

Oponentský posudek

disertační práce ing. Jaroslava Šnajdra

„Dynamická proudová zatížitelnost vodičů přenosové soustavy“

Fakulta elektrotechnická, ZČU, 2015

Oponent: ing. Jiří Barták, CSc.

Disertační práce ing. Jaroslava Šnajdra je zaměřena na problematiku zatížitelnosti vedení i některých dalších prvků přenosové soustavy. Přenosová soustava ČR se navrhuje zpravidla tak, aby vyhověla i při všech nejnejpříznivějších provozních podmínkách. Při praktickém provozu tak vzniká určitá rezerva, která ale při standardních metodách řízení soustavy zůstává nevyužita. Cílem práce je stanovit podmínky pro dynamické řízení zatěžování elektrizační soustavy podle aktuálních podmínek.

Za cíle práce byly stanoveny tyto oblasti:

- Návrh a testování modelu tepelné bilance vedení PS
- Implementace modelu do řídicího systému provozovatele PS ČR
- Návrh metodiky dynamického stanovení proudové zatížitelnosti
- Využitelnost pro řešení nouzových stavů
- Zhodnocení vlivu vyššího zatížení na bezpečnost prvků v rozvodnách

Autor v prvních kapitolách stručně s důvody, proč se s proudovou zatížitelností vedení zabývat. Zvýšení přenosové schopnosti lze obecně dosáhnout několika koncepčními, technickými i investičními prostředky. Avšak to jsou finančně, časově a zejména legislativně velmi komplikovaná řešení.

Stěžejní kapitola 8 je věnována vedení PS, kde jsou posuzovány jednotlivé fyzikální veličiny a jejich vlivy na výslednou teplotu vodičů, a to jak ve směru jejich oteplování tak i ochlazování. Pro výpočet byla vybrána metoda, která se ukázala jako dostatečně přesná a rychlá.

V kapitolách 9 a 10 jsou zkoumány přípojnice a jejich svorky, což jsou také klíčová místa soustavy z pohledu oteplení.

V práci jsou podrobně analyzovány vlivy na oteplení v závislosti na rychlosti větru, slunečním svitu a teplotě okolí.

Obsáhle je popisován elektromagnetický model svazkového vodiče a s tím související rozložení teploty uvnitř AIFe vodiče.

Je vyhodnoceno období letní i zimní, resp. po řadu měsíců v letech 2010 až 2013.

Zajímavé je porovnání vypočtené ampacity s platnou normou pro zatěžování vodičů ČSN 50341.

Závěry potvrzují, že rezerva v zatěžování vodičů zřejmě existuje a pohybuje se za určitých podmínek až kolem 10% v letním a 50% v zimním období.

Shrnutí.

Předkládaná disertační práce ing. Jaroslava Šnajdra je určitě přínosem pro energetiku, aplikace jejích výsledků umožňuje zvýšení kvality řízení ES ČR, zejména pak při řešení krizových situací.

Disertant postupoval při řešení problematiky logickým způsobem, pro zkoumané části ES jsou uvedeny teoretické základy, numerický model i výsledky provedených měření. Řada měření a jejich vyhodnocení byla prováděna několik let, výsledky proto mají vysokou vypovídající hodnotu.

Stanovené cíle byly v práci naplněny, došlo k nasazení výsledného programu do řídicího systému dispečinku přenosové soustavy ČEPS. Doporučuji v prezentaci se k reálnému nasazení výsledů práce vrátit a komentovat dosavadní praktické zkušenosti, pokud jsou známy.

Ing. Šnajdr se problematikou zatěžování vedení zabývá dlouhodobě, jak je patrné z literatury, a disertační práce završuje jeho několikaletou práci v tomto oboru. Práce má proto vysokou úroveň, v našich podmínkách je nová a reaguje na měnící se potřeby energetiky. Její využití má praktický význam pro řízení ale i pro plánování a rozvoj PS ČR, zejména v souvislosti se zvládnutím negativních vlivů enormního nasazování obnovitelných zdrojů v Německu.

Práce je zpracována přehledně, je patrný systematický přístup k řešení problematiky. Po jazykové stránce nemám připomínky. Grafická úroveň zpracování je vysoká, jenom si myslím, že není vhodné a nutné, aby část obrázků, resp. grafů byla s anglickým popisem.

Publikační činnost je poměrně bohatá, je citováno 15 publikací, kde je ing. Šnajdr uveden jako autor u dvou prací resp. jako spoluautor u 13 prací.

Při práci byla v široké míře využita odborná literatura – citováno 43 prací.

Závěr:

Disertační práci ing. Jaroslava Šnajdra „Dynamická proudová zatížitelnost vodičů přenosové soustavy“ ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., §47 doporučuji k obhajobě.

K práci mám tyto dotazy:

Je možné uvést praktické zkušenosti využití výsledků práce v ČEPS, kde je systém od roku 2014 nasazen?

Výsledky práce umožňují zvýšení proudového zatížení vedení. Nevyžádala si tato provozní změna výměnu některých přístrojů v rozvodnách (např. spínacích prvků nebo přístrojových transformátorů). Bylo toto prověřováno?

Jiří Barták

Plzeň, prosinec 2015

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 14.01.2016

ZCU 000950/2016

listy: 4

přílohy:

druh:



zcupes f 428be

Prof. Ing. Jiří Kožený, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie
FEL ZČU v Plzni

Posudek oponenta disertační práce

Autor práce: Ing. Jaroslav Šnajdr

Téma práce: „Dynamická proudová zatížitelnost vodičů přenosové soustavy“

Školitel: prof. Ing. Zdeněk Vostracký, Dr.Sc.

Školitel specialista: Ing. Jan Sedláček, Ph.D.

Po stručné charakteristice disertační práce Ing. Jaroslava Šnajdra uvádím její posouzení v souladu s § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. a s čl. 107 odst. 1 a 2 Studijního a zkušebního řádu ZČU v Plzni.

Charakteristika disertační práce:

Disertační práce Ing. Jaroslava Šnajdra je zaměřena do oblasti aktuální složité problematiky bezpečné dodávky elektrické energie v prostředí charakterizovaném liberalizací trhu s elektřinou a rychlým rozvojem obnovitelných zdrojů energie (OZE).

Konkrétně se týká řešení problémů vyvolaných přenosem zvýšených výkonů vedeními velmi vysokého napětí (VVN).

Disertant se proto soustředil na určování proudové zatížitelnosti - ampacity, jednak samotných vodičů přenosových vedení a také lanových přípojníc a spojek v rozvodnách za různých přenosových podmínek povětrnostních i technických.

Ze 137 stran celkového rozsahu předložené práce, je vlastní řešení uvedené problematiky na 103 stranách rozdělených do 13 logicky na sebe navazujících kapitol, doplněných 23 stranami příloh s grafy průběhů teplot a určené ampacity vodičů a obrázky z termovizního měření. Přílohy obsahují také seznamy použité literatury ze 43 je 27 z anglické odborné literatury, dále seznam 28 publikací autora, vztahujících se k řešené problematice, z nichž 15 má označení ISBN, ISSN a ISH.

Disertační práce je obsahově, teoreticky a experimentálně přínosem pro obor elektroenergetika, speciálně pro oblast problematiky přenosu elektrické energie.

V řešení uvedené složité problematiky disertant navazuje na výsledky prací publikovaných v zahraničí, a také publikovaných pracovníky Katedry elektroenergetiky FEL ČVUT.

Po uvedené charakteristice disertační práce uvádím její posouzení podle hledisek uvedených ve výše citovaných dokumentech v úvodu posudku.

K významu disertační práce pro obor:

Tematicky práce vychází z reálných poznatků a zkušeností z provozu české přenosové soustavy nárazově vystavované požadavkům na přenos zvýšených výkonů z větrných elektráren na severu Německa ve směru na jih přes území České republiky v rámci propojené evropské přenosové soustavy ENTSO-E.

Hlavní význam disertační práce pro obor vidím v hledání a nalezení možností k alespoň časově omezenému, ale ještě bezpečnému provozu přenosové soustavy při zvýšených výkonech, tedy při vyšší proudové zátěži vodičů než jaké určuje norma ČSN EN 50341-3-19.

K postupu v řešení daného problému, k použitým metodám a ke splnění určeného cíle disertační práce:

Za cíl si disertant stanovil vytvoření dostatečně robustního nástroje pro potřeby diagnostiky a provozu přenosové soustavy ČR a stanovení podmínek jeho provozu s možnými riziky a přínosy. Ke splnění tohoto cíle souvisejícího s řešením aktuálního energetického problému, si autor určil pět dílčích cílů:

- Navrhnout a ověřit přesnost sestaveného matematického modelu tepelné bilance vodičů přenosové soustavy
- Takový model včlenit do informačního systému ČEPS, a.s.
- Navrhnout metodiku stanovení dynamické jmenovité proudové zatížitelnosti vodičů
- Zhodnotit využitelnost technologie v řešení nouzových stavů
- A také vlivu technologie na bezpečnost provozu koncových uzlů v rozvodnách a analyzovat rezervy proudové zatížitelnosti jednotlivých kritických prvků

Metodicky autor svoji práci účelně rozdělil do tří na sebe navazujících částí. V první popisuje aplikaci technologie dynamického proudového zatěžování a porovnává ji s výsledky měření na konkrétní lince (V444) za období tří let s úvahou o možných rezervách proudové zatížitelnosti vodičů v jednotlivých měsících. Ve druhé části autor analyzuje proudovou zatížitelnost lanových přípojníc, jako slabého místa uzlových bodů. Ve třetí části provádí analýzu vlivu provozu proměnného proudového zatěžování na přípojnicové spojky s trubkovými přípojnicemi, jako dalšího kritického místa.

Konstatuji, že vytčené cíle doktorand v předložené práci jak metodicky tak i vlastním teoretickým řešením a získanými verifikovanými výsledky na odpovídající odborně - vědecké úrovni v celém rozsahu splnil a jsou pro oblast řešené problematiky hodnotným přínosem.

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

Určení možné proměnné proudové zatížitelnosti jak vodičů přenosových linek VVN, tak i prvků v rozvodnách řadím mezi významné výsledky disertační práce, a to ze dvou důvodů. Prvním důvodem je umožnění bezpečných přenosů elektrické energie v podmínkách přenosu zvýšených výkonů v části propojené evropské elektrizační soustavy na našem území ve směru sever – jih. Takové podmínky nastávají připojováním kolísavých výkonů větrných elektráren na severu Německa.

Druhým důvodem je hledisko ekonomické, neboť autorem určená možnost navýšení ještě bezpečné proudové zatížitelnosti vodičů a prvků v rozvodnách, může ovlivnit časové oddálení nutných, ale ekonomicky náročných rekonstrukcí přenosových linek nebo i výstavbu linek nových.

Za konkrétní a původní přínos považují jednak praktickou aplikaci autorem řešeného výpočetního modelu s provedenou jeho verifikací porovnáním s výsledky měření na reálném vodiči za období tří let. Dále z porovnání výsledků autorem následně vypracovanou metodiku ke stanovení aktuální proudové zatížitelnosti vodičů přenosového vedení.

Za další konkrétní a původní přínos považují metodu a způsob řešení radiálního rozložení vnitřní teploty AlFe lana s využitím tepelné sítě, kterou doktorand sestavil v SW Simulink/Simscape.

Zejména znalost teploty ocelového jádra lana je důležitá pro určení průvěsu, jako rozhodujícího parametru při určování dynamické ampacity uvažovaného vodiče.

Při sestavování matematických modelů a při jejich řešení využil autor nástrojů pro numerickou analýzu, které byly dostupné v době řešení disertační práce.

K systematicke, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni:

Při řešení daného složitěho úkolu postupoval disertant systematicky správně a se správnou logickou návazností v řešení stanovených dílčích cílů práce.

K nadprůměrné kvalitě předložené disertační práce přispívají také její přehlednost a splnění všech formálních náležitostí, tj. úprava celkového provedení práce a také její jazyková i grafická úroveň.

K publikačním aktivitám disertanta:

Publikační aktivity vztahující se tematicky přímo k obsahu disertační práce autor prokazuje v seznamu 28 prací, z nichž 15 bylo uveřejněno ve sbornících z mezinárodních konferencí s příslušnými ISBN (12), ISSN (1) a ISH (1), 9 publikací bylo v anglickém jazyce, v dalších 13 je disertant také spoluautorem a jsou to výzkumné zprávy (11) a funkční vzorky (2) obsahově zaměřené také k tématu disertační práce.

Publikační činnost autora disertační práce považují za nadprůměrnou.

Závěrečné hodnocení:

Konstatují, že disertační práce Ing. Jaroslava Šnajdra s jejím teoretickým i praktickým významem pro obor, použitými vědeckými metodami řešení a dosaženými v praxi aplikovatelnými výsledky se řadí v daném oboru k pracím nadprůměrným. Práce obsahuje nové a původní poznatky a přístupy k řešení složité aktuální problematiky. Autor prokázal, že ovládá vědecké metody k samostatné tvůrčí vědecké práci.

Disertační práce splňuje obecně uznávané požadavky na úroveň doktorských disertačních prací, obsahově i rozsahem, formální úpravou grafickou i jazykovou úrovní.

Z výše provedeného hodnocení a v souladu s požadavky zákona č. 111/1998 Sb. a zkušebního řádu ZČU v Plzni disertační práci Ing. Jaroslava Šnajdra k obhajobě:

d o p o r u č u j i

V Plzni dne 22.12.2015



prof. Jiří Kožený

Příloha k oponentnímu posudku disertační práce Ing. Jaroslava Šnajdra:

Připomínky a dotazy:

K předložené disertační práci i přes její celkové výborné hodnocení mám následující dotazy a poznámky:

Dotazy:

- Objasněte principy a rozdíly v měření teplot vodičů systémy Valcap a Ritherm
- Kapitola 9 – str. 72: Za jakých podmínek by součinitel emisivity a součinitel emisivity absorpce neměly stejnou hodnotu?
- Kapitola 10.1 – str. 79: Jak byl respektován tlak mezi kontaktními plochami v modelu při výpočtu kvality kontaktní plochy?
- Kapitola 10.8.1 – str. 93: Jaké závěry lze učinit z tabulky 10.4?

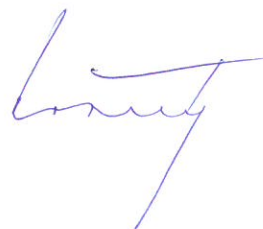
K řešené problematice:

Jaký je současný stav v řízení české přenosové soustavy VVN v případech požadavků na přenos zvýšených výkonů ze severu Německa směrem na jih přes naše území?

Poznámky:

- Na str. 41 přehlédl autor pravopisnou chybu ve větětyto aplikace...aby zajistili
- Na str. 51 použil nesprávné pojmenování „**Joulovo** ztráty“

V Plzni dne 22.12.2015



Oponentský posudek dizertační práce

Ing. Jaroslav Šnajdr: Dynamická proudová zatížitelnost vodičů přenosové soustavy

Oponent : doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky
ČVUT v Praze, FEL

Předložená dizertační práce je zaměřena na jedno z nejaktuálnějších témat současných přenosových soustav – na přenosovou schopnost linek a její dynamické využívání. V kontextu kombinace vlivu liberalizovaného trhu s energiemi a neustále rostoucího instalovaného výkonu obnovitelných zdrojů jde o jeden z nejvíce poptávaných přístupů v oblasti dispečerského řízení. Dynamické zatěžování je jednou z možností zvýšení přenosové kapacity stávajících koridorů a technologií.

Autor práce se zaměřil na tvorbu a aplikaci matematického modelu dynamicky zatěžovaného vodiče v podmínkách přenosové soustavy, konkrétně na lanové vodiče v rozvodnách a lanové spojky trubkových přípojníc. Předložená práce se skládá z šestnácti kapitol členěných na podkapitoly a šesti příloh.

Úvodní část je informativní a podává obraz o současném stavu problematiky, diskutuje různé možnosti zvýšení přenosových schopností – zvýšení napětí linky, možnosti využití nových technologií vodičů, využití více potahů, využití DC technologie a další.

Na úvodní část plynule navazují tři klíčové části práce – aplikace řešení technologie dynamického zatěžování a ověřovací měření na lince V444. Za základě těchto modelů a měření je provedena analýza proudové zatížitelnosti a v třetí fázi je provedena analýza vlivu dynamického zatěžování na slabá místa, v tomto případě přípojnicové spojky příčné propojující jednotlivá pole.

V kapitole 8 – Vodiče velmi vysokého napětí se autor podrobně věnuje jednotlivým dějům ovlivňujících dynamickou ampacitu vedení (ohřev průchodem proudu, koróna, sluneční záření, sálání, proudění, vliv srážek a v neposlední řadě modelu tepelné kapacity vodiče). V této kapitole rovněž autor podrobně popisuje výběr matematické výpočetní metody. Matematický model byl ověřen na statistické analýze s reálnými vstupními daty za 4 roky. Z vyhodnocení měřených dat plyne poměrně dobrá přesnost vytvořeného matematického modelu. Zpracování těchto dat ukázalo na značné výkonové rezervy při využití dynamického zatěžování – v letních měsících až 10% a v zimních cca 50%. Zároveň autor upozornil na možná rizika lokálního překročení teploty (např. místa ve větrném stínu).

V deváté kapitole autor podrobně analyzuje ampacitu lanových přípojníc, zároveň provádí citlivostní analýzu ampacity v závislosti na teplotě okolí, intenzitě slunečního záření, rychlosti větru a úhlu větru. Autor dochází opět k poměrně značným výkonovým rezervám ve srovnání s konvenčním postupem výpočtu dle ČSN EN. Autor zároveň provedl porovnání lanových a trubkových přípojníc s příslušnými závěry.

Desátá kapitola je zaměřena na ampacitu lanových spojek trubkových přípojníc, bylo zkoumáno obdobné spektrum vlivů jako v předchozí kapitole (průchod proudu, sluneční záření, ochlazování radiací, ochlazování prouděním). Autor se v této kapitole věnoval rovněž vlivu kontaktního systému. Zhodnocení vlivu dynamického zatěžování bylo provedeno obecně a dále na dvou případových studiích (6 mm a 8 mm tlusté trubkové přípojnice). Byl vytvořen trojrozměrný model vybraných sestav a bylo provedeno srovnání s výsledků numerického a

zjednodušeného analytického modelu se sdruženými parametry. Autor došel k závěru, že je možné spojky přetěžovat o cca 10% staticky a až o dvojnásobek při dynamickém zatěžování.

Přístup autora k uvedené problematice je velmi fundovaný a v rámci dizertační práce vytvořil hodnotné dílo řešící významný a aktuální problém v oblasti přenosových soustav, předkládá tak účinné řešení umožňující efektivně využívat stávající přenosové prostředky.

Některé poznámky, dotazy a připomínky k dizertační práci:

- V kapitole 8.2 popisujete metodu Runge-Kutta-Fehlberg. Jak se Váš postup určení ampacity vypořádá s chybějícími či řídkými vstupními daty z měření?
- Považujete za reálné nasazení Vašeho modelu do dispečerského plánování provozu?

Obecně mohu konstatovat, že téma dizertační práce je velmi aktuální a jeho řešení je přínosné pro provoz a rozvoj přenosových soustav. Podle mého názoru jsou stanovené cíle dizertační práce splněny, velmi oceňuji interdisciplinární přístup autora k řešení. Práce je velmi přínosná především pro svůj komplexní pohled na dynamické zatěžování. Velmi oceňuji ověření na reálných datech. Zvolené metody zpracování nesou známku velmi dobré teoretické erudice autora, který zároveň prokázal schopnost aktivně aplikovat teorii na konkrétní řešení velice aktuální technické problematiky.

Dizertační práce přinesla nové vědecké poznatky pro oblast dynamického zatěžování vodičů. Jde především o vytvoření komplexního pohledu s respektováním nejvýznamnějších vnějších vlivů. Autor bezesporu přispěl svojí dizertační prací k rozvoji vědeckého poznání a výstupy jeho práce budou významným přínosem i pro technickou praxi. Práce má velmi dobrou formální úroveň, je zpracována logicky a přehledně. Klíčové části práce autor publikoval na významných konferencích v oboru (CIRED Lyon, ISH).

Dizertační práce plně splňuje požadavky, kladené na doktorské dizertační práce v souladu s §47 zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb. a studijním a zkušebním řádem doktorských studijních programů Západočeské univerzity v Plzni a proto ji

d o p o r u č u j i

předložit k obhajobě před komisí pro doktorské dizertační práce.

V Praze dne 30. ledna 2016


doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.