elektrorevue
ISSN 1213 - 1539

Rok / Year:	Svazek / Volume:	Číslo / Number:
2011	13	3

Regulace napětí v distribuční soustavě vn a nn

Voltage regulation in MV and LV distribution grid

René Vápeník

rene.vapenik@cez.cz

ČEZ Distribuční služby, s.r.o.

Abstrakt: Velikost napětí je jedním ze základních parametrů kvality elektřiny. Nastavení jeho správné velikosti ovlivňuje nejen bezchybný provoz elektrických spotřebičů, ale rovněž i velikost technických ztrát. České technické normy detailně řeší úroveň napětí v distribuční soustavě nízkého napětí. Velikost napětí na straně vn a vvn je Českými technickými normami řešena obecně a je ponechána na řízení jednotlivých dispečinků provozovatelů distribuční soustavy.

Abstract: The voltage is one of the fundamental parameters of power quality. Set the correct size affects not only the flawless operation of electrical appliances, but also the size of technical losses.Czech technical standards address the detail level of tension in the low-voltage distribution system, but voltage at side of midle and high voltage adress only general. This is left to the management of dispatching of the grid.

elektrorevue ISSN 1213 - 1539

Regulace napětí v distribuční soustavě vn a nn

Ing. René Vápeník

ČEZ Distribuční služby, s.r.o.
Email: rene.vapenik@cez.cz

Velikost napětí je jedním ze základních parametrů kvality elektřiny. Nastavení jeho správné velikosti ovlivňuje nejen bezchybný provoz elektrických spotřebičů, ale rovněž i velikost technických ztrát. České technické normy detailně řeší úroveň napětí v distribuční soustavě nízkého napětí. Velikost napětí na straně vn a vvn je Českými technickými normami řešena obecně a je ponechána na řízení jednotlivých dispečinků provozovatelů distribuční soustavy.

1 Úvod

Jmenovitá napětí sítě jsou stanovena dvěma základními normami a to ČSN 33 0120 (2001) Elektrotechnické předpisy – Normalizované napětí IEC a ČSN 33 0121 (2001) Elektrotechnické předpisy – Jmenovitá napětí veřejných distribučních sítí nn.

Jmenovité napětí je napětí, kterým je síť nebo zařízení označeno a ke kterému se vztahují provozní charakteristiky. V distribučních sítích nízkého napětí se používaly a bohužel ještě používají různé sítě o různém jmenovitém napětí. K poměrně význačnému počinu, který ovšem u většiny laické veřejnosti prošel bez povšimnutí, bylo v roce 1993 vydání ČSN IEC 38 Normalizovaná napětí IEC, kdy se v Československu přešlo z napěťové soustavy 220/380 V na napěťovou soustavu 230/400 V. Obdobně země, které používaly napěťovou soustavu 240/415 V přešly na napěťovou soustavu 230/400 V.

V současné době tedy pro distribuční síť nízkého napětí platí hodnoty normalizovaných napětí 230 V mezi fází a středním vodičem, resp. 400 V mezi fázemi pro čtyřvodičové trojfázové sítě [2]. Současně platí doporučení, aby v předávacích místech, tzn. v místech předání dodávky elektrické energie odběrateli z distribuční sítě dodavatele, se za normálních podmínek nelišilo napětí o více než ±10 % [2]. Otevřenou otázkou je, zda-li v budoucnosti nedojde k zmenšení rozsahu odchylek.

V distribuční síti vysokého napětí se používá celá řada napětí, z nichž nejrozšířenější je 22 kV, resp. 35 kV používaných ve Východních Čechách a částečně v Severních Čechách. Mimo to jsou v provozu části distribuční soustavy s jmenovitým napětím 3, 6 a 10 kV, které postupně v rámci rekonstrukcí přecházejí na normalizovanou řadu jmenovitých napětí 22 kV, popř. 35 kV.

V sítích s jmenovitým napětím nad 1000 V se mimo pojem „jmenovité napětí sítě“ definuje pojem „nejvyšší napětí pro zařízení“. Toto napětí je nejvyšší napětí, pro které je zařízení určeno s ohledem na izolaci a jiné charakteristiky, které mohou být v příslušných doporučeních pro zařízení vztaženy k tomuto nejvyššímu napětí. Nejvyšší napětí pro zařízení je nejvyšší efektivní hodnota „nejvyššího napětí sítě“, pro kterou může být zařízení použito[1].

Nejvyšší napětí sítě je nejvyšší efektivní hodnota napětí, která se vyskytne za normálních provozních podmínek v libovolném okamžiku a v libovolném místě sítě [1].
Pro trojfázové sítě se střídavým jmenovitým napětí nad 1 kV do 35 kV včetně platí:

Tabulka 1: Nejvyšší efektivní hodnota sdruženého napětí

Jmenovité napětí	Nejvyšší napětí pro zařízení dle tab. III [1]	Nejvyšší napětí pro zařízení dle přílohy NA [1]
3 kV	3,6 kV	3,6 kV
6 kV	7,2 kV	7,2 kV
10 kV	12 kV	12 kV
22 kV	24 kV	25 kV
35 kV	40,5 kV	38,5 kV

1.1 Řízení napětí

Řízení napětí v distribuční soustavě je ve smyslu vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky č. 79/2010 Sb. o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení je plně v kompetenci technických dispečinků provozovatele distribuční soustavy. Detailní pravidla jsou určena provozní instrukcí, což je jedna z forem dispečerského pokynu [3].

Například pro zásobovací území bývalé Středočeské energetické a.s. je toto určeno provozní instrukcí č. 477 - 3 z 11. června 1999, která stanoví to, že při základním zapojení sítě 22 kV bude regulováno v rozmezí 22,8 – 23,8 kV. Napětí nesmí překročit 24 kV.

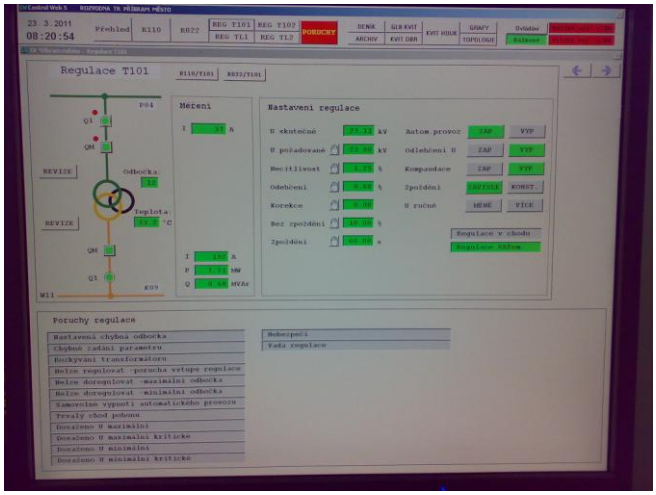
1.1.1 Regulace napětí na hladině vysokého napětí

Na hladině vysokého napětí se regulace provádí přepínáním odboček na straně vvn na transformátoru vvn/vn za provozu, pod zátěží, bez nutnosti přerušení elektrického proudu. Napětí je udržováno v nastavených mezích buď pomocí automatik (např. HRT 5), nebo pomocí příslušných algoritmů dispečerského řídícího systému.

Výkonové transformátory vvn/vn umožňují regulaci napětí po skocích 2 %, což např. u transformátorů 110±8x2%/23 kV znamená skokovou změnu napětí v systému vn 22 kV o několik set volt. V závislosti na velikosti vstupního napětí a nasta-

elektrorevue ISSN 1213 - 1539

vené odbočce skoková změna napětí se pohybuje v rozmezí 300 až 700 V. Jemnější nebo přesnější regulace je technicky vyloučena. To, jaké napětí bude nastaveno je určeno provozní instrukcí technického dispečinku provozovatele distribuční soustavy.



Obrázek 1: Snímek Control Webu – části ovládající a monitorující regulaci transformátoru

1.1.2 Regulace napětí na hladině nízkého napětí

V distribuční síti nízkého napětí je napětí nastaveno přepínáním odbočky na vysokonapěťové straně distribučního transformátoru vn/nn. Dříve vyráběné transformátory mají převod napětí 22±5%/0,4 kV, novější jsou vyráběny s převodem 22±2x2,5%/0,4 kV resp. 22±2x2,5%/0,42 kV. Správná odbočka je nastavena při uvádění transformátoru do provozu a její nastavení je prováděno za beznapěťového stavu. Nelze provést přenastavení odbočky transformátoru za provozu.

Tabulky č. 3 a 4 ukazují, jaký rozsah napětí jsou jednotlivé transformátory vn/nn schopny pokrýt při vstupním napětí o velikosti 110000 V na straně vvn transformátoru vvn/vn. Úbytky napětí ve vedení vn jsou zanedbány. Tabulky č. 3 a 4 názorně ukazují stav, kdy transformační stanice vn/nn je umístěna v blízkosti transformovny vvn/vn.

V levém sloupci jsou uvedeny odbočky a k nim odpovídající výstupní napětí transformátoru vvn/vn s převodem napětí 110/23 kV, v pravých sloupcích jsou uvedeny hodnoty fázových napětí na sekundární straně transformátoru vn/nn v závislosti na nastavení odbočky.

Barevně jsou pro větší přehlednost rozlišena jednotlivá toleranční pásma. Význam jednotlivých barev je v tabulce č. 2.

Tabulka 2: Význam barev

	napětí s odchylkou do +6 %
	napětí s odchylkou do -6 %
	napětí s odchylkou do 10 %
	napětí mimo odchylku

Tabulka 3: Rozsah výstupních fázových napětí transformátorů 22/0,4 kV

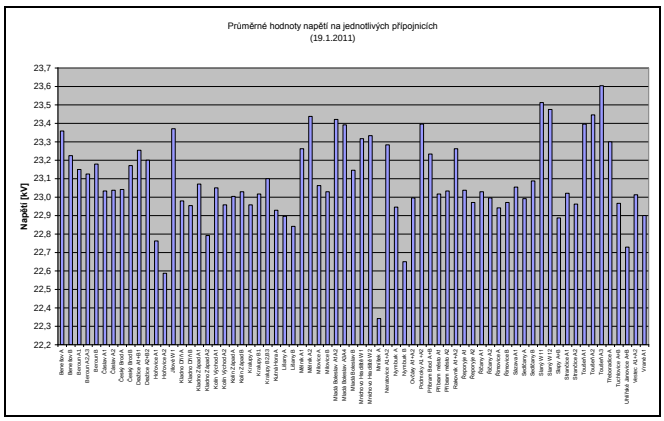
110/23 kV		22/0,4 kV - fázové				
odbočka	napětí	-5%	-2,50%	0	2,50%	5%
-8	27,381	0,303	0,295	0,287	0,280	0,274
-7	26,744	0,296	0,288	0,281	0,274	0,267
-6	26,136	0,289	0,281	0,274	0,268	0,261
-5	25,556	0,282	0,275	0,268	0,262	0,255
-4	25,000	0,276	0,269	0,262	0,256	0,250
-3	24,468	0,270	0,263	0,257	0,251	0,245
-2	23,958	0,265	0,258	0,251	0,245	0,240
-1	23,469	0,259	0,253	0,246	0,240	0,235
0	**23,000**	0,254	0,248	0,241	0,236	0,230
1	22,549	0,249	0,243	0,237	0,231	0,225
2	22,115	0,244	0,238	0,232	0,226	0,221
3	21,698	0,240	0,234	0,228	0,222	0,217
4	21,296	0,235	0,229	0,224	0,218	0,213
5	20,909	0,231	0,225	0,219	0,214	0,209
6	20,536	0,227	0,221	0,216	0,210	0,205
7	20,175	0,223	0,217	0,212	0,207	0,202
8	19,828	0,219	0,213	0,208	0,203	0,198

Tabulka 4: Rozsah výstupních fázových napětí transformátorů 22/0,42 kV

110/23 kV		22/0,42 kV - fázové				
odbočka	napětí	-5%	-2,50%	0	2,50%	5%
-8	27,381	0,318	0,310	0,302	0,294	0,287
-7	26,744	0,310	0,302	0,295	0,288	0,281
-6	26,136	0,303	0,295	0,288	0,281	0,274
-5	25,556	0,297	0,289	0,282	0,275	0,268
-4	25,000	0,290	0,283	0,276	0,269	0,262
-3	24,468	0,284	0,277	0,270	0,263	0,257
-2	23,958	0,278	0,271	0,264	0,258	0,251
-1	23,469	0,272	0,265	0,259	0,252	0,246
0	**23,000**	0,267	0,260	0,254	0,247	0,241
1	22,549	0,262	0,255	0,249	0,242	0,237
2	22,115	0,257	0,250	0,244	0,238	0,232
3	21,698	0,252	0,245	0,239	0,233	0,228
4	21,296	0,247	0,241	0,235	0,229	0,224
5	20,909	0,243	0,236	0,230	0,225	0,219
6	20,536	0,238	0,232	0,226	0,221	0,216
7	20,175	0,234	0,228	0,222	0,217	0,212
8	19,828	0,230	0,224	0,219	0,213	0,208

1.2 Stav regulace napětí na hladině vn

Pro zmapování skutečného stavu regulace napětí na hladině vysokého napětí bylo vyhodnoceno měření napětí na přípojnicích transformoven 110/22 kV provedených v rámci zimního měření maxima. V rámci měření zimního maxima se v hodinových intervalech v průběhu 24 hodin zaznamenávají všechny měřené parametry pro tzv. normální stav zapojení sítě. Pro statistické zpracování tak bylo k dispozici 1656 vzorků z 69 míst – jednotlivých přípojnic napájených jednotlivými transformátory vvn/vn. Pro jednotlivá místa byly vypočteny základní statistické parametry – minimum, maximum, průměr a medián. Výsledky v první řadě ukázaly, že průměr se prakticky neliší od mediánu a pro další zpracování tedy použity průměry naměřených hodnot.



Obrázek 2: Graf průměrných napětí na jednotlivých přípojnicích transformoven vvn/vn

Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce

Tabulka 5: Výsledné hodnoty

Průměrná hodnota	23,1 kV
Nejnižší zaznamenané napětí	22,2 kV
Nejvyšší zaznamenané napětí	23,9 kV
Nejnižší průměrné napětí na přípojnici	22,3 kV
Nejvyšší průměrné napětí na přípojnici	23,6 kV

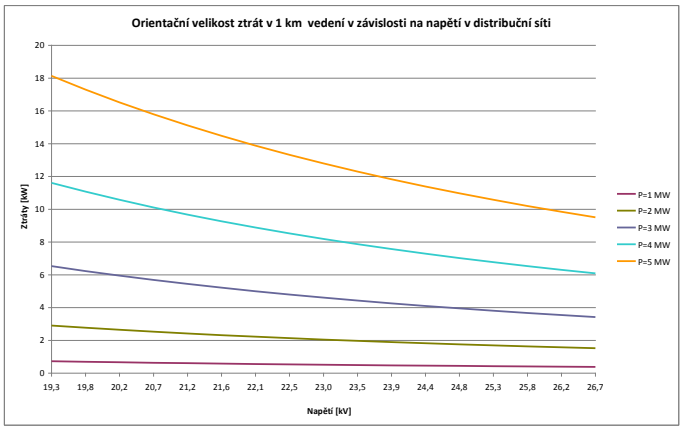
Napětí od průměrné hodnoty kolísá v mezích ±0,4 kV, což přibližně odpovídá změně napětí vyvolané přepnutím regulační odbočky transformátoru vvn/vn. Přepnutí odbočky vyvolává skokovou změnu napětí o 300 až 700 V. Vyhodnocení ukázalo, že až na několik málo transformoven je napětí regulováno v mezích daných příslušnou provozní instrukcí. Nicméně toleranční pásmo 22,8 až 23,8 kV je poměrně široké. V současné době lze v řídícím systému nastavit přesnou hodnotu napětí, která má být udržována. Např. na transformovně 110/22 kV Příbram je v řídícím systému nastavena hodnota 23,0 kV a ve výsledku na přípojnici W1 napájené z transformátoru T101 je průměrná hodnota napětí 23,0 kV s odchylkami - 0,1 +0,2 kV. Na přípojnici W2 napájené z transformátoru T102 je průměrná hodnota napětí 23,0 kV s odchylkami - 0,2 +0,3 kV. Toleranční pásmo 22,8 kV až 23,8 kV stanovené provozní instrukcí je zbytečně široké (1 kV). Je technicky možné udržet toleranční pásmo široké 0,4 až 0,5 kV. Nyní je technicky možné provozní instrukcí určit konkrétní hodnotu napětí, která má být v řídícím systému nastavena. To v minulosti, kdy se k řízení napětí používaly lokální automatiky regulace transformátoru nebylo možné a bylo nutné stanovit pásmo.

1.3 Ekonomický pohled

České technické normy dávají poměrně velkou možnost pro určení, s jakým skutečným napětím lze provozovat distribuční síť vysokého napětí 22 kV. Norma doporučuje toleranci ±10 % a stanoví nejvyšší provozované napětí 24 kV, resp. v národním doplňku 25 kV.

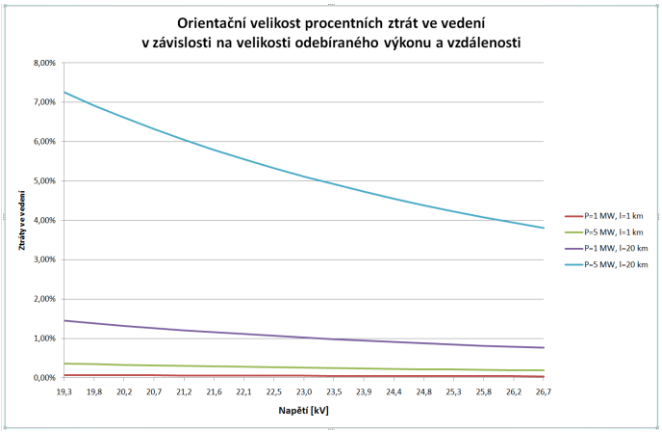
Provoz při vyšším napětí s sebou nese vyšší napěťové namáhání (na což je ale zařízení dimenzováno), nese s sebou vyšší kapacitní proudy, vyšší ztráty svodovými proudy, ale výrazně nižší ztráty ve vodičích.

Následující graf ukazuje orientační velikost ztrát v 1 km dlouhém vedení v závislosti na napětí.



Obrázek 3: Orientační velikost ztrát ve vedení

Zvýšením napětí se pro přenos stejného výkonu snižuje proud, velikost ztrát však klesá s druhou mocninou proudu. Např. zvýšením napětí o 4 % dojde ke snížení proudu o 3,8 %, ale absolutní velikost ztrát se sníží o 7,5 % oproti jejich původní hodnotě. Na obr. č. 4 je orientačně znázorněna procentní velikost tepelných ztrát ve vedení v závislosti na velikosti odebíraného výkonu, na vzdálenosti a na velikosti napětí.



Obrázek 4: Orientační velikost procentních ztrát ve vedení

Vhodnou volbou regulace napětí v distribuční síti vn nastavením odboček na transformátorech vvn/vn a vn/nn, tzn. provozem vedení vn s napětím blízkým stanovenému nejvyššímu napětí sítě, lze snížit technické ztráty v této části distribuční soustavy o několik desetin procenta. Vzhledem k množství distribuované elektrické energie (řádově desítky TWh/rok) se zde nabízí potenciál úspor v řádu GWh/rok.

1.4 stav regulace napětí na hladině NN

Žádný předpis v současně době neurčuje, jaké napětí má být nastaveno jako výstupní napětí na transformátoru vn/nn. Tudíž ani nemá v současné době praktický smysl vyhodnocovat stav regulace napětí. V první řadě je třeba určit jednoznačná pravidla pro regulaci napětí v systému vn a následně jednoznačná pravidla pro regulaci napětí na hladině nízkého napětí. Jediné, co je v současné době stanoveno je, že napětí v předávacím místě má být 230 V ± 10 %. Navíc regulace napětí na hladině nízkého napětí není mnohdy v rukou dispečerského řízení, ale popudem pro přepínání odboček je mnohdy krátkozraké rozhodnutí nekompetentních pracovníků z jiných útvarů na základě mnohdy neodborně provedených měření v síti, neberoucí do úvahy veškeré aspekty mající vliv na velikost napětí. Např. provoz zdrojů do sítě nn, nesouměrně zatěžované poddimenzované vedení nízkého napětí s nedostatečnými přenosovými schopnostmi.

2 Doporučení

2.1 Oblast dispečerského řízení

V první řadě je třeba zaktualizovat příslušnou provozní instrukci technického dispečinku provozovatele distribuční soustavy. Je třeba určit jednoznačnou hodnotu, na kterou budou nastavena příslušná pravidla pro regulaci napětí v systému vysokého napětí. Na základě vyhodnocení měření lze přijmout tyto zjednodušené závěry:

- Na transformátorech vvn/vn nastaveno výstupní napětí 23,4 kV.
- Na transformátorech vn/nn bude nastaveno výstupní napětí 240 V v mezích ± 5 V.
- změna nastavení odboček na transformátorech vn/nn bude prováděna pouze na základě dispečerského pokynu

To znamená, že průměrné hodnoty na jednotlivých přípojnicích vn transformoven vvn/vn se budou nacházet v tolerančním pásmu 23,2 – 23,6 kV (nyní se pohybují od 22,3 do 23,6 kV).

Lze předpokládat, že napětí na přípojnici napájecí transformovny budou kolísat v mezích 23,0 až 23,8 kV (nyní je to od 22,2 do 23,9 kV) a NEPŘEKROČÍ nejvyšší přípustnou hodnotu napětí 24 kV.

Výstupní napětí části transformátorů vvn/vn je již nyní regulováno v tolerančnímu pásmu 23,2 - 23,6 kV. U velké většiny zbývajících to znamená snížením odbočky o jeden stupeň zvýšit napětí, což v síti nízkého napětí vyvolá změnu (nárůst) napětí o přibližně 1,6 až 2,1 %, což je zanedbatelné.

Takto bude zajištěn přenos elektrické energie s nejnižšími možnými ztrátami při současném zajištění nepřekročení hodnoty nejvyššího přípustného provozovaného napětí 24 kV.

Hodnota 240 V se nachází v tolerančním pásmu + 6 % jmenovitého napětí 230 V.

Což, vzhledem k tomu že nelze v budoucnu vyloučit snížení tolerančního pásma napětí ze současných ± 10 % na budoucích ± 6 % je prozíravé.

Tato hodnota napětí zaručuje při dodržení doporučeného úbytku napětí v distribuční síti 5 % dodání elektrické energie v předávacích místech v parametrech odpovídajících ČSN. Současně je nutné brát v potaz možnost zvýšení napětí v případech, kdy poddimenzovaná vedení jsou zatěžována nesouměrnou zátěží.

Není vhodné v transformační stanici nastavovat nejvyšší možné napětí, tzn. napětí blízké 253 V.

2.2 Oblast obnovy zařízení

Ukazuje se, že nákup nových transformátorů s převodem 22/0,42 kV je chybou. Distribuční síť v České republice se v současné době vyznačuje velkou hustotou. Vzdušné vzdálenosti mezi transformovnami vvn/vn nepřesahují 30 km, transformační stanice vn/nn jsou umisťovány v bezprostřední blízkosti odběrných míst. Není tudíž důvod používat zdroje napětí 420 V pro distribuční síť 400 V, byť to uvádí ČSN 330120. Při napětí 24 kV v systému vn je napětí na sekundární straně transformátoru 22/0,42 kV na samé hranici tolerančního pásma. Oproti tomu u transformátoru 22/0,4 kV je zde rezerva dvou odboček.

2.3 Oblast provozu

Zejména v oblasti nízkého napětí a při nastavování odboček při uvádění transformátoru vn/nn do provozu je třeba uvažovat s chybami používaných měřidel a tyto chyby brát v úvahu. Je třeba si uvědomit, že transformátory nejsou uváděny do provozu v laboratorních podmínkách a že ani měřící přístroje používané provozními pracovníky v terénu nepatří mezi laboratorní. Používané měřící přístroje vykazují v oblasti napětí 230 – 240 V odchylky i ± 8 V a tyto odchylky je třeba brát při měření v potaz. I k tomuto bylo přihlédnuto při stanovení hodnoty 240 V jako hodnoty doporučené pro výstupní napětí na transformátoru vn/nn.

3 Závěr

Technické normy dávají při jejich vlastní implementaci dost velký prostor. Ne vždy musí „slepé“ následování doporučení technický norem poskytovat ideální řešení. Např. používání zdrojů s výstupním napětím 420 V doporučených ČSN 33 0120 v tabulce NA4 se v distribuční síti České republiky jeví jako nevhodné. Transformační stanice vn/nn jsou v současné době umisťovány co nejblíže odběru. V minulosti tomu bylo jinak. Jednotlivé transformovny vvn/vn byly od sebe vzdálené i více než 100 km, distribuční stanice byly stavěny na krajích obcích, popř. v polích mezi obcemi a mezi transformační stanici a prvními odběrateli byla mnohdy vzdálenost i několika set metrů. Tehdy používání transformátorů s převodem 22/0,4 kV pro napájení sítě s jmenovitým napětím 220/380 V mělo opodstatnění.

V současné době se používání transformátorů s převodem 22/0,42 kV jeví jako nevhodné a mnohem vhodnější je zůstat u dříve používaných transformátorů s převodem 22/0,4 kV. Distribuční síť vysokého napětí 22 kV byla původně dimenzována na nejvyšší napětí 25 kV. V rámci unifikace napětí je ale nutné uvažovat nejvyšší hodnotu napětí 24 kV, neboť nelze předpokládat, že by jednotliví výrobci rozváděčů, kabelových armatur, kabelů atd. uvažovali při dimenzování svých výrobků

s hodnotou nejvyššího napětí 25 kV, oproti obecně platné hodnotě 24 kV. Rovněž tak nelze předpokládat, že by jednotlivé společnosti včetně odběratelů připojených na soustavu vn byli schopni si pohlídat parametry jednotlivých přístrojů, které do dané sítě osazují.

V rámci distribučních soustav provozovaných s jmenovitým napětím 22 kV je s ohledem na výše popsané důvody vhodné regulovat napětí na straně zdrojů s průměrnou hodnotou 23,4 kV, která při běžném kolísání v síti vn zajišťuje nepřekročení hodnoty nejvyššího napětí 24 kV a současně umožňuje transformátory s převodem 22/0,42 kV nastavit tak, aby nedošlo k překročení maximální hodnoty doporučeného napětí na straně nízkého napětí (253 V).

Napětí na transformátorech vn/nn v distribučních stanicích je vhodné s ohledem na případné snížení tolerance +10 % nastavovat na cca 240 V. Při doporučené hodnotě úbytku napětí v distribučních sítích nn 5% takto nastavené napětí zaručuje dodržení hodnot napětí v příslušných mezích.

Článek poukázal na oblast, kde lze v rámci provozu distribuční sítě najít zlepšení, které má příznivý dopad jak na snížení technických ztrát, tak na zkvalitnění parametrů elektřiny dodávaných odběratelům. Rovněž ukazuje nevhodnost používání transformátorů s převodem napětí 22/0,42 kV v rámci distribuční soustavy vysokého napětí v ČR. Právě jejich převod limituje velikost napětí v soustavě vn.

Hodnota nejvyššího napětí pro zařízení stanovena národním doplňkem ČSN 33 0121 s hodnotou 25 kV ztrácí smysl a je možné v případě jmenovitého napětí sítě 22 kV přistoupit k obecně platné hodnotě 24 kV.

Literatura

[1] ČSN 33 0120 (2001) Elektrotechnické předpisy – Normalizované napětí IEC

[2] ČSN 33 0121 (2001) Elektrotechnické předpisy – Jmenovitá napětí veřejných distribučních sítí nn

[3] Vyhláška č. 79/2010 Sb. o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení