

## **Rozvoj a provoz distribučních sítí se zaměřením na zabezpečení a kvalitu dodávek elektrické energie**

### **Obsah**

V předložené práci se autor zabývá novými trendy rozvoje distribučních soustav vysokého napětí se zřetelem na jejich topologii a možnosti provozování za podmínky zvýšení kvality elektrické energie a spolehlivosti její dodávky. Její zpracování bere v úvahu nové trendy v energetice a shrnuje opatření, jež jí dovolují reagovat na stále se zvyšující dynamiku spotřeby. Zvláštní pozornost je pak věnována propojování vývodů vysokého napětí umožňujícího dodávku elektrické energie s vyšší spolehlivostí. Jedná se o téma, kterému se v současné době věnuje řada výzkumných týmů v různých zemích a lze je tedy pokládat za vysoce aktuální.

Dílo o rozsahu 118 stran psaného textu je členěno následujícím způsobem: úvodních deset nečíslovaných stran obsahuje titulní stránku, abstrakt s klíčovými slovy v českém a anglickém jazyce, následuje prohlášení a poděkování, poté obsah a seznam obrázků a tabulek.

První kapitola (4 stránky) představuje úvod, v němž autor uvádí motivaci své práce, současný stav problematiky zahrnující zejména možnosti rekonfigurace sítí vysokého napětí a formuluje cíle, jež mají být v rámci této práce dosaženy.

Následující kapitola o jedenácti stránkách popisuje prostředí, které ovlivňuje rozvoj distribučních soustav. Nejprve vysvětluje pojem kvality dodávky elektrické energie a význam souvisejících ukazatelů, poté se zaměřuje na možnosti omezení počtu míst postižených poruchou a zkracování doby poruchy. Důležitou okolností zde jsou i změny výkonových poměrů a toků v distribuční síti a koncepcí změn podporujících jejich inteligenci.

Třetí kapitola o sedmnácti stránkách se zabývá výpočty a analýzou dějů v distribučních soustavách. Autor uvádí tři možné modely pro tuto analýzu a také tři základní soubory vstupních dat. Dále zmiňuje trasovací úlohy a metodiku pro výpočet ustáleného stavu soustavy. Popisuje modely jednotlivých uzlů a větví, sestavuje admitanční matici a zabývá se numerickým řešením úlohy pomocí Newton–Rawsonova algoritmu. Pozornost zde věnuje tvorbě matice systému, Jacobiho matice, rozdílového vektoru a celkovému řešení, které může respektovat i meze jalových výkonů dodávaných zdroji. Nechybí ani vývojový diagram příslušného programu a výsledky ilustrativních výpočtů.

Rozsáhlejší čtvrtá kapitola má 21 stran se zabývá propojováním vývodů vedení vysokého napětí a představuje již jádro práce obsahující vlastní přínos disertanta. Po úvodu, v němž se diskutují možnosti propojování a existující omezení, následuje stanovení vyrovnávacího proudu spolu s ověřováním přesnosti vstupních údajů jak v dynamickém provozním stavu, tak i při spínání vývodů vysokého napětí. Tam, kde nejsou k dispozici výsledky měření WAMS, lze pak vyrovnávací proudy určovat i na základě simulace chodu soustavy. Na základě těchto poznatků autor vytvořil vlastní výpočtový algoritmus, jehož vývojový diagram je k dispozici, a jehož verifikace byla realizována na dvou sítích. Kapitola končí návrhem rozvoje zkruhovaných sítí s trasováním kmenů a odboček vysokého napětí a jejich klasifikací.

Pátá kapitola o 17 stránkách je věnována simulačním výpočtům poměrů na propojených vývodech vysokého napětí. Výsledkem je vždy průběh rozložení sledovaných veličin podél vývodů pro různé vstupní parametry bez vnořené výroby a s vnořenou výrobou. Rizikové oblasti jsou vyhodnoceny i z hlediska spínání a průřezu vodičů.

Šestá kapitola o 16 stránkách představuje případovou studii reálné sítě vysokého napětí (jedná se o jistou dispečerskou oblast na území ČR zahrnující asi 15 000 uzlů). Nejprve byla provedena analýza základního stavu a náhradního napájení, poté analýza výšení přípojitelného výkonu zdrojů, propojených vývodů napájených z různých transformátorů a propojení odboček vysokého napětí.

Sedmá kapitola o čtyřech stránkách zahrnuje závěr, shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků, a autor se v ní zamýšlí, do jakých směrů je možno orientovat další výzkum.

Následuje zbývajících 17 stran obsahujících použitou literaturu, seznam publikací doktoranda, seznam symbolů, veličin a zkratk a konečně seznam příloh se čtyřmi stranami vybrané fotodokumentace.

## **Celkové zhodnocení, poznámky a komentáře**

### *Zhodnocení významu disertační práce studenta.*

Kruhování a paralelizace vývodů distribučních sítí patří v současné době k novým trendům jejich provozu, zejména z hlediska vyšší spolehlivosti a kvality dodávky elektrické energie. V České republice se zatím podobné studie doposud neobjevily a autorovi patří uznání za to, že ke studiu této komplexní problematiky přistoupil velmi zodpovědně, přes sběr a práci s vstupními daty až po návrh metodiky výpočtu a vypracování výpočtového kódu. Metodika byla aplikována s velmi dobrými výsledky na výpočet a zhodnocení provozu reálné sítě vysokého napětí. Získané poznatky mohou být využity k návazným pracím. Význam disertace je proto jednoznačný.

### *Vyjádření k postupu řešení problému, k použitým metodám a splnění určitého cíle.*

Dílčí cíle práce podle mne byly splněny rovněž. Autor zhodnotil současný stav a trendy v oblasti distribuce elektrické energie a stávající metodiku analýzy uvažovaných soustav. Přidanou hodnotou je pak analýza propojení vývodů vysokého napětí a zhodnocení vlivu připojení vývodů vysokého napětí na reálnou část distribuční soustavy. Určitá zjednodušení v modelování zdrojů, zátěží a síťových prvků, jež autor použil, jsou přípustná.

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

Hlavním přínosem práce je vypracování uceleného pohledu na chování distribučních sítí při paralelním provozu vybraných vývodů. V ČR se doposud takový výzkum neprováděl. Příslušné analýzy mohou odhalit silné i slabé stránky této možnosti napájení a stát se tak východiskem pro návazné studie. Kromě toho autor navrhl metody stanovení vyrovnávacího proudu a sestavil adekvátní program pro jeho výpočet. Přínosný je i návrh postupů při automatické identifikaci kmenových linek a odboček v závislosti na jejich technickém stavu, počtu distribučních trafostanic atd.

### *Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni*

Po formální stránce je práce sepsaná s vysokou mírou pečlivosti (našel jsem pouze malé množství vesměs typografických nedostatků a překlepů). Obrázky mají velice dobrou kvalitu a jsou dobře vysvětleny. Právě tak dobře jsou zpracovány i tabulky. Disertační práce je čtivá, autor velmi dobře pracuje s textem a pro jeho způsob psaní je již viditelný i určitý nadhled.

Autor hojně využíval při studiu tématiky odbornou literaturu domácí i zahraniční provenience. Odkazuje celkem na 37 prací, z toho 17 je psáno v anglickém jazyce. Mnohé z nich vznikly v rozsahu posledních deseti let.


### *Vyjádření k publikacím studenta*

Jádro práce bylo již prezentováno v anglickém jazyce na šesti konferencích indexovaných v databázi WoS, impaktovaný článek však autor zatím nemá. Celkově je disertant spoluautorem čtrnácti konferenčních příspěvků (Nečtiny neuvažuji), čtyř časopiseckých článků (z toho 3 v českém jazyce), jedné kapitoly v knize a dvou výzkumných zpráv.

### *Jednoznačné vyjádření oponenta, zda práci doporučuje či nedoporučuje k obhajobě*

Ing. Roman Vykuka zpracoval danou tematiku na velice dobré úrovni a výsledky jeho práce bezesporu představují přínos pro výzkum v dané oblasti. Přesvědčil, že je schopen samostatně vědecké práce a dalšího rozvoje své osobnosti. Předloženou práci pokládám za disertabilní, jednoznačně doporučuji, aby byla přijata k obhajobě, a aby mu po jejím úspěšném zakončení byl udělen titul Ph.D.

V Praze dne 14. října 2019

  
Prof. Ing. Ivo Doležal / CSc.  
Elektrotechnická fakulta ZČU Plzeň

Dotazy k práci:

1. K odstavci 4.2: s jakou přesností lze určovat zatížení vývodů v čase a nakolik je příslušný model stanovení průběhů vyrovnávacího proudu a rozdílu fázorů napětí robustní.
2. Došlo by k nějakým principiálním změnám v modelu, kdyby se mezi zátěží vyskytly mohutné nelineární spotřebiče?

## Oponentský posudek disertační práce

Autor: **Ing. Roman Vykuka**

Název: **Rozvoj a provoz distribučních sítí se zaměřením na zabezpečení a kvalitu dodávek elektrické energie**

Autor se zabývá možnostmi změny způsobu provozování sítí vn z hlediska topologie pro zvýšení spolehlivosti dodávek elektrické energie.

V úvodních kapitolách práce shrnuje trendy v rozvoji distribučních sítí. V teoretické části práce jsou popsány modely a výpočetní metody pro analýzu distribučních sítí.

V praktické části práce se autor zabývá propojováním vývodů vn a navrhuje metodiku výpočtu vyrovnávacího proudu a metodiku rozvoje zkruhované sítě. Dále se věnuje výpočtu několika variant zapojení konkrétní sítě.

### a) Význam pro obor

Zpracovávané téma je pro obor elektroenergetika velice perspektivní. Autor se zabývá kruhováním a paralelním provozem vývodů vn, což se doposud nepoužívá.

### b) Postup řešení, splnění cílů

Cíle disertační práce jsou podrobně rozepsány v první kapitole 1.3 a jsou specifikovány ve čtyřech odstavcích.

Autor přistupuje k řešení daného problému systémově a komplexně. Mohu konstatovat, že stanovené cíle byly dobře splněny.

### c) Výsledky a přínos

Splnění stanovených cílů je pro obor elektroenergetika velice přínosné. Autor vytvořil vlastní analytické nástroje a výpočetní knihovny. Za velmi důležité považují



aplikaci nových postupů a metod do modelu reálné sítě a ověření výsledku simulací měření.

Stěžejní část práce se věnuje propojování vývodů vn, což vede ke zvýšení připojitelného výkonu lokálních zdrojů elektrické energie.

**Přípomínka:**

V práci je uvedeno, že propojování vývodů zhorší zkratové podmínky, ale není zde uveden žádný výpočet.

**d) Formální úprava**

Postup řešení dané problematiky je logický a jednotlivé kroky na sebe navazují. Práce je přehledná, formální úprava a jazyková úroveň jsou na velmi dobré úrovni.

**e) Publikace**

Jádro práce bylo dostatečně publikováno v 10 příspěvcích na konferencích a ve 4 recenzovaných časopisech.

Autor pracoval na vývoji 1 software.

**f) Doporučení**

Doporučuji disertační práci k obhajobě.



V Ostravě dne 23. 10. 2019

prof. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.  
oponent

# POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Assessment of the Dissertation

Titul, jméno a příjmení studenta:

Title, name, surname of student

Ing. Roman Vykuka

Doktorský studijní program:

Doctoral study programme

Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Study branch

Elektroenergetika

Téma disertační práce:

Topic of the dissertation

Rozvoj a provoz distribučních sítí se zaměřením na zabezpečení a kvalitu dodávek elektrické energie

Školitel:

Supervisor

doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.

Oponent:

Opponent

RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.

## Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Evaluation of the importance of the dissertation for the field

Předložená disertační práce je zaměřena především na analýzu vlivu spínání vývodů vysokého napětí na proudové, výkonové a napěťové poměry v síti a na spolehlivost dodávky. Tato problematika je v současné době aktuální a nebyla dosud systematicky řešena. Důležitost analýzy paralelních provozů se zvyšuje s nárůstem lokální výroby a zatížení v sítích.

Význam práce pro vědní obor „Elektroenergetika“ spočívá v získání nových poznatků o chování sítě vysokého napětí při paralelním provozu vývodů. Pro provozní praxi při řízení a rozvoji sítě vysokého napětí přináší práce metodiku výpočtů vyrovnávacích proudů, návrh automatického postupu pro výběr variant kruhování odboček sítě a rovněž nový pohled na posuzování připojitelnosti lokálních zdrojů.

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

Evaluation of the the problem-solving process, the methods used and the goal to be met

Zvolený metodický postup odpovídá požadavkům na vědeckou práci. V úvodní části práce autor uvedl na základě literární rešerše přehled současného stavu řešené problematiky, identifikoval neřešené problémy a stanovil hlavní cíle práce – vývoj a využití vlastních analytických nástrojů pro modelování propojených vývodů z hlediska vyrovnávacích proudů a profilů P, Q, U, využití těchto nástrojů pro analýzu modelové a reálné sítě vysokého napětí, ověření výsledků porovnáním s provozním měřením. Stanovené cíle byly v práci splněny. Vytvořená metodika a analytický nástroj byly úspěšně ověřeny na jednoduché modelové síti a rovněž na reálné síti 35 kV v rámci případové studie.

## Stanovisko k výsledkům disertační práce a

### k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Statement to the results of the dissertation and on the original contribution of the submitter of the dissertation

Za hlavní původní přínos práce považuji vytvoření metodiky, matematického modelu a softwarového nástroje, s jehož pomocí je možné přesněji určit velikost vyrovnávacího proudu, analyzovat různé provozní situace propojování vývodů v síti vysokého napětí, ověřovat jejich realizovatelnost včetně připojitelnosti lokálních zdrojů a určit riziko překročení vypínací schopnosti úsekových odpínačů. Tyto analýzy mohou významně přispět ke zvýšení spolehlivosti provozu sítě. Další přínosem je metodika automatické topologické analýzy kmenových vývodů a odboček z hlediska možností a optimalizace jejich propojování.

## Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Statement to the systematics, clarity, formal adaptation and language level of the dissertation

Práce má celkem 118 stran včetně přehledu literatury a příloh. Je rozdělena na 7 kapitol a systematicky postupuje od analýzy problému, sestavení matematického modelu, návrhu a vývoje výpočetních nástrojů, návrhu metodiky jejich použití v simulačních výpočtech až k závěrům ze simulací na vytvořeném modelu a na případové studii reálné sítě. Práce je sestavena přehledně s pečlivou formální úpravou a dobrou jazykovou úrovní. Několik nepřesností nebo překlepů nijak nesnižuje úroveň práce.

## Vyjádření k publikacím studenta

Statement to student's publications

V přehledu vlastních publikací autor uvádí celkem 26 položek, z toho 8 recenzovaných příspěvků na mezinárodních konferencích a 4 příspěvky v recenzovaných časopisech. Úroveň publikační činnosti v rámci doktorského studia dostatečně prokazuje kvalitu vědecké práce autora.

## Celkové zhodnocení a otázky k obhajobě

Total evaluation and questions for defence

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.

Otázky k obhajobě:

1. V případě výpočtu vyrovnávacího proudu po spojení vývodů vysokého napětí na modelu sítě bez nadřazené 110 kV sítě je v práci, za účelem udržení zadaného úhlového rozdílu fázorů napětí, použita injekce činného výkonu v jednom z napájecích bodů. Jak by se postup výpočtu změnil, kdyby součástí výpočetního modelu byla i nadřazená síť 110 kV?
2. Za jakých podmínek by bylo možné provádět výpočty vyrovnávacích proudů a určení oblastí bezpečného spínání on-line v rámci řídicích systémů distribuční sítě? Je k tomu dostatek informací?
3. Jsou v případě kruhování sítě vysokého napětí nutné úpravy nastavení ochran a způsobů detekce poruch v síti?
4. Jakým způsobem prováděl autor validaci výsledků svého softwaru pro výpočet chodu sítě?

Doporučuji disertační práci k obhajobě

I recommend the dissertation for the defence

ano  
yes

x



Datum

Date

20.10.2019

Podpis oponenta:

Signature of opponent

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 24.10.2019

ZCU 025818/2019

listy: 3

přílohy:

druh:



zcupes122832a