

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Hodnocení provozu transformátorů NN/NN s regulací
napětí pod zatížením**

Bc. Michal Hanzlíček

Plzeň 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal HANZLÍČEK**
Osobní číslo: **E13N0006P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Hodnocení provozu transformátorů NN/NN s regulací napětí
pod zatížením**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište problematiku zajištění odchylek napětí v distribuční síti NN.
2. Popište dostupné typy regulačních transformátorů NN/NN zejména s ohledem na regulační možnosti a principy regulace napětí pod zatížením.
3. Navrhněte parametrizaci regulačního transformátoru NN/NN ve vybrané lokalitě distribuční sítě a analyzujte dopad jeho provozu na odchylky napětí, zhodnoťte a porovnejte jednotlivé varianty nastavení.
4. Navrhněte další teoretické možnosti stabilizace napětí v distribuční NN síti a porovnejte jejich dopad na odchylky napětí s variantou regulačního transformátoru NN/NN.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle
doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zajištění odchylek napětí v oblasti Dolní Němčí. V úvodu práce jsou popsány charakteristiky nízkého napětí, problematika zajištění odchylek napětí, strategie regulace napětí v distribuční síti a problémy s udržení napětí v sítích nízkého napětí s vnořenými zdroji. Dále popisuje regulační transformátory NN/NN s ohledem na regulační možnosti a principy regulace. Nakonec je v této práci popsán výpočet a návrh transformátoru pro zajištění odchylek napětí v dané oblasti a další teoretické možnosti jejich stabilizace.

Klíčová slova

Úbytek napětí, transformátor, regulátor, regulace, průběžné jevy, napěťové jevy, odchylky napájecího napětí, distribuční síť, nízké napětí

Abstract

This thesis deals with the voltage drop in Dolní Němčí. It describes characteristics of low voltage, issues of providing voltage imbalances, strategy of voltage regulation in power distribution networks and issues of low voltage stabilization in distribution network with renewable energy sources. It also describes LV/LV transformers and their regulation options. Finally, there is calculation and design of LV/LV transformer to ensure voltage deviation in the Dolní Němčí and other theoretical possibilities of stabilization.

Key words

Voltage drop, transformer, regulator, regulation, distribution network, low voltage

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 11.5.2015

Michal Hanzlíček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady a připomínky, poskytnutí teoretických podkladů a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Davidu Šimáčkovi za cenné profesionální rady, veškeré konzultace, názornou ukázkou nastavení transformátorů NN/NN a samotné měření na nich. Poděkování také patří celé mé rodině za podporu při studiu.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	11
SEZNAM TABULEK	12
ÚVOD	14
1 ZPŮSOB ZAJIŠTĚNÍ ODCHYLEK V DISTRIBUČNÍ SÍTI	15
1.1 CHARAKTERISTIKY NAPĚTÍ V DISTRIBUČNÍ SÍTI NN.....	15
1.1.1 Průběžné jevy	15
1.1.2 Napětové jevy.....	17
1.2 ZAJIŠTĚNÍ ODCHYLEK NAPĚTÍ A STRATEGIE REGULACE V DISTRIBUČNÍ SÍTI	19
1.2.1 Transformátory	19
1.2.2 Strategie regulace napětí v distribuční soustavě.....	22
1.3 PROBLÉMY S UDRŽENÍM NAPĚTÍ V NN SÍTÍCH S VNOŘENÝMI ZDROJI.....	27
2 TYPY REGULAČNÍCH TRANSFORMÁTORŮ NN/NN ZEJMÉNA S OHLEDEM NA REGULAČNÍ MOŽNOSTI A PRINCIPY REGULACE	30
2.1 STABILIZÁTOR TYPU NN/NN STR 50.....	30
2.1.1 Technické údaje	31
2.2 TRANSFORMÁTORY TYPU SCHMACHTL ANSI	32
2.2.1 Technické údaje	32
3 NÁVRH PARAMETRIZACE REGULAČNÍHO TRANSFORMÁTORU NN/NN VE VYBRANÉ LOKALITĚ DISTRIBUČNÍ SÍŤE A ANALÝZA DOPADU JEHO PROVOZU NA ODCHYLKY NAPĚTÍ, ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT NASTAVENÍ	33
3.1 VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ PRO DOLNÍ NĚMČÍ	37
3.2 VÝPOČET ÚBYTKŮ NAPĚTÍ NA VEDENÍ V OBLASTI DOLNÍ NĚMČÍ.....	38
3.2.1 Výpočet úbytků napětí při maximálním zatížení β_{max}	39
3.2.2 Výpočet úbytků napětí při minimálním zatížení β_{min}	42
3.3 VÝPOČET ÚBYTKŮ NAPĚTÍ V SÍTI S REGULAČNÍM TRANSFORMÁTOREM TYPU SCHMACHTL ANSI 50.....	45
3.3.1 S nastavenou krajní odbočkou + 5 % na transformátoru Dolní Někčiči VN/0,42 ($U_2 = 100 \% U_n$).....	46
3.3.2 S nastavenou odbočkou + 2,5 % na transformátoru Dolní Někčiči VN/0,42 ($U_2 = 102,5 \% U_n$).....	51
3.3.3 S nastavenou střední odbočkou transformátoru Dolní Někčiči VN/0,42 ($U_2 = 105 \% U_n$).....	55
3.3.4 S nastavenou krajní odbočkou - 2,5 % na transformátoru Dolní Někčiči VN/0,42 ($U_2 = 107,5 \% U_n$).....	59
3.3.5 S nastavenou krajní odbočkou - 5 % transformátoru Dolní Někčiči VN/0,42 ($U_2 = 110 \% U_n$).....	63
3.4 VARIANTA NASTAVENÍ	67
4 NÁVRH DALŠÍCH TEORETICKÝCH MOŽNOSTÍ STABILIZACE NAPĚTÍ V DISTRIBUČNÍ NN SÍTI A POROVNÁNÍ JEJICH DOPADŮ NA ODCHYLKY NAPĚTÍ S VARIANTOU REGULAČNÍHO TRANSFORMÁTORU NN/NN	70
4.1 POSÍLENÍ SÍŤE, REKONSTRUKCE	70
4.2 POUŽITÍ SAMOREGULAČNÍHO TRANSFORMÁTORU VN/NN	74
4.2.1 Transformátory MAGTECH	74
4.2.2 Transformátory EFACEC	74
4.2.3 Transformátory SIEMENS	75
ZÁVĚR	76

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	78
--	-----------

PŘÍLOHY	80
----------------------	-----------

Seznam symbolů a zkratek

$\cos \varphi$	Účinnost [-]
ČP.....	Číslo popisné
FVE.....	Fotovoltaická elektrárna
I.....	Proud [A]
I_n	Jmenovitý proud [A]
JČE.....	Jihočeská energetika
JME.....	Jihomoravská energetika
l.....	Délka [m]
NN.....	Nízké napětí
OM.....	Odběrné místo
OZE.....	Obnovitelné zdroje energie
P.....	Činný výkon [W]
PPDS.....	Pravidla provozování distribučních soustav
Q.....	Jalový výkon [Var]
R.....	Odpor [Ω]
S.....	Zdánlivý výkon [VA]
T1.....	Transformátor 1
U.....	Napětí [V]
U3-4.....	Venkovní vedení mezi uzlem 3 – 4
U_n	Jmenovité napětí [V]
VN.....	Vysoké napětí
VVN.....	Velmi vysoké napětí
X.....	Reaktance [Ω]
β	Součinitel náročnosti (soudobosti) [-]

Seznam obrázků

OBR. 1.1 ÚROVNĚ NAPĚTÍ NA KMITOČTECH SIGNÁLŮ V PROCENTECH UN VE VEŘEJNÝCH DISTRIBUČNÍCH SÍTÍCH NN [1]	17
OBR. 1.2 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY [5]	22
OBR. 1.3 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY PŘI ZVÝŠENÍ NAPĚTÍ NA T1 [5].....	23
OBR. 1.4 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY PŘI ZVÝŠENÍ NAPĚTÍ NA T1 A T2 [5]	23
OBR. 1.5 PRŮBĚHY NAPĚTÍ NA VÝVODU VN PŘI RŮZNÝCH ZPŮSOBECH REGULACE [5]	24
OBR. 1.6 BLOKOVÉ SCHÉMA REGULÁTORU NAPĚTÍ S KOMPAUNDAČNÍ SMYČKOU [5].....	25
OBR. 1.7 SCHÉMA SÍTĚ S PŘIPOJENÝM ZDROJEM FVE (G)	27
OBR. 1.8 PRŮBĚH NAPĚTÍ V SÍTĚ PŘI $U_1 = 23,6$ kV A $21,5$ kV S NASTAVENOU STŘEDNÍ ODBOČKOU A MAXIMÁLNÍ VÝROBOU FVE	27
OBR. 1.9 PRŮBĚH NAPĚTÍ V SÍTĚ PŘI $U_1 = 23,6$ kV A $21,5$ kV S NASTAVENOU ODBOČKOU + 5 % RESP. + 2,5 % A MAXIMÁLNÍ VÝROBOU FVE.....	28
OBR. 1.10 PRŮBĚH NAPĚTÍ V SÍTĚ PŘI $U_1 = 23,6$ kV A $21,5$ kV S NASTAVENOU ODBOČKOU + 5 % RESP. + 2,5 % A BEZ VÝROBY FVE.....	29
OBR. 3.1 SCHÉMA SÍTĚ ZADANÉ OBLASTI DOLNÍ NĚMČÍ	33
OBR. 3.2 ZMĚŘENÉ HODNOTY NAPĚTÍ U OM45	33
OBR. 3.3 ZMĚŘENÉ HODNOTY NAPĚTÍ U OM29	34
OBR. 3.4 REGULÁČNÍ MOŽNOSTI REGULÁČNÍHO TRANSFORMÁTORU SCHMACHTL.....	45

Seznam tabulek

TABULKA 1.1 ÚROVNĚ JEDNOTLIVÝCH HARMONICKÝCH NAPĚTÍ V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ V PROCENTECH U ₁ PRO ŘÁDY HARMONICKÝCH AŽ DO 25 [1].....	16
TABULKA 1.2 KLASIFIKACE POKLESŮ NAPĚTÍ PODLE ZBYTKOVÉHO NAPĚTÍ A DOBY TRVÁNÍ [1].....	18
TABULKA 1.3 KLASIFIKACE PŘECHODNÝCH ZVÝŠENÍ NAPĚTÍ PODLE MAXIMÁLNÍHO NAPĚTÍ A DOBY TRVÁNÍ [1] ..	18
TABULKA 2.1 TRANSFORMÁTOR STR 50 POUŽÍVANÝ SPOLEČNOSTÍ E.ON [8].....	31
TABULKA 2.2 TRANSFORMÁTORY TYPU SCHMACHTL ANSI., ZVÝRAZNĚNÉ TYPY JSOU POUŽÍVÁNY SPOLEČNOSTÍ E.ON [13].....	32
TABULKA 3.1 ZADANÉ HODNOTY PRO VÝPOČET.....	34
TABULKA 3.2 PARAMETRY VEDENÍ POUŽITÝCH PŘI VÝPOČTU	35
TABULKA 3.3 VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ ODBĚRNÝCH MÍST PŘI B _{MAX}	37
TABULKA 3.4 VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ ODBĚRNÝCH MÍST PŘI B _{MIN}	37
TABULKA 3.5 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX}	39
TABULKA 3.6 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX}	41
TABULKA 3.7 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN}	42
TABULKA 3.8 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN}	44
TABULKA 3.9 VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ ODBĚRNÝCH MÍST PŘI B _{MAX}	46
TABULKA 3.10 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX}	46
TABULKA 3.11 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX}	48
TABULKA 3.12 VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ ODBĚRNÝCH MÍST PŘI B _{MIN}	48
TABULKA 3.13 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN}	49
TABULKA 3.14 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN}	50
TABULKA 3.15 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX}	51
TABULKA 3.16 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX}	52
TABULKA 3.17 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN}	53
TABULKA 3.18 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN}	54
TABULKA 3.19 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX}	55
TABULKA 3.20 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX}	56
TABULKA 3.21 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN}	57
TABULKA 3.22 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN}	58
TABULKA 3.23 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX}	59
TABULKA 3.24 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX}	60
TABULKA 3.25 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN}	61
TABULKA 3.26 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN}	62
TABULKA 3.27 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX}	63
TABULKA 3.28 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX}	64
TABULKA 3.29 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN}	65
TABULKA 3.30 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN}	66
TABULKA 3.31 PARAMETRY REGULAČNÍHO TRANSFORMÁTORU ANSI. 50	67
TABULKA 3.32 NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX} , PŘI NASTAVENÉ ODBOČCE+ 2,5 % TRANSFORMÁTORU DOLNÍ NĚMČÍ	67
TABULKA 3.33 NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX} , PŘI NASTAVENÉ ODBOČCE 0 % TRANSFORMÁTORU DOLNÍ NĚMČÍ	68
TABULKA 3.34 TABULKA 3.35 NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX} , PŘI NASTAVENÉ ODBOČCE TRANSFORMÁTORU - 2,5 % DOLNÍ NĚMČÍ	68
TABULKA 3.36 NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX} , PŘI NASTAVENÉ ODBOČCE TRANSFORMÁTORU - 5 % DOLNÍ NĚMČÍ	69
TABULKA 3.37 NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX} , PŘI NASTAVENÉ ODBOČCE TRANSFORMÁTORU + 5 % DOLNÍ NĚMČÍ	69
TABULKA 4.1 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MAX} PO REKONSTRUKCI VEDENÍ A NASTAVENÉ STŘEDNÍ ODBOČCE NA TRANSFORMÁTORU DOLNÍ NĚMČÍ.....	70
TABULKA 4.2 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MAX} PO REKONSTRUKCI VEDENÍ A NASTAVENÉ STŘEDNÍ ODBOČCE NA TRANSFORMÁTORU DOLNÍ NĚMČÍ.....	72
TABULKA 4.3 VÝPOČÍVANÉ ÚBYTKY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH VEDENÍCH PŘI B _{MIN} PO REKONSTRUKCI VEDENÍ A NASTAVENÉ STŘEDNÍ ODBOČCE NA TRANSFORMÁTORU DOLNÍ NĚMČÍ.....	72
TABULKA 4.4 ÚBYTKY NAPĚTÍ U JEDNOTLIVÝCH OM PŘI B _{MIN} PO REKONSTRUKCI VEDENÍ A NASTAVENÉ STŘEDNÍ ODBOČCE NA TRANSFORMÁTORU DOLNÍ NĚMČÍ.....	73
TABULKA 5.0.1 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ HODNOTY NAPĚTÍ REGULAČNÍHO TRANSFORMÁTORU NN/NN SCHMACHTL ANSI. 50 PŘI B _{MAX}	76
TABULKA 5.0.2 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ HODNOTY NAPĚTÍ REGULAČNÍHO TRANSFORMÁTORU NN/NN SCHMACHTL	

ANSI. 50 PŘI B_{MIN}	77
-------------------------------------	----

Úvod

Hlavním parametrem dodávané elektrické energie je napětí a jeho kvalita. Pokud hovoříme o kvalitě elektrické energie, hovoříme o souboru parametrů, určujících vlastnosti elektrické energie dodávané za normálních podmínek odběratelům a to z hlediska nepřetržitosti dodávek a charakteristiky napětí. Udržování velikosti napětí v předepsaných mezích, které jsou dány normou, nebo udržování velikosti napětí v mezích předepsaných výrobcem je hlavní podmínkou nejen pro správný chod spotřebičů, či světelných zdrojů, ale i pro jejich životnost. Při nízké velikosti napětí dochází sice k menším ztrátám v síti, protože se proud spotřebiče a tím i jeho výkon snižují, ale také dochází k nesprávné funkci spotřebičů, jako je např. delší doba vaření apod. U světelných zdrojů poté dochází ke snížení světelného toku. Naopak při napětí, které je vyšší než horní toleranční, mez dochází ke snížení životnosti spotřebičů, či světelných zdrojů z důvodu průchodu vyššího proudu. Pokud je hodnota proudu příliš vysoká, větší než povolená hodnota proudu, může dojít ke zničení spotřebiče, či světelného zdroje.

První polovina předkládané práce je zaměřena na teoretický popis charakteristik napětí, odchylek napětí a jejich zajištění v distribuční síti. Dále zajištění odchylek napětí a strategii regulace a technický popis regulačních transformátorů NN/NN, které se používají ve společnosti E.ON.

Případová studie řeší porovnání odchylek napětí ve vybrané lokalitě bez regulačního transformátoru a s regulačním transformátorem při maximálním a minimálním zatížením sítě, či s různými variantami nastavení regulačního transformátoru.

1 Způsob zajištění odchylek v distribuční síti

1.1 Charakteristiky napětí v distribuční síti NN

Popisují kvalitu napětí dodávané z veřejné distribuční sítě dle normy ČSN 50160 pro sítě NN, VN a VVN. Charakteristiky napětí se rozdělují na průběžné a napěťové jevy. Zatím co průběžné jevy se vyskytují na napětí stále, jsou průběžně měřeny a statisticky hodnoceny (hodnotící interval je obvykle jeden týden), tak napěťové jevy se vyskytují náhodně v čase, nebo se mohou objevovat i v závislosti na ročním období.

Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je 230 V mezi fází a uzlem. Všechny následující charakteristiky jsou uváděny pro hladinu NN.

1.1.1 Průběžné jevy

Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz. Střední hodnota kmitočtu základní harmonické, která je měřena v intervalu 10 sekund musí být v následujících mezích. U systémů se synchronním připojením k propojenému systému 50 Hz \pm 1 % během 99,5 % času roku a 50 Hz + 4 % / -6 % po 100 % času. U systému bez synchronního systému připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy) jsou tolerance 50 Hz \pm 2 % během 95 % času týdne a 50 Hz \pm 15 % po 100 % času. Monitorování probíhá za normálních provozních podmínek a obvykle ho provádí příslušný dispečer v oblasti.

Odchyly napájecího napětí

Požadavek na odchylku napájecího napětí je takový, že za normálních provozních podmínek by odchylka napájecího napětí neměla překročit \pm 10 % jmenovitého napětí U_n . Pokud není elektrické napájení připojeno k přenosovým sítím či pro speciální dálkově ovládané uživatele, by neměla přesáhnout +10 % / -15 % U_n .

Za normálních podmínek musí 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí být v rozsahu $U_n \pm 10$ % a všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí být v rozsahu $U_n \pm 10$ % / -15 %, tyto hodnoty jsou měřeny v 10 -ti minutových intervalech.

V síti NN je jmenovitá hodnota fázového napětí 230 V (sdružené napětí 400 V).

Rychlé změny napětí (kolísání napětí)

Hlavní příčiny rychlých změn napájecího napětí jsou způsobeny buď změnami zátěží v uživatelských instalacích, spínáním v síti, nebo poruchami. Dlouhodobá míra kolísání napětí musí být za normálních podmínek v libovolném týdenním období po 95 % času menší nebo rovno 1. Reakce na kolísání napětí je subjektivní a může se měnit v závislosti na příčině kolísání napětí a na délce doby. Odchytky napájecího napětí trvají oproti rychlým změnám napájecího napětí několik period.

Nesymetrie napájecího napětí

95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí musí být v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. Měřeno za normálních provozních podmínek a v libovolném týdenním intervalu.

Harmonická napětí

Harmonické frekvence jsou celé násobky základní frekvence, což znamená v našem případě násobky frekvence 50 Hz. Za normálních podmínek musí být 95 % středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovna hodnotě uvedené v tabulce 1.1, měřené v desetiminutových intervalech v libovolném týdenním období. Některé harmonické mohou být vyšší, což může být způsobeno rezonancí. Celkový činitel harmonického zkreslení, který zahrnuje všechny harmonické do řádu 40, musí být menší nebo roven 8 %.

Tabulka 1.1 Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech u1 pro řády harmonických až do 25 [1]

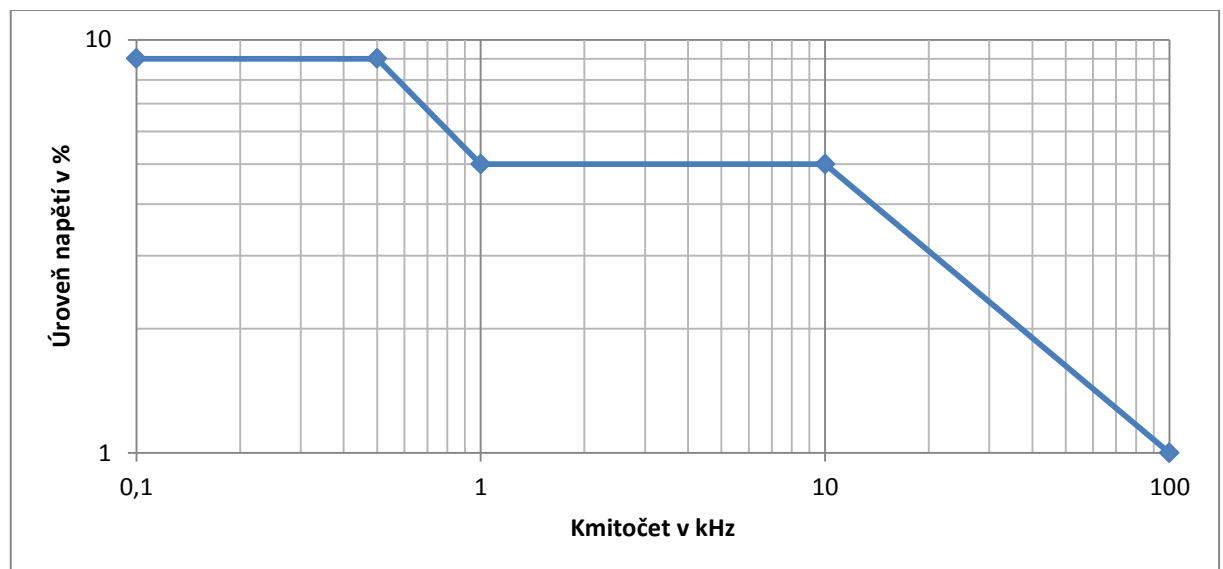
Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3		Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h
Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h	Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h		
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5%		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Meziharmonické napětí

Jsou to neceločíselné násobky základní harmonické. Hladina meziharmonických napětí narůstá s přibýváním používání měničů kmitočtu a podobných zařízení. Meziharmonické napětí nízkých úrovní mohou způsobovat flickr, či rušení v systémech hromadného dálkového ovládání (HDO).

Úrovně napětí signálů v napájecím napětí

Veřejná distribuční síť může být také použita k přenosu informací. Střední hodnota měřeného signálu po dobu 3 sekund, musí být během 99 % dne menší nebo rovna hodnotám, které jsou zobrazeny v obrázku Obr. 1.1.



Obr. 1.1 Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech UN ve veřejných distribučních sítích NN [1]

1.1.2 Napět'ové jevy

Přerušení napájecího napětí

Přerušení napájecího napětí můžeme rozdělit na krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí. Jako krátkodobé přerušení napájecího napětí považujeme přerušení napětí, které je kratší než 3 minuty, naopak pokud je toto přerušení delší než 3 minuty, hovoříme o dlouhodobém přerušení napájecího napětí. Kratší přerušení napájecího napětí mají vliv na kvalitu dodávky elektrické energie a naopak delší přerušení mají vliv na nepřetržitost dodávky elektrické energie. Kvalita dodávané energie se poté obvykle posuzuje dle četnosti a doby trvání přerušení dodávky elektrické energie pomocí ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI

(System Average Interruption Duration Index) a SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Tyto ukazatele potom v průběhu roku stanovují průměrnou dobu trvání přerušení dodávky (SAIDI) a průměrný počet přerušení u každého zákazníka (SAIFI).

Poklesy /dočasné zvýšení napětí napájecího napětí

Hlavními příčinami poklesů napětí jsou poruchy ve veřejné distribuční síti, či poruchy v instalacích uživatelů. Naopak dočasná zvýšení napětí napájecího napětí bývají způsobena provozním spínáním, či odpojováním zátěže. Oba tyto jevy jsou náhodného charakteru a nepředpokládaného výskytu. Rozložení těchto jevů během roku je velmi nepravidelné a výskyt se značně mění dle typu napájecí sítě a místa sledování.

Měření výskytu poklesů /dočasně zvýšených napětí napájecího napětí se provádí dle normy EN 61000-4-30 a jako referenční hodnota je stanoveno jmenovité napájecí napětí sítě NN. Prahová hodnota poklesu napětí je rovna 90 % jmenovitého napětí a prahová hodnota přechodného napětí je rovna 110 % jmenovitého napětí.

Vyhodnocení poklesu /dočasného zvýšení napětí napájecího napětí je popsáno v normě EN 61000-4-30. Pokud jsou shromážděna všechna data, klasifikují se poklesy /dočasná zvýšení napájecího napětí dle následujících tabulek Tabulka 1. 2 a Tabulka 1. 3.

Tabulka 1.2 Klasifikace poklesů napětí podle zbytkového napětí a doby trvání [1]

Zbytkové napětí u [%]	Doba trvání t [ms]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5
$80 > u \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

Tabulka 1.3 Klasifikace přechodných zvýšení napětí podle maximálního napětí a doby trvání [1]

Přechodné zvýšení napětí u [%]	Doba trvání t [ms]		
	$10 < t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$u \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u \geq 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

Dočasná zvýšení napětí /přepětí

Vznikají v předacích místech a jsou především způsobena atmosférickým přepětím (indukovaným přepětím) nebo spínáním zátěže v soustavě. Proto je můžeme dělit na přepětí provozní a přepětí atmosférická. Provozní přepětí vznikají při manipulaci v síti, při poruchových stavech nebo při zvýšení napětí alternátorů, či náhlém odlehčení soustavy. Tato přepětí trvají několik sekund a většinou jsou odstraněna pomocí regulátorů, či přepěťových ochran. Atmosférická přepětí vznikají buď přímým úderem blesku, nebo elektromagnetickou a elektrostatickou indukci.

Kapitola 1.1. Charakteristiky napětí v distribuční síti byla zpracována na základě použité literatury [1][3][5][14].

1.2 Zajištění odchylek napětí a strategie regulace v distribuční síti

V elektrizační soustavě České republiky se pro regulaci napětí používají především regulační transformátory s přepínáním odboček pod zatížením nebo v beznapěťovém stavu transformátoru, či injektáž jalového výkonu do pilotních uzlů, což jsou uzly, kde změna napěťových poměrů má větší dosah na ostatní uzly sítě. Pro injektáž jalových výkonů se používají především kompenzační prostředky nebo synchronní generátory.

Jako regulační možnosti v distribučních soustavách máme regulaci s kompaundací, kdy je snaha udržet konstantní napětí v elektrické polovině vedení, nebo regulaci na konstantní napětí za transformátorem, kdy se snažíme udržet konstantní napětí na výstupu transformátoru.

1.2.1 Transformátory

Transformátory 110 kV/VN

Na hladině vysokého napětí se regulace provádí pomocí přepínání odboček transformátoru VVN/VN na straně VVN pod zátěží, tedy bez nutnosti přerušení elektrického proudu. Požadované napětí je udržováno v nastavených mezích pomocí automatik, či pomocí dispečerského řídicího systému. Výkonové transformátory umožňují regulaci napětí po krocích 2 %, což např. u transformátoru $110 \pm 8 \times 2 \% / 23 \text{ kV}$ znamená skokovou změnu

napětí v systému VN 22 kV o několik set voltů (můžeme se setkat i s regulačním krokem 1,7 %). V závislosti na nastavené odbočce na primární straně transformátoru se skoková změna pohybuje v rozmezí 300 až 700 V. Jemnější, či přesnější regulace je technicky vyloučena.

Transformátory 110 kV/VN jsou posledním regulačním článkem v distribuční soustavě, na kterém lze regulovat napětí pod zatížením.

Transformátory VN/NN

Distribuční transformátory VN/NN jsou řešeny jako regulační bez zatížení. Na vstupním vinutí jsou vyvedeny odbočky $\pm 2 \times 2,5 \%$ od střední odbočky, případně $\pm 5 \%$. Odbočky je nutno nastavovat v beznapětovém stavu transformátoru. Distribuční transformátory se vyrábějí se jmenovitým převodem naprázdno VN /0,4; 0,41; 0,42.

Typickými distribučními transformátory ve společnosti E.ON Distribuce, a.s., jsou transformátory s převodem $22 \pm 2 \times 2,5 \%$ /0,42 kV. Pomocí těchto transformátorů je zajištěno přenastavení výstupního napětí pomocí změny odbočky o $2,5 \%$ U_n ve stavu bez zatížení, kdy je potřeba transformátor na určitou dobu odpojit. Odpojení transformátoru představuje jednak omezení dodávky elektřiny zákazníkům, kteří jsou k tomuto transformátoru připojeni a dále provozní náklady spojeny s výjezdem montérů. K odstranění těchto jevů, či eliminaci přepětí slouží distribuční transformátory s regulací odboček pod zatížením.

Regulace na těchto distribučních transformátorech slouží především k eliminaci úbytků napětí na dlouhých vedeních. Nejčastější nastavení bývá na 0 % odbočku, v závislosti na umístění transformátoru. Tato odbočka bývá nejčastěji využívána v městských kabelových rozvodech, kde jsou úbytky napětí poměrně malé.

Protože jsou odbočky umístěny na primárním vedení transformátoru, bude výstupní napětí z transformátoru při odbočce + 5 % nejnižší a proto se tohle nastavení používá, pokud je transformátor umístěn v blízkosti rozvodny 110 kV/VN. Jelikož při odlehčení sítě by mohlo dojít k přepětí. Naopak odbočka - 5 % bude nastavena na transformátoru, který je umístěn na konci dlouhých paprskových vedení tak, aby zvýšené napětí na sekundární straně transformátoru pokrylo ztráty na dlouhém vedení. Pokud není na transformátorech 110kV/VN využita kompaundace, mohou být spotřebitelé napájení z transformátoru s odbočkou - 5 % postiženi zvýšeným napětím

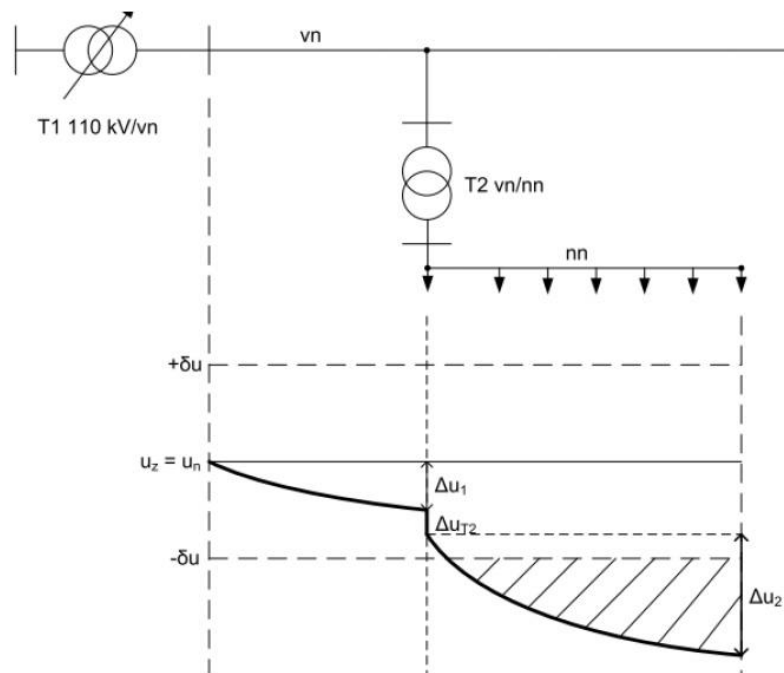
Transformátory NN/NN

Používají se především ke stabilizaci napětí ve vzdálených místech sítí NN, kde rozptyl napětí přesahuje normou povolené tolerance. Tyto transformátory pracují v režimu online, neboli v regulaci napětí pod zatížením. V regulátorech mívají zabudované hlídače napětí, které měří a porovnávají vstupní napětí s nastavenou žádanou hodnotou, pokud napětí na vstupu je vyšší, než nastavená hodnota, potom transformátor toto napětí dorovná na požadovanou (viz. Kapitola 2 – Typy regulačních transformátorů NN/NN zejména s ohledem na regulační možnosti a principy regulace).

Tyto transformátory se do sítí NN osazují dočasně pouze do doby rekonstrukce sítě. Jejich nasazení se nepředpokládá jako trvalé řešení napěťových poměrů. Regulační transformátory NN/NN mají příznivý vliv na tolerance napětí, ale hlavní nevýhodou těchto transformátorů je jejich možnost přispívání ke zhoršení parametru flikru (kolísání napětí) v síti.

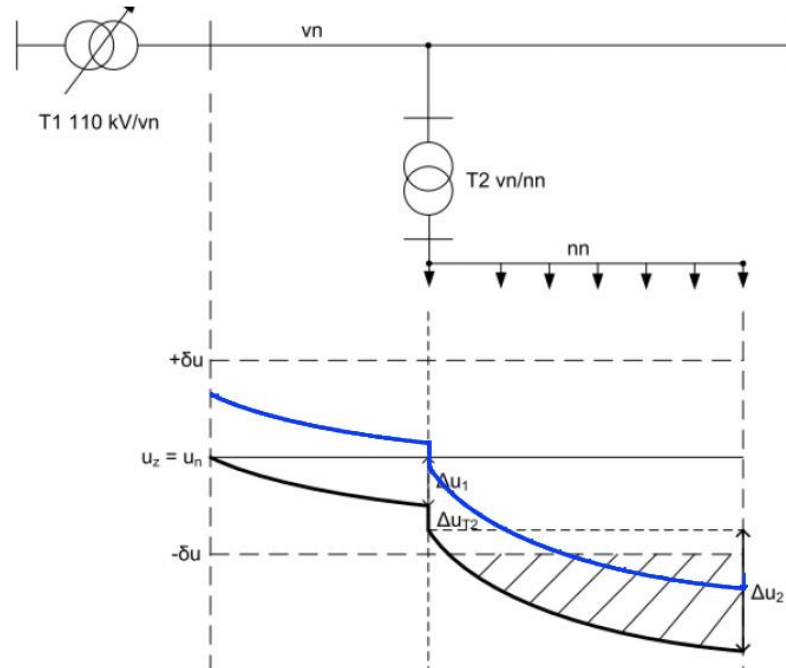
1.2.2 Strategie regulace napětí v distribuční soustavě

Hlavním úkolem regulace napětí je snaha o zajištění stejného napětí (s přijatelnými odchylkami) na sekundární straně všech distribučních transformátorů VN/NN. Na obrázku Obr. 1.2 je zjednodušené schéma distribuční soustavy, kdy na přípojnici VN je udržované jmenovité napětí $U_z = U_n$ a na žádných dalších prvcích sítě není jeho hladina zvýšena. Může dojít k tak velkému úbytku napětí, že napětí u všech odběratelů v síti bude mimo dovolené hodnoty napětí $U_n \pm 10\%$.



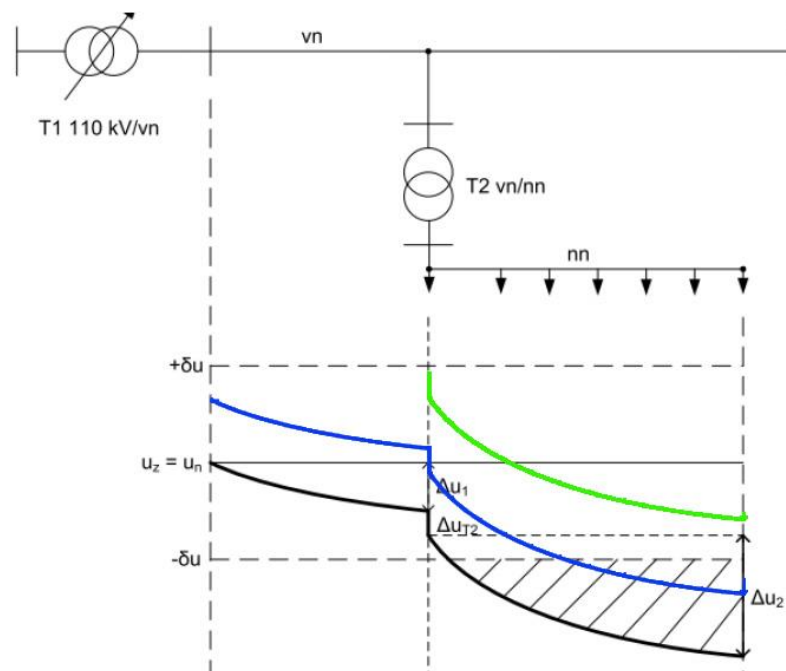
Obr. 1.2 Zjednodušené schéma distribuční soustavy [5]

Při zvýšení napětí na sekundární straně transformátoru T1 pomocí přenastavení odboček na transformátoru T1, dostaneme zlepšené poměry v síti NN, ale stále nemusí být v tolerančních mezích $U_n \pm 10\%$ (Obr. 1.3 - modrý průběh).



Obr. 1.3 Zjednodušené schéma distribuční soustavy při zvýšení napětí na T1 [5]

Při přenastavení odboček na transformátoru T2, tedy zvýšením napětí v síti NN dostaneme hodnoty napětí do požadovaných tolerančních mezí $\pm 10\% U_n$ (Obr. 1.4 – zelený průběh).

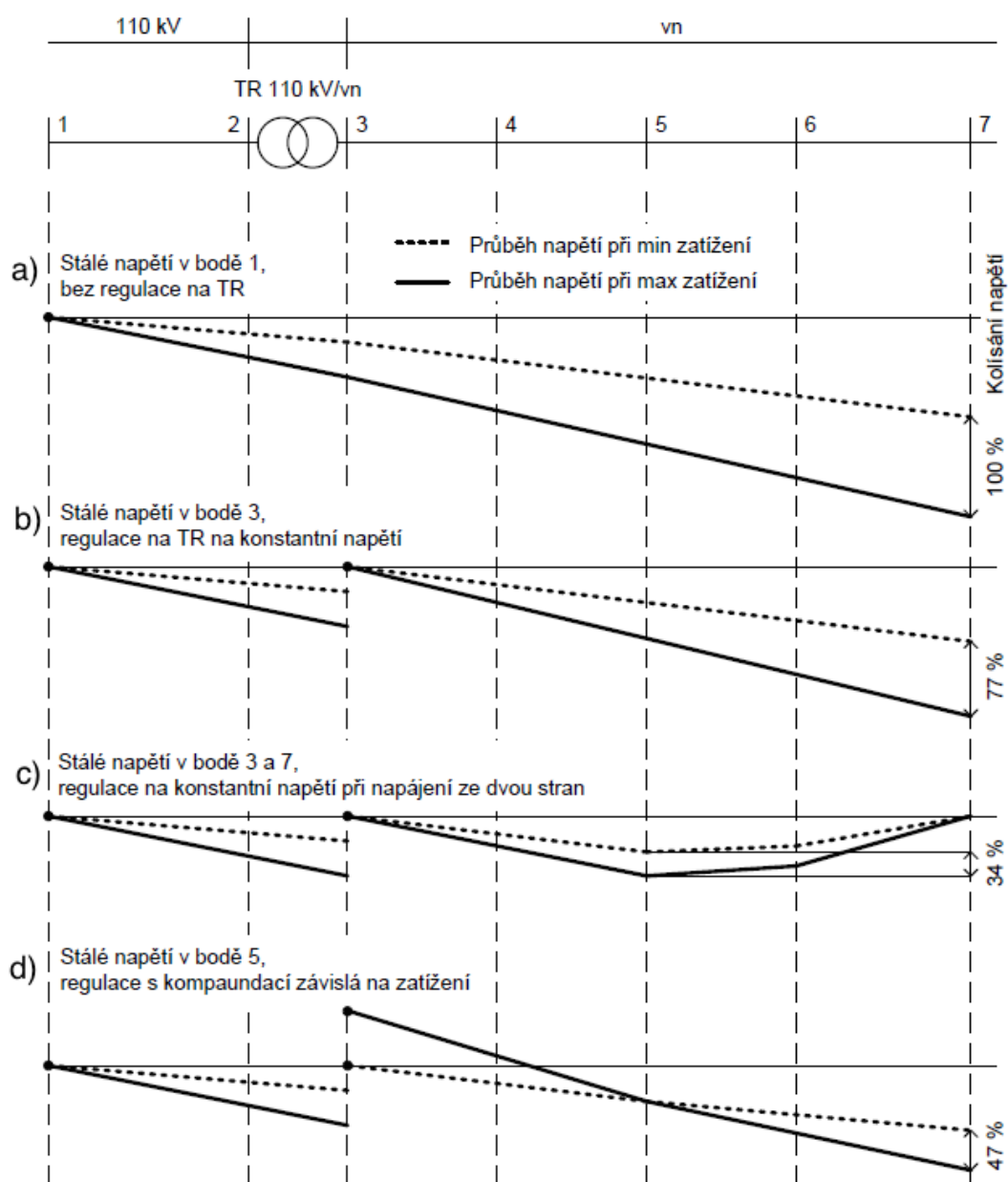


Obr. 1.4 Zjednodušené schéma distribuční soustavy při zvýšení napětí na T1 a T2 [5]

Konstantní napětí za transformátorem

Tato regulace je řízena bez ohledu na zatížení, kde na výstupu transformátoru 110/22 kV je udržováno konstantní napětí, to je zobrazeno na obrázku (Obr. 1.5b). Tato regulace má výhodu v její nenáročnosti a v šetření přepínače odboček, jelikož není tolik namáhán. Naopak nevýhodou této metody je to, že ne vždy a všude zaručí dodržení dovolených odchylek. Tato regulace se používá především u sítí s kratšími VN vývody, jelikož při odlehčení sítě může vznikat na konci vedení zvýšené napětí.

Jak je zobrazeno na obrázku (Obr. 1.5c), regulace s konstantním napětím za transformátorem může být použita i v sítích, které jsou napájeny z obou stran.



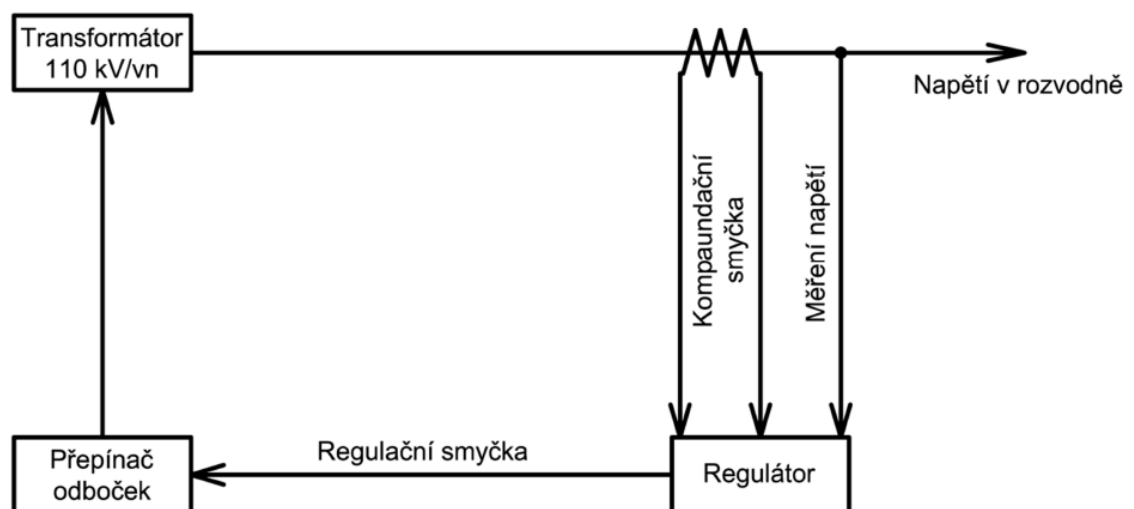
Obr. 1.5 Průběhy napětí na vývodu VN při různých způsobech regulace [5]

Na obrázku Obr. 1.5a je také zobrazen napěťový profil, kde je udržováno konstantní napětí v předávacím místě (bod 1) a na nižších napěťových hladinách nedochází k žádné regulaci. Tato metoda se nepoužívá.

Regulace s kompaundací (s proměnlivým napětím)

Jedná se o regulaci napětí dle zatížení, principem této regulace je nalezení elektrické poloviny vedení, ve které je snaha o udržení konstantního napětí. Tato polovina vždy nemusí představovat fyzickou polovinu vedení. Regulace napětí s kompaundací je zobrazena na obrázku (Obr. 1.5d).

Tato regulace je řízena automatickými regulátory napětí ARN, nebo pomocí příslušných algoritmů dispečerského řízení. Při vyhodnocování regulace je snímán procházející proud transformátorem 110/22kV, který vytváří úbytek napětí v kompaundační smyčce, čímž umožňuje získat potřebné napětí i na delších vývodech. Potřebná odbočka je poté nastavena, dle rozdílu regulovaného napětí a úbytku na transformátoru. Regulátor musí být správně nastaven, jelikož počet sepnutí přepínače odboček by neměl přesáhnout 25 sepnutí za den, proto je nutné správné nastavení parametrů přepínače odboček. Na přepínači odboček se nastavuje základní hladina napětí (u_z), velikost proměnlivé složky napětí kompaundace (Δ), necitlivost (N) a časové zpoždění regulace (T). Časové zpoždění T se většinou nastavuje na dobu 5 minut, necitlivost regulátoru je nastavena přibližně na hodnotu 2,5 % tedy větší než je regulační krok. Blokové schéma regulátoru s kompaundační smyčkou je na obrázku Obr. 1.6.



Obr. 1.6 Blokové schéma regulátoru napětí s kompaundační smyčkou [5]

$$u_2 = u_z + \frac{I_2}{I_n} \cdot \Delta \quad (1.1)$$

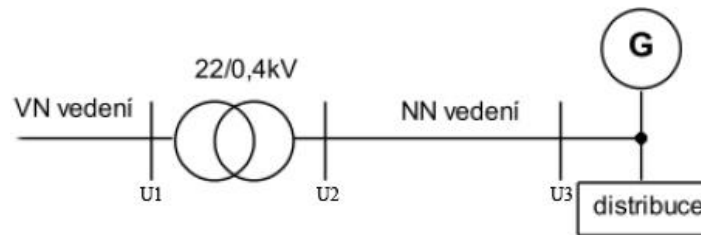
kde:

- I_2 - Zatížení transformátoru [A]
- I_n - Jmenovitý proud transformátoru [A]
- Δ - Proudová kompaundace [%]

Kapitola 1.2 Zajištění odchylek napětí a strategie regulace v distribuční síti byla zpracována na základě použité literatury [1][4][5][6][7][9][11][12].

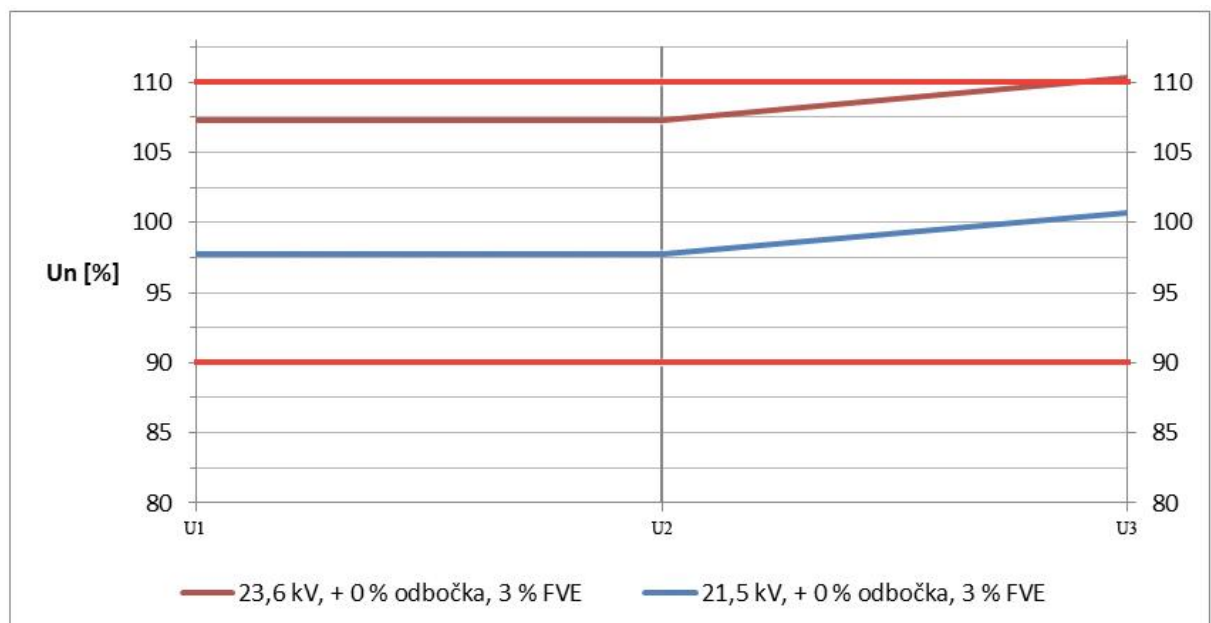
1.3 Problémy s udržením napětí v NN sítích s vnořenými zdroji

Dle PPDS mohou výrobní OZE připojené do VN sítí zvýšit napětí maximálně o 2 % U_n a u NN sítí jsou to potom 3 % U_n . Největším problémem sítí s připojenými FVE je větší rozkolísanost napětí během dne, která je závislá na odběru distribuce a na dodávání napětí do sítě ze zdroje G (viz. Obr. 1.7).



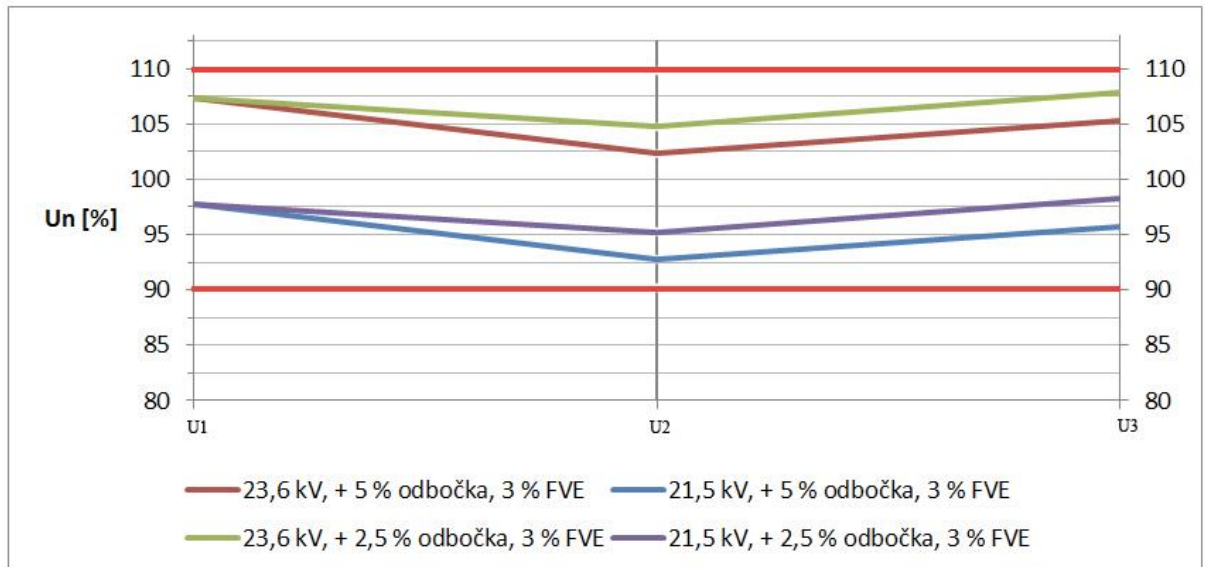
Obr. 1.7 Schéma sítě s připojeným zdrojem FVE (G)

Pokud budeme uvažovat mezní stav sítě, kdy ve VN síti máme maximální napětí 23,6 kV (107,3 % U_n) a na transformátoru VN/NN nastavenou střední odbočku 0 %, tak při zanedbatelném odběru distribuce a při maximální výrobě FVE (3 % U_n v síti NN) bude v síti NN hodnota 110,3 % U_n tedy přepětí. (viz. Obr. 1.8).



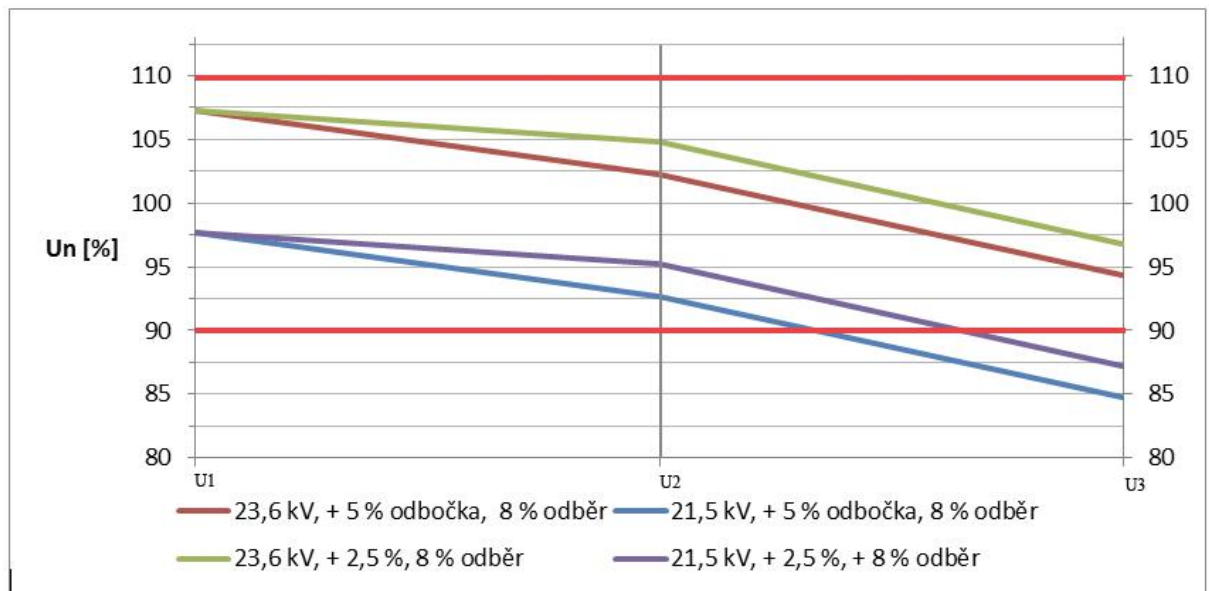
Obr. 1.8 Průběh napětí v síti při $U_1 = 23,6$ kV a 21,5 kV s nastavenou střední odbočkou a maximální výrobou FVE

Abychom zamezili přepětí, pokusíme se přehodit odbočku na transformátoru VN/NN na + 2,5 %, případně na + 5 % (snížíme napětí na sekundární straně transformátoru). Při maximálním, respektive minimálním napětí na VN straně transformátoru při zanedbatelném odběru distribuce a maximální výrobě FVE budou všechny průběhy napětí v rozmezí $\pm 10\%$ U_n (viz. Obr. 1.9).



Obr. 1.9 Průběh napětí v síti při $U_1 = 23,6$ kV a $21,5$ kV s nastavenou odbočkou + 5 % resp. + 2,5 % a maximální výrobou FVE

Pokud budeme uvažovat úbytek napětí distribuce okolo 8 % (ČP45 v kapitole 4.1 tabulka 4.2 a pokud budeme uvažovat, že FVE nedodává do sítě žádné napětí (tento stav můžeme očekávat v zimních měsících, nebo pokud je oblačné počasí), dostáváme při nastavené odbočce + 5 % i 2,5 % podpětí při minimálním napětí 21,5 kV na primární straně transformátoru VN/NN hodnotu napětí v síti NN nižší než 90 % U_n , tedy v síti je podpětí (viz. Obr. 1.10).



Obr. 1.10 Průběh napětí v síti při $U_1 = 23,6 \text{ kV}$ a $21,5 \text{ kV}$ s nastavenou odbočkou + 5 % resp. + 2,5 % a bez výroby FVE

Kapitola 1.3 Problémy s udržení napětí v NN sítích s vnořenými zdroji byla zpracována na základě použité literatury [5][6].

2 Typy regulačních transformátorů NN/NN zejména s ohledem na regulační možnosti a principy regulace

V distribučním prostředí společnosti E.ON jsou použity regulační transformátory od dvou výrobců, jejichž použití je určeno minulostí, kdy se energetiky dělily na Jihočeskou Energetiku (JČE) a Jihomoravskou energetiku (JME), které dnes tvoří E.ON. Na území bývalé JME jsou použity regulační transformátory typu NN/NN STR 50 od Brněnského výrobce EGÚ Brno. Druhým výrobcem regulačních transformátorů, použitých na území bývalé JČE je rakouská firma Schmachtl a její dva typy regulačních transformátorů ANSI 50 a ANSI 100.

Obecně platí, že tyto regulátory NN/NN jsou nasazovány pouze jako „dočasné“ řešení v sítích NN, tam kde je potřeba zajistit napětí v požadovaných mezích. Jde tedy o rychlé a nouzové řešení a nelze ho považovat za konečné. Mnohdy se ale stává, že výstavba transformační stanice trvá velice dlouho, či je nerealizovatelná z důvodů sporů s vlastníky pozemku.

2.1 Stabilizátor typu NN/NN STR 50

Používá se především k trojfázové stabilizaci napětí ve vzdálených místech sítě nízkého napětí, kde rozptyl napětí přesahuje normou povolené tolerance a rekonstrukce této sítě je ekonomicky nevýhodná, či z jiných důvodů nemožná. Stabilizátor STR 50 je vhodné použít pro napájení spotřebitelů, kteří se nacházejí v ucelených lokalitách, které jsou poměrně dlouhým a po trase nezatíženým vedením napájena z transformátorů VN/NN, jako jsou například chatové nebo rekreační oblasti a samoty.

Stabilizátor STR50 se umísťuje do plechových skříní, které jsou konstruovány pro venkovní prostředí. Regulace výstupního napětí je zajištěna dvojicí transformátorů s procesovým řízením přepínání odboček a to v každé fázi nezávisle. Stabilizátor STR50 je možno připojit v sítích se samočinným odpojením od zdroje TN (ochrana nulováním) i v sítích TT (ochrana zemnáním). Vhodnost umístění stabilizátoru STR50 je volena dle elektrických parametrů elektrického vedení, charakterem spotřeby v napájecí lokalitě a dostupností.

2.1.1 Technické údaje

Vstupní napětí:	3× (180 V až 260 V), 50 Hz ± 2 Hz
Jmenovité výstupní napětí:	Základní: 230 V Nastavitelné: 224 V, 236V, 242V Rozsah: 207 V až 253 V
Jmenovitá rychlost řízení:	150 – 400 ms, záleží na kroku přepnutí

Tabulka 2.1 Transformátor STR 50 používaný společností E.ON [8]

Typ	Výkon (kVA)	Jmen. Proud (A)	Hlavní rozměry š × v × h (mm)	Hmotnost ca. (kg)
STR 50	50	16	1600×800×500	540

Kapitola 2.1 Stabilizátor typu NN STR50 byla zpracována na základě použité literatury [8].

2.2 Transformátory typu SCHMACHTL ANSI.

Transformátory typu Schmachtl ANSI jsou používány především pro automatické vyrovnávání napěťového kolísání v síti. Je to třífázový systém s odděleným, plynulým řízením každé fáze. Hlídače napětí jsou zabudované v regulátorech, měří a porovnávají vstupní napětí s nastavenou žádanou hodnotou. Servomotor kruhového řídicího transformátoru je řízen regulátorovým zesilovačem přes výstupní relé, pomocí povelů „vysoko“ nebo „nízko“. Servomotor přičítá, či odečítá dle aktuální hodnoty vstupního napětí odpovídající doplňkové napětí na podélný transformátor.

V případě výskytu poruchy je možno zařízení provozovat přes zabudovaný obchvat bez regulace, pomocí vyjmutí vstupních a výstupních pojistek a nasazením obchvatové pojistky.

2.2.1 Technické údaje

Vstupní napětí:	400 / 231V, +10 / -20%, 50Hz
Jmenovité výstupní napětí:	400 / 231V, (po ± 1 % nastavitelné)
Jmenovitá rychlost řízení:	10 V/sec.

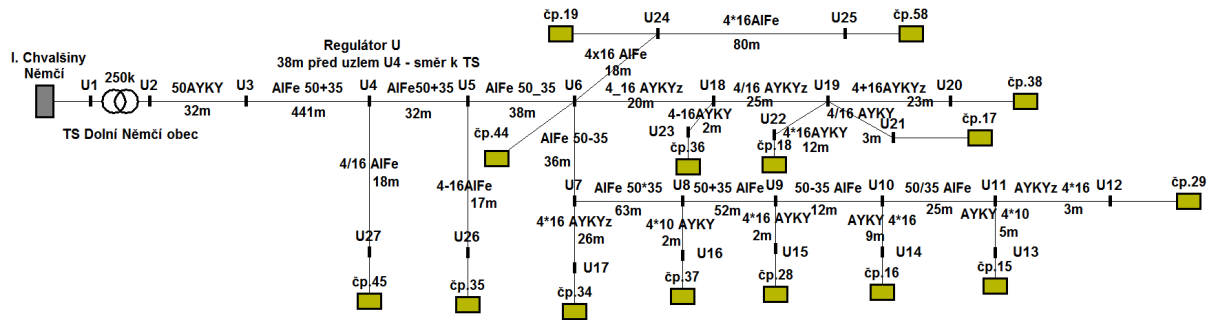
Tabulka 2.2 Transformátory typu Schmachtl ANSI., zvýrazněné typy jsou používány společností E.ON [13]

Typ	Výkon (kVA)	Jmen. Proud (A)	Hlavní rozměry š × v × h (mm)	Hmotnost ca. (kg)
ANSI. 11	11	17	600×850×500	230
ANSI. 17	17	26	600×850×500	260
ANSI. 23	23	35	1000×1050×550	350
ANSI. 30	30	45	1000×1050×550	390
ANSI. 50	50	75	1000×1050×550	480
ANSI. 75	75	113	1200×1300×550	630
ANSI. 100	100	150	1200×1300×550	680

Kapitola 2.2 Transformátory typu Schmachtl ANSI. byla zpracována na základě použité literatury [13].

3 Návrh parametrizace regulačního transformátoru NN/NN ve vybrané lokalitě distribuční sítě a analýza dopadu jeho provozu na odchylky napětí, zhodnocení a porovnání jednotlivých variant nastavení

Zadání:



Obr. 3.1 Schéma sítě zadané oblasti Dolní Němčí

V obci Dolní Němčí u Větrní se nachází 15 odběrných míst (standardní odběry 3 x 25A, rodinné domky). Spotřebitelé elektrické energie si stěžovali na špatný chod domácích spotřebičů. Při změření kvality el. energie na základě požadavků takřka všech odběratelů se zjistily následující napěťové poměry v síti (Obr. 3.2 a Obr. 3.3). Změřené hodnoty napětí ve všech odběrných místech nesplňovaly limity norem, kdy jmenovité napětí sítě musí být v rozmezí $U_n \pm 10\%$. Jak se později ukázalo, hlavním důvodem bylo stáří a stav venkovního vedení U3-4, které bylo rekonstruováno pomocí spojek venkovního vedení, které zvyšují impedanci tohoto vedení a tím i ztráty na vedení. Proto pro posílení vedení byl vybrán regulační transformátor Schmachtl typu ANSI. 50, který bude připojen 38 m před uzlem U4.

PPDS Statistika Časové průběhy Histogramy ČSN EN 50160 Události								
Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 20.9.2012 12:20:00, do: 2.10.2012 9:50:00								
Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod. %)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	168,685 (73,34%)	✘
				max. 95%	1 týden	10%	259,908 (113,00%)	✘
				min. 100%	1 týden	-15%	147,074 (63,95%)	✘
				max. 100%	1 týden	10%	264,178 (114,86%)	✘
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	147,074 (63,95%)	✘
				max. 100%	1 týden	11%	264,178 (114,86%)	✘
Krátkodobý flickr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	2,962	✘
Dlouhodobý flickr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	2,833	✘

Obr. 3.2 Změřené hodnoty napětí u OM45

PPDS								
Statistika		Časové průběhy		Histogramy		ČSN EN 50160		Události
Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 12.9.2012 15:50:00, do: 20.9.2012 8:40:00								
Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	160,764 (69,90%)	
				max. 95%	1 týden	10%	258,827 (112,53%)	
				min. 100%	1 týden	-15%	140,954 (61,28%)	
				max. 100%	1 týden	10%	263,818 (114,70%)	
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	140,954 (61,28%)	
				max. 100%	1 týden	11%	263,818 (114,70%)	
Krátkodobý flkr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	4,567	
Dlouhodobý flkr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	4,328	

Obr. 3.3 Změřené hodnoty napětí u OM29

Tabulka 3.1 Zadané hodnoty pro výpočet

OM [A]	3 x 25
β_{max} [-]	0,16
β_{min} [-]	0,016
$\cos \varphi$ [-]	0,996
U_n [V]	400
TS Dolní Němčí VN/0,42 [kVA]	250

kde :

- OM - Odběrné místo
- β - Součinitel náročnosti (soudobosti)
- $\cos \varphi$ - Účinník
- U_n - Jmenovité napětí sítě

$$\beta_{max} = \frac{P_{max}}{P_I} = \frac{3 \cdot U_f \cdot I_{max} \cdot \cos \varphi}{3 \cdot U_f \cdot I_I \cdot \cos \varphi} = \frac{3 \cdot 230 \cdot 60 \cdot 0,996}{15 \cdot 3 \cdot 230 \cdot 25 \cdot 0,996} = 0,16$$

$$\beta_{min} = \frac{P_{max}}{P_I} = \frac{3 \cdot U_f \cdot I_{min} \cdot \cos \varphi}{3 \cdot U_f \cdot I_I \cdot \cos \varphi} = \frac{3 \cdot 230 \cdot 6 \cdot 0,996}{15 \cdot 3 \cdot 230 \cdot 25 \cdot 0,996} = 0,016$$

Za předpokladu, že je 15 odběrných míst a každé odběrné místo má jistič 3 × 25 A.

kde:

- I_{max} - Maximální změřený proud z TR Dolní Němčí
- I_I - Instalovaný proud

Použité venkovní vedení v oblasti Dolní Němčí a jeho parametry jsou popsány v tabulce 3.2:

Tabulka 3.2 Parametry vedení použitých při výpočtu

Typ	R [Ω/km]	X [Ω/km]
50 AYKY	0,619	0,077
AlFe 50+35	0,690	0,291
AlFe 16	1,882	0,329
AYKYz 16	1,935	0,090
AYKY 10	3,096	0,086
AYKY 16	1,935	0,082

Pro návrh regulačního transformátoru potřebujeme vypočítat výpočtové zatížení zadané oblasti, průchozí proud jednotlivých vedení a úbytky napětí na jednotlivých vedeních. Pro výpočtové zatížení jednoho OM platí vztah:

$$P_{i\check{C}Px} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad (3.1)$$

$$P_{P\check{C}Px} = \beta_{max/min} \cdot P_{i\check{C}Px} \quad (3.2)$$

kde:

- $P_{i\check{C}Px}$ - Celkový instalovaný výkon odběrného místa X
- $P_{P\check{C}Px}$ - Výpočtové zatížení odběrného místa X

Pro výpočet zdánlivého výkonu použijeme vztah:

$$S_{P\check{C}Px} = \frac{P_{P\check{C}Px}}{\cos \varphi} \quad (3.3)$$

a pro výpočet jalového výkonu:

$$Q_{P\check{C}Px} = S_{P\check{C}Px} \cdot \sin \varphi \quad (3.4)$$

nebo

$$Q_{P\check{C}Px} = \sqrt{S_{P\check{C}Px}^2 - P_{P\check{C}Px}^2} \quad (3.5)$$

Pro výpočet výpočtového zatížení určité hladiny U, či celé sítě postupujeme tak, že nejprve sečteme všechny činné a jalové složky výpočtového zatížení a z nich dopočítáme výsledný zdánlivý výkon výpočtového zatížení.

$$P_{PU} = P_{P\check{C}Px} + P_{P\check{C}Py} \dots P_{P\check{C}Pn} \quad (3.6)$$

$$Q_{PU} = Q_{P\check{C}Px} + Q_{P\check{C}Py} \dots Q_{P\check{C}Pn} \quad (3.7)$$

$$S_{PU} = \sqrt{P_{PU}^2 + Q_{PU}^2} \quad (3.8)$$

Pokud je u všech odběrných míst stejný účinník $\cos \varphi$, můžeme sčítat rovnou zdánlivé výkony jednotlivých OM,

$$S_{PU} = S_{P\check{C}Px} + S_{P\check{C}Py} \dots S_{P\check{C}Pn} \quad (3.9)$$

pokud by se účinník $\cos \varphi$ lišil, není tato metoda přesná, jako kdybychom počítali pomocí činné a jalové složky výpočtového zatížení.

3.1 Výpočtové zatížení pro Dolní Němčí

Výpočtové zatížení jednotlivých odběrných míst při β_{\max} :

Tabulka 3.3 Výpočtové zatížení odběrných míst při β_{\max}

OM	ČP45	ČP 35	ČP 44	ČP 34	ČP 37	ČP 28	ČP 16	ČP 15
P_p [W]	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2
Q_p [Var]	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6
S_p [VA]	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3

OM	ČP 29	ČP 19	ČP 58	ČP 36	ČP 18	ČP 17	ČP 38
P_p [W]	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2
Q_p [Var]	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6
S_p [VA]	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3

Pro výpočet $S_{P\check{C}P18}$ při β_{\max} vycházíme dle rovnice (3.1), (3.2), (3.3) a (3.5):

$$P_{i\check{C}P18} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_f \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 25 \cdot 0,996 = 17251,2 \text{ W} \quad (3.10)$$

$$P_{P\check{C}P18} = \beta_{\max} \cdot P_{i\check{C}P18} = 0,16 \cdot 17251,2 = 2760,2 \text{ W} \quad (3.11)$$

$$S_{P\check{C}P18} = \frac{P_{P\check{C}P18}}{\cos \varphi} = \frac{2760,2}{0,996} = 2771,3 \text{ VA} \quad (3.12)$$

$$Q_{P\check{C}P18} = \sqrt{S_{P\check{C}P18}^2 - P_{P\check{C}P18}^2} = \sqrt{2771,3^2 - 2760,2^2} = 247,6 \text{ VAr} \quad (3.13)$$

Stejným způsobem postupujeme při dopočítání ostatních OM.

Pro výpočtové zatížení při minimálním zatížení síť postupujeme stejně jako v předchozím případě, jen místo činitele soudobosti β_{\max} použijeme β_{\min} . Pro minimální zatížení byl naměřen proud 6A pro výstup z transformátoru, což odpovídá činiteli soudobosti 0,016.

Tabulka 3.4 Výpočtové zatížení odběrných míst při β_{\min}

OM	ČP45	ČP 35	ČP 44	ČP 34	ČP 37	ČP 28	ČP 16	ČP 15
P_p [W]	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0
Q_p [Var]	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
S_p [VA]	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1

OM	ČP 29	ČP 19	ČP 58	ČP 36	ČP 18	ČP 17	ČP 38
P_p [W]	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0
Q_p [Var]	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
S_p [VA]	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1

Pro výpočet $S_{P\check{C}P18}$ při β_{\min} vycházíme dle rovnice (3.1), (3.2), (3.3) a (3.5):

$$P_{i\check{C}P18} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_f \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 25 \cdot 0,996 = 17251,2 \text{ W} \quad (3.14)$$

$$P_{P\check{C}P18} = \beta_{\min} \cdot P_{i\check{C}P18} = 0,016 \cdot 18113,8 = 276,0 \text{ W} \quad (3.15)$$

$$S_{P\check{C}P18} = \frac{P_{P\check{C}P18}}{\cos \varphi} = \frac{276,0}{0,996} = 277,1 \text{ VA} \quad (3.16)$$

$$Q_{P\check{C}P18} = \sqrt{S_{P\check{C}P18}^2 - P_{P\check{C}P18}^2} = \sqrt{276,0^2 - 277,1^2} = 24,8 \text{ VAr} \quad (3.17)$$

3.2 Výpočet úbytků napětí na vedení v oblasti Dolní Němčí

Pro výpočet úbytků napětí musíme nejdříve vypočítat proud, který prochází daným vedením. Proud procházející jednotlivými vedeními NN se vypočítá dle vztahu:

$$I_{Px} = \frac{S_{Px}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (3.18)$$

kde:

S_{Px} - Zdánlivý výkon daného uzlu či OM

Celkový proud do oblasti Dolní Němčí potom vypočítáme dle rovnice (3.14), kdy za S_{Px} dosadíme celkový zdánlivý výkon dané oblasti. Nebo jako součet všech dílčích průchozích proudů I_{Px} . Pokud známe parametry a proud procházející zadaným vedením, dopočítáme úbytek zadaného vedení dle vztahu:

$$\Delta U_f = R \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi + X \cdot I_p \cdot l \cdot \sin \varphi \quad (3.19)$$

kde:

R - Měrný odpor vinutí

I_p - Průchozí proud

l - Délka vedení

X - Měrná reaktance vedení

3.2.1 Výpočet úbytků napětí při maximálním zatížení β_{max}

Tabulka 3.5 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max}

Vedení	U2-3	U3-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44	U6-7
S_x [VA]	41569,2	41569,2	2771,3	38797,9	2771,3	36026,7	2771,3	16627,7
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	60,0	60,0	4,0	56,0	4,0	52,0	4,0	24,0
l [km]	0,032	0,441	0,018	0,032	0,017	0,038	-	0,038
R [Ω /km]	0,619	0,690	1,882	0,690	1,882	0,690	-	0,690
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-	0,291
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	1,20	66,87	0,14	1,28	0,13	1,41	-	0,65
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,518	28,957	0,059	0,553	0,056	0,610	-	0,282

Vedení	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14	U10-11
S_x [VA]	2771,3	13856,4	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8	2771,3	5542,6
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	4,0	20,0	4,0	16,0	4,0	12,0	4,0	8,0
l [km]	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009	0,025
R [Ω /km]	1,935	0,690	3,096	0,690	1,935	0,690	1,935	0,690
X [Ω /km]	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082	0,291
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,21	0,90	0,025	0,59	0,015	0,10	0,07	0,14
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,090	0,389	0,011	0,257	0,007	0,044	0,030	0,062

Vedení	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23	U18-19
S_x [VA]	2771,3	2771,3	5542,6	2771,3	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	4,0	4,0	8,0	4,0	4,0	16,0	4,0	12,0
l [km]	0,005	0,003	0,018	-	0,080	0,020	0,002	0,025
R [Ω /km]	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,086	0,090	0,329	-	0,329	0,090	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,06	0,023	0,27	-	0,61	0,62	0,015	0,58
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,027	0,010	0,119	-	0,264	0,268	0,007	0,251

Vedení	U19-22	U19-21	U19-20
S_{Px} [VA]	2771,3	2771,3	2771,3
U_n [V]	400	400	400
I_p [A]	4,0	4,0	4,0
l [km]	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935
X [k Ω /km]	0,082	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,09	0,023	0,18
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,040	0,010	0,077

Pro výpočet $S_{PU18-19}$ použijeme rovnice (3.6), (3.7) a (3.8):

$$P_{PU18-19} = P_{P\check{C}P18} + P_{P\check{C}P17} + P_{P\check{C}P38} = 2760,2 + 2760,2 + 2760,2 \quad (3.20)$$

$$= 8280,6 \text{ W}$$

$$Q_{PU18-19} = Q_{P\check{C}P18} + Q_{P\check{C}P17} + Q_{P\check{C}P38} = 247,6 + 247,6 + 247,6 = 742,8 \text{ VAr} \quad (3.21)$$

$$S_{PU18-19} = \sqrt{P_{PU18-19}^2 + Q_{PU18-19}^2} = \sqrt{8280,6^2 + 742,8^2} = 8313,8 \text{ VA} \quad (3.22)$$

jelikož máme stejný účinník $\cos \varphi$ můžeme postupovat dle rovnice (3.9):

$$S_{PU18-19} = S_{P\check{C}P18} + S_{P\check{C}P17} + S_{P\check{C}P38} = 2771,3 + 2771,3 + 2771,3 \quad (3.23)$$

$$= 8313,9 \text{ VA}$$

Celkové výpočtové zatížení S_{PU2-3} bylo vypočteno dle výše uvedeného příkladu a vyšlo 41569,2 VA. Transformátor typu Schmachtl ANSI. 50 je vyhovující, protože jeho jmenovitý výkon je 50kVA (viz. kapitola 2.2 – Transformátory typu Schmachtl ANSI.).

Pro výpočet průchozího proudu vedením U2-3 použijeme vztah (3.18):

$$I_{PU2-3} = \frac{S_{PU2-3}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{41569,2}{\sqrt{3} \cdot 400} = 60 \text{ A} \quad (3.24)$$

Při průchodu proudu o velikosti 60A je na vedení U2-3 úbytek napětí dle rovnice (3.19):

$$\Delta U_{fU2-3} = R \cdot I_{PU2-3} \cdot l \cdot \cos \varphi + X \cdot I_{PU2-3} \cdot l \cdot \sin \varphi \quad (3.25)$$

$$= 0,619 \cdot 60 \cdot 0,032 \cdot 0,996 + 0,077 \cdot 60 \cdot 0,032 \cdot 0,089$$

$$= 1,197 \text{ V}$$

Vzhledem ke stáří se na vedení U3-4 nachází několik spojek venkovního vedení, které zhoršují situaci a zvyšují impedanci tohoto vedení, proto musíme k úbytku napětí na vedení přičíst ještě úbytek napětí na spojkách, velikost impedance spojek byla změřena okolo hodnoty $0,8\Omega$:

$$\begin{aligned}\Delta U_{fU3-4VEDENÍ} &= R \cdot I_{PU3-4} \cdot l \cdot \cos \varphi + X \cdot I_{PU3-4} \cdot l \cdot \sin \varphi & (3.26) \\ &= 0,69 \cdot 60 \cdot 0,441 \cdot 0,996 + 0,291 \cdot 60 \cdot 0,441 \cdot 0,089 \\ &= 18,872 \text{ V}\end{aligned}$$

$$\Delta U_{fUSPOJEK} = Z_{SPOJEK} \cdot I_{PU3-4} = 0,8 \cdot 60 = 48 \text{ V} \quad (3.27)$$

$$\Delta U_{fU3-4} = \Delta U_{fU3-4VEDENÍ} + \Delta U_{fUSPOJEK} = 18,872 + 48 = 66,872 \text{ V} \quad (3.28)$$

Tabulka 3.6 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max}

OM	45	35	44	34	37	28	16	15
U_f [V]	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9
ΔU_f [V]	68,2	69,5	70,8	71,6	72,3	72,9	73,1	73,2
$\Delta u_{f\%}$ [%]	29,5	30,1	30,6	31,0	31,3	31,6	31,6	31,7
$U_{f\text{skut.}}$ [V]	162,7	161,5	160,2	159,3	158,6	158,0	157,9	157,7

OM	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9
ΔU_f [V]	73,2	71,0	71,6	71,4	72,0	72,0	72,1
$\Delta u_{f\%}$ [%]	31,7	30,8	31,0	30,9	31,2	31,2	31,2
$U_{f\text{skut.}}$ [V]	157,8	159,9	159,3	159,5	158,9	159,0	158,8

Všechny vypočítané hodnoty napětí jsou mimo normu (viz. kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchytky napájecího napětí). Pro výpočet úbytku napětí u OM29 sečteme všechny dílčí úbytky napětí z tabulky 3.4:

$$\begin{aligned}\Delta U_{fOM29} &= \Delta U_{fU2-3} + \Delta U_{fU3-4} + \Delta U_{fU4-5} + \Delta U_{fU5-6} + \Delta U_{fU6-7} + \Delta U_{fU7-8} & (3.29) \\ &+ \Delta U_{fU8-9} + \Delta U_{fU9-10} + \Delta U_{fU10+11} + \Delta U_{fU11-12} \\ &= 1,20 + 66,87 + 1,28 + 1,41 + 0,65 + 0,90 + 0,59 + 0,10 \\ &+ 0,14 + 0,02 = 73,16 \text{ V}\end{aligned}$$

3.2.2 Výpočet úbytků napětí při minimálním zatížení β_{\min}

Tabulka 3.7 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{\min}

Vedení	U2-3	U3-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44	U6-7
S_x [VA]	4156,9	4156,9	277,1	3879,8	277,1	3602,7	277,1	1662,8
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	6,0	6,0	0,4	5,6	0,4	5,2	0,4	2,4
l [km]	0,032	0,441	0,018	0,032	0,017	0,038	-	0,038
R [Ω /km]	0,619	0,690	1,882	0,690	1,882	0,690	-	0,690
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-	0,291
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,12	6,69	0,01	0,13	0,01	0,14	-	0,07
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,052	2,896	0,006	0,055	0,006	0,061	-	0,028

Vedení	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14	U10-11
S_x [VA]	277,1	1385,6	277,1	1108,5	277,1	831,4	277,1	554,3
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	0,4	2,0	0,4	1,6	0,4	1,2	0,4	0,8
l [km]	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009	0,025
R [Ω /km]	1,935	0,690	3,096	0,690	1,935	0,690	1,935	0,690
X [Ω /km]	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082	0,291
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,02	0,09	0,002	0,06	0,002	0,01	0,01	0,01
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,009	0,039	0,001	0,026	0,001	0,004	0,003	0,006

Vedení	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23	U18-19
S_x [VA]	277,1	277,1	554,3	277,1	277,1	1108,5	277,1	831,3
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	1,6	0,4	1,2
l [km]	0,005	0,003	0,018	-	0,080	0,020	0,002	0,025
R [Ω /km]	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,086	0,090	0,329	-	0,329	0,090	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,01	0,002	0,03	-	0,06	0,06	0,002	0,06
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,003	0,001	0,012	-	0,026	0,027	0,001	0,025

Vedení	U19-22	U19-21	U19-20
S_{P_x} [VA]	277,1	277,1	277,1
U_n [V]	400	400	400
I_p [A]	0,4	0,4	0,4
l [km]	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935
X [k Ω /km]	0,082	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,01	0,002	0,02
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,004	0,001	0,008

Pro výpočet $S_{PU18-19}$ použijeme rovnici (3.9):

$$S_{PU18-19} = S_{P\check{C}P18} + S_{P\check{C}P17} + S_{P\check{C}P38} = 277,1 + 277,1 + 277,1 = 831,3 \text{ VA} \quad (3.30)$$

Celkové výpočtové zatížení S_{PU2-3} bylo spočteno dle výše uvedeného příkladu a vyšlo 4156,9 VA. Pro výpočet průchozího proudu vedením U2-3 použijeme vztah (3.18):

$$I_{PU2-3} = \frac{S_{PU2-3}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4156,9}{\sqrt{3} \cdot 400} = 6 \text{ A} \quad (3.31)$$

Pomocí průchozího proudu, můžeme opět spočítat úbytky napětí na jednotlivých vedeních dle rovnice (3.19):

$$\begin{aligned} \Delta U_{fU2-3} &= R \cdot I_{PU2-3} \cdot l \cdot \cos \varphi + X \cdot I_{PU2-3} \cdot l \cdot \sin \varphi \\ &= 0,619 \cdot 6 \cdot 0,032 \cdot 0,996 + 0,077 \cdot 6 \cdot 0,032 \cdot 0,089 = 0,12 \text{ V} \end{aligned} \quad (3.32)$$

U vedení U3-4 připočteme úbytek napětí na spojkách venkovního vedení:

$$\begin{aligned} \Delta U_{fU3-4\text{VEDENÍ}} &= R \cdot I_{PU3-4} \cdot l \cdot \cos \varphi + X \cdot I_{PU3-4} \cdot l \cdot \sin \varphi \\ &= 0,69 \cdot 6 \cdot 0,441 \cdot 0,996 + 0,291 \cdot 6 \cdot 0,441 \cdot 0,089 = 1,89 \text{ V} \end{aligned} \quad (3.33)$$

$$\Delta U_{fUSPOJEK} = Z_{SPOJEK} \cdot I_{PU3-4} = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ V} \quad (3.34)$$

$$\Delta U_{fU3-4} = \Delta U_{fU3-4\text{VEDENÍ}} + \Delta U_{fUSPOJEK} = 1,89 + 4,8 = 6,69 \text{ V} \quad (3.35)$$

Tabulka 3.8 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min}

OM	45	35	44	34	37	28	16	15
U_f [V]	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9
ΔU_f [V]	6,8	6,9	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,3
$\Delta u_{f\%}$ [%]	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2
U_f [V]	224,1	224,0	223,9	223,8	223,7	223,6	223,6	223,6

OM	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9	230,9
ΔU_f [V]	7,3	7,1	7,2	7,1	7,2	7,2	7,2
$\Delta u_{f\%}$ [%]	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
U_f [V]	223,6	223,8	223,8	223,8	223,7	223,7	223,7

Při minimálním zatížení sítě jsou všechny vypočítané hodnoty napětí v normě (viz. kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchytky napájecího napětí). Výpočtem pro minimální zatížení kontroluji, jestli nedochází k přepětí na vedení. Pro výpočet úbytku napětí u OM29 sečteme všechny dílčí úbytky napětí z tabulky 3.4:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{fOM29} &= \Delta U_{fU2-3} + \Delta U_{fU3-4} + \Delta U_{fU4-5} + \Delta U_{fU5-6} + \Delta U_{fU6-7} + \Delta U_{fU7-8} \\
 &\quad + \Delta U_{fU8-9} + \Delta U_{fU9-10} + \Delta U_{fU10+11} + \Delta U_{fU11-12} \\
 &= 0,12 + 6,69 + 0,13 + 0,14 + 0,07 + 0,09 + 0,06 + 0,01 \\
 &\quad + 0,01 + 0,002 = 7,322 \text{ V}
 \end{aligned}
 \tag{3.36}$$

3.3 Výpočet úbytků napětí v síti s regulačním transformátorem typu Schmachtl ANSI 50

Regulátor pracuje tak, že nastavíme na výstupu požadovanou hodnotu, v našem případě se budeme snažit mít na výstupu regulátoru 231 V a regulátor je schopný tuto hodnotu uregulovat pod podmínkou, že na jeho vstupu je napětí v rozmezí 184 – 255 V. Pokud nebude hodnota vstupního napětí v mezích 184 – 255 V, dostaneme výstupní napětí dle obrázku (Obr. 3.4).

EINGANG caV	AUSGANG caV
150	194
155	200
160	206
165	212
170	218
175	224
180	230
184 bis 255	231
260	234
265	237
270	240
275	243

NENNREGEL =
BEREICH
-20% / +10%

Obr. 3.4 Regulační možnosti regulačního transformátoru Schmachtl

Například bude-li vstupní napětí na regulačním transformátoru 150 V, bude výstupní napětí maximálně 194 V (viz. první řádek na Obr. 3.2). Proto pro nastavení regulátoru, potřebujeme vypočítat napětí na vstupu. Jelikož je regulační transformátor umístěn na vedení U3-4 spočítáme velikost napětí vstupu regulátoru jako součet úbytků napětí na vedení U2-3 a U3-TR (délku vedení U3-TR vypočítáme jako rozdíl U3-4 a 38m, viz zadání umístění transformátoru).

3.3.1 S nastavenou krajní odbočkou + 5 % na transformátoru Dolní Němčí VN/0,42 ($U_2 = 100 \% U_n$)

Jelikož je na transformátoru Dolní Němčí nastavena krajní odbočka +5 %, počítáme na výstupu transformátoru s napětím $U_n = 400$ V, pokud uvažujeme, že na transformátoru Dolní Němčí není úbytek napětí a na primární straně je jmenovité napětí sítě U_n .

Vypočítané úbytky napětí při maximálním zatížení β_{max}

Výpočtová zatížení jednotlivých OM jsou stejná jako u předchozího příkladu (Kapitola 3.1, tabulka 3.3 a rovnice 3.10 až 3.13).

Tabulka 3.9 Výpočtové zatížení odběrných míst při β_{max}

OM	ČP45	ČP 35	ČP 44	ČP 34	ČP 37	ČP 28	ČP 16	ČP 15
P_p [W]	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2
Q_p [Var]	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6
S_p [VA]	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3

OM	ČP 29	ČP 19	ČP 58	ČP 36	ČP 18	ČP 17	ČP 38
P_p [W]	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2	2760,2
Q_p [Var]	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6	247,6
S_p [VA]	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3	2771,3

Úbytky napětí na jednotlivých vedeních spočítáme jako v předchozím případě (kapitola 3.2.1), dle rovnic (3.20) až (3.29).

Tabulka 3.10 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6- ČP44
S_x [VA]	41569,2	41569,2	41569,2	2771,3	38797,9	2771,3	36026,7	2771,3
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	60,0	60,0	60,0	4,0	56,0	4,0	52,0	4,0
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,690	0,690	1,882	0,690	1,882	0,690	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	1,20	65,25	1,63	0,14	1,28	0,13	1,41	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,518	28,252	0,704	0,059	0,553	0,056	0,610	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	16627,7	2771,3	13856,4	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8	2771,3
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	24,0	4,0	20,0	4,0	16,0	4,0	12,0	4,0
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,690	1,935	0,690	3,096	0,690	1,935	0,690	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,65	0,21	0,90	0,02	0,59	0,02	0,10	0,07
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,282	0,090	0,389	0,011	0,257	0,007	0,044	0,030

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	5542,6	2771,3	2771,3	5542,6	2771,3	2771,3	11085,1	2771,3
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	8,0	4,0	4,0	8,0	4,0	4,0	16,0	4,0
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,080	0,020	0,002
R [Ω /km]	0,690	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,090	0,329	-	0,329	0,090	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,14	0,06	0,02	0,27	-	0,61	0,62	0,02
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,062	0,027	0,010	0,119	-	0,264	0,268	0,007

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	8313,8	2771,3	2771,3	2771,3
U_n [V]	400	400	400	400
I_p [A]	12,0	4,0	4,0	4,0
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,090	0,082	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,58	0,09	0,02	0,18
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,251	0,040	0,010	0,077

Pro výpočet úbytků napětí u jednotlivých OM postupujeme jako v předchozím případě (kapitola 3.1.1 rovnice 3.25) jen počítáme s výstupním napětím z regulačního transformátoru.

Tabulka 3.11 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	230,9	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0
ΔU_f [V]	66,4	1,8	3,0	4,3	5,2	5,2	6,5	6,6
$\Delta u_{f\%}$ [%]	28,8	0,8	1,3	1,9	2,2	2,3	2,8	2,9
U_{fskut} [V]	164,5	204,2	203,0	201,7	200,8	200,8	199,5	199,4

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0
ΔU_f [V]	6,8	6,7	4,6	5,2	4,9	5,6	5,5	5,7
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,9	2,9	2,0	2,3	2,1	2,4	2,4	2,5
U_{fskut} [V]	199,2	199,3	201,4	200,8	201,1	200,4	200,5	200,3

Jelikož máme na vstupu regulátoru napětí 164,5 V, na výstupu z regulačního transformátoru nedostaneme více než 206 V a všechna odběrná místa nespĺňují limity pro odchylky napájecího napětí (viz. kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchylky napájecího napětí). Proto bude zapotřebí přenastavit odbočku na transformátoru Dolní Němčí.

Vypočítané úbytky napětí při minimálním zatížení β_{min}

Pro výpočet úbytků napětí při minimálním zatížení postupujeme opět dle předchozího příkladu, kdy si spočítáme vstupní napětí do regulačního transformátoru a dle, tohoto napětí určíme výstupní napětí. Výpočtová zatížení jsou stejná jako u předchozího příkladu (kapitola 3.1. rovnice 3.14 – 3.17).

Tabulka 3.12 Výpočtové zatížení odběrných míst při β_{min}

OM	ČP45	ČP 35	ČP 44	ČP 34	ČP 37	ČP 28	ČP 16	ČP 15
P_p [W]	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0
Q_p [Var]	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
S_p [VA]	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1

OM	ČP 29	ČP 19	ČP 58	ČP 36	ČP 18	ČP 17	ČP 38
P_p [W]	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0
Q_p [Var]	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
S_p [VA]	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1	277,1

Pro výpočet úbytků napětí na jednotlivých vedeních použijeme rovnice (3.30) – (3.36).

Tabulka 3.13 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{min}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	4156,9	4156,9	4156,9	277,1	3879,8	277,1	3602,7	277,1
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	6,0	6,0	6,0	0,4	5,6	0,4	5,2	0,4
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,690	0,690	1,882	0,690	1,882	0,690	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,12	6,52	0,16	0,01	0,13	0,01	0,14	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,052	2,825	0,070	0,006	0,055	0,006	0,061	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	1662,8	277,1	1385,6	277,1	1108,5	277,1	831,4	277,1
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	2,4	0,4	2,0	0,4	1,6	0,4	1,2	0,4
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,690	1,935	0,690	3,096	0,690	1,935	0,690	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,07	0,02	0,09	0,002	0,06	0,002	0,01	0,01
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,028	0,009	0,039	0,001	0,026	0,001	0,004	0,003

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	554,3	277,1	277,1	554,3	277,1	277,1	1108,5	277,1
U_n [V]	400	400	400	400	400	400	400	400
I_p [A]	0,8	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	1,6	0,4
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,080	0,020	0,002
R [Ω /km]	0,690	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,090	0,329	-	0,329	0,090	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,01	0,01	0,002	0,03	-	0,06	0,06	0,002
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,006	0,003	0,001	0,012	-	0,026	0,027	0,001

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	831,4	277,1	277,1	277,1
U_n [V]	400	400	400	400
I_p [A]	1,2	0,4	0,4	0,4
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [k Ω /km]	0,090	0,082	0,082	0,090
cos φ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
sin φ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,06	0,01	0,002	0,02
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,025	0,004	0,001	0,008

Pro výpočet úbytků napětí u jednotlivých odběrných míst postupujeme, jako v předchozí kapitole 3.2.2 jen počítáme s výstupním napětím z regulačního transformátoru.

Tabulka 3.14 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	230,9	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,9	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
U_f [V]	224,3	230,8	230,7	230,6	230,5	230,5	230,4	230,3

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_f [V]	230,3	230,3	230,5	230,5	230,5	230,4	230,4	230,4

Při minimálním zatížení sítě je na vstupu regulátoru 224,3 V. Na výstupu regulátoru bude tedy 231 V (nastavená hodnota viz. kapitola 3.3). U všech OM jsou hodnoty napětí opět v mezích normy (viz. kapitola 1.1.1 - Odchylky napájecího napětí).

3.3.2 S nastavenou odbočkou + 2,5 % na transformátoru Dolní Němčí VN/0,42 ($U_2 = 102,5 \% U_n$)

Při nastavení odbočky + 2,5 % na transformátoru Dolní Němčí dostáváme na výstupu z transformátoru napětí U_2 o velikosti 102,5 % U_n , výstupní napětí bude tedy 409,5 V, pokud uvažuje, že na transformátoru Dolní Němčí nevznikají úbytky napětí a je napájen jmenovitým napětím U_n .

Vypočítané úbytky napětí při maximálním zatížení β_{max}

Tabulka 3.15 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	41569,2	41569,2	41569,2	2771,3	38797,9	2771,3	36026,7	2771,3
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	58,61	58,61	58,61	3,91	54,70	3,91	50,79	3,91
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	1,169	64,846	1,588	0,134	1,248	0,126	1,377	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,495	27,428	0,672	0,057	0,528	0,053	0,582	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	16627,7	2771,3	13856,4	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8	2771,3
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	23,44	3,91	19,54	3,91	15,63	3,91	11,72	3,91
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,635	0,204	0,878	0,024	0,580	0,015	0,100	0,068
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,269	0,086	0,371	0,010	0,245	0,006	0,042	0,029

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	5542,6	2771,3	2771,3	5542,6	2771,3	2771,3	11085,1	2771,3
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	7,81	3,91	3,91	7,81	3,91	3,91	15,63	3,91
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	-	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,139	0,060	0,023	0,268	-	0,595	0,605	0,015
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,059	0,026	0,010	0,113	-	0,252	0,256	0,006

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	8313,8	2771,3	2771,3	2771,3
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	11,72	3,91	3,91	3,91
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,567	0,091	0,023	0,174
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,240	0,038	0,010	0,074

Tabulka 3.16 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	236,4	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0
ΔU_f [V]	66,0	1,722	2,963	4,214	5,053	5,751	6,322	6,475
$\Delta u_{f\%}$ [%]	27,9	0,7	1,3	1,8	2,1	2,4	2,7	2,7
$U_{f_{skut}}$ [V]	170,4	216,3	215,0	213,8	212,9	212,2	211,7	211,5

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0
ΔU_f [V]	6,607	6,569	4,481	5,077	4,834	5,476	5,408	5,560
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,8	2,8	1,9	2,1	2,0	2,3	2,3	2,4
$U_{f_{skut}}$ [V]	211,4	211,4	213,5	212,9	213,2	212,5	212,6	212,4

Na vstupu regulátoru je hodnota napětí 170 V, proto na výstupu z regulátoru nemůže být větší hodnota napětí než je 218 V, což je dáno limity regulačního transformátoru Schmachtl. Tato hodnota je postačující k tomu, aby všechna OM byla napájena napětím, které splňuje limity dané normou $U_n \pm 10\%$ (viz. Kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchyšky napájecího napětí).

Vypočítané úbytky napětí při minimálním zatížení β_{min}

Tabulka 3.17 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{min}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	4156,9	4156,9	4156,9	277,1	3879,8	277,1	3602,7	277,1
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	5,86	5,86	5,86	0,39	5,47	0,39	5,08	0,39
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,117	6,485	0,159	0,013	0,125	0,013	0,138	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,049	2,743	0,067	0,006	0,053	0,005	0,058	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	1662,8	277,1	1385,6	277,1	1108,5	277,1	831,4	277,1
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	2,34	0,39	1,95	0,39	1,56	0,39	1,17	0,39
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,064	0,020	0,088	0,002	0,058	0,002	0,010	0,007
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,027	0,009	0,037	0,001	0,025	0,001	0,004	0,003

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	554,3	277,1	277,1	554,3	277,1	277,1	1108,5	277,1
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	0,78	0,39	0,39	0,78	0,39	0,39	1,56	0,39
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	-	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,014	0,006	0,002	0,027	-	0,060	0,060	0,002
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,006	0,003	0,001	0,011	-	0,025	0,026	0,001

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	831,4	277,1	277,1	277,1
U_2 [V]	409,5	409,5	409,5	409,5
I_p [A]	1,17	0,39	0,39	0,39
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,057	0,009	0,002	0,017
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,024	0,004	0,001	0,007

Tabulka 3.18 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	236,4	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,6	0,172	0,296	0,421	0,505	0,575	0,632	0,647
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,8	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
$U_{f_{skut}}$ [V]	229,8	230,8	230,7	230,6	230,5	230,4	230,4	230,4

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	0,661	0,657	0,448	0,508	0,483	0,548	0,541	0,556
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$U_{f_{skut}}$ [V]	230,3	230,3	230,6	230,5	230,5	230,5	230,5	230,4

Na vstupu regulátoru je napětí 230,3 V, tudíž na výstupu regulátoru bude napětí 231 V a všechna OM jsou opět napájeny napětím o velikosti $U_n \pm 10\%$ (viz. Kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchyly napájecího napětí).

3.3.3 S nastavenou střední odbočkou transformátoru Dolní Němčí VN/0,42 ($U_2 = 105 \% U_n$)

Jelikož máme na transformátoru Dolní Němčí nastavenou střední odbočku, výstupní napětí z transformátoru Dolní Němčí bude o 5 % vyšší než U_n , tedy $U_2 = 420$ V, pokud uvažujeme, že na transformátoru Dolní Němčí není úbytek napětí a na primární straně je jmenovité napětí sítě U_n .

Vypočítané úbytky napětí při maximálním zatížení β_{max}

Tabulka 3.19 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	41569,2	41569,2	41569,2	2771,3	38797,9	2771,3	36026,7	2771,3
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	57,14	57,14	57,14	3,81	53,33	3,81	49,52	3,81
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	1,140	64,425	1,549	0,131	1,217	0,123	1,342	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,470	26,568	0,639	0,054	0,502	0,051	0,554	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	16627,7	2771,3	13856,4	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8	2771,3
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	22,86	3,81	19,05	3,81	15,24	3,81	11,43	3,81
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,620	0,199	0,856	0,024	0,565	0,015	0,098	0,066
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,255	0,082	0,353	0,010	0,233	0,006	0,040	0,027

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	5542,6	2771,3	2771,3	5542,6	2771,3	2771,3	11085,1	2771,3
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	7,62	3,81	3,81	7,62	3,81	3,81	15,24	3,81
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	0	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	0	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	0	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,136	0,059	0,022	0,261	0,000	0,580	0,590	0,015
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,056	0,024	0,009	0,108	0,000	0,239	0,243	0,006

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	8313,8	2771,3	2771,3	2771,3
U_2 [V]	420	420	420	420
I_p [A]	11,43	3,81	3,81	3,81
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,553	0,088	0,022	0,170
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,228	0,036	0,009	0,070

Tabulka 3.20 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	242,5	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0
ΔU_f [V]	65,6	1,679	2,889	4,108	4,927	5,607	6,164	6,313
$\Delta u_{f\%}$ [%]	27,0	0,7	1,2	1,7	2,0	2,3	2,5	2,6
$U_{f\text{skut}}$ [V]	176,9	225,3	224,1	222,9	222,1	221,4	220,8	220,7

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0
ΔU_f [V]	6,441	6,405	4,369	4,950	4,713	5,339	5,273	5,421
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,7	2,6	1,8	2,0	1,9	2,2	2,2	2,2
$U_{f\text{skut}}$ [V]	220,6	220,6	222,6	222,1	222,3	221,7	221,7	221,6

Na vstupu regulátoru je hodnota napětí 176,9 V, tudíž výstupní napětí regulátoru bude 227 V. Napětí všech OM je v normě $\pm 10\%$ U_n (viz. kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchyly napájecího napětí).

Vypočítané úbytky napětí při minimálním zatížení β_{\min}

Tabulka 3.21 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{\min}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	4156,9	4156,9	4156,9	277,1	3879,8	277,1	3602,7	277,1
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	5,71	5,71	5,71	0,38	5,33	0,38	4,95	0,38
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,114	6,442	0,155	0,013	0,122	0,012	0,134	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,047	2,657	0,064	0,005	0,050	0,005	0,055	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	1662,8	277,1	1385,6	277,1	1108,5	277,1	831,4	277,1
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	2,29	0,38	1,90	0,38	1,52	0,38	1,14	0,38
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,062	0,020	0,086	0,002	0,057	0,001	0,010	0,007
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,026	0,008	0,035	0,001	0,023	0,001	0,004	0,003

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	554,3	277,1	277,1	554,3	277,1	277,1	1108,5	277,1
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	0,76	0,38	0,38	0,76	0,38	0,38	1,52	0,38
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	0	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	0	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	0	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,014	0,006	0,002	0,026	0,000	0,058	0,059	0,001
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,006	0,002	0,001	0,011	0,000	0,024	0,024	0,001

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	831,4	277,1	277,1	277,1
U_2 [V]	420	420	420	420
I_p [A]	1,14	0,38	0,38	0,38
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [k Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,055	0,009	0,002	0,017
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,023	0,004	0,001	0,007

Tabulka 3.22 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	242,5	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,6	0,168	0,289	0,411	0,493	0,561	0,616	0,631
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
U_{fskut} [V]	235,9	230,8	230,7	230,6	230,5	230,4	230,4	230,4

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	0,644	0,640	0,437	0,495	0,471	0,534	0,527	0,542
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_{fskut} [V]	230,4	230,4	230,6	230,5	230,5	230,5	230,5	230,5

Při minimálním zatížení jsou opět hodnoty v normě a na vstupu regulátoru je 235,9 V, tudíž na výstupu je požadovaných 231 V.

3.3.4 S nastavenou krajní odbočkou - 2,5 % na transformátoru Dolní Němčí VN/0,42 ($U_2 = 107,5 \% U_n$)

Jelikož máme na transformátoru Dolní Němčí VN/0,42 nastavenou odbočku -2,5 % výstupní napětí na sekundární straně transformátoru Dolní Němčí U_2 bude $U_n + 7,5 \%$ tedy 429,5 V pokud uvažujeme, že na transformátoru Dolní Němčí nebude úbytek napětí a na vstupu bude jmenovité napětí U_n .

Vypočítané úbytky napětí při maximálním zatížení β_{max}

Tabulka 3.23 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	41569,2	41569,2	41569,2	2771,3	38797,9	2771,3	36026,7	2771,3
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	55,88	55,88	55,88	3,73	52,15	3,73	48,43	3,73
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	1,115	64,062	1,514	0,128	1,190	0,121	1,313	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,450	25,834	0,611	0,051	0,480	0,049	0,529	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	16627,7	2771,3	13856,4	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8	2771,3
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	22,35	3,73	18,63	3,73	14,90	3,73	11,18	3,73
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,606	0,195	0,837	0,023	0,553	0,014	0,096	0,065
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,244	0,078	0,338	0,009	0,223	0,006	0,039	0,026

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	5542,6	2771,3	2771,3	5542,6	2771,3	2771,3	11085,1	2771,3
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	7,45	3,73	3,73	7,45	3,73	3,73	14,90	3,73
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	0	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	0	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	0	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,133	0,058	0,022	0,255	0,000	0,567	0,577	0,014
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,054	0,023	0,009	0,103	0,000	0,229	0,233	0,006

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	8313,8	2771,3	2771,3	2771,3
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	11,18	3,73	3,73	3,73
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,541	0,086	0,022	0,166
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,218	0,035	0,009	0,067

Tabulka 3.24 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	248,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0
ΔU_f [V]	65,2	1,642	2,825	4,017	4,818	5,483	6,027	6,173
$\Delta u_{f\%}$ [%]	26,3	0,7	1,1	1,6	1,9	2,2	2,4	2,5
$U_{f\text{skut}}$ [V]	182,8	228,4	227,2	226,0	225,2	224,5	224,0	223,8

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0
ΔU_f [V]	6,299	6,263	4,273	4,840	4,609	5,221	5,156	5,301
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,5	2,5	1,7	2,0	1,9	2,1	2,1	2,1
$U_{f\text{skut}}$ [V]	223,7	223,7	225,7	225,2	225,4	224,8	224,8	224,7

Na vstupu regulačního transformátoru je 182,8 V (fázová hodnota napětí) a na výstupu z regulačního transformátoru nedostaneme hodnotu napětí větší než 230 V, což je dáno limity regulačního transformátoru (viz. Obr. 3.4 – Regulační možnosti regulačního transformátoru

Schmachtl). A hodnoty napětí všech OM jsou v normě (viz. kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchytky napájecího napětí).

Vypočítané úbytky napětí při minimálním zatížení β_{\min}

Tabulka 3.25 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{\min}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	4156,9	4156,9	4156,9	277,1	3879,8	277,1	3602,7	277,1
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	5,59	5,59	5,59	0,37	5,22	0,37	4,84	0,37
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,111	6,406	0,151	0,013	0,119	0,012	0,131	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,045	2,583	0,061	0,005	0,048	0,005	0,053	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	1662,8	277,1	1385,6	277,1	1108,5	277,1	831,4	277,1
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	2,24	0,37	1,86	0,37	1,49	0,37	1,12	0,37
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,061	0,019	0,084	0,002	0,055	0,001	0,010	0,006
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,024	0,008	0,034	0,001	0,022	0,001	0,004	0,003

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	554,3	277,1	277,1	554,3	277,1	277,1	1108,5	277,1
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	0,75	0,37	0,37	0,75	0,37	0,37	1,49	0,37
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	-	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,013	0,006	0,002	0,026	-	0,057	0,058	0,001
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,005	0,002	0,001	0,010	-	0,023	0,023	0,001

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	831,4	277,1	277,1	277,1
U_2 [V]	429,5	429,5	429,5	429,5
I_p [A]	1,12	0,37	0,37	0,37
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,054	0,009	0,002	0,017
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,218	0,035	0,009	0,067

Tabulka 3.26 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	248,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,5	0,164	0,283	0,402	0,482	0,548	0,603	0,617
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_{fskut} [V]	241,5	230,8	230,7	230,6	230,5	230,5	230,4	230,4

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	0,630	0,626	0,427	0,484	0,461	0,522	0,516	0,530
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_{fskut} [V]	230,4	230,4	230,6	230,5	230,5	230,5	230,5	230,5

Na vstupu regulačního transformátoru je 241 V (fázová hodnota napětí) a regulátor tohle napětí zreguluje na hodnotu 231 V. A hodnoty napětí všech OM jsou v normě (viz. Kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchytky napájecího napětí).

3.3.5 S nastavenou krajní odbočkou - 5 % transformátoru Dolní Němčí VN/0,42 ($U_2 = 110 \% U_n$)

Při nastavení transformátoru Dolní Němčí na krajní odbočku -5 %, výstupní napětí z transformátoru Dolní Němčí U_2 bude $U_n + 10 \%$, tedy 440 V, pokud uvažujeme, že na transformátoru Dolní Němčí není úbytek napětí a na primární straně je jmenovité napětí sítě U_n .

Vypočítané úbytky napětí při maximálním zatížení β_{max}

Tabulka 3.27 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	41569,2	41569,2	41569,2	2771,3	38797,9	2771,3	36026,7	2771,3
U_2 [V]	440	440	440	440	440	440	440	440
I_p [A]	54,55	54,55	54,55	3,64	50,91	3,64	47,27	3,64
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	1,088	63,678	1,478	0,125	1,162	0,118	1,281	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,428	25,067	0,582	0,049	0,457	0,046	0,504	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	16627,7	2771,3	13856,4	2771,3	11085,1	2771,3	8313,8	2771,3
U_2 [V]	440	440	440	440	440	440	440	440
I_p [A]	21,82	3,64	18,18	3,64	14,55	3,64	10,91	3,64
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,591	0,190	0,817	0,022	0,539	0,014	0,093	0,063
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,233	0,075	0,322	0,009	0,212	0,006	0,037	0,025

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	5542,6	2771,3	2771,3	5542,6	2771,3	2771,3	11085,1	2771,3
U_2 [V]	440	440	440	440	440	440	440	440
I_p [A]	7,27	3,64	3,64	7,27	3,64	3,64	14,55	3,64
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	-	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,130	0,056	0,021	0,249	-	0,554	0,563	0,014
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,051	0,022	0,008	0,098	-	0,218	0,222	0,006

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	8313,8	2771,3	2771,3	2771,3
U_2 [V]	440	440	440	440
I_p [A]	10,91	3,64	3,64	3,64
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,528	0,084	0,021	0,162
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,208	0,033	0,008	0,064

Tabulka 3.28 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	254,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	64,8	1,603	2,758	3,922	4,703	5,352	5,883	6,026
$\Delta u_{f\%}$ [%]	25,5	0,6	1,1	1,5	1,9	2,1	2,3	2,4
$U_{f\text{skut}}$ [V]	189,3	229,4	228,2	227,1	226,3	225,6	225,1	225,0

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,149	6,113	4,171	4,725	4,499	5,097	5,033	5,174
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,4	2,4	1,6	1,9	1,8	2,0	2,0	2,0
$U_{f\text{skut}}$ [V]	224,9	224,9	226,8	226,3	226,5	225,9	226,0	225,8

Na vstupu regulátoru je hodnota napětí 189 V, tudíž na výstupu je námi nastavená hodnota 231 V. A hodnoty napětí všech OM jsou v normě (viz. kapitola 1.1.1 Průběžné jevy – Odchylky napájecího napětí).

Vypočítané úbytky napětí při minimálním zatížení β_{min}

Tabulka 3.29 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{min}

Vedení	U2-3	U3-TR	TR-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44
S_x [VA]	4156,9	4156,9	4156,9	277,1	3879,8	277,1	3602,7	277,1
U_2 [V]	440	440	440	440	440	440	440	440
I_p [A]	5,45	5,45	5,45	0,36	5,09	0,36	4,73	0,36
l [km]	0,032	0,403	0,038	0,018	0,032	0,017	0,038	-
R [Ω /km]	0,619	0,69	0,69	1,882	0,69	1,882	0,69	-
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,109	6,368	0,148	0,012	0,116	0,012	0,128	-
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,043	2,507	0,058	0,005	0,046	0,005	0,050	-

Vedení	U6-7	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14
S_x [VA]	1662,8	277,1	1385,6	277,1	1108,5	277,1	831,4	277,1
U_2 [V]	440	440	440	440	440	440	440	440
I_p [A]	2,18	0,36	1,82	0,36	1,45	0,36	1,09	0,36
l [km]	0,038	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009
R [Ω /km]	0,69	1,935	0,69	3,096	0,69	1,935	0,69	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,059	0,019	0,082	0,002	0,054	0,001	0,009	0,006
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,023	0,007	0,032	0,001	0,021	0,001	0,004	0,002

Vedení	U10-11	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23
S_x [VA]	554,3	277,1	277,1	554,3	277,1	277,1	1108,5	277,1
U_2 [V]	440	440	440	440	440	440	440	440
I_p [A]	0,73	0,36	0,36	0,73	0,36	0,36	1,45	0,36
l [km]	0,025	0,005	0,003	0,018	-	0,08	0,02	0,002
R [Ω /km]	0,69	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,291	0,086	0,09	0,329	-	0,329	0,09	0,082
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,013	0,006	0,002	0,025	-	0,055	0,056	0,001
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,005	0,002	0,001	0,010	-	0,022	0,022	0,001

Vedení	U18-19	U19-22	U19-21	U19-20
S_x [VA]	831,4	277,1	277,1	277,1
U_2 [V]	440	440	440	440
I_p [A]	1,09	0,36	0,36	0,36
l [km]	0,025	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,09	0,082	0,082	0,09
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,0894	0,0894	0,0894	0,0894
ΔU_f [V]	0,053	0,008	0,002	0,016
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,021	0,003	0,001	0,006

Tabulka 3.30 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min}

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	254,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,5	0,160	0,276	0,392	0,470	0,535	0,588	0,603
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_{fskut} [V]	247,6	230,8	230,7	230,6	230,5	230,5	230,4	230,4

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	0,615	0,611	0,417	0,472	0,450	0,510	0,503	0,517
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_{fskut} [V]	230,4	230,4	230,6	230,5	230,6	230,5	230,5	230,5

Při minimálním zatížení je hodnota na vstupu regulátoru 247,6 V a na výstupu opět námi nastavená hodnota 231 V a všechna OM splňují normou dané limity.

3.4 Varianta nastavení

Pro stabilizaci napětí v oblasti Dolní Němčí bude použit regulační transformátor NN/NN typu Schmachtl ANSI. 50. Parametry tohoto transformátoru jsou v tabulce.

Tabulka 3.31 Parametry regulačního transformátoru ANSI. 50

Typ	Výkon (kVA)	Jmen. proud (A)	Hlavní rozměry š × v × h (mm)	Hmotnost ca. (kg)
ANSI. 50	50	75	1000×1050×550	480

První variantou nastavení transformátoru Dolní Němčí a regulátoru napětí by byla nastavená odbočka + 2,5 % na transformátoru Dolní Němčí, tím pádem by bylo sdružené napětí v síti 409,5 V a na vstupu regulátoru by bylo fázové napětí 170,4 V, tudíž na výstupu z regulačního transformátoru nebude více než 218 V při maximálním zatížení. Při minimálním zatížení by na výstupu transformátoru bylo napětí 231 V. Napětí ve všech odběrných místech by splňovalo limity dané normou $\pm 10 \% U_n$. Hodnoty napětí jednotlivých odběrných míst jsou následující (Tabulka 3.32):

Tabulka 3.32 Napětí jednotlivých OM při β_{max} při nastavené odbočce + 2,5 % transformátoru Dolní Němčí

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	236,4	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0
ΔU_f [V]	66,0	1,722	2,963	4,214	5,053	5,751	6,322	6,475
$\Delta u_{f\%}$ [%]	27,9	0,7	1,3	1,8	2,1	2,4	2,7	2,7
$U_{f\text{skut}}$ [V]	170,4	216,3	215,0	213,8	212,9	212,2	211,7	211,5

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0
ΔU_f [V]	6,607	6,569	4,481	5,077	4,834	5,476	5,408	5,560
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,8	2,8	1,9	2,1	2,0	2,3	2,3	2,4
$U_{f\text{skut}}$ [V]	211,4	211,4	213,5	212,9	213,2	212,5	212,6	212,4

Druhou variantou nastavení transformátoru Dolní Němčí a regulátoru napětí by byla nastavená střední odbočka 0 % na transformátoru Dolní Němčí, tím pádem by bylo sdružené napětí v síti 420 V a na vstupu regulátoru by bylo fázové napětí 176,9 V, na výstupu z regulátoru bude napětí o velikosti 227 V při maximálním zatížení a při minimálním zatížení by napětí na výstupu z regulátoru bylo 231 V. Hodnoty napětí jednotlivých odběrných míst budou následující (Tabulka 3.33):

Tabulka 3.33 Napětí jednotlivých OM při β_{max} při nastavené odbočce 0 % transformátoru Dolní Němčí

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	242,5	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0
ΔU_f [V]	65,6	1,679	2,889	4,108	4,927	5,607	6,164	6,313
$\Delta u_{f\%}$ [%]	27,0	0,7	1,2	1,7	2,0	2,3	2,5	2,6
$U_{f_{skut}}$ [V]	176,9	225,3	224,1	222,9	222,1	221,4	220,8	220,7

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0	227,0
ΔU_f [V]	6,441	6,405	4,369	4,950	4,713	5,339	5,273	5,421
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,7	2,6	1,8	2,0	1,9	2,2	2,2	2,2
$U_{f_{skut}}$ [V]	220,6	220,6	222,6	222,1	222,3	221,7	221,7	221,6

Třetí variantou nastavení transformátoru Dolní Němčí a regulátoru by byla nastavená odbočka - 2,5 % na transformátoru Dolní Němčí, tudíž by bylo sdružené napětí v síti 430,5 V a na vstupu regulátoru by byla hodnota fázového napětí o velikosti 182,8 V při maximálním zatížení a na výstupu 230 V. Při minimálním zatížení bude na výstupu regulačního transformátoru napětí o velikosti 231 V. Hodnoty napětí ve všech OM splňují normou dané limity $\pm 10\% U_n$ a budou následující (Tabulka 3.34):

Tabulka 3.34 Tabulka 3.35 Napětí jednotlivých OM při β_{max} při nastavené odbočce transformátoru - 2,5 %
Dolní Němčí

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	248,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0
ΔU_f [V]	65,2	1,642	2,825	4,017	4,818	5,483	6,027	6,173
$\Delta u_{f\%}$ [%]	26,3	0,7	1,1	1,6	1,9	2,2	2,4	2,5
$U_{f_{skut}}$ [V]	182,8	228,4	227,2	226,0	225,2	224,5	224,0	223,8

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0
ΔU_f [V]	6,299	6,263	4,273	4,840	4,609	5,221	5,156	5,301
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,5	2,5	1,7	2,0	1,9	2,1	2,1	2,1
$U_{f_{skut}}$ [V]	223,7	223,7	225,7	225,2	225,4	224,8	224,8	224,7

Čtvrtou variantou nastavení transformátoru Dolní Němčí a regulátoru by byla nastavená krajní odbočka - 5 % na transformátoru Dolní Němčí, tudíž by sdružené napětí v síti bylo 440 V. Fázové napětí na vstupu regulačního transformátoru bude 189 V při maximálním zatížení a regulátor bude schopen toto napětí uregulovat na výstupní nastavenou hodnotu 231 V, při minimálním zatížení bude napětí na výstupu z regulátoru také 231 V. Tato varianta nastavení není příliš vhodná, jelikož zde postrádáme rezervu na necitlivost nadřazené regulaci na transformátoru 110 kV/VN. Hodnoty napětí jednotlivých OM by byly následující (Tabulka 3.35):

Tabulka 3.36 Napětí jednotlivých OM při β_{max} při nastavené odbočce transformátoru - 5 % Dolní Němčí

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	254,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	64,8	1,603	2,758	3,922	4,703	5,352	5,883	6,026
$\Delta u_{f\%}$ [%]	25,5	0,6	1,1	1,5	1,9	2,1	2,3	2,4
U_{fskut} [V]	189,3	229,4	228,2	227,1	226,3	225,6	225,1	225,0

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0	231,0
ΔU_f [V]	6,149	6,113	4,171	4,725	4,499	5,097	5,033	5,174
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,4	2,4	1,6	1,9	1,8	2,0	2,0	2,0
U_{fskut} [V]	224,9	224,9	226,8	226,3	226,5	225,9	226,0	225,8

Naopak jako nevhodná varianta se jeví nastavení odbočky transformátoru Dolní Němčí na + 5 %, tudíž by bylo sdružené napětí v síti 400 V a na vstupu regulátoru napětí by bylo fázové napětí 164,5 V. Tato hodnota je nedostačující proto, abychom na výstupu dostali napětí v hodnotách, které splňují normou dané limity $\pm 10 \% U_n$. A u všech odběrných míst by bylo napětí následující (Tabulka 3.36):

Tabulka 3.37 Napětí jednotlivých OM při β_{max} při nastavené odbočce transformátoru + 5 % Dolní Němčí

OM	vstup reg.	45	35	44	34	37	28	16
U_f [V]	230,9	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0
ΔU_f [V]	66,4	1,8	3,0	4,3	5,2	5,2	6,5	6,6
$\Delta u_{f\%}$ [%]	28,8	0,8	1,3	1,9	2,2	2,3	2,8	2,9
U_{fskut} [V]	164,5	204,2	203,0	201,7	200,8	200,8	199,5	199,4

OM	15	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0
ΔU_f [V]	6,8	6,7	4,6	5,2	4,9	5,6	5,5	5,7
$\Delta u_{f\%}$ [%]	2,9	2,9	2,0	2,3	2,1	2,4	2,4	2,5
U_{fskut} [V]	199,2	199,3	201,4	200,8	201,1	200,4	200,5	200,3

4 Návrh dalších teoretických možností stabilizace napětí v distribuční NN síti a porovnání jejich dopadů na odchylky napětí s variantou regulačního transformátoru NN/NN

Jako další návrhy teoretických možností pro stabilizaci napětí v distribuční síti Dolní Němčí jsou posílení nebo rekonstrukce sítě (kapitola 4.1 – Posílení sítě, rekonstrukce), či použití některého ze samoregulačních transformátorů VN/NN popsaných v následující kapitole (kapitola 4.2 Použití samoregulačního transformátoru VN/NN).

4.1 Posílení sítě, rekonstrukce

Standardním řešením je posílení sítě, respektive její rekonstrukce tak, aby její vnitřní zkratová impedance vyhovovala svojí hodnotou limitu vztažné impedance, pro intravilán (zástavba) je dle normy stanovená mez $Z_V = 0,21 \Omega$ a pro extravilán (odlehle části) je stanoven limit $Z_V = 0,28 \Omega$. Nejdůležitější by byla rekonstrukce vedení U3-4, které je ve špatném stavu a vznikají na něm velké úbytky napětí (okolo 29 %). Ovšem výstavba, či rekonstrukce trvá dlouhou dobu, v závislosti na podmínkách může celá rekonstrukce, či výstavba trvat i několik let. Proto se jako dočasné řešení volí nasazení transformátorů NN/NN.

S nastavenou střední odbočkou transformátor Dolní Němčí VN/0,42 ($U_2 = 105 \% U_n$) by po rekonstrukci sítě byly napěťové poměry v síti následující:

Tabulka 4.1 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{max} po rekonstrukci vedení a nastavené střední odbočce na transformátoru Dolní Němčí

Vedení	U2-3	U3-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44	U6-7
S_x [VA]	43647,7	43647,7	2909,8	40737,8	2909,8	37828,0	2909,8	17459,1
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	60,0	60,0	4,0	56,0	4,0	52,0	4,0	24,0
l [km]	0,032	0,441	0,018	0,032	0,017	0,038	-	0,038
R [Ω /km]	0,619	0,690	1,882	0,690	1,882	0,690	-	0,690
X [Ω /km]	0,077	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-	0,291
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	1,20	18,87	0,14	1,28	0,13	1,41	-	0,65
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,494	7,783	0,057	0,527	0,053	0,581	-	0,268

Vedení	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14	U10-11
S_x [VA]	2909,8	14549,2	2909,8	11639,4	2909,8	8729,5	2909,8	5819,7
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	4,0	20,0	4,0	16,0	4,0	12,0	4,0	8,0
l [km]	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009	0,025
R [Ω /km]	1,935	0,690	3,096	0,690	1,935	0,690	1,935	0,690
X [Ω /km]	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082	0,291
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,21	0,90	0,025	0,59	0,015	0,10	0,07	0,14
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,086	0,371	0,010	0,245	0,006	0,042	0,029	0,059

Vedení	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23	U18-19
S_x [VA]	2909,8	2909,8	5819,7	2909,8	2909,8	11639,4	2909,8	8729,5
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	4,0	4,0	8,0	4,0	4,0	16,0	4,0	12,0
l [km]	0,005	0,003	0,018	-	0,080	0,020	0,002	0,025
R [Ω /km]	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,086	0,090	0,329	-	0,329	0,090	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,06	0,023	0,27	-	0,61	0,62	0,015	0,58
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,025	0,010	0,113	-	0,251	0,255	0,006	0,239

Vedení	U19-22	U19-21	U19-20
S_{Px} [VA]	2909,8	2909,8	2909,8
U_2 [V]	420	420	420
I_p [A]	4,0	4,0	4,0
l [km]	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,082	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,09	0,023	0,18
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,038	0,010	0,073

Tabulka 4.2 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{max} po rekonstrukci vedení a nastavené střední odbočce na transformátoru Dolní Němčí

OM	45	35	44	34	37	28	16	15
U_f [V]	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5
ΔU_f [V]	20,2	21,5	22,8	23,6	24,3	24,9	25,1	25,2
$\Delta u_{f\%}$ [%]	8,3	8,9	9,4	9,7	10,0	10,3	10,3	10,4
U_f [V]	222,3	221,0	219,7	218,9	218,2	217,6	217,4	217,3

OM	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5
ΔU_f [V]	25,2	23,0	23,6	23,4	24,0	24,0	24,1
$\Delta u_{f\%}$ [%]	10,4	9,5	9,7	9,6	9,9	9,9	10,0
U_f [V]	217,3	219,5	218,8	219,1	218,4	218,5	218,4

Hodnoty napětí všech OM splňují limity dané normou a zároveň transformátor Dolní Němčí VN/0,42 při nastavené střední odbočce, pokrývá ztráty na dlouhých vedeních

Tabulka 4.3 Vypočítané úbytky napětí na jednotlivých vedeních při β_{min} po rekonstrukci vedení a nastavené střední odbočce na transformátoru Dolní Němčí

Vedení	U2-3	U3-4	U4-27	U4-5	U5-26	U5-6	U6-ČP44	U6-7
S_x [VA]	4364,8	4364,8	291,0	4073,8	291,0	3782,8	291,0	1745,9
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	6,0	6,0	0,4	5,6	0,4	5,2	0,4	2,4
l [km]	0,032	0,441	0,018	0,032	0,017	0,038	-	0,038
R [Ω /km]	0,619	0,690	1,882	0,690	1,882	0,690	-	0,690
X [k Ω /km]	0,077	0,291	0,329	0,291	0,329	0,291	-	0,291
cos φ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
sin φ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,12	1,89	0,01	0,13	0,01	0,14	-	0,07
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,049	0,778	0,006	0,053	0,005	0,058	-	0,027

Vedení	U7-17	U7-8	U8-16	U8-9	U9-15	U9-10	U10-14	U10-11
S_x [VA]	291,0	1454,9	291,0	1163,9	291,0	873,0	291,0	582,0
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	0,4	2,0	0,4	1,6	0,4	1,2	0,4	0,8
l [km]	0,027	0,063	0,002	0,052	0,002	0,012	0,009	0,025
R [Ω /km]	1,935	0,690	3,096	0,690	1,935	0,690	1,935	0,690
X [k Ω /km]	0,082	0,291	0,086	0,291	0,082	0,291	0,082	0,291
cos φ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
sin φ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,02	0,09	0,002	0,06	0,002	0,01	0,01	0,01
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,009	0,037	0,001	0,024	0,001	0,004	0,003	0,006

Vedení	U11-13	U11-12	U6-24	U24- ČP19	U24-25	U6-18	U18-23	U18-19
S_x [VA]	291,0	291,0	582,0	291,0	291,0	1163,9	291,0	873,0
U_2 [V]	420	420	420	420	420	420	420	420
I_p [A]	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	1,6	0,4	1,2
l [km]	0,005	0,003	0,018	-	0,080	0,020	0,002	0,025
R [Ω /km]	3,096	1,935	1,882	-	1,882	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,086	0,090	0,329	-	0,329	0,090	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,01	0,002	0,03	-	0,06	0,06	0,002	0,06
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,003	0,001	0,011	-	0,025	0,026	0,001	0,024

Vedení	U19-22	U19-21	U19-20
S_{Px} [VA]	291,0	291,0	291,0
U_2 [V]	420	420	420
I_p [A]	0,4	0,4	0,4
l [km]	0,012	0,003	0,023
R [Ω /km]	1,935	1,935	1,935
X [Ω /km]	0,082	0,082	0,090
$\cos \varphi$ [-]	0,996	0,996	0,996
$\sin \varphi$ [-]	0,089	0,089	0,089
ΔU_f [V]	0,01	0,002	0,02
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,004	0,001	0,007

Hodnoty napětí všech OM splňují normou dané limity a u žádného z odběrných míst nevzniká přepětí (viz. Tabulka 4.4):

Tabulka 4.4 Úbytky napětí u jednotlivých OM při β_{min} po rekonstrukci vedení a nastavené střední odbočce na transformátoru Dolní Němčí

OM	45	35	44	34	37	28	16	15
U_f [V]	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5
ΔU_f [V]	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
$\Delta u_{f\%}$ [%]	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
U_f [V]	240,5	240,3	240,2	240,1	240,1	240,0	240,0	240,0

OM	29	19	58	36	18	17	38
U_f [V]	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5	242,5
ΔU_f [V]	2,5	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4
$\Delta u_{f\%}$ [%]	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
U_f [V]	240,0	240,2	240,1	240,1	240,1	240,1	240,1

4.2 Použití samoregulačního transformátoru VN/NN

Samoregulační transformátor VN/NN pod zatížením, je transformátor s možností regulace napětí na straně NN, kdy dochází na základě sledování stavu v síti k regulaci napětí na výstupu z transformátoru (pomocí smart elektroměrů). V dnešní době už je spousta výrobců, kteří vyrábějí transformátory VN/NN s regulací pod zatížením, které se u nás zatím moc nevyskytují, nebo se používají jen jako pilotní projekty.

4.2.1 Transformátory MAGTECH

Společnost Magtech vyrábí transformátory, které mají dva NN výstupy (regulovaný a neregulovaný). Na regulovaný výstup se předpokládá připojení sítě s obnovitelnými zdroji energie (OZE) a běžnou zátěží a na neregulovaný výstup potom připojit síť s běžnou zátěží ale bez zdrojů. Regulace výstupního napětí regulátorů pod zatížením probíhá plynule s řízením pomocným magnetickým polem. Napětí na příslušném výstupu distribučního transformátoru je možno pouze snižovat a to proporcionálně k měřenému zpětnému toku činného výkonu a to až o 6 % U_n . Dále je možno regulovat napětí na výstupu transformátoru pomocí odboček transformátoru $\pm 2 \times 2,5$ % na VN vinutí za předpokladu, že je transformátor odpojen, tedy regulace bez zatížení. Tento typ transformátoru se tedy nehodí pro regulaci napětí v námi zadané síti Dolní Němčí. Využití tohoto transformátoru by bylo v sítích s připojenými zdroji OZE.

4.2.2 Transformátory EFACEC

Společnost EFACEC vyrábí transformátory s možností regulace napětí pod zatížením v rozsahu $\pm 4 \times 2,5$ % na VN straně pomocí přepínače odboček MR Reinhausen. Vzhledem k jeho velkému rozsahu regulace, může být tento transformátor použit v sítích, kde napětí kolísá ve velkém rozsahu. Vzhledem k vyšším rozměrům a hmotnosti se tento transformátor nehodí pro použití v distribučních trafostanicích.

4.2.3 Transformátory SIEMENS

Společnost Siemens nabízí transformátory s možností regulace napětí pod zatížením na NN straně a to rozsahu $\pm 3,57 \%$, resp. $\pm 4,34 \%$ pro transformátory o výkonu 630 kVA. Regulace na NN straně transformátoru probíhá pomocí výkonové elektroniky (tyristorů). Dále je možná standardní regulace na straně VN pomocí přepínání odboček $\pm 2 \times 2,5 \%$ bez zatížení.

Tento typ transformátoru by mohl být použit jako náhrada za transformátor VN/0,42 Dolní Němčí, pro vyregulování ztrát na vedení U3-4.

Kapitola 4 Návrh dalších teoretických možností stabilizace napětí v distribuční NN síti a porovnání jejich dopadů na odchylky napětí s variantou regulačního transformátoru NN/NN byla zpracována na základě použité literatury [15].

Závěr

Hlavním důvodem špatného chodu domácích spotřebičů odběratelů elektrické energie v obci Dolní Němčí, bylo po změření kvality elektrické energie zjištěno, že velikost napětí v síti neodpovídá hodnotám určenými normou $\pm 10 \% U_n$ a někde na vedení vznikají velké úbytky napětí. Hlavním důvodem úbytků v síti bylo vedení U3-4. Vysoké úbytky napětí na vedení U3-4 byly způsobeny samotnou impedancí vedení a impedancí spojek venkovního vedení, pomocí kterých bylo již vedení U3-4 rekonstruováno.

Tento fakt vedl distributora elektrické energie k zajištění odchylek napájecího napětí. Jako dočasné řešení pro udržení odchylek napětí v limitech daných normou, je nasazení regulačního transformátoru NN/NN na konec vedení U3-4 (38 m před uzel 4), který vyrovná úbytky napětí v síti a zajistí napětí do požadovaných mezí $\pm 10 \% U_n$.

Jelikož výpočtové zatížení pro Obec Dolní Němčí vyšlo 41,57 kVA, zvolíme jako regulační transformátor transformátor typu SCHMACHTL ANSI. 50. Abychom udrželi napětí ve všech OM v hodnotách $U_n \pm 10 \%$, bude potřeba nastavit transformátor Dolní Němčí VN/0,42 na jednu z následujících odboček:

Tabulka 5.0.1 Vstupní a výstupní hodnoty napětí regulačního transformátoru NN/NN Schmachtl ANSI. 50 při β_{max}

Odbočka	Vstup [V]	Výstup [V]
+ 2,5 % ($U_2 = 102,5 \% U_n$)	170,4	218
0 % ($U_2 = 105 \% U_n$)	176,9	230
- 2,5 % ($U_2 = 107,5 \% U_n$)	182,8	227

tyto hodnoty nám zaručí, že všechna OM budou napájena napětím, které splňuje normou dané limity $\pm 10 \% U_n$.

Při minimálním zatížení sítě β_{\min} budou na vstupu a výstupu regulačního transformátoru NN/NN následující hodnoty:

Tabulka 5.0.2 Vstupní a výstupní hodnoty napětí regulačního transformátoru NN/NN Schmachtl ANSI. 50 při β_{\min}

Odbočka	Vstup [V]	Výstup [V]
+ 2,5 % ($U_2 = 102,5 \% U_n$)	229,8	231
0 % ($U_2 = 105 \% U_n$)	235,9	231
- 2,5 % ($U_2 = 107,5\% U_n$)	241,5	231

Jak je vidět v tabulce, při odlehčení sítě nevzniká v síti přepětí. Všechny hodnoty OM jsou v rozmezí $\pm 10 \% U_n$ a na výstupu regulačního transformátoru bude hodnota fázového napětí 231 V.

Upřednostnil bych odbočku 0 % ($U_2 = 105 \% U_n$), jelikož je uprostřed regulačního rozsahu transformátoru Dolní Němčí VN/0,42, či odbočku + 2,5 % ($U_2 = 102,5 \% U_n$), kvůli rezervě pro necitlivost nadřazené regulace 110 kV/VN.

Řešením pro zajištění odchylek napětí v síti, je potřeba rekonstrukce již zmiňovaného vedení U3-4, na kterém vznikají úbytky okolo 29 %. Po rekonstrukci napětí, již nebude potřeba připojeného regulačního transformátoru NN/NN, jelikož na vedení budou vznikat úbytky napětí, které bude schopen pokrýt transformátor Dolní Němčí VN/0,42 při nastavené střední odbočce, tudíž na výstupu transformátoru bude napětí 105% U_n . Při maximálním zatížení β_{\max} se bude hodnota napětí u jednotlivých OM pohybovat okolo hodnoty 220 V (fázová hodnota napětí) a při minimálním zatížení sítě β_{\min} se bude hodnota napětí pohybovat okolo hodnoty 240 V, tudíž v síti nevzniká přepětí při odlehčení sítě.

Výpočty byly provedeny v aplikaci MS Excel na přiloženém disku (soubor s názvem E13N0006P_Hanzlíček_výpočty).

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČSN EN 50 160. Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. 2011.
- [2] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. *Průmyslová elektroenergetika. 1.* vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 154 s. ISBN 80-708-2703-3.
- [3] Pravidla provozování distribučních soustav [online]. 2011. [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011_priloha-3.pdf
- [4] WINTER, Karel a Jaroslav DOLEŽAL. *Řízení distribučních sítí: Regulace napětí a jalového výkonu.* [online]. 2001, č. 4 [cit. 2014-11-02]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au040118.pdf>
- [5] TESAŘOVÁ, Miloslava Přednášky z předmětu průmyslová energetika
- [6] KULIŠ, Jakub. *Analýza zatížení a regulačních možností distribučních transformátorů.* 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph. D.
- [7] UHLÍK, Stanislav. *Regulace napětí v distribuční soustavě.* Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph. D.
- [8] EGÚ BRNO, A.S. 2000. *Stabilizátor napětí sítě nn STR 50: Uživatelský návod* [online]. [cit. 2014-12-16].
- [9] KAŠPÍREK, Martin, Jan JIŘIČKA, David MEZERA, Daniel KOUBA, Martin HROUDNÝ a Aleš PROCHÁZKA. *Praktické možnosti eliminace vlivu rozptýlené výroby na kvalitu napětí.*
- [10] PNE 33 3430-7. *Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie: Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti.* 2011.
- [11] VÁPENÍK, René. *Elektrorevue: Regulace napětí v distribuční soustavě vn a nn.* 2011, roč. 2011, č. 3. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/energetika--vykonova-elektronika--elektrotechnologie/0/regulace-napeti-v-distribucni-soustave-vn-a-nn/>
- [12] POWERWIKI. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Ř%C3%ADzen%C3%AD%20a%20stabilita%20elektrizačn%C3%AD%20soustavy.pdf>
- [13] Automatický regulátor napětí ANSI.: návod k použití [cit. 2014-12-09].

- [14] Měření kvality napětí veřejných distribučních sítí. 2014. ElektroPrůmysl.cz [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z:
<http://www.elektroprumysl.cz/casopis/2014/brezen/files/assets/basic-html/page90.html>

- [15] Stabilizace napětí v distribučních NN sítích nasazením transformátorů VN/NN a NN/NN s možností regulace napětí pod zatížením 2013 Martin Kašpírek David Šimáček

Přílohy

P 1 – SCHÉMA SÍTĚ ZADANÉ OBLASTI DOLNÍ NĚMČÍ.....	1
---	---

P 1 – Schéma sítě zadané oblasti Dolní Němčí

