

Oponentní posudek disertační práce

Ing. Vladislav Sít'ář

TVORBA MODELOVACÍCH ANALYTICKÝCH NÁSTROJŮ V OBORU ELEKTROENERGETIKY S DŮRAZEM NA OBLAST SPOLEHLIVOSTI A PROVOZU VENKOVNÍCH VEDENÍ.

a) *Zhodnocení významu disertační práce pro obor.*

Práce, která se zabývá tvorbou nových modelů pro elektroenergetiku v simulačním nástroji DYNAST, je pro obor významná. Díky rozvoji výpočetní techniky lze pomocí modelování řešit celou řadu problémů oboru. Nástroj DYNAST patří mezi další simulační programy a katedra s ním pracuje dlouhodobě. Pro jeho lepší využívání je tak rozšíření knihovny modelů nezbytností.

b) *Postup řešení, použité metody a splnění určeného cíle.*

Jelikož řešení přechodných dějů probíhá v okamžitých hodnotách, byly zde nejprve sestaveny indikátory efektivní hodnoty. Není pravda, že EMTP-ATP tento indikátor nemá, je tvořen prostředky TACS. Dále u indikátoru jalového výkonu bude problém s vlivem deformačního výkonu v obvodu s harmonickými. U modelu s konstantní RL zátěží není obvodový důvod pro vznik oscilací, viz Obr. 5.5. Patrně matematický problém bude také u dalších paralelních spojení. Model třífázových transformátorů vyhoví při symetrických aplikacích, ale pro nesymetrické stavy by bylo nutno respektovat rozložení indukčních toků v závislosti na provedení magnetického obvodu. Aplikací metody MAF pro modely vedení obešel student nemožnost provádění maticových operací v DYNAST a tím rozšířil stávající modely vedení o modely vícefázové. Dělení modelů podle napěťových hladin mi sice nepřijde šťastné, je to zřejmě tradice programu, ale nesouhlasím s tvrzením, že modely vedení nízkého napětí jsou v DYNAST kvalitnější než v jiných programech, jak uvádí shrnutí. Právě třeba EMTP-ATP má v modelech vedení svou silnou stránku.

Přes uvedené drobné připomínky postupoval student systematicky, použil odpovídajících metod a cíle své práce splnil. Následně bude možno při využívání nově vytvořených modelů provádět jejich úpravu a verifikaci, třeba i pomocí jiného softwaru.

c) *Výsledky disertační práce a původní konkrétní přínos předkladatele.*

Program DYNAST má omezenou knihovnu modelů, kterou student doplnil o nové i zpřesněné modely. Popis těchto modelů a některá srovnání s jinými programy uvádí předložená práce.

d) *Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce.*

Kapitoly práce jsou logicky členěny podle typů modelů a celá práce je přehledná. Mám pár poznámek k formální stránce psaní textu, kde není užívána kurzíva pro zápis veličin, fázor by měl být podtržen a nejsou zaokrouhlena čísla u výpočtů v kapitole 4.

e) *Vyjádření k publikacím studenta.*


Citace použitých zdrojů obsahuje 74 pramenů týkajících se řešené problematiky, což je určitě postačující. 18 publikací, kde je student spoluautorem a které se věnují problematice

modelování a vznikaly rovnoměrně v průběhu studia, ukazuje na systematickou práci v uvedené oblasti.

f) *Vyjádření oponenta zda doporučuje práci k obhajobě.*

Posudek mohu uzavřít jednoznačným vyjádřením, že práce splňuje požadavky na disertační práci, a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Ostravě 21. 10. 2015


oponent doc. Dr. Ing. Věslav Mach

OPONENTNÍ POSUDEK

Na disertační práci Ing. Vladislava Sítáře v oboru Elektroenergetika na Fakultě elektrotechnické ZČU.

a) Zhodnocení významu disertační práce pro zvolený obor

Oponovaná disertační práce je zaměřena na matematické modelování funkčních vlastností reálných elektrizačních soustav. Disertant ve své práci navázal na své odborné znalosti v oboru simulace chování elektrizačních sítí, které zřejmě získal, když využíval osvědčené výpočetní programy zahraniční provenience, jako např. EMTP-ATP, PSCAD, PSS/E, MATLAB a Simulink společně s příslušnými knihovnamí matematických modelů částí elektrizačních soustav. Jelikož je využívání uvedených komerčních programů dosti nákladné, pokusil se tyto programy nahradit simulačním programem DYNAST, vypracovaným na ČVUT v Praze, který lze využívat bezplatně.

Program DYNAST se již osvědčil v řadě oborů, avšak jeho využití při projektování a simulaci elektrizačních sítí zatím známo není. Pro tento účel v programu Dynast dosud chybí potřebné matematické modely chování mnohých reálných částí elektrizačních soustav.

Ing. Sítář uvádí, že za cíl své disertační práce, si vytknul odstranění uvedeného nedostatku programu DYNAST.

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

Aby splnil zvolený cíl, Ing. Sítář ve své práci vypracoval náležité matematické modely kompatibilní s programem DYNAST pro široký sortiment částí elektrizačních sítí, jako jsou různé zdroje elektrické energie včetně fotovoltaických, přístroje pro měření nejrůznějších elektrických veličin, lineární, nelineární i časově proměnné zátěže, představující různé spotřebiče včetně elektrického oblouku, svodiče a také nejrůznější typy transformátorů. V disertační práci nechybí ani modely úseků venkovních vedení jedno i vícefázových jak NN, tak i VN a VVN. U některých modelů disertant uvažuje i závislost jejich parametrů na okolní teplotě modelovaných reálných částí.

c) Vyjádření k postupu řešení problému, k použitým metodám a ke splnění určeného cíle.

Při vytváření matematických modelů uvažovaných částí disertant uplatnil své bohaté teoretické znalosti a mipořádnou pracovitost. Zvolil přitom náležitý systematický postup, spočívající v následujících aproximačních krocích:

- Vymezení geometrického prostoru, který modelovaná reálná část zaujímá v prostoru simulované soustavy
- Přiřazení souřadného systému prostoru modelované části
- Identifikace fyzikálních jevů, které chování jednotlivých částí ovlivňují
- Odvození rovnic modelu části na základě příslušné fyzikální teorie
- Numerické řešení rovnic matematického modelu části, jehož výsledkem jsou průběhy veličin, charakterizující modelované chování části
- Ověření matematického modelu části porovnáním uvedených průběhů s průběhy naměřenými na reálné části

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a k jejímu původnímu konkrétnímu přínosu

Splněním cíle, uvedeného výše, předložená disertační práce má šanci vytvořit potenciální standard pro všestrannou a nenákladnou simulaci širokého sortimentu elektrorozvodných sítí.

Autor vytvořil velmi přístupný a všestranný standardní a snadno použitelný nástroj pro projektování sítí, který je hoděn náležitě zveřejnění a rozšíření.

d) Stanovisko oponenta k systematickosti, přehlednosti, formální úpravě a k jazykové úrovni disertační práce

Při odvozování matematických modelů reálných částí disertant ve své práci postupoval velmi systematicky, neboť uplatnil následující postup:

Vyšetřování určitého chování těžké fyzikální soustavy vyžaduje různé matematické modely, z nichž každý má své oprávnění v určitém oboru své platnosti, *který závisí zejména na*

- volbě veličin charakterizujících chování modelované soustavy
- požadované přesnosti výpočtu těchto veličin
- předpokládaném maximálním rozkmitu veličin
- předpokládané maximální rychlosti změn veličin
- časovém intervalu, pro který je model určen

Jedinou kritickou připomínku mám k formální úpravě některých obrázků uvedených v práci, v nichž disertant (zřejmě pod vlivem Simulinku) sloučil elektrická schémata se schémata blokovými. Zatímco elektrická schémata symbolizují fyzikální podstatu částí, bloková schémata fyzikální podstatu ignorují a graficky znázorňují jen bezrozměrné vztahy. Prosím, aby disertant vysvětlil rozdíl mezi významem slova *port* jak je chápán v Simulinku a jak v elektrických schématech. Jinak je práce napsána velmi pečlivě.

e) Vyjádření k publikacím disertanta

Oceňuji, že podle seznamu vlastních publikací, který autor ke své disertaci přiložil, že se v rámci různých příležitostí snažil výsledky své práce publikovat a postupně je tak podrobovat odborné diskuzi a kritice. Navrhuji, aby se v rámci obhajoby své disertace zmínil o ohlasu na své publikace ze strany národní a mezinárodní odborné komunity.

f) Doporučení oponenta k obhajobě disertační práce

Vzhledem k obsahu, rozsahu i odborné úrovni, předloženou **disertační práci vřele doporučuji k obhajobě.**

Pro případ, že by Ing. Sít'ář plánoval nadále pokračovat ve svém výzkumu v oboru modelování a simulace elektrifikačních sítí, doporučuji mu uvážit možnost vytváření matematických modelů částí sítí, a to v podobě ucelené stavebnice tzv. submodelů částí pro program DYNAST. Domnívám se, že by tímto způsobem simulaci elektrifikačních sítí jejich uživatelům ještě více zpřístupnil.



Doc. Ing. Heřman Mann DrSc,
Katedra elektrických pohonů a trakcí,
Elektrotechnická fakulta ČVUT

POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Oponent: **doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav elektroenergetiky

Autor: **Ing. Vladislav Sít'ář**

Název: **„Tvorba modelovacích analytických nástrojů v oboru elektroenergetiky**

s důrazem na oblast spolehlivosti a provozu venkovních vedení“

Předložená disertační práce Ing. Vladislava Sít'áře je zaměřena na problematiku modelování vybraných částí a prvků elektrizačních soustav a jejich následnou aplikací v rámci řešení úloh z reálných distribučních sítí.

V úvodní části práce je představeno téma práce, uvedena velmi stručná informace o současném stavu a jsou vydefinovány cíle práce.

Dále již následují jednotlivé kapitoly (4 až 9) zaměřené vždy na modelování určitého prvku či sestavy prvků v prostředí DYNAST. Ve vybraných kapitolách autor porovnává výsledky simulací vytvořených modelů s výsledky jiných simulačních sw (Matlab, EMPT/ATP), případně s hodnotami získanými z reálných měření.

V kapitole 10 je na třech případech stručně dokumentováno použití vybraných vytvořených modelů pro řešení vybraných jevů v distribučních sítích.

V závěru práce je provedeno zhodnocení dosažených výsledků. Poslední část práce tvoří seznam literatury doplněný o vlastní publikace autora a přílohy.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Disertační práce je zaměřena na tvorbu modelů vybraných prvků elektrických sítí použitelných pro následné řešení ustálených i přechodných stavů, které se v sítích vyskytují. V současné době s rozvojem zdrojů rozptýlené výroby a navazujícím rozvojem dalších technických prostředků pro řešení negativních důsledků kolísajících toků výkonu v elektrických sítích a také v souvislosti se zvyšujícím se důrazem na spolehlivost dodávky elektrické energie nabývají modelování a simulace na významu a to zejména z důvodu možnosti ověření různých provozních stavů části elektrizační soustavy bez nutnosti nejprve systém fyzicky realizovat.

Z toho důvodu považují téma práce za **vysoce aktuální a současně velmi dobře využitelné v elektroenergetické praxi.**

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

Autor se při řešení práce zaměřil na obecný, volně dostupný simulační software DYNAST, pro který navrhl řadu modelů prvků elektrizační soustavy od měření efektivních hodnot, přes různé typy zátěží, svodiče přepětí, transformátory a venkovní vedení až po model elektrického oblouku využitelný také pro simulace obloukových poruch. Výsledné chování navržených modelů ve vybraných případech porovnal s výsledky získanými ze speciálních sw pro simulace v elektroenergetice, případně s měřením na reálných zařízeních.

Použitý **postup řešení problému považují za správný. Navržené modely vykazují dobré výsledky a jeví se jako využitelné jak v dalším výzkumu, tak i v praxi.**

Hlavním cílem práce definovaným v kapitole 3 bylo vytvořit matematické modely prvků elektrizační soustavy v simulačním softwaru DYNAST, a to zejména s důrazem na modely venkovních vedení. **Cíl práce byl splněn.**

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

Autor v práci vytvořil modely pro simulace zátěže, svodiče přepětí, transformátoru a venkovních vedení pro software DYNAST. Modely těchto prvků byly v původním simulačním prostředí obsaženy většinou pouze ve zjednodušené formě, často vylučující využití pro simulace jevů v elektrických sítích. Při návrhu modelů se potýkal jak s řadou problémů, tak i s řadou výzev daných zejména možnostmi sw DYNAST, kdy na jedné straně tento sw neumožňuje provádět operace v maticovém počtu a na druhé straně zase disponuje robustním výpočetním jádrem.

Za původní lze považovat zejména navrženou metodiku výpočtu kapacit dvojitých a vícenásobných vedení vysokého napětí pro simulační sw, které neumožňují provádět operace v maticovém počtu.

K práci mám následující připomínky:

- práce obsahuje překlepy a gramatické chyby; v řadě vět není dodržena shoda podmětu s přísudkem,
- některé obrázky (např. 6.7, 6.8) jsou hůře čitelné, písmo v obrázcích a schématech je nejednotné,
- str. 63 a 64 – vyskytují se zde dva obrázky s označením obr. 7.3 a současně odkaz v textu kapitoly 7.1 na str. 63 neodpovídá číslování,
- str. 63 – na čtvrtém řádku od konce je chybně uvedena hodnota omezujícího napětí,
- str. 67 – autor zde uvádí využití upravené vlny pro spínací impuls 250/2500 μ s na vlnu 250/25/2500 μ s; komentář a vysvětlující obrázek však chybí. Současně s ohledem na vysvětlení uvedené pak v kapitole 7.2 není zřejmé, jak bylo v kapitole 7.1 přistupováno k době půltýlu normalizované vlny,
- kap. 8.3 – je zde modelován třífázový dvouvinutý transformátor v zapojení vinutí Yy0 a Yd1. Dále je na str. 84 uvedeno, že průběhy napětí se neliší velikostí napětí, ale pouze fázovým posunem. Aby to platilo, je nutné upravit převod transformátoru. V textu toto ale zmíněno není.

K práci mám následující dotazy:

- Str. 46, poslední odstavec – autor diskutuje rozdíl mezi zdrojem použitým v modelu (zdroj o napětí 230V, 50Hz) a zdrojem použitým pro měření, který obsahoval vyšší harmonické v napětí (běžná síť 230V). Vzhledem k tématu práce bych předpokládal sjednocení zdrojů pro model a pro měření (použití zdroje bez vyšších harmonických v napájecím napětí pro měření; případně implementaci vyšších harmonických naměřených na síťovém napětí do modelu zdroje pro simulaci). Bylo něco z toho realizováno?
- Kapitola 6 – jsou zde rozebrány různé modely oblouku a z textu práce se jeví, že porovnání výsledků simulací je realizováno vizuálně s obrázky získanými z publikací (obr. 6.7 a obr. 6.8). Proč nebylo provedeno porovnávací měření, kde by autorovi byla detailně známa konfigurace měření a vlastnosti všech částí měřícího řetězce?
- Str. 74, první odstavec – autor zmiňuje, že modely pro atmosférická přepětí byly testovány v konkrétních obvodech se zátěžemi a vedeními. Jaké modely byly použity pro náhradu vedení v tomto případě?
- Str. 115 – autor uvádí: „Jedním z dílčích úkolů bylo také vyšetřit činnost distančních ochran pro dané stavy zemního spojení s vlivem odporu poruchy. Zde byl analyzován vliv velikosti odporu poruchy na správné vyhodnocení místa zemního spojení.“ O jaký typ sítě se

jednalo? Pro jaké typy poruch byla předpokládána činnost distanční ochrany, případně lokátoru, pokud je hovořeno o vyhodnocení místa zemního spojení?

Konstatuji, že **práce splnila zadaný cíl a obsahuje původní části s přínosem pro praxi.** Disertační práce je zpracována na **velmi dobré jazykové úrovni s velmi dobrou grafickou úpravou a stylizována formou umožňující pedagogické využití práce.** Uvedené připomínky jsou formálního charakteru.

V seznamu vlastních publikací je uvedeno 19 záznamů, z toho 2 kapitoly v knize, 14 článků na národních a mezinárodních konferencích, jeden časopisecký článek v recenzním řízení a dvě výzkumné zprávy.

Jádro disertační práce bylo dostatečně publikováno. Celkově považuji publikační činnost autora za nadprůměrnou.

Předložená disertační práce dokládá autorovy hluboké teoretické znalosti a schopnost aktivně využívat vědecké metody práce pro konkrétní řešení velmi aktuální technické problematiky.

Disertační práce plně splňuje požadavky kladené na doktorské disertační práce a proto ji v souladu s §47 zákona č.111/1998 Sb. **d o p o r u č u j i** k obhajobě před komisí pro doktorské disertační práce.

V Brně dne 3.3.2016



.....
podpis oponenta