

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zdroje v elektrizační soustavě

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

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

Jméno a příjmení: **Jan PLACHÝ**
Osobní číslo: **E08B0100P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Zdroje v elektrizační soustavě**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište druhy zdrojů používané v ES připojované na hladinu vn a nn.
2. Popište možnosti říditelnosti těchto zdrojů dle diagramu zatížení.
3. Specifikujte $P(f)$ a $Q(U)$ charakteristiky těchto zdrojů.
4. Specifikujte podíl jednotlivých těchto zdrojů na celkové výrobě elektrické energie.

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.

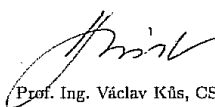
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Frank**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2010**

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


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na druhy zdrojů připojovaných na hladiny nn a vn a jejich popis. Dále na jejich říditelnost, $P(f)$ a $Q(U)$ charakteristiky a podíl jednotlivých zdrojů na výrobě elektrické energie.

Klíčová slova

Elektrizační soustava, vodní elektrárna, větrná elektrárna, kogenerace, fotovoltaická elektrárna, říditelnost zdrojů, podíl zdrojů na výrobě

Abstract

The present work is devoted to power source types attached on high voltage level and on low voltage level and their description. Then their controllability, $P(f)$ and $Q(U)$ characters and share of power sources on the production electric power.

Key words

Electricity system, hydropower plant, wind power plant, cogeneration, photovoltaic power plant, controllability sources, the share of resources on the production

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou 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 bakalářské, je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubošovi Frankovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále také panu Ing. Petru Kusému, a Doc. Ing. Emilu Dvorskému, CSc. za poskytnuté rady a materiály pro vypracování této práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 ZDROJE V ES PŘIPOJOVANÉ NA NN A VN	12
1.1 VODNÍ ELEKTRÁRNY	12
1.1.1 Vodní tok.....	12
1.1.2 Druhy vodních elektráren	13
1.1.3 Typy turbín.....	13
1.2 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	16
1.2.1 Rozdělení větrných elektráren	16
1.2.2 Základní části větrné elektrárny	16
1.2.3 Možnosti využití větrné energie v ČR	18
1.3 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	18
1.3.1 Základní polovodičové materiály.....	19
1.3.2 Konstrukce solárních článků	20
1.3.3 Možnost využití fotovoltaických elektráren v ČR.....	21
1.4 KOGENERAČNÍ ZDROJE	21
1.4.1 Kogenerace	21
1.4.2 Možnosti kogeneračních zdrojů	22
1.4.3 Typy zdrojů	22
2 MOŽNOSTI ŘIDITELNOSTI ZDROJŮ V ES	26
2.1 ZPŮSOBY REGULACE V ES NA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍCH	26
2.1.1 Změny napětí při spínání	26
2.1.2 Řízení jalového výkonu	27
2.2 VODNÍ ELEKTRÁRNY	28
2.2.1 Přečerpávací vodní elektrárny.....	28
2.2.2 Akumulační vodní elektrárny.....	28
2.2.3 Synchronní generátory.....	28
2.2.4 Požadavky pro připojení synchronních generátorů k distribuční síti:	29
2.3 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	29
2.3.1 Regulace Stall	30
2.3.2 Regulace Pitch	30
2.3.3 Aktivní regulace stall	30
2.3.4 Propojení systému regulace u velké větrné elektrárny.....	30
2.3.5 Připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko u větrné elektrárny.....	31
2.3.6 Požadavky pro připojení asynchronních generátorů k distribuční síti.....	32
2.4 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	32
2.4.1 Elektronický kompenzátor jalového výkonu a účinníku.....	33
2.4.2 Požadavky pro připojování FVE se střídači, eventuálně měničů kmitočtu k distribuční síti.....	34

2.5	KOGENERAČNÍ ZDROJE	35
3	P(F) A Q(U) CHARAKTERISTIKY ZDROJŮ V ES	35
3.1	POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ Q A U	37
3.1.1	<i>Požadavky na regulační rozsah bloku</i>	<i>37</i>
3.1.2	<i>Požadavky na primární regulaci U bloku.....</i>	<i>37</i>
3.2	PRAVIDLA PRO PŘIPOJOVÁNÍ VTE A FVE	38
3.2.1	<i>Frekvenční a napěťové meze v DS pro provoz VTE a FVE</i>	<i>38</i>
3.2.2	<i>Požadavky na dodávku činného výkonu.....</i>	<i>38</i>
3.2.3	<i>Maximální růst dodávaného činného výkonu</i>	<i>39</i>
3.2.4	<i>Požadavky na chování VTE a FVE při změnách frekvence v síti</i>	<i>39</i>
3.2.5	<i>Napěťové poměry při připojování a odpojování VTE a FVE</i>	<i>39</i>
3.2.6	<i>Napěťové poměry při provozu VTE a FVE.....</i>	<i>40</i>
3.3	STATICÁ CHARAKTERISTIKA GENERÁTORŮ	40
4	PODÍL JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ NA CELKOVÉ VÝROBĚ EL. ENERGIE....	41
	ZÁVĚR	44
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1

Seznam symbolů a zkratek

ES	elektrizační soustava
VE	vodní elektrárna
MVE	malá vodní elektrárna
VTE	větrná elektrárna
FVE	fotovoltaická elektrárna
PE	parní elektrárna
PPE	paroplynová elektrárna
PSE	plynová a spalovací elektrárna
ERÚ	Energetický regulační úřad
HMP	hlídač meze podbuzení
HDO	hromadné dálkové ovládání
ČR	Česká republika
vn	vysoké napětí
nn	nízké napětí
Q [m^3/s]	průtok
h [m]	spád hladiny
h_2 [m]	výška dolní hladiny
ρ [kg/m^3]	hustota
g [m/s^2]	gravitační zrychlení
P [W]	výkon
D [m]	průměr
v [m/s]	rychlost
Si	křemík
GaAs	arsenid galia
CaTe	cadmium tellurid
InP	indium fosfid
AlSb	antimonid hlinitý
SiO_2	oxid křemičitý
Al_2O_3	oxid hliníku
TiO_2	oxid titaničitý
OZE	obnovitelné zdroje energie
ΔU [V]	změna napětí
U_n [V]	jmenovité napětí
$\Delta u_{n\text{max}}$ [%]	relativní změna napětí
S_{KV} [VA]	zkratový výkon
S_{nE} [VA]	zdánlivý výkon
PDS	provozovatel distribuční soustavy
$k_{i\text{max}}$ [-]	činitel zapínacího rázu
I_a [A]	rozběhový proud
I_{nG} [A]	jmenovitý proud generátoru
$\cos \varphi$ [-]	účinník
E	vnitřní napětí synchronního generátoru
I_ξ [A]	činná složka proudu
I_j [A]	jalová složka proudu
X_s [Ω]	reaktance synchronního generátoru
X_R [Ω]	reaktance tlumivky
f [Hz]	frekvence
λ [-]	reálný účinník

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na všechny zdroje připojované do ES na hladiny nízkého a vysokého napětí.

Text je rozdělen podle jednotlivých úkolů zadání a následně do podsekcí označující jednotlivé zdroje.

Elektrizační soustava obsahuje dvě soustavy, ze kterých se skládá. Jednou je přenosová soustava, kterou vlastní ČEPS a.s. a druhou distribuční soustava, kterou vlastní jednotlivé distribuční společnosti (ČEZ distribuce a.s., E.ON distribuce a.s.,PRE distribuce a.s.). Dále se do ES připojují zdroje o různých napěťových úrovních. Jsou jimi úrovně 0,02; 0,04; 0,23; 0,4; 0,6; 0,63; 0,65; 0,7; 0,8; 3; 4; 6; 6,3; 10; 10,5; 12; 13; 16; 22; 30; 35 kV. Pro představu o současném stavu je v tabulce uveden souhrn instalovaných výkonů energetických zdrojů na jednotlivých napěťových úrovních.

Tab. 1 Souhrn instalovaných výkonů

Napěťová hladina [kV]	Instalovaný výkon k 31.12.2011 [MW]
menší než 22	1 584,0
22	2 773,5
30	18,0
35	252,8
110	5 278,2
220	902,0
400	9 441,5

1 Zdroje v ES připojované na nn a vn

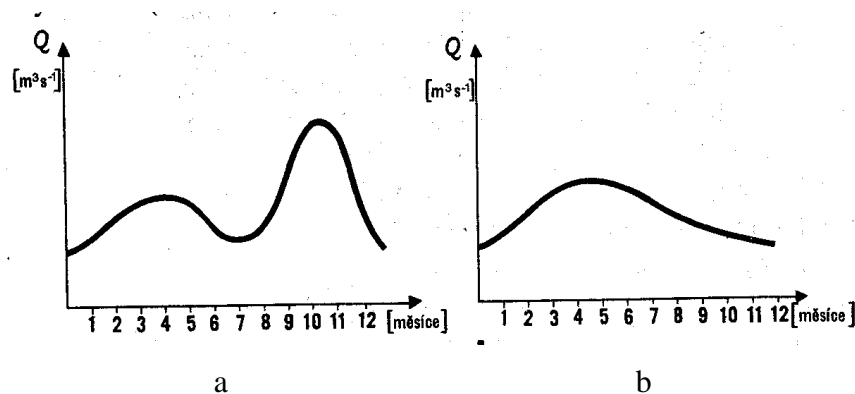
1.1 Vodní elektrárny

1.1.1 Vodní tok

Vodní elektrárny (dále jen VE) a malé vodní elektrárny (dále jen MVE) využívají vodní energii, která se projevuje jako energie potenciální, tlaková a kinetická. Tyto energie jsou obsaženy ve vodním toku. Pro energetické využití vodního toku jsou nejdůležitějšími parametry průtok Q a spád hladiny h . Průtok určuje objem vody protékající v určitém místě toku průřezem říčního koryta za jednotku času. Spád hladiny vyjadřuje rozdíl výšek hladin v uvažovaném úseku toku. Pomocí těchto veličin se dá určit výkon vodního toku

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad \left[kW, \frac{m^3}{s}, \frac{kg}{m^3}, \frac{m}{s^2}, m \right] \quad (1.1)$$

Pro volbu typu vodní elektrárny je důležitá výborná znalost obou parametrů. Velikost průtoku se mění během dne (vlivem jezů, mlýnů, srážek a podobně) i během ročního období, např. jarním táním sněhu z hor, a to v širokém rozmezí. Z tohoto důvodu se podklady pro stavbu elektrárny zjišťují dlouholetým měřením. Charakteristiku vodního toku nejlépe znázorňuje průtoková křivka (obr.1.1), která vyjadřuje průtok jako funkci času.



Obr. 1.1. Průtokové křivky vodních toků: a) pro řeky pramenící v malé nadmořské výšce, b) pro řeky pramenící ve vyšších nadmořských výškách (hory) [13].

Druhým parametrem ovlivňujícím vodní tok je spád hladiny. Jeho velikost se zvětšuje tzv. vzdutím hladiny čili jejím umělým zvýšením. Nejčastěji se tak provádí vytvořením jezu či přehradu v korytě řeky. Spád hladiny je také ovlivňován průtokem. Při větším odtoku vody stoupá spodní hladina vodního toku rychleji než horní hladina a užitečný spád se snižuje.

1.1.2 Druhy vodních elektráren

Parametry vodního toku určují druh vodní elektrárny, který je v dané lokalitě a podmínkách ekonomický. Tímto docházíme k trojímu dělení VE a MVE.

Průtočné vodní elektrárny

Budují se na velkých řekách, buď přímo v řečišti, nebo ve zvláštním kanále vedeném souběžně s korytem řeky. Jejich poloha se volí v místě, které je vhodné ze stavebního a tím i ekonomického hlediska k vytvoření potřebného spádu hladiny. Tyto elektrárny jsou určeny pro trvalou celoroční výrobu elektrické energie.

Akumulační vodní elektrárny

Budují se na řekách se značně kolísajícím průtokem. Má-li povodí řeky vhodný přírodní útvar, lze vybudovat údolní přehradu, která kolísání průtoku vyrovnává. Odtok vody z přehrady je regulován podle časového zatížení energetického systému. U nás existují jen malé a střední řeky a proto je budování akumulčních nádrží důležitou součástí, protože jedině tímto způsobem lze zachytit jarní a podzimní přebytky dešťové vody. Většinou je nutné vybudovat po celé délce řeky kaskádové nádrže.

Přečerpávací vodní elektrárny

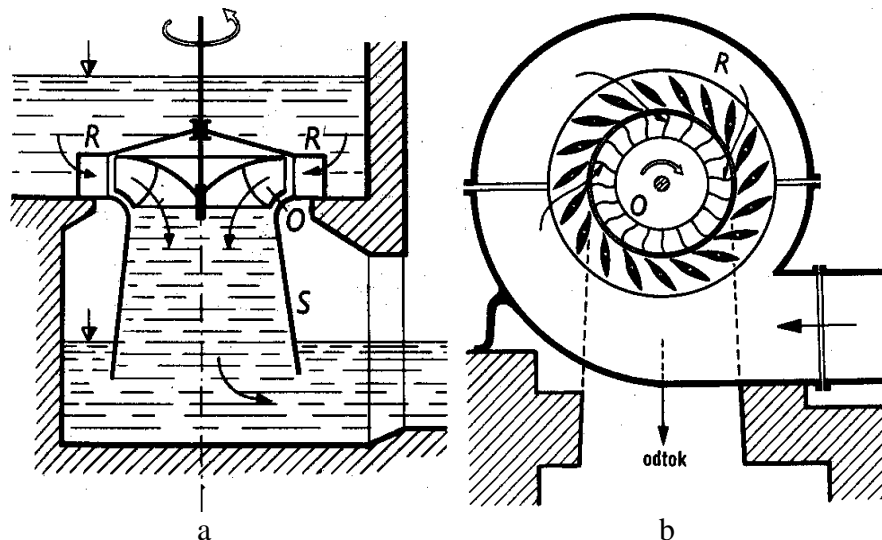
Využívají přebytek elektrické energie v ES převážně během nočních hodin a naopak během denních hodin do sítě elektrickou energii dodávají. Voda se v noci přečerpává z dolní nádrže do horní akumulční nádrže. V denních hodinách se přečerpaná voda využije k výrobě elektrické energie

1.1.3 Typy turbín

Typ turbíny určuje způsob, kterým se přeměňuje potenciální energie vody v kinetickou energii rotoru vodní turbíny. Voda protéká v turbíně nejprve pevnými rozváděcími kanály (rozváděcí kolo-stator), v nichž se buď celá potenciální tíhová energie vody, odpovídající danému spádu hladiny, nebo jen její určitá část mění na energii kinetickou. V prvním případě nazýváme turbíny rovnotlaké, ve druhém případě přetlakové. Podle směru toku vody do turbíny lze turbíny dále rozlišit na axiální, protéká-li voda ve směru osy hřídele, nebo radiální, proudí-li voda kolmo ke hřídeli. Přitom voda protéká radiálně buď od hřídele k obvodu (vnitřní tok), nebo od obvodu ke hřídeli (vnější tok). Turbíny mohou mít hřídel svislou i vodorovnou.

Francisova turbína

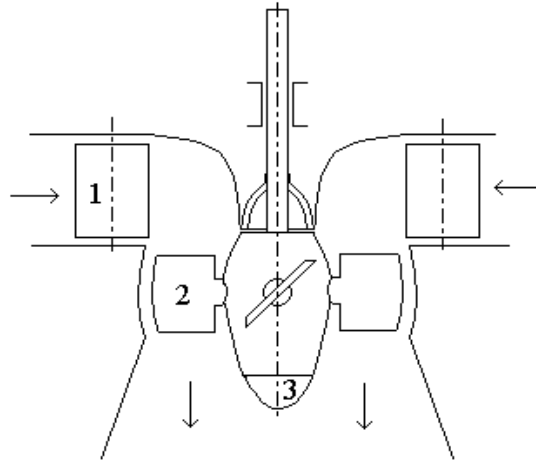
Voda proudí do spirální skříně rozváděcího systému turbíny, kde je rozváděcími lopatkami její proudění směrováno nejprve radiálně a současně je vytvářeno vírové proudění kolem osy rotace. Energie víru je předávána lopatkám oběžného kola a přeměněna na energii mechanickou (užitečnou) na hřídeli. Proud vody pokračuje výstupním potrubím, jehož průřez se nejprve zúží a poté opět rozšíří a vyústí pod dolní hladinou, jejíž výška je h_2 . Turbína je používána v rozmezí spádu (1 – 500m).



Obr. 1.2. a) Francisova přetlaková turbína, b) vodorovný řez Francisovou turbínou[13]

Kaplanova turbína

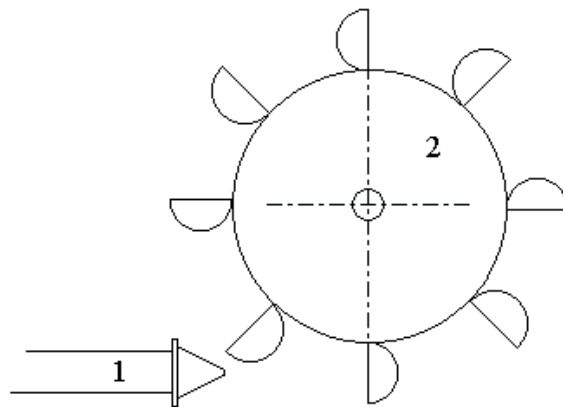
Voda proudí do rozváděcího systému turbíny, kde je rozváděcími lopatkami její proudění směrováno nejprve radiálně a současně je vytvářeno vírové proudění kolem osy rotace. Energie víru je předávána natáčecím lopatkám neseným nábojem oběžného kola axiálního vrtulového typu a je přeměněna na energii mechanickou (užitečnou) na hřídeli. V dolní části je umístěno pouzdro oběžného kola s mechanismem pro natáčení lopatek. Proud vody pokračuje výstupním potrubím, jehož průřez se nejprve zúží a opět rozšíří a vyústí pod dolní hladinou, jejíž výška je h_2 . Turbína je používána v rozmezí menších spádů. U velkých výkonů je osa otáčení zpravidla svislá.



Obr. 1.3. Kaplanova turbína[13]

Peltonova turbína

Voda proudí přes uzávěr (kulový nebo klapkový) do trysky , jejíž průtok může být regulován jehlou nebo odklonem vody. Proud vody naráží na břit , kde je rozdělován do dvou miskovitých dutin lopatek uspořádaných na disku oběžného kola. Na lopatkách dochází ke změně směru proudění a ke změně absolutní rychlosti a tím k přeměně energie na mechanickou. Ze skříně turbíny (přerušeny) proud vody pokračuje výstupním potrubím. Turbína je používána v rozmezí velkých spádů a malých průtočných množství Q ($h = 1000\text{m}$).



Obr. 1.4. Peltonova turbína[13]

1.2 Větrné elektrárny

Větrná energie společně s energií vodní jsou obnovitelné zdroje energie, jejichž využívání lidstvem má nejdélší tradici.

1.2.1 Rozdělení větrných elektráren

Názvem větrná elektrárna se obecně rozumí zařízení, které je určeno k přeměně energie větru na energii elektrickou. Patří do skupiny větrných strojů, které přeměňují energii větru v jiný druh energie (mechanickou, popř. elektrickou).

Mezi větrné stroje, které přeměňují větrnou energii v energii mechanickou, patří zejména větrné pumpy a větrná čerpadla, která získanou energii používají pro čerpání vody. Vlastní větrné elektrárny můžeme rozdělit jednak podle výkonu, jednak podle úpravy vyrobené energie. Podle výkonu můžeme rozlišovat elektrárny malé, jejichž výkon bývá asi 20kW, střední s výkonem nad 20kW a pod 50kW a velké s výkonem nad 50kW. Malé větrné elektrárny pod 5kW se používají převážně pro dobíjení akumulátorů. Elektrárny s výkonem v rozsahu 5kW až 20kW obvykle slouží k dvojímu účelu. První je dodávka do sítě a druhý je využití energie pro ohřev užitkové vody pro použití v rodinných domcích, farmách apod.

Podle koncepce lze větrné elektrárny rozdělit na zařízení s vertikální a horizontální osou rotace. Větrné elektrárny s horizontální osou rotace jsou v dnešní době nejrozšířenější.

1.2.2 Základní části větrné elektrárny

Větrná elektrárna má tyto základní části:

- rotor
- generátor
- převodovka
- systém natáčení strojovny
- stožár a rám strojovny
- regulační systém

Rotor

Nyní se podívejme na dva základní druhy větrných motorů a to vrtuli a lopatkové kolo jako představitele větrných motorů s horizontální osou rotace.

Vrtule

Je větrný motor s nejvyšší dosažitelnou účinností. Obecně lze říci, že pro návrhový (jmenovitý) bod lze získat účinnost až 58%. To znamená, že za předpokladu, že účinnost převodu mezi mechanickou energií na hřídeli rotoru vrtule a elektrickou energií na svorkách generátoru je 80%, pak celková účinnost větrné elektrárny vybavené tímto druhem větrného motoru je asi 40 až 45%. Vrtule je rychloběžný typ větrného motoru, tzn. že její rychloběžnost (poměr obvodové rychlosti špiček listů rotoru a rychlosti větru) může dosahovat hodnoty až kolem 10. Obecně však platí, že maximální účinnosti dosahuje vrtule při rychloběžnosti rovnající se přibližně 6. Počet listů rychloběžné vrtule bývá 1 až 4 s tím, že nejrozšířenější jsou zařízení se dvěma či třemi listy. Výkon, který lze získat při daném průměru vrtule D a dané rychlosti větru v , lze orientačně zjistit pomocí jednoduchého vztahu:

$$P = 0,2v^2D^3 \quad [W; m/s, m] \quad (1.2.)$$

Lopátkové kolo

Je pomaluběžný větrný motor, používaný od poslední čtvrtiny minulého století. Obvyklý počet lopatek se pohybuje mezi 12 a 24. Běžný průměr lopátkového kola je 5 až 8 metrů. Na rozdíl od rychloběžného motoru je maximální účinnosti dosahováno při rychloběžnosti 1. Stejně jako rychloběžný motor, lze pro návrhový pracovní bod vypočítat maximální výkon lopátkového kola podle vztahu:

$$P = 0,15v^2D^3 \quad [W; m/s, m] \quad (1.3.)$$

Z porovnání vztahů pro vrtuli a lopátkové kolo je patrné, že účinnost pomaluběžného větrného motoru dosahuje asi 75% účinnosti rychloběžného motoru. Využití pomaluběžného větrného motoru pro výrobu elektrické energie je méně výhodné z těchto důvodů:

- tyto stroje využívají většinou energii větru o rychlosti mezi 3 a 7 m/s,
- rotor těchto elektráren je těžký, protože jeho nosným prvkem je ocelový rám,
- donedávna byl dalším problémem nedostatek vhodných pomaluběžných generátorů.

Avšak v současné době, kdy jsou k dispozici pomaluběžné (mnohápólové) synchronní generátory s permanentními magnety, tento problém odpadá. Pomaluběžné větrné motory jsou ideální pro použití při čerpání vody. V těchto případech je rotor větrného motoru spojen přímo s čerpadlem.

Převodovka

Převodovky se používají u větrných elektráren, v nichž je velký rozdíl mezi jmenovitými otáčkami rotoru a generátoru. Obvykle se používají několikastupňové převodovky, na jejichž těleso je přímo připojena brzda.

Generátor

Generátory u větrných elektráren je možné rozdělit do tří skupin:

- stejnosměrné generátory
- synchronní generátory klasické a s permanentními magnety
- asynchronní generátory

1.2.3 Možnosti využití větrné energie v ČR

Možnosti využití větrné energie na území ČR nelze v žádném případě srovnávat s možnostmi přímořských států a jsou zákonitě podstatně omezenější. Je to dáno skutečností, že vnitrozemské klima je charakteristické nepravidelným a podstatně méně výrazným prouděním vzduchu v přízemních vrstvách atmosféry.

Přesto nelze jednoznačně říci, že na území naší republiky nelze využívat energii větru. V každém případě by však měla být instalována zařízení, která budou brát ohled na dané podmínky, tedy zejména menší převládající rychlost větrů a jejich menší četnost a pravidelnost.

1.3 Fotovoltaické elektrárny

Elektrická energie získaná přímou přeměnou slunečního záření je známa již z 19. století. Rozvoj aplikací fotovoltaického jevu byl a je závislý na technické úrovni a znalostech především z oblasti polovodičů. Vlastní fotovoltaické systémy pak představují spojení fotovoltaických prvků do řetězce, na jehož konci jsou spotřebiče, vykonávaná práce atd.

Solární fotovoltaické systémy můžeme rozdělit na tři aplikační skupiny:

- autonomní
- hybridní
- přímo spojené se sítí

Autonomní systém obecně potřebuje akumulátory a je používán především v místech, kde není dostupná veřejná elektrická síť. Jedná se především o aplikace při čerpání vody, zabezpečovací a telekomunikační systémy.

Hybridní systém obsahuje fotovoltaické pole a jeden nebo několik pomocných generátorů, jako jsou např. dieselagregáty a větrné elektrárny, a jednu nebo více baterií. Vyžaduje složitější regulátory, na rozdíl od zbylých systémů, a řídicí členy využívající vlastnosti všech zdrojů.

Systém přímo spojený se sítí běžně nepotřebuje akumulátor. Měnič musí být navržen tak, aby pracoval v celém rozsahu napětí, které poskytuje celé fotovoltaické pole. Jednoduchý systém tohoto typu má fotovoltaické pole a měnič na nízkém napětí. Pro vysokonapěťové systémy (nad 400V) je charakteristické použití transformátorů, výkonových spínačů, harmonické filtrace a ochranných prvků.

1.3.1 Základní polovodičové materiály

O účinnosti, a tedy i o výkonu solárního panelu, rozhodují vlastnosti solárních fotovoltaických článků. Tyto články jsou vyrobeny z polovodičových materiálů. O vhodnosti polovodičových materiálů pro použití v solárních článcích rozhoduje šířka zakázaného pásu energií pro daný materiál. Tato hodnota by měla ležet v rozmezí od 1,1eV do 1,7eV. Vyžaduje se také, aby se použité materiály vyznačovaly vysokou pohyblivostí a dlouhou dobou života minoritních nosičů náboje. Existuje mnoho polovodičových materiálů, které splňují uvedené požadavky. Jsou to zejména křemík (**Si**), arsenid galia (**GaAs**), cadmium tellurid (**CdTe**), indium fosfid (**InP**), antimonid hlinitý (**AlSb**).

Křemík

První solární články byly vyrobeny z křemíku, který zůstal i v současné době nejvýznamnějším materiálem pro jejich výrobu. Prvotně byl využíván monokrystalický křemík, který je však drahý. Na začátku 80. let se objevily první články z multikrystalického křemíku (polykrystalický s velkými krystaly). Primární metodou výroby multikrystalického křemíku je lití křemíku do kokil (kovová, opakovaně použitelná nádoba, do které se odlévá daný materiál). Ingoty jsou pak povrchově opracovány a řezány na desky. Tato metoda vyústí ve fotovoltaicky méně účinný křemík, jehož výroba je však méně ekonomicky náročná a umožňuje využít méně čistých vstupních surovin. Multikrystalické články vykazují nižší

účinnost, danou především ztrátami na hranicích zrn. Proto se výrobci snaží zhotovovat multikrystalický křemík s co největšími krystaly.

Arsenid galia

Druhým nejčastěji používaným materiálem pro výrobu solárních článků je arsenid galia (GaAs). Vývoj na bázi GaAs probíhá již řadu let, avšak jejich využití je zatím na nižší úrovni než u křemíku. Články s GaAs mají sice vyšší účinnost než křemík (okolo 20%), avšak GaAs má řadu nepříjemných vlastností, které brání jeho využití. GaAs je totiž podstatně dražší a proto i průměrná cena na jednotku instalovaného výkonu je vyšší. Arsenid galia má rovněž větší měrnou hustotu ($5200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) oproti křemíku ($2330 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), takže z hlediska měrného výkonu články z GaAs nikterak nevynikají v porovnání s křemíkovými. Jsou také podstatně křehčí.

Předností článků z GaAs je vyšší účinnost a jsou také výhodnější pro práci za vyšších teplot (okolo 100°C), při nichž mají jen nepatrně sníženou účinnost, zatímco u křemíkových je pokles účinnosti při těchto teplotách již velmi výrazný. Nevýhodu větší hustoty GaAs lze odstranit výrobou velmi tenkých solárních článků, protože aktivní tloušťka GaAs je podstatně menší než aktivní tloušťka čipu křemíkového.

1.3.2 Konstrukce solárních článků

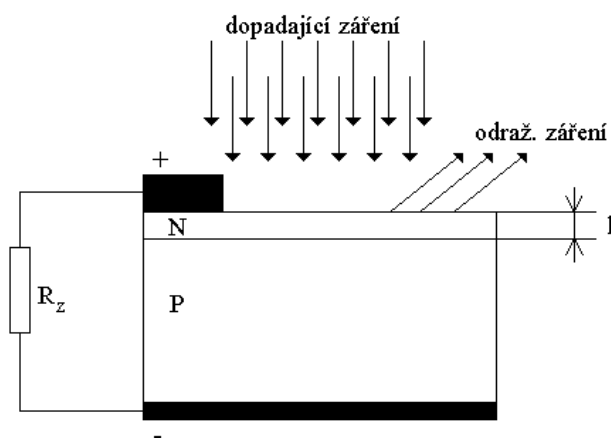
Při konstrukci solárních článků se snažíme o úsporu materiálu a o omezení optických a elektrických ztrát. K optickým ztrátám dochází následkem reflexe a neúplné absorpce záření. Průměrná odrazivost polovodičů ve viditelné oblasti záření je poměrně velká (např. u křemíku dosahuje více jak 30%), a proto se používají různé antireflexní vrstvy, jimiž ji lze snížit pod 10%. Používají se buď anorganické antireflexní materiály jako např. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , nebo organické látky s obchodními názvy Kapton, Mylar, Aclar.

Zcela novým prvkem v konstrukci křemíkových solárních článků, vedoucím k podstatnému zvýšení účinnosti přeměny, je zabudování lokální defektní vrstvy nad přechodem PN.

Na zvýšení účinnosti se podílí dva vlivy:

- vlastní přítomnost lokální defektní vrstvy
- umístění díry v této vrstvě pod vrchní kontakt

Protože neporušený křemíkový materiál v díře má menší odpor než materiál v oblasti mimo defektní díru, nosiče náboje preferují pohyb přes přechod PN právě touto dírou. Tím se snižují ztráty způsobené rekombinací, což zvyšuje účinnost, která může dosáhnout až 35%.



Obr. 1.5. Základní sestavení fotoelektrického měniče energie[14]

1.3.3 Možnost využití fotovoltaických elektráren v ČR

Celková roční dávka sluneční energie, která dopadá na naše území, je asi 1000 kWh/m². V našich podmínkách je fotovoltaický systém o výkonu 1 kW schopen za rok vyrobit cca 700 až 1000 kWh elektrické energie. V průběhu poslední dekády minulého století se využití solární energie v ČR omezilo na ostrovní systémy pro nezávislé napájení objektů a zařízení v lokalitách bez připojení na rozvodnou síť. Obrat nastal po roce 2000, kdy státní správa a místní samospráva podpořily fotovoltaiku, a to jak formou dotací vývoje a výzkumu, tak konkrétních demonstračních projektů. Příkladem je vládou schválený Národní program na podporu úspor a využívání obnovitelných zdrojů energie nebo Státním fondem životního prostředí vyhlášený program Slunce do škol.

1.4 Kogenerační zdroje

1.4.1 Kogenerace

Kogenerace neboli společná výroba tepla a elektřiny, představuje velmi zajímavou aplikaci moderních technologií na dlouho známé principy. Jde o výrobu elektřiny v podnikových nebo městských elektrárnách v parních turbínách a postupné vyvedení tepelného výkonu pro dálkové zásobování teplem.

Společná výroba elektrické energie a tepla v jediném zařízení se vyznačuje vysokou mírou využití vstupujícího primárního paliva. Při porovnání dodávky tepla a elektrické energie do budovy ze dvou oddělených výroben - kotelny a elektrárny - a z jediného zdroje s kombinovanou výrobou je zřejmé snížení energetických ztrát při výrobě.

1.4.2 Možnosti kogeneračních zdrojů

Základní motivace pro stavbu kogeneračních zařízení spočívá jednoznačně v ekonomické efektivnosti společné výroby a použití kogeneračních technologií na bázi "zvláštních plynů" jako je bioplyn, skládkový plyn, dřevoplyn, ale i důlní plyn a další.

Další motivací pro stavbu malých kogeneračních zdrojů je proti výstavbě velkých elektrárenských celků - jednodušší příprava stavby, rychlost uvedení do provozu, snadnější financovatelnost spočívající v menších objemech finančních prostředků, spolehlivost a možnost zásahu při společné instalaci více jednotek, šetrnost k životnímu prostředí. V neposlední míře jde i o možnost lokálního nebo centrálního řízení. Lokální řízení citlivě reaguje na potřebu dodávky pro spotřebiče. Centrální řízení umožňuje ovládat chod řady jednotek na různých místech. Dispečer takového systému pak může nabízet regulovaný výkon o velikosti několika desítek MW. Cena takové dodávky je na trhu pochopitelně vyšší, než z jediného zařízení. V poslední době se objevuje i další motivace pro stavbu menších rozptýlených zdrojů energie. Jde o riziko teroristického útoku, živelné katastrofy, nebo průmyslové havárie. Za všechny případy stačí vzpomenout na havárii v Elektrárně Opatovice, kdy se po propadnutí střechy strojovny zastavila dodávka tepla i elektřiny pro velkou oblast Hradce Králové, Pardubic a Chrudimi. Výroba v místě spotřeby sebou přináší též podstatné snížení ztrát energie při transportu rozvodnými sítěmi.

Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie je významným opatřením při zvyšování efektivnosti využití energetického obsahu primárního paliva. V oblasti obnovitelných zdrojů ve smyslu zákona o OZE je významné použití plyných paliv získaných transformací biomasy, nebo přírodního původu.

1.4.3 Typy zdrojů

Bioplynové stanice

Bioplynová stanice je zařízení na zpracování biologicky odbouratelného materiálu s následnou výrobou elektrické energie a využitím odpadního tepla z kogenerační jednotky.

Jako zdroj paliva, jak již název napovídá, využívá bioplyn. Bioplyn zaujímá ve spektru hořlavých plynů zvláštní místo. Dílem kvůli četnosti výskytu, dílem kvůli přijatelné výhřevnosti a ostatním fyzikálním parametrům.

Bioplyny jsou směsí metanu a kysličníku uhličitého. V populárních příručkách se uvádí, že 1 normální metr krychlový má energetický obsah jako 0,6 litru topného oleje nebo 0,65 Nm³ zemního plynu. Jde o produkt kvašení organických substancí za anaerobních podmínek, tedy bez přístupu vzduchu. Jeho výhřevnost se pohybuje okolo 2/3 výhřevnosti

metanu a pohybuje se mezi 22 až 24 MJ/Nm³. Může být proto náhradou za fosilní paliva. Navíc jde o palivo charakterizované "CO₂ - neutralitou", množství oxidu uhelnatého pohlcené při růstu organické hmoty se rovná množství, které je emitováno ve spalinách.

Bioplyn vzniká jako produkt metabolismu metanogenních bakterií. Proces může probíhat ve speciálních reaktorech bioplynových stanic, ve vyhnívacích nádržích čistíren odpadních vod, nebo přímo v tělesech skládek komunálního odpadu. Podmínkou průběhu procesu je nepřítomnost kyslíku, konstantní teplota a hodnota pH 6,5 až 7,5. Rozklad může probíhat při třech rozdílných teplotách - 15 °C (chladnomilné organismy), 35 °C (mezofilní organismy) a 55 °C (termofilní organismy). Rozklad substrátu trvá přibližně 10 dnů pro termofilní, 25 až 30 dnů pro mezofilní a 90 až 120 dnů pro chladnomilné. V čistírnách odpadních vod se dlouhou dobu používaly systémy mezofilní. Kvůli hygienizaci vystupujícího kalu a zvýšení produkce bioplynu se v posledních letech stále více objevuje použití procesu termofilního.

Teplárny

Jedná se o velké kogenerační zařízení, kde se jejich výkon pohybuje okolo stovek kW až několika MW. Teplárny se dělí na tři druhy podle použité technologie výroby tepla a elektrické energie.

Teplárna se spalovací turbínou se skládá ze soustrojí spalovací turbína - alternátor vyrábějícího elektřinu a spalínového kotle. Spaliny z turbíny jsou přiváděny do spalínového kotle k výrobě tepla ve formě páry nebo horké resp. teplé vody. Při požadavku na zvýšení tepelného výkonu spalínového kotle je instalován tzv. dohořivací (přihřívací) hořák na zemní plyn (hořák používající jako okysličovadlo spaliny ze spalovací turbíny). Ten je vřazen do spalin proudících z turbíny do kotle a zvyšuje teplotu spalin přicházejících z turbíny (cca 450 °C až 600 °C) na maximální teplotu 900 °C. Hlavní výhodou kogeneračních jednotek se spalovacími turbínami proti kogeneračním jednotkám se spalovacími motory je možnost volby média, kterým je odváděno teplo ze spalínového kotle. Kogenerační jednotky se spalovacími turbínami se dodávají o elektrickém výkonu v rozsahu od cca 1 MW do 200 MW.

Stupeň konverze energie obsažené v primárním palivu na elektřinu je oproti parní kogeneraci podstatně vyšší cca 23 - 41 %, účinnost výroby tepla je cca 35 - 57 %. Celková účinnost využití energie v palivu činí cca 68 - 90 %. Cenou za vyšší podíl vyráběné elektrické energie je ale nutnost spalování plynného paliva, tzn. ve většině případů drahý zemní plyn.

Parní kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Provádí se prostřednictvím páry vyrobené v parní kotli pomocí fosilních či nefosilních paliv (např. hnědé uhlí, biomasa). Pára se přivádí do parního motoru, protitlaké nebo kondenzační odběrové parní turbíny, kterými se pohání generátor elektrické energie. Teplo ve formě páry, jejíž tlak odpovídá konstrukci stroje nebo požadované teplotní úrovni tepelné energie, se odebírá z výfuku parního stroje, z protitlaku (odběru) parní turbíny.

Pro nižší elektrické výkony (cca 50 kW až 15 MW) jsou dodávána soustrojí s protitlakými turbínami axiálními nebo radiálními (pro vyšší výkony pouze s turbínami axiálními), které pohání přes převodovku alternátor. Z hlediska dosahované termodynamické účinnosti jsou výhodné moderní rychloběžné radiální turbíny jednostupňové nebo dvoustupňové s malou měrnou hmotností a krátkou dobou najíždění. Turbíny axiální i radiální jsou v uvedeném výkonovém rozsahu konstruované pro vstupní / výstupní tlak páry 0,9 až 6,5 MPa/0,1 až 0,7 MPa a teplotu páry 200-450 °C. Regulace elektrického výkonu soustrojí je zajištěna regulačním ventilem na přívodu páry do turbíny, případně navíc natáčivými statorovými lopatkami.

Celková účinnost využití energie obsažené v primárním palivu je cca 77% až 87 %, přičemž dominantní je účinnost výroby tepla (v závislosti na tlaku před a za turbínou cca 62% až 76 %). Účinnost výroby elektřiny se pohybuje mezi 8% až 20 %. Stupeň zhodnocení primárního paliva na elektřinu je tedy nízký. Oproti plynové kombinované výrobě elektřiny a tepla je však výhodou možnost spalování levného paliva (uhlí) nebo obnovitelného paliva - biomasy.

Paroplynová kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Její snahou je maximalizování podílu výroby elektřiny, což je zajištěno kombinací dvou turbosoustrojí se spalovací a parní turbínou.

Pára, která se vyrábí ve spalinovém kotli odpadním teplem ze spalovací turbíny, pohání soustrojí s parní turbínou. Někdy se část vyrobené páry vstřikuje do spalovací komory spalovací turbíny. Teplo se získává ze spalin spalovací turbíny a z protitlaku (odběru) parní turbíny. Ojedinele se vyskytuje i kombinace parní turbíny se spalovacím motorem. Jinými slovy pára vyrobená v kotli využitím tepla spalin ze spalovací turbíny pohání ještě parní turbínu. Poměrem dodávky paliva do spalovací komory turbíny a spalínového kotle je potom dán poměr výkonu spalovací a parní turbíny. U větších instalací se obvykle používá dvoutlakového spalínového kotle a tomu odpovídající dvoutlakové parní turbíny. Poměr

elektrických výkonů turbosoustrojí se spalovací a parní turbínou je většinou přibližně 3:1 až 4:1.

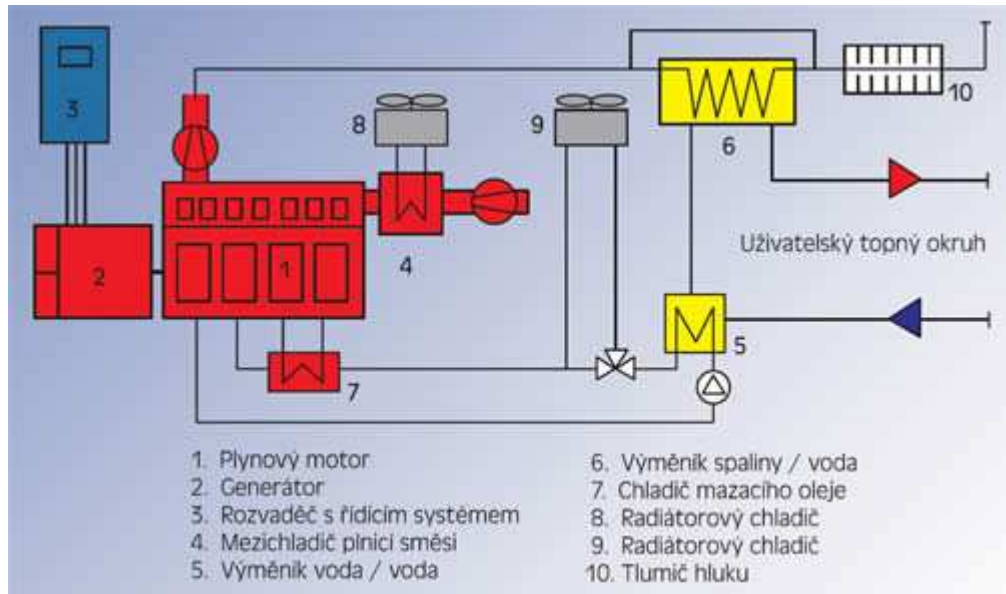
Podstatou tohoto typu kombinované výroby tepla a elektrické energie je dosažení maximálního podílu výroby elektrické energie, který může přesáhnout až 44 % z přivedeného tepla v palivu. Jinak v paroplynovém cyklu platí stejné možnosti a omezení jako u cyklu plynového.

Kogenerační jednotky

Běžné kogenerační jednotky mají obvykle relativně malý výkon, desítky až stovky kW elektrického výkonu. Jejich základní částí je obvykle pístový spalovací motor, který pohání generátor proudu. Palivem je nejčastěji zemní plyn, někdy bioplyn nebo skládkový plyn. Palivem může být i dřevoplyn, získávaný v generátoru dřevoplynu.

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem se skládá ze zážehového spalovacího motoru pohánějícího přímo alternátor vyrábějící elektřinu a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Odpadní teplo z motoru je odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovní cca 80 °C až 90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě cca 400 °C až 500 °C. Výměníky jsou z hlediska průtoku teplonosného média zapojeny do série. Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90°C/70°C, méně již do systému 110°C/85°C resp. 130°C/90°C.

Kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory se dodávají o elektrických výkonech v rozsahu od cca 20 kW do 5 MW. Na trhu bohužel chybí nejmenší zařízení pro rodinné domky, s tepelným výkonem 5 kW až 10 kW.



Obr. 1.6. Blokové schéma kogenerační jednotky[13].

2 Možnosti říditelnosti zdrojů v ES

2.1 Způsoby regulace v ES na distribučních sítích

2.1.1 Změny napětí při spínání

Při spínání musí být splněny podmínky maximální změny napětí ve společném napájecím bodě, ovlivněné připojováním a odpojováním dílčích generátorů nebo zařízení, proto relativní změny napětí vyroben s předávacím místem v síti nn nesmí překročit hodnotu $\Delta u_{\max nn} \leq 3\%$, což vyjadřuje vztah 2.1 pro síť nn, kde ΔU je změna napětí a U_n je jmenovité napětí sítě:

$$\Delta u_{n \max nn} = \frac{\Delta U}{U_n} \leq 3\% \quad (2.1)$$

Pro výrobní s předávacím místem v síti vn platí pro relativní změnu napětí rovnice:

$$\Delta u_{n \max vn} = \frac{\Delta U}{U_n} \leq 2\% \quad (2.2)$$

Změnu napětí při spínání lze také odhadnout pomocí zkratového výkonu S_{KV} v síti PDS (provozovatel lokálních distribučních sítí) pomocí jmenovitého zdánlivého výkonu S_{nE} podle rovnice:

$$\Delta u_{n \max} = k_{i \max} \frac{S_{nE}}{S_{KV}} (\%) \quad (2.3)$$

$k_{i \max}$ se nazývá činitelem zapínacího rázu "největším spínacím rázem" a je definován podle

rovnice 2.4, kde I_a je rozběhový proud (zapínací ráz) a I_{nG} je jmenovitý proud generátoru.

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} (-) \quad (2.4)$$

2.1.2 Řízení jalového výkonu

Řízení jalového výkonu je určeno PDS (provozovateli lokálních distribučních sítí), přičemž zdroje připojované do sítě nn musí dodržet tolerance jmenovitého napětí a požadavek na účinník zdroje, který musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní a činná složka výkonu je nad 3 % jmenovitého proudu předávacího místa. Zdroje připojované do sítě vn, které dodávají do sítě činný výkon P v předávacím místě, musí být opatřeny režimem řízení jalového výkonu pro:

- udržování pevné hodnoty zadaného účinníku $\cos \varphi$ (tato podmínka postačuje pro zdroje o výkonu do 400 kW),
- udržování hodnoty $\cos \varphi = f(P)$
- udržování zadané hodnoty jalového výkonu (odběr/ dodávka) v rámci provozního diagramu stroje,
- udržování napětí v předávacím místě (na výstupu z generátoru, za blokovým transformátorem nebo v pilotním uzlu) v rámci omezení diagramem PQ stroje.

Zdroj musí být schopen dodávat činný výkon v rozmezí účinníku 0,85-1 (dodávka jalového výkonu) a účinníku 1-0,95 (odběr jalového výkonu) s dovoleným rozsahem napětí na svorkách generátoru $\pm 5\%$ U_n a s kmitočtem v rozmezí 48,5-50,5 Hz. V případě nižších hodnot činného výkonu se zjistí dovolené hodnoty jalového výkonu podle provozních diagramů zdroje, který musí být součástí provozně technické dokumentace [6].

V případě silně kolísajícího výkonu pohonu musí být kompenzace jalového výkonu automatická a dostatečně rychle regulovaná. Zdroje při provozu můžou potřebovat prostředky k restrikci napětí harmonických a pro zamezení nepřipustného zpětného ovlivnění HDO, proto PDS musí odsouhlasit výkon, zapojení a způsob regulace kompenzačního zařízení, případně i hrazení harmonických nebo kmitočty HDO vhodnými indukčnostmi. Před puštěním generátoru nesmějí být připínány kompenzační kondenzátory, je-li generátor vypínán musí být kondenzátory odpojeny současně. Flicker je kolísání světelného toku světelných zdrojů z příčin periodických poklesů napětí a je postřehnutelný lidským okem. Flicker je vyvoláván kolísáním napětí. Je zapotřebí dodržet hodnotu flickru ve společném napájecím bodě vn, nn podle vztahu [6]:

$$P_{it} \leq 0,46(-) \quad (2.5)$$

2.2 Vodní elektrárny

Vodní elektrárny využívají pro výrobu elektrické energie synchronní a asynchronní generátory. Pro regulaci ES mají tyto generátory ve vodních elektrárnách svůj specifický význam. Stejně jako z výkonového hlediska dělení elektráren na přečerpávací, průtočné či akumulární.

2.2.1 Přečerpávací vodní elektrárny

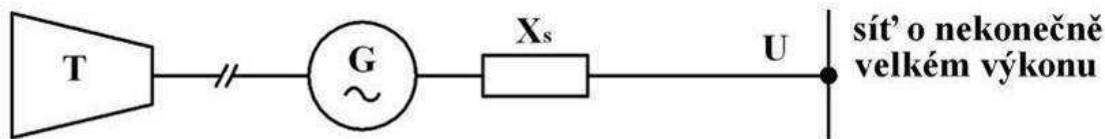
Přečerpávací vodní elektrárny (s umělou akumulací) se podílejí na regulaci elektrizační soustavy v době špiček zatížení elektrizační soustavy, kdy dodávají elektrickou energii do elektrizační soustavy. Je-li elektrizační soustava méně zatížená odběrem elektrické energie převážně v nočních hodinách přečerpávají vodu z dolní akumulární nádrže do horní akumulární nádrže, ve které akumulují elektrickou energii pro denní špičky. Výhodou přečerpávacích vodních elektráren je, že mohou být pro dodávku elektrické energie do ES připojeny v řádu jednotek minut, případně odpojeny od ES také v řádu minut. Jsou tedy špičkovými zdroji elektrické energie pro rychlou regulaci [5].

2.2.2 Akumulární vodní elektrárny

Akumulární vodní elektrárny mohou také příznivě přispívat k regulaci ES rychlou zvýšenou dodávkou elektrické energie tak, že se podle dispozičních možností zvýší objemový průtok vody vodními turbínami a současně se zvýší i dodávaný elektrický výkon z generátorů, čehož může být využito při zvýšeném zatížení ES. Akumulární vodní elektrárny mají tedy také význam při regulaci ES [5].

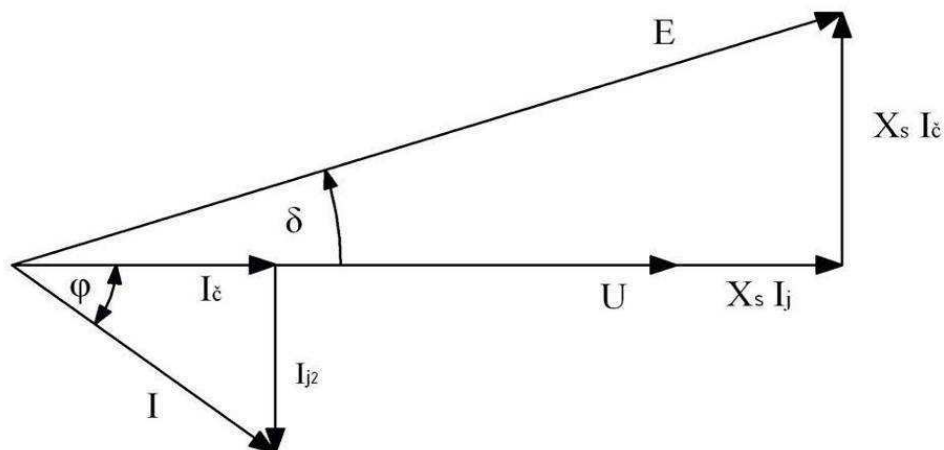
2.2.3 Synchronní generátory

Synchronní generátory se užívají pro výrobu elektrické energie. Synchronní generátory lze užít také pro výrobu nebo spotřebu jalového výkonu v závislosti na svých provozně přípustných mezích provozu, jež jsou charakterizovány například maximálním dovoleným proudem statoru, mezí budícího proudu a mezemi statické stability. Na obr. 2.1 je znázorněn synchronní generátor pracující do sítě o nekonečně velkém výkonu s konstantním napětím; činný odpor synchronního generátoru je zanedbán, uvažována je pouze synchronní reaktance synchronního generátoru X_s [4].



Obr. 2.1 Synchronní generátor pracující do sítě o nekonečně velkém výkonu s konstantním napětím U [4]

Z Obr. 2.1 vyplývá následně fázorový diagram:



Obr. 2.2 Fázorový diagram synchronního generátoru pracujícího do sítě o nekonečně velkém výkonu s konstantním napětím U [4]

Z fázorového diagramu Obr. 2.2, kde E je vnitřní napětí synchronního generátoru, lze činný výkon dodávaný do sítě vyjádřit rovnicí [4] :

$$P = U \cdot I_{\epsilon} = \frac{U \cdot E}{X_s} \cdot \sin \delta \quad (2.5)$$

Pro jalový výkon dodávaný do sítě platí rovnice [4]:

$$Q = U \cdot I_j = \frac{U \cdot E}{X_s} \cos \delta - \frac{U^2}{X_s} \quad (2.6)$$

2.2.4 Požadavky pro připojení synchronních generátorů k distribuční síti

Synchronní generátory by měly mít takové synchronizační zařízení, aby splnili podmínky rozdílu napětí $\Delta U < \pm 10 \% U_n$, rozdílu kmitočtu $\Delta f < \pm 0,5 \text{ Hz}$ a rozdílu fáze $\pm 10^\circ$. Také by měli splnit požadavky z kapitoly 2.1. [6]

2.3 Větrné elektrárny

Nejčastěji se používají se synchronními a asynchronními generátory s účinností 90% až 98%. Synchronní generátory jsou připojovány k síti přímo přes střídač, potřebují finančně

nákladné regulační zařízení, jejich výhodou je vyšší účinnost. Asynchronní generátory mají lepší synchronizaci s elektrickou sítí, jelikož skoro nepotřebují regulační techniku, ale mají horší účinnost než synchronní generátory. Systémy regulace u větrných elektráren jsou navrhovány tak, aby se při rychlostech větru kolem 15 m/s dosáhlo maximálního výnosu. Výkon větrných elektráren se musí snížit při velmi silném větru proto, aby nedošlo ke škodám na zařízení. V současnosti se používají tři typy regulace.

2.3.1 Regulace Stall

Regulace Stall (regulace odtržení proudu) - listy rotoru bývají našroubované k hlavě pod pevně nastaveným úhlem. Při velmi silném větru se na straně listů odvrácené od větru vytvářejí turbulence, proto musí být profily listů rotoru dimenzovány z aerodynamického hlediska. Při regulaci se tedy využívá odtržení proudnice vzduchu od listů rotoru při dané rychlosti větru. Následně dojde ke snížení vztahové síly pohánějící motor, a tedy i ke snížení výkonu větrné elektrárny. Výhodou je jednoduchá konstrukce a méně komplikovaný systém regulace, protože se dá takto vyhnout pohyblivému dílu u rotoru. Nevýhodou jsou značné nároky na aerodynamiku, jelikož se při nesprávném aerodynamickém dimenzování listů rotoru vyvolají při odtržení proudnice vzduchu od listů rotoru vibrace celé větrné elektrárny [8].

2.3.2 Regulace Pitch

Regulace Pitch (regulace natáčením listů) - výkon větrné elektrárny nepřetržitě měří elektronický regulátor. Podle aktuální rychlosti větru se mění natáčení listů rotoru tak, aby byl náběh proudu větru v každém okamžiku maximální. Výhodou regulace pitch je větší množství vyrobené energie i při nižších rychlostech větru, nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

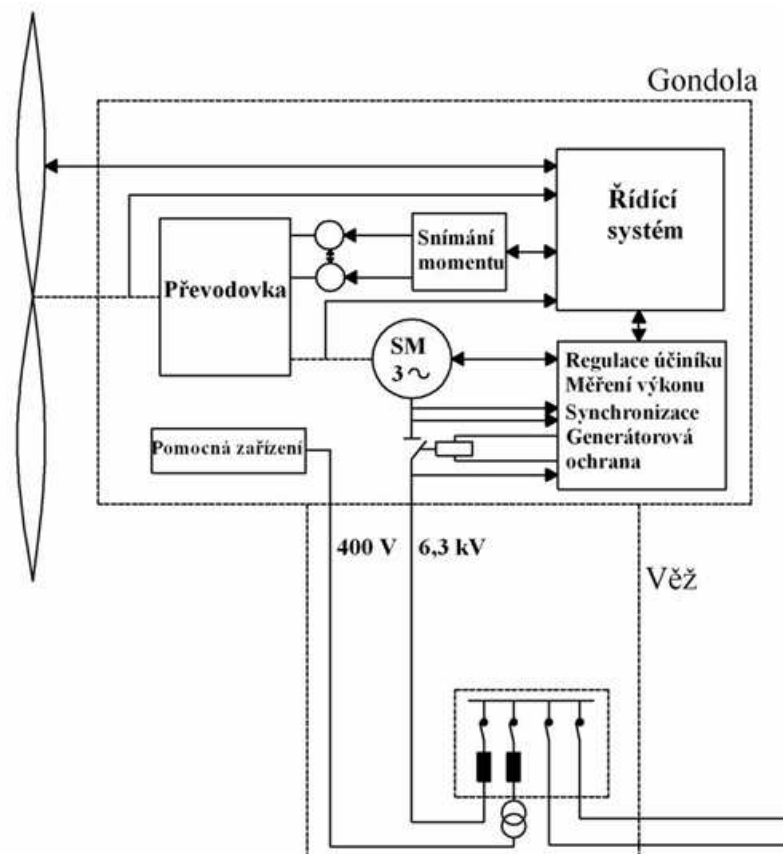
2.3.3 Aktivní regulace stall

Aktivní regulace stall umožňuje pomalé aktivní natáčení listů rotoru. V případě, že je dosaženo jmenovitého výkonu větrné elektrárny, listy rotoru se otočí do protilehlého směru, tím se úhel nastavení zvýší, odtržení proudu větru se zesílí a odrazí se přebytečná energie větru. Regulace výkonu je přesnější než u regulace stall. Tato regulace se využívá u větrných elektráren s výkonem 1 MW a více [8].

2.3.4 Propojení systému regulace u velké větrné elektrárny

Na obr. 2.3 je blokové schéma regulace velké větrné elektrárny, která využívá automatickou regulaci, jež obsahuje regulační podsystémy, jako je regulace natáčení listů

rotoru v součinnosti s převodovkou s integrovaným systémem regulace proměnlivého převodového poměru. Tato regulace udržuje konstantní otáčky synchronního generátoru v závislosti na pracovním rozsahu otáček listů rotoru větrné elektrárny. Při silnějším větru dochází ke zvýšení přenášeného momentu, tudíž se sníží převodový poměr na převodovce a listy rotoru mohou mít větší otáčky za minutu. Při vichřicích a silných poryvech větru, kdy vítr dosahuje rychlosti přes 20 m/s, se větrné elektrárny odpojují od distribuční sítě.

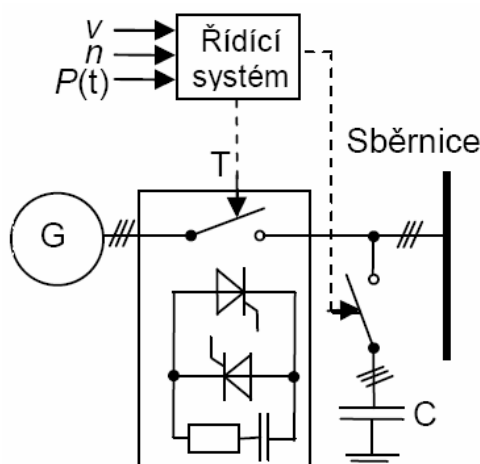


Obr. 2.3 Blokové schéma regulace větrné elektrárny[15]

2.3.5 Připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko u větrné elektrárny

Na obr. 2.4 je blokové schéma pro připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko u větrné elektrárny. Parametry rychlosti a směru větru zpracovává řídicí a měřicí systém větrné elektrárny. Podle vyhodnocených parametrů je gondola natáčena proti směru větru a při dané limitní rychlosti větru dojde k odbrzdění větrného motoru. Při zjištění potřebné rychlosti větru a jeho udržení po stanovený časový interval dojde k připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko k distribuční soustavě přes tyristorový spouštěč, aby se zamezilo proudovým rázům. Tyristorový spouštěč je odpojen po odeznění přechodového děje, následně je větrná elektrárna připojena přímo k distribuční soustavě a poté je připojena kondenzátorová baterie pro kompenzaci účinníku. Větrná elektrárna je

připojena k distribuční soustavě přes výkonový transformátor při použití algoritmu řídicího systému.



Obr. 2.4 Blokové schéma pro připojení asynchronního generátoru s kotvou nakrátko u větrné elektrárny[13]

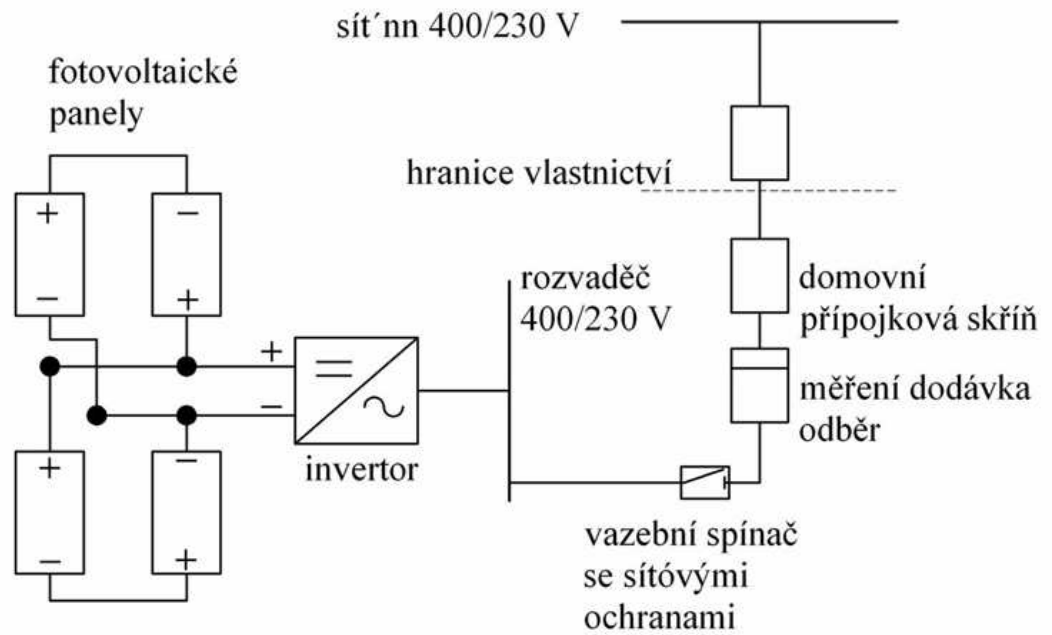
2.3.6 Požadavky pro připojení asynchronních generátorů k distribuční síti

Pro asynchronní generátory připojované s 95 -105 % synchronních otáček do sítě nn nebo vn platí, že hodnota činitele zapínacího rázu k_{imax} musí být rovna čtyřem. Připojované asynchronní stroje do vn a nn mající vnitřní přechodové jevy způsobující krátkodobé poklesy napětí smí překročit Δu_{max} jenom dvě periody pro síť nn hodnota $\Delta u_{max} \leq 6\%$ a u síti vn hodnota $\Delta u_{max} \leq 4\%$ po dvě periody. Také by měli splnit požadavky z kapitoly 2.1 [6].

2.4 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny vystavené čistě pro dodávku elektrické energie do distribuční sítě nesou označení jako tzv. grid – on systémy. V odlehlých oblastech bez možnosti přípojky k distribuční síti nebo z důvodů finančně nákladného zřízení přípojky z distribuční sítě nebo při jiných negativních faktorech připojení k distribuční síti vznikají fotovoltaické systémy označované jako tzv. grid – off systémy, které pracují v ostrovním provozu (nejsou spojeny s distribuční sítí) [9].

Množství dodávané elektrické energie z fotovoltaického systému do sítě je měřeno elektroměrem. U fotovoltaických elektráren do výkonu 4,6 kVA na fázi (včetně 4,6 kVA) se při připojení do sítě nn kompenzace účinníku nepožaduje. Schéma fotovoltaického systému s možností ostrovního provozu je na obr 2.5. Toto uskupení umožňuje dodávku elektrické energie do distribuční sítě, ale i ostrovní provoz [6].



Obr. 2.5 Schéma fotovoltaického systému s možností ostrovního provozu[13]

2.4.1 Elektronický kompenzátor jalového výkonu a účinníku

Distribuční soustava a její regulace byla původně koncipována pro distribuci elektrické energie od definovaných zdrojů ke spotřebičům. S možností finančních dotací pro obnovitelné zdroje elektrické energie dochází v současnosti k růstu počtu rozsáhlých fotovoltaických elektráren (grid - on) o výrobních výkonech v řádu MW či domácích fotovoltaických elektráren o menších výkonech připojovaných k distribuční soustavě, proto je nutné do budoucna dimenzovat distribuční síť jako inteligentní distribuční síť, jež zvládne řízení rozptýlené výroby elektrické energie, její akumulaci a spotřebu. Elektronický kompenzátor STELCOM je proudový zdroj s možností rychlé a plynulé regulace jalového proudu pro regulaci požadovaného účinníku. Pracuje s rychlou odezvou a je dimenzován pro fotovoltaické elektrárny s výkonem až 1 520 kWp. V případě, že generovaný proud se fázově zpožďuje za napětím (induktivní oblast), pracuje kompenzátor jako tlumivka, tedy umožňuje dekompenzaci. V případě, že proud fázově předbíhá napětí (kapacitní oblast) pracuje zařízení jako výkonový kondenzátor, tedy umožňuje kompenzaci. Generování proudu je v principu umožněno řízením napěťového zdroje spojeného přes indukčnost k síti. Zařízení je provedeno jako třífázové, ale lze jej modifikovat na jednofázové.

Elektronický kompenzátor se skládá z měniče, třífázového napěťového střídače obsahujícího tranzistory IGBT, akumulátoru energie v podobě kondenzátoru a tlumivky X_r , která tvoří filtr pro požadovaný průběh sinusového napětí. Napětí na kondenzátoru střídače zajišťuje regulátor napětí a toto napětí je podle potřeby vyšší nebo nižší, než je napětí sítě.

Měnič elektronického kompenzátoru obsahuje tranzistory řízené pulzně šířkovou modulací. Tranzistory IBGT v třífázovém střídači jsou spínány tak, aby měnič elektronického kompenzátoru generoval napětí, které přes X_R vytvoří požadovaný regulovatelný proud dodávaný do sítě.

Změnou amplitudy napětí na kondenzátoru střídače U_{komp} se reguluje jalový výkon. Je-li $U_{komp} > U_{sítě}$, dojde na X_R k úbytku napětí, které má stejnou fázi jako U_{komp} , následně dodává elektronický kompenzátor do sítě kapacitní proud. Elektronický kompenzátor se chová jako kondenzátor. Je-li $U_{komp} < U_{sítě}$, dojde na X_R k úbytku napětí, které má obrácenou fázi jako U_{komp} , následně elektronický kompenzátor dodává do sítě induktivní jalový proud. Elektronický kompenzátor se chová jako tlumivka.

Elektronický kompenzátor se schopností regulace velikosti a směru toku proudu první harmonické buď v oblasti kapacitní, nebo induktivní, disponuje tedy i regulací účinníku $\cos \varphi$, což je jeho základní vlastnost. Vylepšuje také kvalitu napětí v síti pomocí rozšířené funkce. V případě zkreslení napětí harmonických v síti přejde elektronický kompenzátor na funkci potlačení harmonických, čímž zlepší celkový reálný účinník λ . V tomto režimu pracuje jako paralelní aktivní filtr, jenž eliminuje deformační výkon v síti. Dalšími doplňujícími funkcemi elektronického kompenzátoru je také možnost zmírnit v uzlu sítě nepříjemný flickr a zaručit symetrii dodávaného proudu do distribuční soustavy z fotovoltaických elektráren, které obsahují větší množství jednofázových inverterů. Celkově toto zařízení zlepšuje kvalitu napětí v síti. Nevýhodou elektronického kompenzátoru je jeho momentální vysoká cena. Při spolupráci s fotovoltaickými elektrárnami, ve kterých invertory nastavují maximální výstupní výkon, dochází ke snížení účinnosti fotovoltaických elektráren. Výhodou elektronického kompenzátoru je pohotovost regulace jalového výkonu a komunikace s PDS přes dálkové řízení napěťových poměrů řízení U , Q , $\cos \varphi$ v předávacím místě zdroje. Současně předává dálkově PDS aktuální parametry, čímž ho informuje okamžitě o regulačních možnostech zdroje a o velikosti vyráběného výkonu. Tento produkt splňuje veškeré požadavky PDS [10].

2.4.2 Požadavky pro připojování FVE se střídači, eventuálně měniči kmitočtu k distribuční síti

Střídače mohou být spínány pouze v případě, když jejich střídavá strana je bez napětí. Střídače schopné ostrovního provozu, jež nejsou spínány bez napětí, musí dodržet podmínky připojování synchronních generátorů k distribuční síti. Také by měly splnit požadavky uvedené v kapitole 2.1 [6].

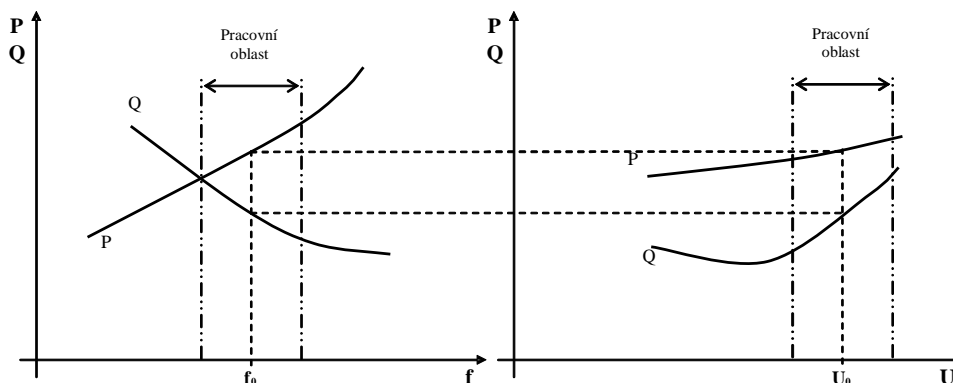
2.5 Kogenerační zdroje

Regulací hodnoty budícího napětí na synchronním generátoru při paralelní spolupráci kogenerační jednotky s distribuční sítí je možné regulovat účinník $\cos \varphi$. Kogenerační jednotky mají možnost regulace výkonu pomocí řídicího systému jednotky, přičemž výkon může být plynule regulovatelný pro dodávku elektrické energie do distribuční sítě nebo spotřebu elektrické energie z distribuční sítě pro vlastní spotřebu nebo vyprodukovaná elektrická energie na synchronním (asynchronním) generátoru může být užita pro vlastní spotřebu. Kogenerační jednotka může být regulována takovým způsobem, že provozovatel z distribuční sítě proud neodebírání ani ho do sítě nedodává, v tomto případě regulace kogenerační jednotky kopíruje vlastní spotřebu objektu. V elementárním zapojení rozlišuje kogenerační jednotka při regulaci s asynchronními generátory malých výkonů stavy plný výkon a prohřívací výkon [7].

Jelikož kogenerační jednotky se synchronními generátory mívají větší elektrický výkon než kogenerační jednotky s asynchronními generátory, jsou zde také popsány požadavky pro připojení synchronních generátorů k distribuční síti.

3 P(f) a Q(U) charakteristiky zdrojů v ES

Je dáno, že výkon odebíraný spotřebitelem je závislý na frekvenci a napětí na přípojnicích spotřebitelů. Tyto závislosti se nazývají statické charakteristiky frekvence a napětí. Jsou to graficky nebo analyticky vyjádřené závislosti činného resp. jalového výkonu jako funkce frekvence a napětí, obr. 3.1



Obr.3.1: Statické charakteristiky zátěže[16]

To lze napsat jako:

$$P = f(f, U) \quad (3.1)$$

$$Q = f(f, U) \quad (3.2)$$

Bilance výkonů v ES platí jen pro určité hodnoty frekvence a napětí v soustavě dané připojovacími podmínkami. Při jejich změnách dochází k změnám vyráběných resp.

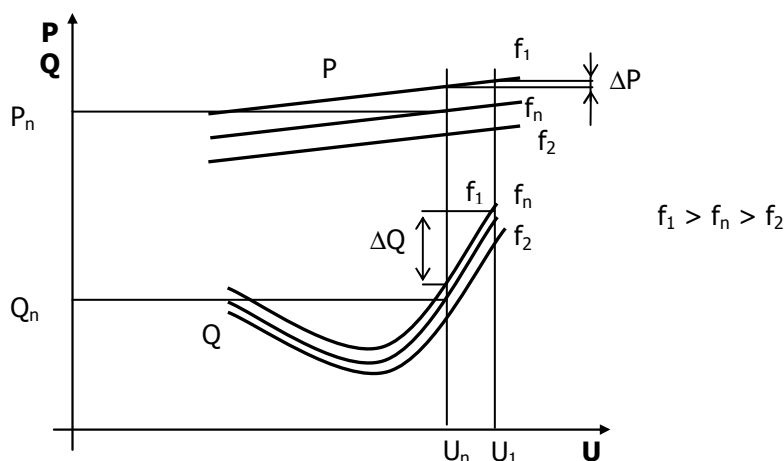
spotřebovaných výkonů. Platí to i opačně: při změně dodávaných výkonů resp. změně zatížení v ES dochází k změně frekvence a napětí.

Bylo prokázáno rozložením statických charakteristik do Taylorovy řady (3.3; 3.4; členy s derivacemi vyšších řádů jsou zanedbány),

$$P = P_0 + \frac{\partial P}{\partial f} \cdot \Delta f + \frac{\partial P}{\partial U} \cdot \Delta U \quad (3.3)$$

$$Q = Q_0 + \frac{\partial Q}{\partial f} \cdot \Delta f + \frac{\partial Q}{\partial U} \cdot \Delta U \quad (3.4)$$

že narušení bilance činného výkonu způsobuje změnu především frekvence a narušení bilance jalového výkonu způsobuje změnu napětí ES. Toto tvrzení je patrné z obr. 3.2, kde jsou znázorněné statické charakteristiky zatížení jako funkce napětí (parametrem je frekvence).



Obr. 3.2 Statické charakteristiky zátěže[16]

Z obr. 3.2 je zřejmé, že charakteristiky pro činné výkony leží daleko od sebe, z čehož vyplývá, že při změně frekvence dojde k velké změně činného výkonu, přičemž při změně napětí dojde ke změně činného výkonu pouze nepatrně. Dále pak, že charakteristiky pro jalové výkony leží blízko sebe, z čehož plyne, že při změně frekvence se jalový výkon mění nepatrně, ale naopak při změně napětí dochází k výrazným změnám jalového výkonu.

Uvedené vlastnosti ES umožňují analyzovat její chování zcela odděleně pro závislost $P = f(f)$ a $Q = f(U)$. Je důležité, že frekvence v ES je charakterizována vyrovnaností bilančních výkonů v celé ES, ale napětí vyrovnaností jalových výkonů jen v dané oblasti.

Principy regulace jednotlivých zdrojů, připojovaných na distribuční soustavy, pro potřeby vyrovnanosti bilanční rovnice ES byly popsány v kapitole 2.

V následujících kapitolách jsou sepsány podmínky provozování zdrojů v ES, z nichž $P(f)$ a $Q(U)$ charakteristiky vyplývají.

3.1 Požadavky na řízení Q a U

V kapitole jsou uvedeny všeobecné požadavky na všechny zdroje v ES

3.1.1 Požadavky na regulační rozsah bloku

Generátor musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníků $\cos\varphi_{\text{IND}} = 0.85$ (chod generátoru v přebuzeném stavu) a $\cos\varphi_{\text{KAP}} = 0.95$ (chod generátoru v podbuzeném stavu) při kmitočtu v rozmezí 48.5 až 50.5 Hz a při dovoleném rozsahu napětí $\pm 5\%$ U_n na svorkách generátoru. V odůvodněných případech (zejména, když použítá technologie není schopna plnit požadavek provozu s jmenovitým činným výkonem pro frekvence menší než 49.5 Hz) budou podmínky provozu na základě písemné žádosti upraveny dohodou mezi ČEPS a provozovatelem elektrárny.

Při nižších hodnotách činného výkonu se dovolené hodnoty jalového výkonu zjistí podle provozních diagramů bloku, které musí být součástí provozně-technické dokumentace bloku. Technologie vlastní spotřeby elektrárny a zajištění napájení vlastní spotřeby umožní využití výše uvedeného dovoleného rozsahu – např. použitím odbočkového transformátoru napájení vlastní spotřeby s regulací pod zatížením.

Zde uvedený základní požadovaný regulační rozsah jalového výkonu může být modifikován, tedy zúžen nebo rozšířen. Důvodem případné modifikace může být např. odlišná (nižší/vyšší) potřeba regulačního jalového výkonu v dané lokalitě a nebo zvláštní technologické důvody. Taková modifikace předpokládá uzavření zvláštní dohody mezi provozovatelem a uživatelem. [11]

3.1.2 Požadavky na primární regulaci U bloku

Primární regulace napětí je zajištěna primárním regulátorem, který tvoří standardně součást regulátoru buzení a umožňuje případně účast na nadřazené sekundární regulaci U/Q (SRUQ).

Primární regulátor napětí:

- nesmí vykazovat necitlivost při řízení napětí
- musí být vybaven obvody pro kompenzaci úbytku napětí na blokovém transformátoru pomocí tzv. statiky od jalového proudu
- musí umožňovat impulsní řízení žádané hodnoty svorkového napětí generátoru
- musí umožnit přenos měřených, řízených a řídicích veličin do jiných zařízení prostřednictvím digitální komunikace

Kromě zmíněného primárního regulátoru napětí je regulátor buzení doplněn následujícími přídatnými automatikami:

- omezovačem statorového a rotorového proudu (ochranné obvody alternátoru)
- hlídačem meze podbuzení (HMP)
- stabilizačními obvody pro tlumení kyvů v síti (systémové stabilizátory)

Nastavení HMP musí být provedeno tak, aby byl alternátor chráněn dle předpisů výrobce (daných provozním diagramem P-Q). Nastavení HMP z hlediska statické stability se určuje po dohodě s ČEPS na základě příslušných výpočtů. [11]

3.2 Pravidla pro připojování VTE a FVE

Pro větrné elektrárny (VTE) a fotovoltaické elektrárny (FVE) platí pravidla pro připojení elektrárenských bloků do distribuční sítě uvedená v předcházejících kapitolách. Tato pravidla jsou doplněna požadavky vyplývajícími ze specifických vlastností a způsobu jejich provozu (zejména proměnlivost výkonu závislá na síle větru a intenzitě slunečního svitu). Tyto požadavky na VTE a FVE doplňují a nahrazují nároky kladené na ostatní elektrárenské bloky v Kodexu DS. Jmenovitý výkon elektrárny je součet jmenovitých výkonů jednotlivých jednotek VTE resp. FVE připojených do jednoho přípojného místa[12].

3.2.1 Frekvenční a napěťové meze v DS pro provoz VTE a FVE

Elektrárna musí být schopna trvalé dodávky výkonu v rozsahu napětí v distribuční síti:

$$35 \text{ kV} \pm 10\% = 38,5 - 31,5 \text{ kV}$$

$$22 \text{ kV} \pm 10\% = 24,2 - 19,8 \text{ kV}$$

Elektrárna musí být schopna trvalé dodávky výkonu bez omezení v rozsahu frekvence přenosové sítě : 49,5 – 50,5 Hz.

3.2.2 Požadavky na dodávku činného výkonu

Na elektrárnách toho typu není požadována účast na primární, sekundární ani terciární regulaci. Pro účely řízení soustavy musí být schopna větrná elektrárna akceptovat požadavky PDS na řízení výkonu – na omezení dodávaného výkonu. Snížení dodávaného výkonu na požadovanou hodnotu musí činit minimálně 10% z dosažitelného výkonu za minutu. Toto omezení se uplatňuje PDS hlavně v případě poruch, výpadků v síti, neúplného zapojení, omezení regulovatelnosti ES, kdy by neomezený provoz VTE výrazně zvyšoval možnost dalších výpadků či ohrožoval spolehlivost provozu sítě v dané oblasti. Omezení je založeno na technicky zdůvodnitelných dočasných předpokladech/podmínkách[12].

Jedná se o:

- omezení maximální výroby parku
- omezení nárůstu dodávaného činného výkonu
- snížení dodávaného činného výkonu (odstavení části výrobní kapacity)
- kombinace výše zmíněných
- omezení znovunajždění odstavených soustrojí či větrné elektrárny

3.2.3 Maximální růst dodávaného činného výkonu

Doporučovaná hodnota 1MW/min až 30 MW/min nebo 10 % z P_{inst} /min, konkrétně dle dohody s PDS. Na VTE a FVE není požadována schopnost samostatné funkce v ostrovním režimu.

3.2.4 Požadavky na chování VTE a FVE při změnách frekvence v síti

V rozsahu dovolených změn frekvence v pásmu 47,5 – 51,5 Hz musí zůstat elektrárna připojená do soustavy a pomáhat vyrovnávat bilanci výkonů, je nepřípustné automatické odpojení od sítě z důvodu odchylky frekvence. Pro rozsah frekvence 49,5 – 50,2 Hz se nepředpokládá změna aktuální výroby elektrárny z titulu změny frekvence v síti. Pro frekvenci nad 50,2 Hz je nutné omezení výroby. Velikost omezení je 40 % z výchozí hodnoty na 1 Hz. Snížování výroby je možné provádět v 10 % krocích /stupních. Požadovaná rychlost omezení výkonu při nadfrekvenci je 5 % za sekundu. Při frekvenci nad 50,5 Hz již není možné spouštění/připojování do sítě dalších VTE nebo FVE. Nad 51,5 Hz se požaduje okamžité odpojení elektrárny od sítě. Při poklesu frekvence pod 49,5 Hz je potřebné pokud možno zvýšit výroby na maximum dostupného výkonu a zachovat připojení (dodávku) elektrárny do sítě. Při poklesu pod 47,5 Hz dojde k okamžitému odpojení elektrárny od sítě[12].

3.2.5 Napěťové poměry při připojování a odpojování VTE a FVE

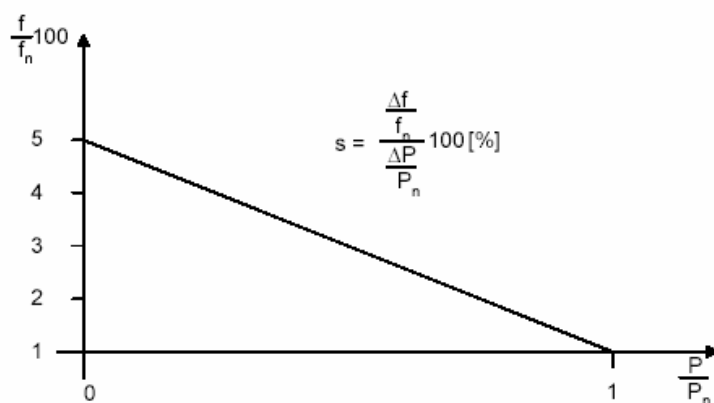
- Připojení (odpojení) jednotlivého jednotky nesmí vyvolat změnu napětí větší než 0,5% U_n
- Připojení celé výrobní skupiny nesmí vyvolat změnu napětí větší než 1,5% U_n
- Odpojení celé výrobní skupiny vlivem poruchy nesmí vyvolat změnu napětí větší než 3% U_n [12]

3.2.6 Napět'ové poměry při provozu VTE a FVE

Maximální změna výroby celé výrobní skupiny nesmí v přípojném místě vyvolat změnu napětí větší než 1% U_n , popřípadě provozovatelem DS stanovenou přípustnou hodnotu. [12]

3.3 Statická charakteristika generátorů

Výkony generátorů, se změnou frekvence mění také podle jejich statické charakteristiky (obr. 3.3). Se změnou frekvence sníží nebo zvýší svůj výkon.



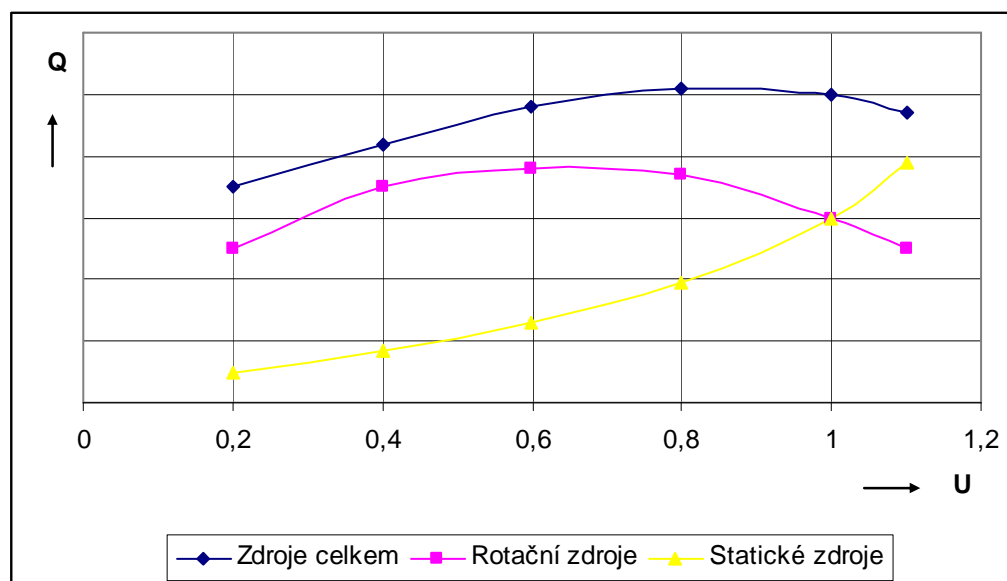
Obr. 3.3 Statická frekvenční charakteristika generátoru[16]

Z této charakteristiky je možné odvodit vliv poruch frekvence v ES na činný výkon generátoru (G). Např. porucha frekvence 0,1 Hz znamená u generátoru o výkonu 220 kW s nastavenou statikou 5% změnu výkonu generátoru o 8,8 kW.

Určení statických charakteristik výpočtem je spojené s určitými problémy, jelikož jsou závislé na konstrukčních vlastnostech strojů a jejich skladbě. V praxi se tyto charakteristiky získávají měření. Měření provádějí jednotlivé distribuční společnosti připojující zdroje do své sítě a tyto charakteristiky jsou jejich majetkem.

Závislost dodávaného jalového výkonu Q alternátorů, přebuzených synchronních kompenzátorů na napětí při konstantním napětí představuje na Obr. 3.4 část paraboly. Pro statické zdroje je charakter průběhu dodávaného jalového výkonu značně odlišný od rotačních zdrojů. Z hlediska provozu ES je tato charakteristika nevhodná, jelikož při poklesu napětí dochází k poklesu dodávaného kompenzačního jalového výkonu.

Rotační zdroje však tvoří výkonově převážnou část zdrojů jalové elektrické energie a proto je výsledná součtová charakteristika zdrojů z hlediska regulace napětí příznivá. Při poklesu napětí totiž zdroje dodávají zvýšený jalový výkon [3].



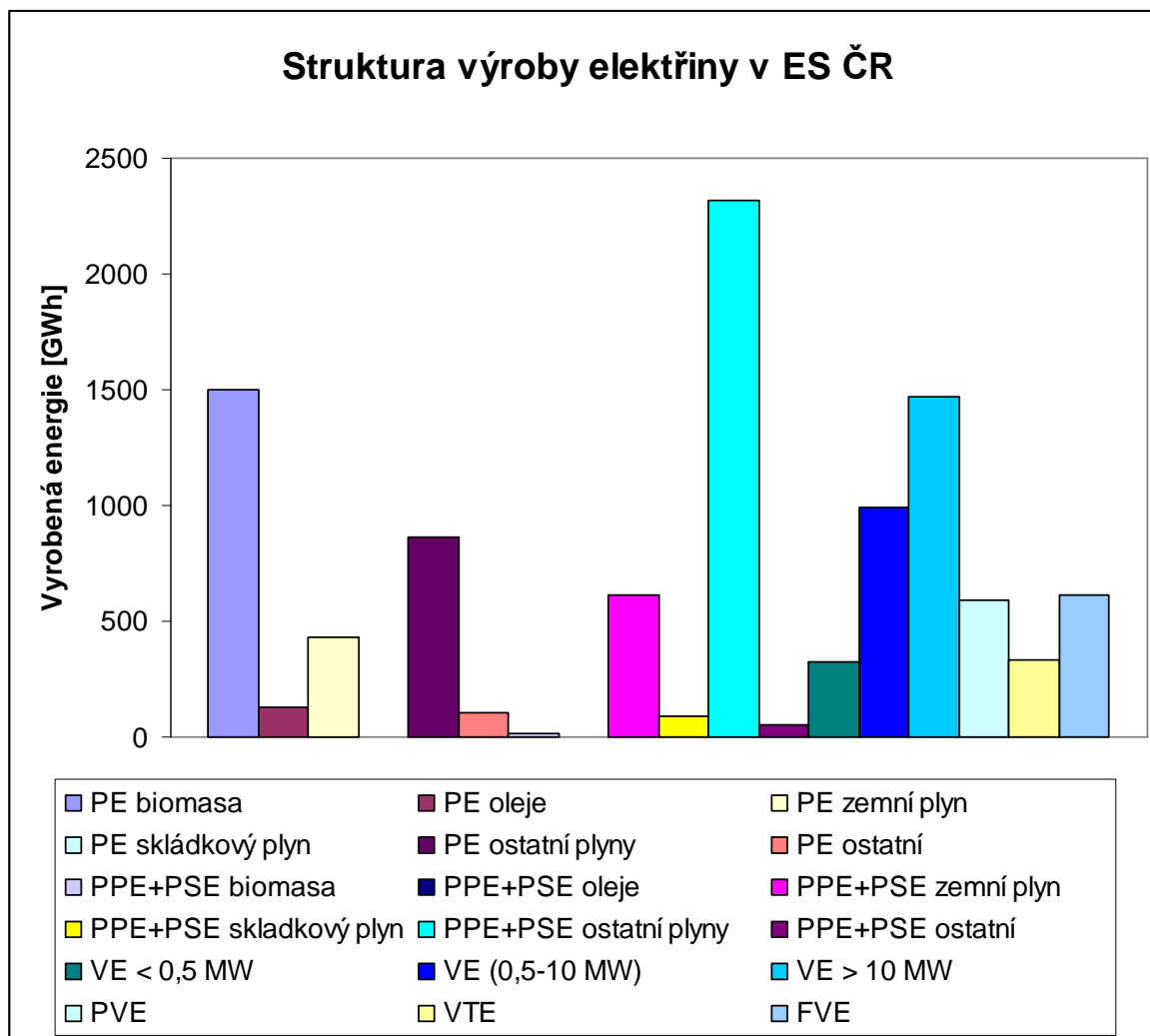
Obr. 3.4 Statické charakteristiky zdrojů jalové energie

4 Podíl jednotlivých zdrojů na celkové výrobě el. energie

V celkové skladbě zdrojů použitých při výrobě elektrické energie v ČR mají největší podíl parní (uhelné) elektrárny a po nich jaderné. Tyto dva druhy nejsou v této práci zahrnuty. Zbýlý podíl je věnován elektrárnám připojovaným na hladiny nn a vn.

Tab. 2 Struktura výroby elektřiny v ES ČR zdrojů připojovaných na nn a vn v roce 2010

	Výroba elektřiny [GWh]		Výroba elektřiny [GWh]
PE		PPE+PSE	
spalování biomasy	1499,4	spalování biomasy	12,5
spalování olejů	128,7	spalování olejů	1,8
spalování zemního plynu	433,5	spalování zemního plynu	617,1
spalování skládkového plynu	1,1	spalování skládkového plynu	88,2
spalování ostatních plynů	862	spalování ostatních plynů	2318,6
ostatní	104	ostatní	53,2
celkem PE	3028,7	celkem PPE+PSE	3091,4
VE			
VE < 0,5 MW	322,5	VTE	335,5
VE (0,5-10 MW)	994,8		
VE > 10 MW	1472,1	FVE	615,7
PVE	591,2		
celkem VE	3380,6	Celkem	10451,9

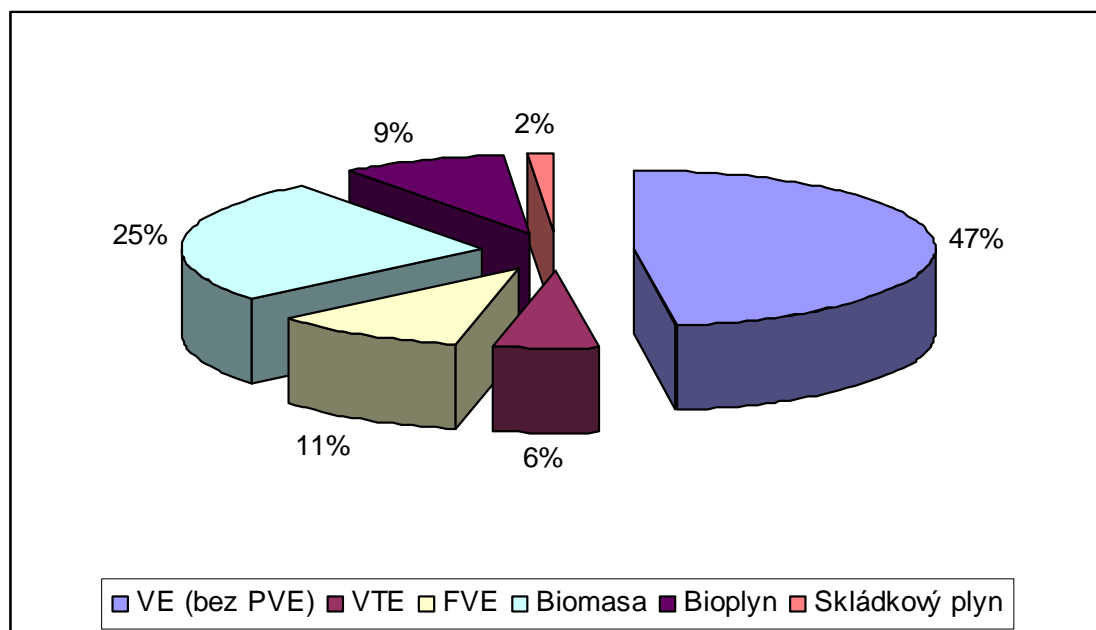


Graf 1. Struktura výroby elektřiny v ES ČR ze zdrojů připojovaných na nn a vn v roce 2010

Obnovitelné zdroje

Tab. 3 Podíl výroby elektřiny z OZE za rok 2010

	[GWh]	[%]
VE (bez PVE)	2789,4	47,7
VTE	335,5	5,7
FVE	615,7	10,5
Biomasa	1511,9	25,8
Bioplyn	508,9	8,7
Skládkový plyn	89,3	1,5
celkem	5850,7	100



Graf. 2. Podíl výroby elektřiny z OZE za rok 2010

Závěr

V první části mé práce, bylo úkolem popsat druhy zdrojů připojovaných na hladiny nn a vn. V této části jsem vypsál veškeré zdroje, které se mi podařilo vyčíst z interních materiálů ERÚ. Dále jsem pak jednotlivé zdroje rozepsal a popsal jejich funkčnost a typy použitých technologií a jak získávat energii z těchto zdrojů.

V druhé části práce jsem měl za úkol popsat říditelnost zdrojů v ES připojovaných na nn a vn. Tato problematika je značně rozsáhlá a celý koncept by se nevešel do této práce. Uvedl jsem základní problematiku řízení napětí a frekvence. Změny napětí a frekvence totiž nepříznivě ovlivňují bilanční rovnováhu celé ES. Na regulaci se podílí všechny zdroje avšak VTE a FVE se podílejí pouze minimálně. V příštích letech by mělo dojít ke změně legislativy a FVE by mělo být možné od ES odpojit a tím by mělo dojít alespoň k částečné regulaci.

Třetí část obsahuje převážně informace, poskytnuté společností ČEPS a.s. co se týče $P(f)$ a $Q(U)$ charakteristik. Tyto charakteristiky jsou vlastněny jednotlivými distribučními společnostmi a ty mi nebyly schopny tyto informace za dobu zpracovávání této práce poskytnout. V této kapitole jsou obecné charakteristiky jak zátěže a generátorů (uvedena alespoň pro představu o problému) a dále statická frekvenční charakteristika generátoru. Jak jsem zmínil, konkrétní charakteristiky k jednotlivým zdrojům bohužel nejsou uvedeny.

V poslední čtvrté části jsem se zabýval podílem jednotlivých zdrojů na celkové výrobě elektrické energie v ČR. Vycházel jsem z informací poskytnutých od ERÚ a následně jsem je zpracoval do tabulek. Tyto informace jsou z roku 2010, jelikož pro rok 2011 ještě v době poskytnutí těchto informací nebyly k dispozici.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KAMINSKÝ, Jaroslav a VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 1999. 102 s. ISBN 80-7078-445-8
- [2] IBLER, Zbyněk. *Elektrárny I*. 1. vyd. VŠSE v Plzni – ediční středisko, 1984. 220 s
- [3] BERAN, Miloš. *Elektrická zařízení tepelných elektráren*. 1. vyd. VŠSE v Plzni – ediční středisko, 1988. 250 s
- [4] HALUZÍK, Evžen. *Řízení provozu elektrizačních soustav*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 125 s. Sysno: 000715939 .
- [5] MATOUŠEK, Antonín. *VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE*. první. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav elektroenergetiky, 2007. 139 s. ISBN 978-80-214-3317-5.
- [6] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ LOKÁLNÍCH DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV* [online]. PRAHA : ERÚ, 2012 [cit. 2012-06-1]. PŘÍLOHA 4: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE LOKÁLNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY, 71 s. . Dostupné z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/sdeleni_elektro2/PPDS/Pr4LUMEN.pdf>
- [7] AGROWEB [online]. 29.8.2008 [cit. 2012-05-28]. *Organický odpad a produkce bioplynu*. Dostupné z WWW: <http://www.agroweb.cz/Organicky-odpad-a-produkcebioplynu_s250x31561.html>.
- [8] WEB Větrná energie s.r.o [online]. 2010 [cit. 2012-05-23]. *Systémy regulace - Větrná elektrárna*. Dostupné z WWW: <http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrnaenergie_9/systemy-regulace_27>.
- [9] WOLF, Petr. *Fotovoltaické elektrárny od návrhu po realizaci*. *Světlo* [online]. 2009, 4s, [cit.2012-05-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39403.pdf>>
- [10] KORENC, Vladimír; BŮBELA, Tomáš; KYSNAR, František. *STELCOM - statický regulátor jalového výkonu.ELEKTRO* [online]. 2009, 10, [cit. 2012-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39640.pdf>>.
- [11] ČEPS.as. *KODEX PROVOZOVÁNÍ PŘENOSOVÉ/DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY ČÁST I* [online]. 2011, 52 s, [cit. 2012-05-30]. Dostupný z WWW: <http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Documents/2011/%C4%8C%C3%A1stI_11_fin01.pdf>
- [12] ČEPS.as. *KODEX PROVOZOVÁNÍ PŘENOSOVÉ/DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY ČÁST IV* [online]. 2011, 52 s, [cit. 2012-05-30]. Dostupný z WWW: <http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Documents/2011/%C4%8C%C3%A1stIV_11_fin01.pdf>
- [13] viz přednášky a cvičení z předmětu Základy elektroinženýrství
- [14] viz přednášky a cvičení z předmětu Fyzikální elektronika
- [15] <http://automatizace.hw.cz/images/vetrna_elektrarna/el_schema2.gif>
- [16] viz předmět Měření a regulace