

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Omezování vlivů obnovitelných zdrojů energie na kvalitu
elektriny**

vedoucí práce: Ing. Vlastimil Šantín

2012

autor: Michal Kříž

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

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

Jméno a příjmení: **Michal KRÍZ**
Osobní číslo: **E09B0059P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Omezování vlivů obnovitelných zdrojů energie na kvalitu elektřiny**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování:

1. Popište základní kritéria kvality elektrické energie.
2. Analyzujte negativní vlivy obnovitelných zdrojů na kvalitu elektřiny.
3. Popište způsoby používané k omezování nepříznivých vlivů.
4. Zhodnoťte kvalitu elektrické energie dodávané obnovitelnými zdroji.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vlastimil Šantín**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jih Hämmerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vlivem obnovitelných zdrojů energie na provoz elektrizační soustavy a jejich omezováním.

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vlivem obnovitelných zdrojů energie na provoz elektrizační soustavy. V práci je uvedena definice obnovitelných zdrojů energie a je zde zmíněna a rozebrána problematika provozu obnovitelných zdrojů energie a jejich vlivů na elektrizační soustavu.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, kvalita elektrické energie, charakteristiky napětí, nepříznivé vlivy, omezení nepříznivých vlivů, vodní elektrárna, biomasa, distribuční soustava, fotovoltaická elektrárna, větrná elektrárna.

Abstract

This bachelor thesis deals with the influence of renewable energy sources to the operation of power systems. There is the definition of renewable energy sources in the work and there are discussed the issue of service of renewable energy sources and their effects on the electricity grid.

Keywords

Renewable energy source, electric power quality, the characteristics of voltage, averse effects, reducing averse effects, hydroelectric power plant, biomass, distribution network, photovoltaic power plant, wind power plant.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí bakalářské práce.

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

V Plzni dne 7.6.2012

Michal Kříž

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vlastimilu Šantínovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ	9
1 ZÁKLADNÍ KRITÉRIA KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE	10
1.1. CHARAKTERISTIKY ELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ DODÁVANÉHO ZE SÍTÍ NN A VN	10
1.2. KMITOČET SÍTĚ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.3. VELIKOST A ODCHYLKY NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.4. RYCHLÁ ZMĚNA NAPĚTÍ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.5. MÍRA VJEMU FLIKRU	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.6. KRÁTKODOBÉ POKLESY NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.7. KRÁTKODOBÁ PŘERUŠENÍ NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.8. DLOUHODOBÁ PŘERUŠENÍ NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.9. DOČASNÁ PŘEPĚTÍ SÍTOVÉHO KMITOČTU MEZI ŽIVÝMI VODIČI A ZEMÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.10. PŘECHODNÁ PŘEPĚTÍ MEZI VODIČI A ZEMÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.11. NESYMETRIE NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.12. HARMONICKÁ NAPĚTÍ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.14. MEZIHARMONICKÁ NAPĚTÍ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
1.15. ÚROVNĚ NAPĚTÍ SIGNÁLŮ V NAPÁJECÍM NAPĚTÍ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
2 VLVY NA KVALITU ELEKTRINY	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
2.1. ZPĚTNÉ VLVY NA NAPÁJECÍ SÍŤ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
2.1.1. <i>Změna napětí</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
2.1.2. <i>Flikr</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
2.1.3. <i>Proudy harmonických</i>	19
2.1.4. <i>Ovlivnění zařízení HDO</i>	23
2.2. VLVY OZE NA KVALITU ELEKTRINY.....	24
2.2.1. <i>Energie větru</i>	24
2.2.2. <i>Energie Slunce</i>	26
2.2.3. <i>Energie vody</i>	26
2.2.4. <i>Biomasa</i>	27
3 OMEZOVÁNÍ NEPŘÍZNIVÝCH VLVŮ OZE.....	28
3.1. AKUMULACE	29
3.2. REGULACE NAPĚTÍ	29
3.3. REGULAČNÍ VÝKON.....	30
3.4. JALOVÝ VÝKON	30

3.5. FILTRACE VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH.....	31
ZÁVĚR	32
POUŽITÁ LITERATURA.....	33
PŘÍLOHY.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

Úvod

Obnovitelné zdroje energie jsou nejstarším využívaným zdrojem energie. První stroje využívající obnovitelné zdroje energie jsou bezesporu vodní a větrné mlýny roztáčené vodou a větrem. Tyto mlýny se používaly na drcení obilí.

Obnovitelné zdroje energie jsou z hlediska výroby elektrické energie jedním z nejčistších zdrojů energie. Až na spalování biomasy, obnovitelné zdroje energie při výrobě neprodukují skleníkové plyny. Jednou z hlavních složek skleníkových plynů je oxid uhličitý. Při spalování biomasy se oxidu uhličitého uvolní pouze malé množství.

Elektrárny využívající k výrobě obnovitelné zdroje energie musí být připojeny do sítě tak, aby nebyly překročeny dovolené meze elektrických a neelektrických veličin udané normou ČSN EN 50160.

Tato práce se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů energie, jejich negativními zpětnými vlivy na elektrizační síť a omezováním těchto vlivů.

Seznam symbolů

f [Hz]	Kmitočet
U_n [V]	Jmenovité napětí
U_c [V]	Dohodnuté napětí
P_{st} [-]	Krátkodobá míra vjemu flikru
P_{lt} [-]	Dlouhodobá míra vjemu flikru
u_u [%]	Nesymetrie napětí
U_i [-]	Zpětná složka u_u
U_d [-]	Sousledná složka u_u
U_f [V]	Fázové napětí
S_{kV} [VA]	Zkratový výkon
S_{rA}, S_{nE} [VA]	Jmenovitý výkon zařízení
P_{Irrs} [-]	Dlouhodobá míra vjemu flikru pro společný napájecí bod
I_v [A]	Přípustný proud
S_{AV} [VA]	Součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v daném společném napájecím bodě
S_s [VA]	Celkový výkon

Seznam zkratk

ES	Elektrizační soustava
DS	Distribuční síť
FVE	Fotovoltaická elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
VE	Vodní elektrárna
L	Cívka
C	Kondenzátor

1. Základní kritéria kvality elektrické energie

Elektrickou energii nelze definovat jednoduše, protože se skládá z více veličin.

Elektrickou energii popisují veličiny: proud, napětí a čas. Kvalitu elektrické energie můžeme popsat kvalitou napětí, kterou můžeme definovat charakteristikami napětí v daném bodě elektrizační soustavy (ES).

1.1. Charakteristiky elektrického napětí dodávaného ze sítí nn a vn

Charakteristikami napětí elektrické energie a popisem jejich kvality se zabývá evropská norma EN 50160 pro sítě nn a vn. Název této normy zní: „Charakteristiky napětí ve veřejných distribučních sítích“. Z této normy vychází ČSN EN 50160.

Obsahuje informace o:

- a) kmitočtu sítě
- b) velikosti napájecího napětí
- c) odchylkách napájecího napětí
- d) rychlých změnách napětí
 - velikosti rychlých změn napětí
 - míře vjemu flikru
- e) krátkodobých poklesech napájecího napětí
- f) krátkodobých přerušeních napájecího napětí
- g) dlouhodobých přerušeních napájecího napětí
- h) dočasných přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- i) přechodných přepětí mezi živými vodiči a zemí
- j) nesymetriích napájecího napětí
- k) harmonických napětí
- l) meziharmonických napětí
- m) úrovních napětí signálů v napájecím napětí

Od charakteristik kmitočtů sítě až po charakteristiky rychlých změn napětí a od charakteristik týkajících se nesymetrií napájecího napětí až po charakteristiky úrovní napětí signálů v napájecím napětí platí pro odběrná místa z distribuční sítě (DS) s napětíovou úrovní nn a vn: zaručované hodnoty, měřicí intervaly, doby pozorování, mezní pravděpodobnosti splnění stanovených limitů, stanovené v ČSN EN 50160.

Pro char. krátkodobých poklesů napájecího napětí až po char. přechodných přepětí mezi živými vodiči a zemí uvádí ČSN EN 50160 pouze informativní hodnoty.

Norma ČSN EN 50160 popisuje a udává hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí nn a vn za normálních provozních podmínek. Také uvádí meze nebo hodnoty charakteristických hodnot napětí, jaké může uživatel za normálních provozních podmínek očekávat. [2]

1.2. Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí v České republice je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické, měřena v intervalu 10 s, v následujících mezích:

- systémy se synchronním připojením k propojenému systému

$50 \text{ Hz} \pm 1 \%$	(tj. 49,5...50,5 Hz)	během 99,5 % roku
$50 \text{ Hz} + 4 \%/ - 6 \%$	(tj. 47...52 Hz)	po 100 % času
- systémy bez synchronních připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy)

$50 \text{ Hz} \pm 2 \%$	(tj. 49...51 Hz)	během 95 % týdne
$50 \text{ Hz} \pm 15 \%$	(tj. 42,5...57,5 Hz)	po 100 % času

1.3. Velikost a odchylky napájecího napětí

Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je pro třífázové soustavy pro třívodičový systém $U_n = 230 \text{ V}$ mezi fází a uzlem. U čtyřvodičového systému je $U_n = 230 \text{ V}$ pro fázové napětí a 400 pro sdružené napětí. Za normálních provozních podmínek, musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřených intervalech 10 minut v rozsahu $U_n \pm 10 \%$. Všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřících intervalech 10 minut musí být v rozsahu $U_n + 10 \%$ / - 15%. Je-li vzdálenost venkovního vedení delší než 1 km od transformovny, může se napětí U_n pohybovat v rozmezí + 11 % až - 20 %.

1.4. Rychlá změna napětí

Rychlá změna napětí je většinou způsobena změnami zátěže u uživatelů nebo spínáním v síti. Za normálních provozních podmínek rychlé změny napětí obecně nepřekračují 5 % U_n , za určitých okolností se však mohou vyskytnout několikrát denně rychlé změny napětí do 10 % U_n . U vn jsou to 4 % U_c , za určitých okolností se však mohou několikrát denně vyskytnout změny až do 6 % U_c . [1]

1.5. Míra vjemu flikru

Flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase. Za normálních podmínek musí být v každém týdnu po 95 % času dodrženy meze pro krátkodobou míru vjemu flikru $P_{st} \leq 0,8$ a dlouhodobou míru vjemu flikru $P_{lt} \leq 0,6$. Krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} se měří každých 10 minut a dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} je vyhodnocena za 12 za sebou změřených údajů z každého dne ve dvouhodinovém intervalu. Reakce na flikr je subjektivní a může se měnit v závislosti na příčině flikru a na délce doby, po kterou se vyskytuje. V některých případech způsobuje $P_{lt} = 1$ obtíže, zatímco v jiných případech vyšší hladina P_{lt} obtíže nevyvolá.

1.6. Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Krátkodobý pokles napájecího napětí je náhlý pokles napájecího napětí pod prahovou hodnotu mezi 90 % a 1 % dohodnutého napětí (U_c), po kterém následuje obnovení napětí během krátkého časového intervalu, doba trvání mezi 10 ms a 1 minutou. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou napětí v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím. Změny napětí, které nesnižují napájecí napětí na méně než 90 % dohodnutého napětí U_c , se považují za krátkodobé poklesy napětí.

Krátkodobé poklesy napětí jsou obecně způsobeny poruchami v instalacích uživatelů nebo ve veřejné distribuční síti. Jsou to nepředvídatelné, převážně náhodné jevy. Jejich četnost výskytu za rok se značně mění podle typu napájecí sítě a místa sledování. Kromě toho může být jejich rozložení během roku velmi nepravidelné.

Za normálních provozních podmínek může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než 1 sekundu a zbytkové napětí větší než 40 % U_n . Občas se však mohou vyskytnout krátkodobé poklesy napětí s větší hloubkou a delší dobou trvání. V některých oblastech se mohou velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí se zbytkovým napětím mezi 85 % až 90 % U_n jako následek spínání zatížení u uživatelů.

1.7. Krátkodobé přerušení napájecího napětí

Krátkodobé přerušení napájecího napětí je stav, při němž je napětí v předávacím místě menší než 1 % dohodnutého napětí U_c . Za normálních provozních podmínek je roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení může mít dobu trvání do 1 sekundy.

1.8. Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Dlouhodobá přerušení napájecího napětí jsou náhodná přerušení napětí obvykle způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, jimž provozovatel distribuční sítě nemůže předcházet. Pro roční četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udát typické hodnoty. To je způsobeno velkými rozdíly v uspořádání a struktuře elektrických sítí a rovněž nepředvídatelnými důsledky činnosti třetích stran a počasí. Za normálních provozních podmínek může být roční četnost přerušení napětí delších než tři minuty a menší než 10, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až 50. Pro předem dohodnutá, plánovaná přerušení se směšné hodnoty neuvádějí, protože tato přerušení se ohlašují v předstihu.

1.9. Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu se objevují během poruch ve veřejné distribuční síti nebo v instalaci uživatele sítě a zmizí, jakmile je porucha odstraněna. Za těchto okolností mohou tato přepětí dosáhnout sdruženého napětí (až do max. 230/400 V) v důsledku posunu uzlového bodu třífázového systému, skutečná hodnota závisí na stupni nesouměrnosti zátěže a zbývající impedanci mezi vodičem s poruchou a zemí.

Trvání je omezeno časem ochrany vypínače na straně vn potřebným pro vypnutí poruchy, typicky není delší než 5 s. Za určitých okolností může porucha na straně vn transformátoru způsobit dočasné přepětí na straně nn, po dobu trvání průtoku poruchového proudu. Takováto přepětí obecně nepřekračují 1,5 kV.

U vn se dočasné přepětí síťového kmitočtu obecně objevuje během zemních poruch ve veřejné distribuční síti nebo v zařízení uživatele sítě a zmizí, jakmile je porucha odstraněna. Očekávané hodnoty takových přepětí závisí na způsobu uzemnění sítě. V sítích s uzlem účinně uzemněným nebo uzemněným přes impedanci, přepětí nepřekročí $1,7 U_c$. V soustavách izolovaných nebo uzemněných rezonančně, přepětí všeobecně nepřekročí $2,0 U_c$. Způsob uzemnění uzlu sítě sdělí distributor elektřiny.

1.10. Přechodná přepětí mezi vodiči a zemí

Přechodná přepětí mezi vodiči a zemí se vyznačují krátkodobými oscilačními nebo neoscilačními přepětími, obvykle jsou silně tlumené, mají dobu trvání několik milisekund nebo méně. Vznikají vlivem atmosférického přepětí nebo úderem blesku. Přechodná přepětí na předacích místech obecně nepřekračují 6 kV. Doba čela může zahrnovat široký rozsah od milisekund po méně než mikrosekundu. Přechodná přepětí s dlouhou dobou trvání mají mnohem nižší amplitudy. Z toho důvodu je náhodný výskyt vysokých amplitud a dlouhé doby čela velmi nepravděpodobný. Energie přechodných přepětí se značně mění podle jejich původu. Indukované přepětí způsobené bleskem má obvykle vyšší vrcholovou hodnotu, ale nižší energii než přepětí způsobené spínáním. Je to způsobeno obvykle delší dobou trvání spínacích přepětí.

Přechodná přepětí v rozvodných sítích vn jsou způsobena spínáním nebo bleskem, buď přímo, nebo indukci. Spínací přepětí mají obecně nižší vrcholovou hodnotu než atmosférická přepětí, mohou však mít kratší dobu čela nebo delší dobu trvání. [1]

1.11. Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napájecího napětí je stav trojfázové sítě, při němž efektivní hodnoty sdružených napětí či fázové úhly mezi po sobě jdoucími sdruženými napětími nejsou stejné, míra nesouměrnosti je obvykle vyjádřena jako poměr zpětné a nulové složky k sousledné složce. Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. V některých oblastech může být nesymetrie ve trojfázových předávacích místech do 3 %. V evropské normě jsou uvedeny hodnoty pouze pro zpětnou složku, jelikož je tato složka rozhodující pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě.

Nesymetrie napětí u_u , v daném časovém úseku T , je definována vztahem (1.1) za použití metody souměrných složek velikostí poměru zpětné složky napětí U_i k sousledné složce U_d vyjádřené v procentech.

$$u_u = \frac{U_i}{U_d} * 100 \quad \% \quad (1.1)$$

²Meze převzaty z [2]

1.12. Harmonická napětí

Hovoříme-li o harmonickém napětí, jedná se o sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí. U harmonických napětí lze hodnotit jednotlivě jejich amplitudu (U_h) vztaženou k napětí základní harmonické U_1 , kde h je řád harmonické nebo souhrnné, například pomocí činitele celkového harmonického zkreslení THD, který se počítá pomocí následujícího vztahu:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2} \quad (1.2)$$

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovné hodnotě uvedené v tabulce 1. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší. Kromě toho celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo roven 8 %. Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních jevů jsou obtížně předpověditelné.

liché harmonické				sudé harmonické	
ne násobky 3		násobky 3			
řád harmonické h	Harmonické napětí (U_n)	řád harmonické h	harmonické napětí (U_n)	řád harmonické h	harmonické napětí (U_n)
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 %				

Tabulka 1 – Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech U_n pro řády harmonických až do 25

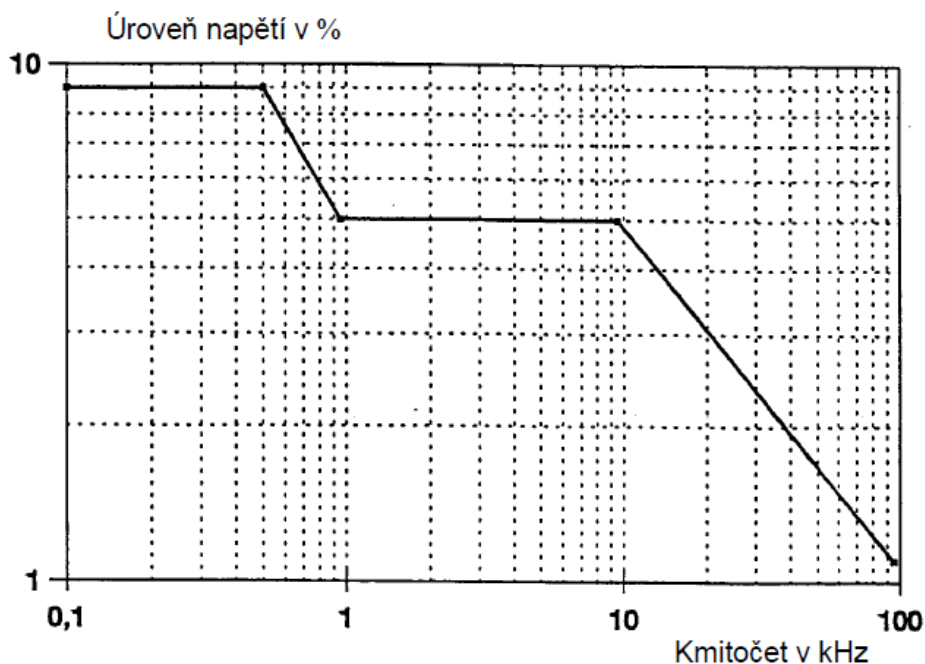
1.14. Meziharmonická napětí

Meziharmonická napětí jsou sinusová napětí s kmitočtem ležícím mezi harmonickými, což znamená, že kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu síťového napětí. S rozvojem používání měničů kmitočtu a podobných zařízení hladina meziharmonických narůstá. Hodnoty se v současné době studují a získávají se další zkušenosti.

V určitých případech způsobují meziharmonické i nízkých úrovní flickr nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání (HDO).

1.15. Úrovně napětí signálů v napájecím napětí

Provozovatelé distribučních sítí využívají veřejnou distribuční síť k přenosu informací. Střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí být v 99 % dne menší nebo rovná hodnotám v obrázku 1.



Obrázek 1 – Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech U_c ve veřejných distribučních sítích

V instalacích odběratelů se mohou používat pro přenosy informací po vedení nosné signály s kmitočtovým rozsahem od 95 kHz do 148,5 kHz. I když použití veřejné distribuční sítě pro přenos signálu mezi uživateli není dovoleno, musí se ve veřejné distribuční síti nn brát v úvahu výskyt napětí na těchto kmitočtech až do hodnoty 1,4 V. Vzhledem k možnosti vzájemného ovlivňování sousedících sdělovacích zařízení bude uživatel muset použít ochranná opatření nebo vhodnou imunitu své instalace proti vlivu těchto signálů. [1]

2. Vlivy OZE na kvalitu elektřiny

Obnovitelné zdroje energie jsou zdroje, které můžeme teoreticky využívat další tisíce až miliardy let. Jedná se o energie vyskytující se na Zemi vlivem termojaderného spalování vodíku v nitru Slunce, teplem zemského nitra a setrvačností soustavy Země – Měsíc. [7]

Nejvíce využívanými OZE v našich povětrnostních podmínkách jsou energie vody, slunce, větru a energie ze spalování biomasy. Mezi OZE se zpětnými negativními vlivy na ES patří fotovoltaické elektrárny (FVE) a větrné elektrárny (VTE), které kvůli své závislosti na meteorologických podmínkách způsobují jisté problémy spojené s náhlým nárůstem dodávané elektrické energie při dobrých meteorologických podmínkách, a náhlým poklesem až úplnému výpadku při špatných meteorologických podmínkách. Dalším problémem FVE a VTE je jejich častá výstavba na zemědělské půdě.

2.1. Zpětné vlivy na napájecí síť

Zpětné vlivy obnovitelných zdrojů energie (OZE) je potřeba omezit, aby nebyla rušena zařízení odběratelů a provozovaná zařízení provozovatelů distribuční soustavy (PDS). OZE mohou být bez kontroly připojeny, pokud je splněn poměr zkratového výkonu sítě S_{kV} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} , je větší než 500. Má-li výrobce své zařízení ověřené uznávaným institutem, pak lze nastavit příznivější činitel S_{kV}/S_{rG} (< 500). U větrných elektráren je nutno doložit certifikát, zkušební protokol atd. o očekávaných zpětných vlivech. Pro individuální posouzení připojení jedné nebo více elektráren do jednoho společného uzlu je třeba vycházet z následujících podmínek.

2.1.1 Změny napětí při spínání

Změny napětí při připojování a odpojování jednotlivých generátorů nebo zařízení nesmí překročit následující hodnoty.

$$\Delta U \leq 3 \% U_n \text{ (pro společný napájecí bod v síti nn)}$$

$$\Delta U \leq 2 \% U_n \text{ (pro společný napájecí bod v síti vn a 110 kV)}$$

Platí tehdy, jsou-li dodrženy meze napětí podle ČSN EN 50160.

2.1.2 Flickr

Dlouhodobý flickr - v předávacím místě jedné nebo více výroben, ve společném napájecím bodě nn a vn je třeba dodržet mezní hodnotu $P_{It} \leq 0,46$.

Ve společném napájecím bodě 110 kV je třeba dodržet mezní hodnotu $P_{It} \leq 0,37$.

Dlouhodobá míra flickru P_{It} jednoho zdroje může být určena činitelem flickru c jako:

$$P_{It} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (1.3.)$$

kde S_{nE} – jmenovitý výkon zařízení (pro větrné elektrárny je to hodnota S_{nG}).

Pokud je po výpočtu hodnota větší než 0,46, pak je možné zahrnout do výpočtu fázové úhly.

$$P_{It} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \left[\cos \psi_{kV} + \varphi_i \right] \quad (1.4.)$$

Pro výrobu s více jednotlivými zařízeními platí vztah:

$$P_{Itres} = \sqrt{\sum_i P_{Iti}^2} \quad (1.5.)$$

Pro zařízení s n stejnými jednotkami platí vztah:

$$P_{Itres} = \sqrt{n} \cdot P_{It} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (1.6.)$$

2.1.3. Proudů harmonických

Harmonické vznikají u zařízení obsahujících střídače nebo měniče frekvence.

Harmonické proudy emitované těmito zařízeními udává výrobce např. zprávou o typové zkoušce.

- Výrobní v síti nn

Pokud jsou splněny normy: ČSN EN 61000-3-2 Ed.2, ČSN EN 61000-3-12 Ed.2, lze považovat vliv harmonických proudů na DS za přípustný. Pokud splněno není, používáme následující kritéria:

$$\text{Připustný proud } I_{Vnn} = \text{vztažný proud } i_v \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}} \quad (1.7.)$$

Vztažný proud i_v je uveden v tabulce 2.

$\sin \psi_{kV} = X_k/Z_k (\cong 1, \text{ pro předávací místo blízko trans. vn/nn}).$

Řád harm. v, μ	Připustný vztažný proud $i_{v, \mu}$ [A/MVA]
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
$25 < v < 40$	$0,15 \cdot 25/v$
$\mu < 40^\circ$	$0,15 \cdot 25/v$
sudé	$1,5/v$
$\mu < 40$	$1,5/v$
$42 < \mu, v < 178^b$	$4,5/v$

Tabulka 2.

Tento výpočetní postup nemůže být použit, pokud je společný napájecí bod v síti vn

- Výrobní v síti vn

Pro jediné předávací místo v síti vn lze určit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů $i_{vpř}$ z Tabulky 3, násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodu.

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kV}. \quad (1.8.)$$

Pro několik zařízení ve společném napájecím bodu použijeme vztah:

$$I_{vpř} = I_{vpř} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{vpř} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}}. \quad (1.9.)$$

U zařízení s jednotkami stejného typu je S_A rovno $\sum S_{nE}$. Přípustné harmonické proudy pro síť vn, vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v Tabulce 3.

Řád harmonické μ, v	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{\mu, vpř} [A/MVA]$		
	síť 10 kV	síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
1	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003
> 25 nebo sudé	0,06/v	0,03/v	0,017/v
$\mu < 40$	0,06/ μ	0,03/ μ	0,017/ μ
$\mu > 40$	0,16/ μ	0,09/ μ	0,046/ μ

Tabulka 3.

U sčítání harmonických proudů od různých odběratelů nebo výroben užíváme tato pravidla:

- **Usměrňovače řízené sítí (6 nebo 12 pulzní)**

Harmonické, které jsou typické pro usměrňovače (řádu 5., 7., 11., 13., atd.) i pro netypické nízkých řádů ($v < 7$) se sčítají aritmeticky

$$I_v = \sum_{i=1}^n I_{vi} \quad (1.10.)$$

Pro netypické harm. vyšších řádů ($v > 7$) počítáme se vztahem:

$$I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2} \quad (1.11.)$$

- **Pulsně modulované střídače**

Pro řád μ , který nebývá celočíselný, a pro hodnoty $\mu > 11$, kde je již celočíselná hodnota, počítáme se vztahem

$$I_\mu = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu i}^2} \quad (1.12.)$$

Pokud vyjdou netypické harmonické proudy řádu $\mu < 11$, sčítáme je aritmeticky.

V případě překročení přípustných hodnot harmonických proudů nebo meziharmonických proudů je třeba podrobnějšího posouzení. Přípustné hodnoty harmonických proudů by měly platit i při vyšších frekvencích pro induktivní impedanci sítě, tj. např. čistě venkovní síť.

V sítích s významným podílem kabelů je síťová impedance nižší, což umožňuje vyšší proudy harmonických. Předpoklad je spočítat a posoudit napětí harmonických ve společném napájecím bodu pro skutečnou impedanci sítě. Je potřeba také dodržet podmínku, že v rozsahu frekvencí 2000 Hz až 9000 Hz nepřekročí ve společném napájecím bodu napětí 0,2 %.

Pro několik předávacích míst musí být při posuzování poměrů v jednom předávacím bodě brány v úvahu i ostatní předávací místa. Poměry v síti vn jsou přípustné, pokud harmonické proudy emitované do sítě nepřekročí hodnotu

$$I_{vvpř} = i_{vpř} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_{AV}}{S_s} \quad (1.13.)$$

kde S_{AV} je součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v daném společném napájecím bodě a S_s je celkový výkon, pro který je síť navržena.

Pokud po tomto výpočtu dojde k překročení přípustných hodnot harmonických proudů, pak není připojení možné. Pro jiná síťová napětí, než udává tabulka v příloze, je možné

přepočítat vztažné harmonické proudy z hodnot v této tabulce (nepřímo úměrně k napětí).

- Výrobní v síti 110 kV

Tabulka 4. udává dovolené proudy harmonických pro zařízení připojená do jedné transformovny nebo do jednoho vedení 110 kV. Hodnoty se vztahují ke zkratovému výkonu v předávacím místě výrobní.

Řád v, μ	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{v, \mu zvl}$ v A/GVA
5	2,6
7	3,75
11	2,4
13	1,6
17	0,92
19	0,70
23	0,46
25	0,32
>25 nebo sudé	5,25/v
$\mu < 40$	5,25/ μ
$\mu > 40^6$	16/ μ

⁶Celočíselné nebo neceločíselné v pásmu 200 Hz

Tabulka 4.

Pro jedno výrobní zařízení jsou přípustné harmonické do řádu 13 počítány takto:

$$I_{vzvl} = i_{v, \mu zvl} \cdot S_{kV} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}} \quad (1.14.)$$

Pro řády vyšší než 13 a pro meziharmonické:

$$I_{v, \mu zvl} \cdot S_{kV} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}} \quad (1.15.)$$

kde

$I_{v, \mu zvl}$ přípustný proud harmonické výrobního zařízení

$i_{v, \mu zvl}$ přípustný vztažný proud harmonické podle Tabulky 4.

S_{kV} zkratový výkon v přípojném bodě

S_A přípojný výkon výrobního zařízení

S_0 referenční výkon

Proudy harmonických a meziharmonických vyšších řádů než 13 se nemusí respektovat,

pokud platí, že výkon největšího dodávajícího měniče je menší než 1/100 zkratového výkonu sítě v přípojném bodě.

Je-li výrobní zařízení připojeno k úseku vedení mezi dvěma transformovny, dosazuje se za referenční výkon S_0 , tepelný mezní výkon tohoto úseku vedení. Při připojení přímo k transformovně se za S_0 dosazuje maximálně k transformovně připojitelný vyráběný výkon.

2.1.4. Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládní (HDO) jsou obvykle provozována s frekvencemi v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Místně použitou frekvenci HDO je zapotřebí zjistit u **PDS**. Vysílací úroveň je obvykle 1,6 % až 2,5 % U_n . Ovlivnění zařízení HDO způsobují převážně výroby a zařízení pro kompenzaci účinníku (KZ).

Výroby, případně KZ připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ovlivňují zatížením vysílače HDO. Plyne z vlastního zařízení výroby zvýšením zatížením sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno. V těchto případech se posuzuje vliv výroby na zatížení příslušného vysílače HDO. Vychází se z informace o jeho zatížení, kterou poskytne **PDS**. Pokud je tato hodnota blízká maximu, pak je připojení bez opatření nepřijatelné. Pokud tomu tak není, je přípustné zvýšení zatížení do 5 A, u vysílače do 110 kV a do 2 A u vysílače do vn.

Výroby (případně KZ) připojované k síti mimo přípojnic, do níž se vysílá signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 % za předpokladu, že i po tomto snížení bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená týdenním měřením. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí. Pro frekvence 183 - 283,3 Hz platí následující minimální úrovně signálu HDO:

nn 150 % U_f , vn 190 % U_f , 110 kV 200 % U_f ,

kde U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 % U_n .

Při posuzování poklesů hladiny signálu HDO způsobeného výrobními je zapotřebí uvažovat, že zdroje připojené k síti statickými střídači bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondenzátory, pak je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výroby. Zdroje, jejichž synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají pokles signálu HDO závislé na reaktanci generátoru a transformátoru, frekvenci HDO a zkratovém výkonu sítě. Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí.

Výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO

nebo leží v její bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0.1 % U_n . V předchozím případě uvedená napětí, jejichž frekvence je o 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvenci HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0.3 % U_n . Při ovlivnění provozu zařízení HDO vlivem výroby je provozovatel povinen učinit opatření potřebná k jeho odstranění, i když je ovlivnění zjištěno v pozdějším čase. Bez posouzení je možné připojit výrobní, u nichž nepřesáhne jejich výkon v celé síťové oblasti hodnoty uvedené v Tabulce 5.

Napět'ová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobních zařízení	
	V připojeném bodu	V síťové oblasti
0,4	5 kVA FVE 20 kVA	10 kVA FVE 40 kVA
VN	500 kVA	1 MVA
110	5 MVA	10 MVA

Tabulka 5.

Celkovým výkonem vyroben v síťové oblasti se rozumí jejich výkon v uzlové oblasti 110 kV, vn, případně nn. Pro FVE platí zvýšené hodnoty výkonů vzhledem k tomu, že jsou připojeny k síti přes střídače a HDO zpravidla podstatnou měrou neovlivní. [3]

2.2. NEGATIVNÍ VLIVY NA KVALITU ELEKTŘINY

Negativních rušivých jevů se v síti vyskytuje velké množství. Tyto jevy se negativně projevují v mnoha ohledech. Mají vliv obzvláště na citlivé elektronické systémy, u kterých narušují jejich správnou činnost nebo mohou vést až k jejich zničení. Dále také kvalita elektrické energie ovlivňuje samotnou elektroinstalaci a elektrické stroje (elektromotory a transformátory), v nichž se projevuje zvýšenými ztrátami. Tyto ztráty se svými tepelnými účinky snižují životnost zařízení. V neposlední řadě mají vliv i na zdražování elektrické energie. Mírou těchto negativních vlivů je popsána kvalita elektrické energie. [6]

2.2.1 Energie větru

Výroba elektrické energie ve větrných elektrárnách je jedním z nejproblematictějších způsobů výroby energie.

Zejména kvůli svému charakteru výroby, který je zcela závislý na působení větru (výkon roste s třetí mocninou rychlosti větru), při rychlosti větru kolem $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nejsou schopny VTE vyrábět a při rychlosti nad $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jsou VTE odpojovány od sítě, tudíž není možné zajistit konstantní dodávku elektrické energie.

Vlivy VTE na provoz soustavy se dají rozdělit na:

- lokální
- systémové

Lokální:

Přetěžování sítě – před připojení VTE do sítě je třeba dostatečně dimenzovat místo připojení a související sítě až k trafostanicím.

Kolísání napětí – vlivem porывů větru nebo chvilkovým zakrytím listu rotoru věží elektrárny dochází ke kolísání velikosti dodávaného výkonu, což zapříčiní kolísání napětí v síti a vznik tzv. flickru, který se projevuje blikáním žárovek.

Zvýšení zkratových poměrů – VTE se chová jako kterákoli jiná elektrárna vyvedená do jednoho bodu sítě, takže je potřeba počítat se změnou zkratových poměrů.

Kvalita dodávky – VTE je řízena výkonovou elektronikou, jež může být rušivým zdrojem v síti. Je nutno sledovat vyšší harmonické, dlouhodobý flicker a případné rušení HDO (hromadné dálkové ovládání).

Systémové:

Začlenění VTE do pokrývání diagramu zatížení – dodávka z VTE je nestabilní a závislá na povětrnostních podmínkách, při vyšším počtu VTE v síti se zvyšuje požadavek na velikost regulačního výkonu.

Chování VTE v blízkých zkratech v PS a při velkých poruchách – hrozí nebezpečí plošných výpadků VTE připojených do PS.

Dopad na stabilitu ES – Větrné parky mohou mít vážný dopad na stabilitu chodu sítě v případě poruch a nárazových větrů.

Snížení přenosové schopnosti na mezistátních profilech – V důsledku velkého nárůstu výroby, např. ve větrných farmách na severu Německa a nutnosti transportu tohoto výkonu přes okolní země. Z důvodu nedostatečné výstavby PS v Německu.

Systémové vlivy se projevují při větším počtu VTE v ES. [11]

Největší problémy s vyvedením elektrického výkonu větrných elektráren vyplývají z faktu, že výkon je velmi závislý na síle a rychlosti větru, a proto není možné zajistit konstantní dodávku elektrické energie do místa vyvedení. [8]

2.2.2. Energie Slunce

Výroba elektřiny ze slunečního záření (fotovoltaické elektrárny) představuje finančně nejnáročnější způsob výroby elektřiny. Ve srovnání s ostatními OZE má vlivem nákladné výroby až 5 krát větší náklady. Účinnost se pohybuje mezi 14 až 16 % a životnost cca 30 let. Obdobně jako VTE, výroba elektrické energie u FVE závisí na meteorologických podmínkách, respektive na množství slunečního záření dopadajícího na plochu solárního článku za určitý čas.

Negativní dopady na síť:

- V důsledku kolísání výkonu zapříčiněného střídáním dobrých a špatných meteorologických podmínek ovlivňují FVE hodnotu napětí v síti.
- FVE vyrábí stejnosměrný proud a napětí, proto pro své připojení do DS potřebuje střídač (invertor) tvořený výkonovou elektronikou, která obdobně jako u VTE může být rušivým zdrojem.
- Rovněž se musí, stejně jako u FVE, počítat v místě připojení se změnou zkratových poměrů.
- Vlivem masivní výstavby FVE v České republice dochází k velkému nárůstu instalovaného výkonu FVE, čímž nastávají problémy s jeho regulací, zejména při slunečném počasí, kdy dochází k přetoku energie přes distribuční transformátory do PS vlivem nadměrné výroby FVE a malého odběru energie uživateli. [9], [10]

2.2.3. Energie vody

Vodní energie považujeme za historicky nejdéle technicky využívaný zdroj. Voda je v přírodě nositelem energie mechanické, tepelné a chemické. Z hlediska technického využití má největší význam energie mechanická, která je neustále obnovována koloběhem vody v přírodě. Původcem koloběhu vody v přírodě je energie slunečního záření. Energie vody se projevuje ve formě potenciální (polohové a tlakové) a kinetické (rychlostní) energie.

Rozdělení vodních elektráren podle soustředění vodní energie:

a) přehradní a jezové

Jde o elektrárny se vzdouvacím zařízením (jez, přehrada), které slouží k soustředění spádu, případně průtoku. Spád se také zvyšuje prohloubením koryta pod vzdouvacím

zařazením, elektrárna je poté v blízkosti jezu nebo přímo v jeho tělese. Přehradní elektrárny využívají vyššího vzduší vody, srovnáme-li je s jezovými, a můžeme u nich akumulovat průtok. Strojovna je u těchto elektráren u paty vzdouvacího zařízení, jenž musí být nepropustné a tvořeno nejčastěji z betonu.

b) derivační

Zde se odvádí voda z původního koryta přivaděčem k turbínám a opětně se přivádí zpět do koryta odpadem. Vzdouvacím zařízením je jez přivádějící vodu do derivace.

c) přehradně derivační

Vzdouvacím zařízením je přehrada, která soustředí spád i průtok. Voda je pak přiváděna k turbínám. Přívod vody bývá obvykle sestaven z přivaděče vody s malým sklonem a z tlakového potrubí s velkým sklonem, mezi nimiž je vyrovnávací komora. Tyto elektrárny pracují jako špičkové.

Za výhodu VE lze považovat, že se dají dobře regulovat a mohou akumulovat energii. Na druhou stranu velké nádrže mění ráz krajiny a vodní dílo se často stává překážkou pro ryby ve vodních tocích. VE mají též dlouhou investiční návratnost a jejich výroba je závislá na množství vody, což záleží na ročním období a počasí. [4]

2.2.4 Biomasa

Biomasa je hmota organického původu. V energetice se nejčastěji využívá ve formě dřeva, dřevního odpadu, slámy a jiných zemědělských zbytků, včetně exkrementů zemědělských zvířat.

Biomasa se dělí na suchou a mokrou. Ze suché biomasy (např. dřevo) se získává energie spalováním, zplynováním a pyrolýzou a mokrá biomasa (např. tzv. kejda – exkrementy hospodářských zvířat promísené s vodou) se zpracovává technologiemi metanové kvašení, lihové kvašení a výroba biovodíku. [12]

Nevýhodou získávání energie z biomasy je nižší výhřevnost biomasy než konvenčních paliv, potřeba skladových prostor, velký vliv vlhkosti na spalovací procesy a nutnost likvidace popela. [13]

Oproti výrobě energie z FVE a VTE je elektrická energie vyráběná ve VE a spalováním biomasy poměrně stabilním zdrojem. Jelikož nepodléhá povětrnostním vlivům, mezi něž patří

vítr a dopadající sluneční paprsky, dá se regulovat.

3. Omezování nepříznivých vlivů OZE

3.1. Akumulace

Velkým problémem obnovitelných zdrojů energie je uchovávání energie, která není ihned odebírána spotřebiteli. Tento problém řeší akumulace energie v dobách přebytku energie, tj. tehdy, když elektrárny vyrábí a není odběr elektrické energie. Energii lze akumulovat více způsoby, které jsou popsány níže.

1) Olověné akumulátory

Jsou vyrobeny z olověných desek ponořených do nádoby s roztokem kyseliny sírové. Olověné akumulátory dosahují účinnosti okolo 80 % a snesou 500 nabíjecích cyklů. Nevýhodou je skutečnost, že při akumulaci pouhých 1000 KWh by bylo nutno instalovat 25 tun akumulátorů.

2) Elektrochemické akumulátory

Jedná se o nikel-ocelové akumulátory s elektrolytem na bázi hydroxidu draselného (jsou méně náchylné na otřesy), nikel-kadmiové, lithium-iontové nebo zinko-vzdušné.

3) Setrvačnickové akumulátory

Setrvačnickové akumulátory spočívají v tom, že se velký setrvačnick upevní na hřídel elektromotoru poháněného elektrickým proudem, na němž chceme akumulovat. Při odběru se elektromotor chová jako dynamo či alternátor a akumulovanou energii vrátí. Dnes se používají spíše setrvačnický z lehkých vyztužených plastů, které se ve speciálních ložiscích ve vakuu či heliem vyplněné skříni otáčejí velkou rychlostí až desettisíckrát za minutu. Tyto akumulátory řeší krátkodobé výpadky.

4) Tlakovzdušné akumulární elektrárny

Tvoří variantu elektráren s plynovými turbínami. Jejich funkce spočívá v tom, že levný přebytečný noční proud využívají k akumulaci vzduchu do utěsněných podzemních jeskyní nebo kaveren pod vysokým tlakem, za pomoci kompresoru. Stlačený vzduch pak může po dobu několika hodin pohánět turbínu a vyrábět elektrickou energii.

5) Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárna je tvořena dvěma nádržemi, přičemž jedna nádrž je vystavěna výše než druhá. V době přebytku elektrické energie se do vyšší nádrže přečerpává voda z nádrže nižší. V době nedostatku elektrické energie se přepne na turbínový provoz a voda z vyšší nádrže přes turbíny vyrábí elektrickou energii. Toto uspořádání se využívá k tzv. sekundární akumulaci elektrické energie. Elektrickou energii dodává v dobách špiček denního

diagramu zatížení. Spád se pohybuje od 100 do 500 m.

6) Supravodivé indukční akumulátory

Tento způsob akumulace využívá vlastnosti supravodivých materiálů, které při určité kritické teplotě prakticky ztrácí elektrický odpor. Cívka z takového materiálu ochlazená na onu kritickou teplotu by teoreticky udržela po odpojení obvodu naindukovaný elektrický proud po nekonečně dlouhou dobu. S touto metodou se teprve experimentuje. [14]

7) Superkapacitor

Jedná se o speciální elektrolytický kondenzátor s výrazně velkou kapacitou (i 1000 F). Tak obrovskou hodnotu kapacity umožňují elektrody s pórovitým povrchem, které tím pádem mají velkou plochu. Na elektrodách potažených hliníkovou fólií je nanesen práškový aktivní uhlík (uhlíkový aerogel), kdy gram tohoto materiálu zaujímá povrch až 2000 m². Elektrody superkapacitoru odděluje od sebe tekutý elektrolyt nebo elektrolyt ve formě gelu. Elektrody jsou od sebe odděleny dielektrikem o tloušťce desetiny nanometru. Díky velmi malé tloušťce dielektrika je malé i průrazné napětí, kdy by došlo k probití elektrické dvojvrstvy. Z tohoto důvodu je jejich napětí od 2,3 do 2,7 V a musí se tedy zapojovat sériově do modulů o provozním napětí až 125 voltů. Další výhodou superkapacitorů v porovnání s akumulátory je možnost opakovaného nabíjení, tj. až miliónkrát. [15]

3.2. Regulace napětí

V České republice se po jistém administrativním rozhodnutí začal rychle zvětšovat počet rozptýlených zdrojů energie. Tyto zdroje jsou z větší části nepredikovatelné a mají nepochybně vliv na regulační systém napětí v soustavě.

Jednou z možností regulace napětí v uzlech sítě je regulace toků jalového výkonu, proto je nutné dovybavit tyto zdroje o regulaci jalového výkonu. Součástí by měla být též regulace činného výkonu, která by se použila při dosažení fyzikálních limitů původní regulace napětí.

Zavedená novela energetického zákona č. 211/2011 Sb. od 18. srpna 2011 udává, že regulaci jalového a činného výkonu bude provádět na základě dispečerského řízení provozovatel distribuční soustavy. [5]

3.3. Regulační výkon

Při začleňování obnovitelných zdrojů energie (zejména FVE a VTE) do elektrizační soustavy je třeba zhotovit dostatečný regulační výkon, který by pokryl případné výpadky způsobené nepříznivými podmínkami pro výrobu elektrické energie z těchto zdrojů.

3.4. Jalový výkon

Způsob řízení jalového výkonu závisí na konkrétním místě distribuční soustavy. Určuje ho PDS po konzultaci s výrobcem. Účinník zdroje se musí pohybovat mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní, za předpokladu že činná složka výkonu je nad 20 % jmenovitého výkonu zdroje. U FVE do výkonu 4,6 kVA/fáze kompenzace není nutná. U zdrojů v sítích vn a 110 kV musí být jalový výkon výrobní s instalovaným výkonem od 100 kVA říditelný. PDS v těchto výrobních zadá pevnou hodnotu jalového výkonu nebo nastavuje tuto hodnotu dálkově, vyžaduje-li to provoz sítě.

Způsob kompenzace, včetně dekompenzace.

Příklad	Zdrojová orientace	Spotřebičová orientace
Synchronní generátor (přebuzený)	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$
Asynchronní generátor	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$
Synchronní motor (přebuzený)	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$
Asynchronní motor	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

Tabulka 6. [3]

3.5. Filtrace vyšších harmonických

Přenosová síť, připojené transformátory nebo kompenzační zařízení jsou přepočítané a dimenzované na jmenovitou frekvenci sítě, tj. např. 50 Hz. Vyšší harmonické způsobují vyšší náklady. Vyšší pořizovací náklady na elektrickou energii, větší ztráty na přenosových cestách, zvýšené náklady z důvodu většího zatížení jalovým výkonem a nutnost předdimenzování komponent a částí zařízení jsou jen některé z nich. Kvůli tomuto dodatečnému zatížení se mohou dokonce přístroje přehřát a vypadnout.

Kompenzátory obsahující kondenzátory a cívky jsou frekvenčně závislé. Mohou tedy tvořit oscilační obvody s rezonančními frekvencemi v rozsahu vyšších harmonických, což může vést až k jejich zničení. Vyšší harmonické mohou také způsobit přehřátí zařízení.

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že je třeba tyto harmonické filtrovat pomocí filtrů. Lze použít pasivní nebo aktivní filtry. Pasivní filtr je LC obvod naladěný na harmonickou frekvenci, při níž má minimální impedanci. Harmonické proudy se pak uzavírají přes tento obvod. Takto laděný filtr lze však použít jen na jednu harmonickou frekvenci. Tento problém řeší aktivní filtr, který obsahuje proudový transformátor pro změření obsahu harmonických v proudu zátěže. Ty jsou přivedeny do regulátoru aktivního filtru a ten pomocí generátoru proudu vytvoří jejich kopii. Následně je přivede do napájení, kde se tyto harmonické odečtou. Z napájecí sítě je pak odebrán pouze proud 1. harmonické. V praxi je obsah harmonických proudů redukován až 90 %. [6], [16]

4. Závěr

Předložená bakalářská práce se věnuje problematice Omezování vlivů obnovitelných zdrojů energie na kvalitu elektřiny. Jednotlivé kapitoly se věnovaly následujícím problematikám.

První kapitola je věnována charakteristice kvality elektrické energie, která je popsána normou [1]. Při začleňování obnovitelných zdrojů do ES je nutno dodržet parametry kvality elektrické energie dané touto normou. Při nedodržení parametrů kvality elektrické energie by mohlo dojít k poškození zařízení uživatelů ES nebo zařízení PDS, proto musí být před připojením výroben do sítě omezeny nepříznivé vlivy těchto výroben.

Ve druhé kapitole jsou popsány negativní zpětné vlivy OZE na síť. Tyto negativní vlivy jsou především způsobeny závislostí výroby OZE (zejména FVE a VTE) na meteorologických podmínkách a neregulovatelností těchto výroben.

Třetí kapitola se zabývá omezováním nepříznivých vlivů na ES způsobených OZE. Je zde zahrnuta akumulace, regulace napětí, regulační výkon a regulace jalového výkonu.

Po shrnutí všech „pro a proti“ lze říci, že OZE mají své kladné i záporné stránky. Je však také jisté, že způsobují značnou nestabilitu elektrizační soustavy a mohou způsobit její narušení a následný výpadek, což může zapříčinit velké národohospodářské škody.

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 50160
- [2] PPDS 2011, příloha 3
- [3] PPDS 2011, příloha 4
- [4] Škorpil Jan, Kasárník Milan: *Obnovitelné zdroje energie I, vodní elektrárny*, Plzeň 1997.
- [5] Ing. Vladimír Korenc, Dr. Ing. Tomáš Bůbela – ELCOM, a.s.: Problematika regulace jalového výkonu u fotovoltaických.
- [6] www.odbornecasopisy.cz
- [7] www.wikipedie.cz
- [8] <http://www.tzb-info.cz/4279-problematika-pripojovani-vetrnych-elektren-do-distribucni-site>
- [9] Ing René Vápeník : vliv FTE na provoz DS
- [10] <http://www.eon-distribuce.cz/cs/aktuality/148.shtml>
- [11] www.ueen.feec.vutbr.cz
- [12] <http://www.alternativni-zdroje.cz/vyroba-energie-biomasa.htm>
- [13] <http://www.energetickyporadce.cz/uspory-ve-firmach/vyuziti-obnovitelnych-zdroju/biomasa.html>
- [14] http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=6.1.6
- [15] <http://fyzmatik.pise.cz/136311-superkapacitor.html>
- [16] <http://www.emgzlin.cz>

Přílohy

Pro ochrany zdrojů s fázovými proudy do 16 A provozovaných paralelně s distribuční sítí nn, na které se vztahuje ČSN EN 50438 platí následující tabulka

TAB.2

Parametr	Maximální vypínací čas [s]	Nastavení pro vypnutí
nadpětí	0,2	230 V + 15-%
podpětí	0,2	230 V - 15-%
nadfrekvence	0,5	52Hz
podfrekvence	0,5	47,5 Hz

V některých případech může být s ohledem na síťové poměry třeba jiné nastavení ochran. Proto je jejich nastavení vždy nutné odsouhlasit s PDS. Vhodným podkladem pro tato nastavení jsou studie dynamického chování zdrojů v dané síti.

Podpěťová a nadpěťová ochrana musí být trojfázová⁵.

⁵ V sítích s izolovaným uzlem vn nebo s kompenzací zemních kapacitních proudů může být v dohodě s PDS použita nadpěťová ochrana jednofázová, připojená na sdružené napětí.