

Analyza přenosu elektrické energie na kombinovaných vedeních

Obsah

V předložené práci se autor zabývá analýzou a modelováním vybraných jevů vznikajících při přenosu elektrické energie na trasách s paralelními vedeními o různých napětových hladinách. Jedná se o tematiku vysoce aktuální, poněvadž současný rozvoj elektrizačních sítí a rostoucí požadavky na přenášené výkony vedou k trvalému tlaku na výstavbu nových přenosových tras. Jejich plánování a realizace se však setkává se stále většími komplikacemi, a to nejen ve sféře společensko-ekonomické, ale dokonce už i politické.

Jednou z možností řešení této složité situace je zvýšení přenosových schopností stávajících tras. To lze (v určitých případech) zajistit i rekonstrukcí trasy a zvýšením její ampacity, například vyšším počtem potahů, a to i na různých napětových hladinách (zpravidla se zde jedná o dva i více potahů ZVN doplněných o několik potahů VVN). Chování takových tras, zejména v nestandardních provozních stavech, se ovšem dosti odlišuje od chování klasických vedení a řada vědeckých a vysokoškolských pracovišť po celém světě se nyní zabývá hodnocením příslušných jevů a návrhem preventivních opatření s cílem maximalizovat jejich bezpečnost a spolehlivost.

Práce o rozsahu 96 stran psaného textu je členěna následujícím způsobem: úvodních nečíslovaných 14 stran obsahuje titulní stránku, abstrakt s klíčovými slovy v českém a anglickém jazyce, následuje prohlášení a poděkování, poté obsah, seznam obrázků, seznam tabulek a seznam použitých symbolů a zkratk. Dále již pokračuje samotná práce o šesti kapitolách, závěr, seznam literatury a dvě kratší přílohy.

První kapitola (5 stránek) představuje úvod, v němž autor uvádí motivaci své práce, analyzuje současný stav ve výstavbě kombinovaných vedení a řešení problematiky související s jejich provozem ve světě i doma a formuluje cíle, jichž má být v práci dosaženo.

Ve stručné druhé kapitole (2 stránky) autor představuje možná technická řešení stožárů pro kombinovaná vedení s ohledem na různé vnější podmínky jako je údržba vedení, možné mechanické poruchy a přístup k jednotlivým vodičům. Jednotlivé varianty jsou ilustrovány schematickými obrázky a jsou zmíněny jejich základní výhody a nevýhody.

Třetí kapitola o 14 stránkách je věnována stanovení elektrického a magnetického pole v okolí takových vedení a hledání takových konfigurací fázových vodičů, jež minimalizují tato pole zejména v ochranném pásmu. Za tímto účelem jsou využity známé, poměrně jednoduché vztahy a metodika je poté využita pro zkoumání vlivu rozložení fázových vodičů u stožárů typu Donau a Dvojitý soudek v symetrickém a asymetrickém provedení. Pro další účely pak autor zkoumá vliv elektromagnetického pole přenosové soustavy na vodiče soustavy distribuční, zejména vliv indukovaných nábojů.

Čtvrtá kapitola o 15 stránkách se zabývá tvorbou matematických modelů kombinovaných vedení, a to i pro vedení netransponovaná (u čtyř paralelních linek je řešení transpozičního stožáru extrémně komplikované). Dílčí parametry potahů jsou určovány klasickým způsobem. S ohledem na charakter vyšetřovaných dějů autor se rozhodl využít modelu se soustředěnými parametry, kde induktivní a kapacitní ovlivňování dalšími vodiči respektuje přítomností proudových a napětových zdrojů. Nejprve zkoumá poměry na vedení ve zjednodušeném případě, kdy nahrazuje každý vodič pouze jedním gamma článkem a sestavuje jeho matematický model ve tvaru soustavy obyčejných diferenciálních rovnic. Poté nahrazuje každý vodič kaskádou více gamma článků, jejíž model je podobný, avšak se složitějšími koeficienty. Stabilitu získaného systému vyšetřuje pomocí vlastních čísel získaných matic. Na základě takto vytvořeného modelu pak vytváří program v systému Matlab.

V páté kapitole (29 stránek) je navržena metodika aplikována na vyšetření několika nestandardních přenosových stavů na modelovém vedení. Autor zde nejprve posuzuje vliv induktivních a kapacitních vazeb a poté řeší partikulární případy, mezi něž patří spínání jednotlivých linek během provozu, vybrané zkratové poruchy, opětovné zapínání či stanovení indukovaných proudů ve vypnutých linkách. Výsledky jsou ilustrovány tabulkami a řadou obrázků.

Zajímavá je šestá kapitola o 7 stranách, v níž autor řeší zvolenou úlohu vlastním programem v Matlabu a výsledky s velmi dobrou shodou porovnává s výsledky v Dynastu.

Ve dvoustránkovém závěru pak hodnotí dosažené výsledky a podává námět k další analýze rychlých přechodných dějů, jejichž řešení však již vyžaduje modely s rozprostřenými parametry.

Celkové zhodnocení, poznámky a komentáře

Tématika disertační práce je v současné době vzhledem k dalšímu rozvoji elektroenergetiky vysoce aktuální, jak nasvědčuje zájem mnoha zemí o možnosti kombinovaných přenosů elektrické energie. To potvrzuje i vědecká a publikační činnost řady výzkumných týmů z univerzitních a dalších akademických pracovišť.

Cíle práce podle mne byly splněny a přínos autora k rozvoji energetiky je nesporný. Autor vytvořil vlastní funkční model kombinovaného vedení, umožňující řešit řadu standardních i nestandardních provozních stavů, které zde mohou nastávat; tato řešení jsou nezbytná pro zajištění spolehlivosti přenosových a zejména distribučních linek. Na základě tohoto modelu napsal a odladil vlastní program v prostředí Matlab. Metody a postupy, jež autor ve své práci užil, jsou korektní a poskytují výsledky v souladu s fyzikální realitou.

Autor hojně využíval při studiu tématiky odbornou literaturu domácí i zahraniční provenience. Cituje celkem 32 prací, hlavně časopiseckých a knižních. V seznamu se přitom nacházejí i čtyři publikace, na nichž se jmenovaný podílel jako autor či spoluautor. Jádro práce bylo již publikováno dříve, a to v jednom impaktovaném časopise a ve sbornících řady domácích i zahraničních konferencí, z větší části v anglickém jazyce.

Disertační práce je čtivá, autor velmi dobře pracuje s textem a pro jeho způsob psaní je již zřejmý i určitý nadhled. Velmi dobře se orientuje v elektrotechnice, numerické analýze i v programování. Není pochyb o tom, že je schopen dále svou osobnost samostatně rozvíjet.

Po formální je práce celkem v pořádku (našel jsem asi 10 přelepů a drobných nepřesností), obrázky mají příkladnou kvalitu a jsou dobře vysvětleny. Právě tak dobře jsou zpracovány i tabulky.

K práci samotné mám následující dotazy:

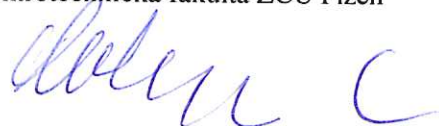
1. Vzhledem k rychlosti časových změn vyšetřovaných procesů autor využívá modelů se soustředěnými parametry, kdy je vedení nahrazeno jedním, nebo řadou kaskádně zapojených gamma článků. Jak se zlepšuje konvergence výsledků s počtem těchto článků? A lze nějak určit optimální počet dvojbranů vzhledem k rostoucí době výpočtů?
2. Jaký je podle autora vliv přítomnosti stožárů na získané výsledky? Stožáry ovlivňují ve své blízkosti jak elektrické, tak i magnetické pole vyvolané jednotlivými potahy do vzdáleností přesahujících i 10 m.
3. Nakolik může výsledky ovlivnit zjednodušený model zemních cest (země, zemnicí lana)? Existují v tomto směru nějaké kvalifikované odhady?

Závěr

Předloženou disertační práci pokládám za kvalitní a proto i přes výtku týkající se drobných formálních nedostatků jednoznačně doporučuji, aby byla přijata k obhajobě a aby po jejím úspěšném zakončení byl Ing. Tomáši Nazarcíkovi udělen titul Ph.D.

V Praze dne 24. října 2018

Prof. Ing. Ivo Doležel, CSc.
Elektrotechnická fakulta ZČU Plzeň



Oponentský posudek doktorské disertační práce

Autor: Ing. Tomáš Nazarčík
Školící pracoviště: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická
Téma: Analýza přenosu elektrické energie na kombinovaných vedeních
Oponent: RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.
ČEPS, a.s.

Zhodnocení významu práce pro obor:

Téma předložené disertační práce je v současné době aktuální, protože při výstavbě nových vedení ZVN a VVN se častěji volí způsob přestavby stávajících vedení na kombinovaná vedení. Problém vzájemného ovlivňování obvodů umístěných na stejných stožárech proto nabývá na významu. Význam práce pro vědní obor „Elektroenergetika“ vidím v získání nových poznatků o vzájemném ovlivňování obvodů kombinovaných vedení v různých provozních situacích, zejména při vybraných přechodových dějích. Pro analýzu těchto problémů autor vytvořil a verifikoval obecně použitelný matematický model. Poznátky získané z výpočtů na tomto modelu mohou významně přispět ke spolehlivosti provozu kombinovaných vedení.

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

Zvolený metodický postup odpovídá požadavkům na vědeckou práci. V úvodní části práce autor uvedl na základě literární rešerše přehled přístupů různých autorů k analýze přechodových dějů na kombinovaných vedeních. Konstatoval, že pro případ souběhu vedení přenosové a distribuční sítě (PS a DS) nebyla tato problematika významně analyzována, a proto se na ni dále zaměřil. V kapitole 1.3 formuloval šest dílčích cílů práce a postupně v práci prokázal jejich dosažení.

Postupoval od teoretických principů analýzy elektrického a magnetického pole v okolí vodičů na několika typech stožárů nesoucích kombinovaná vedení PS a DS a zhodnotil vliv typu stožáru a konfigurace fázových vodičů na intenzitu polí pod vodiči a mezi vodiči.

V další části práce sestavil matematický model vedení složený z kaskády dvojbranů, na němž prováděl numerické analýzy vzájemného induktivního a kapacitního ovlivňování obvodů v ustáleném stavu a při přechodném ději. K numerickému řešení vzniklého systému obyčejných diferenciálních rovnic použil nástroje Matlab. Pomocí tohoto modelu provedl a vyhodnotil řadu výpočtů na modelovém kombinovaném vedení, při nichž simuloval několik typů pomalých přechodových dějů (spínání, jednofázový zkrat, jednofázový OZ), pro které je použitelný model vedení se soustředěnými parametry.

Vybrané výsledky výpočtů verifikoval ještě simulacemi v prostředí Dynast, což po zjednodušení modelu potvrdilo dobrou shodu s předchozími výpočty. Porovnal rovněž výhody a nevýhody numerického řešení v Matlab oproti simulacím v Dynast se závěrem, že Matlab je pro hlubší analýzu výhodnější.

Hlavním cílem práce bylo vypracovat obecně použitelný matematický model kombinovaného vedení, který by bylo možné používat při analýze konkrétních provozních problémů vzájemného působení obvodů v souběhu několika vedení. Stanoveného cíle bylo v předložené práci dosaženo, model byl vytvořen a verifikován a autor jej rovněž použil k analýze konkrétních dějů. Výsledky výpočtů na modelu mu umožnily rovněž vyslovit některé závěry ke vzájemnému ovlivňování vodičů v různých provozních situacích.

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

Za hlavní původní přínos práce pro praktické obory elektroenergetiky považuji vytvoření matematického modelu kombinovaného vedení, na kterém je možné analyzovat problémy vzájemného ovlivňování vodičů v různých provozních situacích, což může významně přispět ke zvýšení spolehlivosti provozu sítí.

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

Práce má celkem 82 stran včetně přehledu literatury a příloh. Je rozdělena na 6 kapitol a systematicky postupuje od analýzy problému až k závěrům ze simulací na vytvořeném modelu. Práce

je sestavena přehledně s pečlivou formální úpravou a dobrou jazykovou úrovní. Několik nepřesností nebo překlepů nijak nesnižuje úroveň práce.

Vyjádření k publikacím předkladatele disertační práce:

V přehledu vlastních publikací autor uvádí celkem 22 položek, z toho 13 příspěvků na mezinárodních konferencích a symposiích a 1 článek v impaktovaném časopise. Úroveň publikační činnosti v rámci doktorského studia dostatečně prokazuje kvalitu vědecké práce autora.

Dotazy na autora práce:

1. Mají zkoumané situace vzájemného ovlivňování obvodů kombinovaného vedení vliv na působení ochran na jednotlivých vedeních? Je nutné tyto vlivy nějak kompenzovat při nastavování ochran?
2. Dotaz k obrázku č. 27, odpovídá některému konkrétnímu modelovanému případu?
3. Na straně 35 je diskutována možnost ztráty stability numerického procesu řešení soustavy diferenciálních rovnic. Setkal se autor ve svých modelových výpočtech s takovými případy, a jak je řešil?

Závěrečné hodnocení:

Podle mého soudu práce splnila stanovené cíle, obsahuje řadu nových poznatků a je přínosem pro vědní obor elektroenergetiky i pro praxi. Doktorand prokázal osvojení vědeckých metod práce, schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce v dané oblasti a schopnost aplikovat výsledky v praxi. Disertační práce splňuje obecně uznávané požadavky na úroveň doktorských disertačních prací. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci

doporučuji k obhajobě.



V Praze, 10.10.2018

RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.
ČEPS, a.s.
Elektrárenská 774/2
101 52 Praha 10

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 12.10.2018

ZCU 026213/2018

listy: 3 přílohy:

druh:



zcupes1134b93

Oponentský posudek disertační práce

Opponent's Review of PhD Thesis

Autor / Author: **Ing. Tomáš Nazarčík**

Název / Title: **Analýza přenosu elektrické energie na kombinovaných vedeních**

Oponent / Opponent: **doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.**

Katedra elektroenergetiky, ČVUT v Praze, FEL

a) Aktuálnost zvoleného tématu / Topicality of the Theme

Práce je zaměřena na modelování elektrických vlastností venkovních vedení přenosových a distribučních sítí. Autor se zaměřuje na vlivy kombinovaných stožárů, analýzu elektrických a magnetických polí v okolí stožárů a vytvoření obecného modelu kombinovaných vedení se soustředěnými parametry v časové oblasti.

b) Splnění sledovaného cíle disertační práce / Fulfilment of the PhD Thesis Objectives

Autor při řešení práce postupoval dle vědecké praxe. Nejprve se seznámil s potenciálně použitelnými možnostmi simulací, které zhodnotil a navrhnul postup modelování. Následně se zaměřil na vytvoření obecného modelu kombinovaných vedení se soustředěnými parametry v časové oblasti, posouzení vlivu induktivních a kapacitních vazeb mezi vodiči a analýzu poruchových i neporuchových přechodných dějů.

Cíle práce jsou formulovány následovně:

- Posouzení vlastností různých konstrukčních uspořádání kombinovaných stožárů
- Provedení analýzy elektrického a magnetického pole v okolí kombinovaného vedení s cílem nalezení optimální konfigurace fází
- Vytvoření obecného modelu kombinovaného vedení obvodem se soustředěnými parametry v časové oblasti
- Posouzení vlivu vzájemných induktivních a kapacitních vazeb mezi vodiči
- Provedení výpočtů poruchových a jiných přechodných dějů (zapínání/vypínání linky, zkratová porucha, cyklus opětovného zapnutí apod.)

Hlavní cíle jsou dále členěny do podcílů uvedených na str. 5 práce.

Všechny uvedené cíle pokládám za splněné, klíčové výstupy byly publikovány. Řada z uvedených cílů má již řadu let známé řešení.

c) Zvolené metody zpracování / Chosen Processing Methods

Metodologie práce odpovídá úrovni doktorské práce. Byly využity metody matematického modelování, autor vyšel z tradičních modelů pro výpočet polí zavedených v 70. letech a tyto rozšířil o výpočty v časové oblasti. Vzhledem k tomu, že moderní ochrany poskytují vhodné výstupy pro experimentální ověření uvedených modelů, práci by jistě prospělo toto ověření provést.

d) Výsledky disertace a nové poznatky / Results of the PhD Thesis and New Knowledge

Za originální výstupy autora pokládám nové nástroje uvedené v kap. 5.2 až 5.4 a dále kap. 6, tedy výpočty na modelovém vedení pro:

- Spínání linek během provozu
- Zkratové poruchy
- Cyklus jednofázového opětovného zapnutí
- Porovnání simulací v SW Matlab a Dynast

Použité modely prostředí Matlab a Dynast nejsou příliš detailně popsány a nelze tedy určit, zda se jedná o rozdíly způsobené odlišnými modely či odlišnými matematickými metodami, případně kombinací obojího.

e) Význam pro praxi nebo další rozvoj vědy / Importance for Practice or Further Development of Science

Práce přináší vědecky i prakticky uplatnitelné výstupy v oblasti modelování sdružených vedení při přechodných dějích.

f) Splnění podmínek samostatné tvůrčí vědecké práce a publikační činnost / Fulfilment of the Conditions of Independent Creative Scientific Work and Publishing Activities

Autor prokázal schopnost samostatné vědecké práce, publikační činnost je na dostatečné úrovni, požadavky kladené předpisy splňuje.

Závěrečné hodnocení / Final Assessment

- Pro zvolené cíle považuji zvolený postup a metody za v podstatě vhodné.
- Práce je přehledná, srozumitelná, má dobrou jazykovou úroveň a je velmi pěkně graficky vyvedena.
- Publikace doktoranda považuji za dostačující pro udělení titulu Ph.D.

Otázky k obhajobě:

- Co je míněno pojmem „frekvenční závislost země“ (str. 2)? Byly při výpočtech při přechodných jevech využívány frekvenčně závislé veličiny?
- Je Rüdbergův model vhodný pro přechodné děje? Jsou známy i jiné modely?
- Pro vyhodnocení hygienických požadavků je třeba uvažovat v čase maximální velikost vektoru magnetické indukce: bude se tato hodnota shodovat s autorem uvažovanou hodnotou podle rovnic (5) a (6)?
- Obr. 20 ukazuje zapojení nakrátko, proč?
- Nakolik je obecně správné uvažovat rázovou zkratovou impedanci (rovnice (55)) a pro jaké děje je vhodná?
- Porovnání řešení jednoho modelu ve dvou programovacích prostředích je vhodné pro verifikace správnosti řešení. Byly výstupy experimentálně ověřovány?
- Při řešení přechodných jevů (jako např. Obr. 46 str. 48 mezi 0,02 a 0,03 s) nemá v jistých intervalech frekvence dobrý smysl (obvodové veličiny nejsou periodické).

Práci doporučuji k obhajobě před příslušnou komisí a při její úspěšné obhajobě navrhuji udělit titul Ph.D.

V Praze 9.1.2019


doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 29.01.2019

ZCU 001919/2019

listy: 5

přílohy:

druh:



zcupes121f665