových nástrojů, což umožňuje sledovat jevy ve vinutí transformátorů i pro různé tvary vstupních napětí, pro proměnné parametry vinutí i jejich různá zakončení, což má nesporný značný praktický význam. Do tohoto trendu zapadá i předkládaná disertační práce.

Obsah a dosažené výsledky jsou plně v souladu s cíly deklarovanými v jejím úvodu.

Metodika a postup řešení

Disertační práce je psána v českém jazyce a má celkový rozsah 72 stran včetně všech obvyklých seznamů a příloh.

Práce je členěna do 6 hlavních kapitol s předcházejícím úvodem, za nimiž následuje závěr a seznamy literatury. Již zde bych rád poukázal na nadstandardní počet 19 příspěvků, publikovaných autorem, z nichž naprostá většina je věnována problematice pojednávané v disertační práci.

V úvodu a následující první kapitole autor výstižně a zasvěceně zdůvodňuje význam této problematiky a chronologický vývoj používaných metod i dosažených výsledků v této oblasti, přičemž cituje publikace skutečně i zcela nedávné, což svědčí o jeho přehledu o aktuálním dění v tomto oboru.

Po vytyčení cílů práce se ve třetí kapitole věnuje formulaci rovnic pro numerické řešení rázových jevů ve vinutí transformátorů, odvození numerického algoritmu a prezentuje výsledky numerických řešení časoprostorových rozložení napětí a proudů pro různé tvary vstupních napěťových impulzů.

V kapitole čtvrté autor předkládá návod k numerickému řešení modelů rázových jevů ve vinutí transformátorů, které umožňují respektovat proměnnou mezizávitovou kapacitu a indukčnost vinutí i respektovat svod kapacitní vazby.

V kapitole páté je model transformátoru rozšířen o obdobný model s rozloženými parametry napájecího vedení.

Konečně v poslední šesté kapitole je uvedeno porovnání naměřených a předloženou metodikou simulovaných časoprostorových odezev na transformátorové tlumivce naprázdno napájené fázovým napětím ve tvaru atmosférického impulzu a výsledky měření a simulace průběhů vstupního a výstupního napětí trojfázového transformátoru pro atmosférický pulz. Výsledky měření a simulací vykazují v obou případech velmi dobrou shodu.

Originální nové poznatky

Předkládaná disertační práce obsahuje řadu nových poznatků, obsažených zejména v kap. 4 a 5.

Jedná se o metodiku a výsledky simulací respektující konkrétní provedení vinutí v kap. 4. Vytvořený numerický model tak umožňuje modelovat nehomogenní vedení s definovaným rozložením hodnot mezizávitových kapacit a indukčnosti vinutí i respektovat svody kapacitních vazeb.

V kap. 5 je uvedeno, jak je možno do modelu transformátoru zahrnout i model napájecího vedení, rovněž respektující jeho rozložené parametry. Takovýto model potom umožňuje zpřesnit návrh ochranných prvků (přepět'ových ochran a svodičů přepětí) na vstupu transformátoru.

Formální a jazyková úprava práce

Disertační práce obsahuje všechny potřebné náležitosti. Je účelně strukturovaná, jednotlivé kapitoly obsahují přiměřené množství vhodně komentovaných zobrazení výsledků simulací a měření i výstižná dílčí zhodnocení. Po gramatické i stylistické stránce nemám práci co vytknout, což nebývá ani u doktorských disertačních prací zcela samozřejmé.

Publikační aktivita autora práce

Již dříve zmíněná nadprůměrná publikační aktivita autora obnáší: 5 příspěvků v domácích i zahraničních časopisech a 14 příspěvků na domácích a zahraničních konferencích. Z těchto celkem 19 příspěvků je Ing. Antonín Předota u 8 z nich jediným autorem.

Dotazy a náměty do diskuse při obhajobě doktorské disertační práce:

- autor při simulacích i měření uvádí vždy parametry vinutí transformátoru a napájecího vedení bez dalších komentářů, i když v kap. 5 v závěru konstatuje, že podmínkou získání věrohodných výsledků při simulacích je dobrá znalost skutečných parametrů; bylo by zajímavé, kdyby se autor při obhajobě k této problematice blíže vyjádřil (užívané metody, přesnost, apod.);
- autor na několika místech uvádí poměr maximálního napětí v určitém místě vinutí (a za určitých podmínek) k jeho velikosti na vstupu vinutí; existuje nějaké pravidlo (zákon, omezení, praktické zkušenosti) pro maximální velikost tohoto poměru?
- bylo by možno obdobným způsobem přistupovat k řešení vlnových jevů také u vinutí strojů točivých (zejména trojfázových) a jaké tam lze očekávat rozdíly a problémy?

Závěr

Předkládaná disertační práce Ing. Antonína Předoty je věnována aktuální problematice a přináší řadu nových vědeckých poznatků, formálně byla zpracována na vysoké úrovni a její základní části již byly dostatečně publikovány. Proto se domnívám, že práce splňuje požadavky kladené na úroveň disertačních prací podle č. 111/1998 Sb. § 47 a **doporučuji** ji tudíž k obhajobě.

V Praze 20. 1. 2012


prof. Ing. Viktor Valouch, CSc.