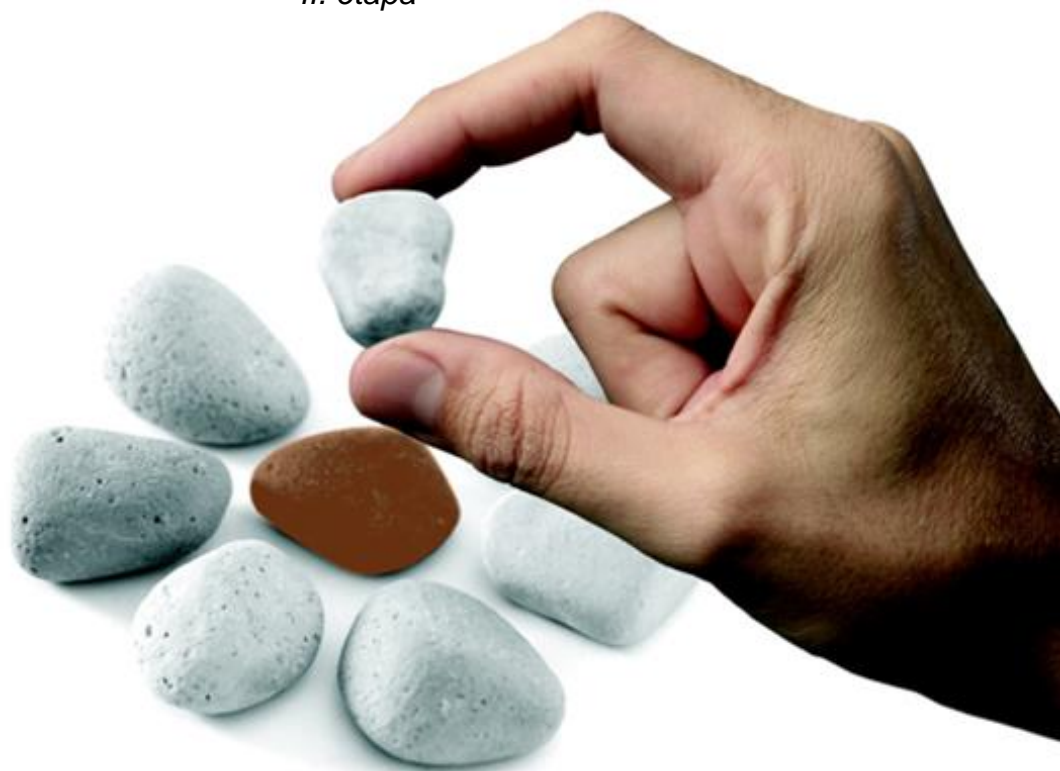


Aktivita č. 5: Priemyselný výskum v oblasti optimalizácie dátových štruktúr prvkov elektrizačnej sústavy pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí / mikrogridov

Míľnik č. 1 - Analýza rozsahu dát potrebných pre modelovanie sústavy (prvky elektrizačnej sústavy, ich statické a dynamické parametre a prepojenia)

*Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov
II. etapa*





EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

PodĎakovanie:

„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

OBSAH

1 ÚVOD	9
1.1 Vybrané základné pojmy z elektroenergetiky	10
1.1.1 Bezpečnosť pri riadení elektrizačnej sústavy	10
1.1.2 Celková spotreba elektrickej energie	10
1.1.3 Diagram zaťaženia	10
1.1.4 Dispečerské riadenie	10
1.1.5 Distribučná sústava	10
1.1.6 Dynamická stabilita	10
1.1.7 Elektrická sieť	10
1.1.8 Elektrický výkon	10
1.1.9 Elektrizačná sústava	11
1.1.10 Elektroenergetické zariadenie	11
1.1.11 Elektráreň	11
1.1.12 Elektromer	11
1.1.13 Frekvencia siete	11
1.1.14 Hromadné diaľkové ovládanie	11
1.1.15 Inštalovaný výkon	11
1.1.16 Jalový výkon	11
1.1.17 Kvalita elektrickej energie	11
1.1.18 Ochrana siete	12
1.1.19 Ochrana zdroja	12
1.1.20 Odberné a odovzdávacie miesto	12
1.1.21 Odber elektrickej energie	12
1.1.22 Pilotný uzol	12
1.1.23 Prenosová sústava	12
1.1.24 Regulácia napätia	12
1.1.25 Regulácia činného výkonu	12
1.1.26 Rozpad elektrizačnej sústavy	12
1.1.27 Stabilita ES	13
1.1.28 Vlastná spotreba elektrickej energie	13
1.1.29 Štart z tmy	13
1.1.30 Účinník	13
1.1.31 Záloha	13
1.2 Základné elektrické veličiny	13
1.2.1 Elektrický náboj	13
1.2.2 Elektrický prúd	13
1.2.3 Elektrický potenciál	13
1.2.4 Elektrické napätie	13
1.2.5 Elektrický odpor	14
1.2.6 Elektrický výkon	14
1.2.7 Indukčnosť a kapacita	14
1.2.8 Činný a jalový výkon	14
1.3 Klasifikácia energetických zdrojov	14
2 ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA	16

2.1	Úvod	16
2.2	História elektrizačnej sústavy	16
2.2.1	História elektrifikácie Slovenska	17
2.3	Elektrická sieť	19
2.4	Druhy sietí	20
2.5	Vybrané typy zariadení	20
2.5.1	Uzol	20
2.5.2	Prípojnice	20
2.5.3	Vedenie	23
2.5.3.1	Vedenie AC	24
2.5.3.2	Vedenie DC	25
2.5.3.3	Parametre vonkajších vedení	26
2.5.3.4	Tabuľkové hodnoty pre vedenia	26
2.5.3.5	Náhradná schéma vedenia pre sieťové výpočty	31
2.5.4	Transformátor	33
2.5.4.1	Náhradná schéma dvojvinuťového transformátora	34
2.5.4.2	Náhradná schéma trojvinuťového transformátora	35
2.5.4.3	Straty a účinnosť transformátorov	36
2.5.4.4	Regulácia výstupného napätia transformátorov	36
2.5.4.5	Parametre transformátorov	37
2.5.4.6	Tabuľkové hodnoty dvojvinuťových transformátorov	38
2.5.4.7	Tabuľkové hodnoty trojvinuťových transformátorov	40
2.5.5	Spínacie prvky	40
2.5.5.1	Parametre spínacích prvkov	41
2.5.5.2	Vypínače	42
2.5.5.3	Odpájače	43
2.5.6	Recloser	44
2.5.7	Polovodičové meniče	44
2.5.7.1	Striedač	45
2.5.7.2	Menič	45
2.5.7.3	Usmerňovač	47
2.5.8	Kompenzačné zariadenia	48
2.5.8.1	Reaktor	48
2.5.8.2	Tlmivka	48
2.5.8.3	Kompenzačné kondenzátory	49
2.5.8.4	Výber spôsobu kompenzácie	51
2.5.8.5	Výber typu kompenzácie	52
2.6	Spotreba	53
2.6.1	Sieť NN a AC spotrebiče	54
2.6.2	Sieť MN a DC spotrebiče	55
2.6.3	Matematické modelovanie záťaží	55
2.7	Ochrany	56
2.7.1	Centrálna ochrana	57
2.7.1.1	Architektúra centrálnej ochrany	57

2.7.2	Recloser.....	59
2.7.3	Synchrónny generátor	59
2.7.3.1	PQ diagram synchrónneho generátora	60
2.7.3.2	Náhradná schéma synchrónneho generátora s hladkým rotorom	61
2.7.3.3	Parametre synchrónneho generátora	62
2.7.4	Asynchrónny generátor	62
2.7.4.1	Vhodný výber generátora pripojeného na sieť.....	63
2.7.4.2	Prevádzka generátora pripojeného na sieť.....	63
2.7.4.3	Asynchrónny generátor v ostrovnom režime	63
2.7.4.4	Náhradná schéma a parametre asynchrónneho generátora	64
2.7.5	Turbína	64
2.7.5.1	Turbíny vo vodných elektrárnach.....	64
2.7.5.2	Turbíny vo veterných elektrárnach.....	66
2.7.5.3	Faktory ovplyvňujúce výkon veterných turbín:.....	72
2.7.6	Priemyselný a komerčný systém ochrany elektrizačnej sústavy	72
2.7.6.1	Usporiadanie pripojenia	72
2.7.6.2	Diskriminácia	73
2.7.6.3	Poistky	73
2.7.6.4	Prerušovače okruhov	74
2.7.6.5	Ochranné relé	76
2.7.6.6	Problémy s koordináciou	76
2.7.6.7	Napätie a zmena fázovej ochrany.....	76
3	OBNOVITELNÉ A ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE	78
3.1	Voda.....	78
3.1.1	Druhy vodných elektrární.....	78
3.1.2	Prečerpávacía vodná elektrárňa	79
3.2	Vietor	80
3.2.1	Veterné elektrárne s konštantnou rýchlosťou	81
3.2.2	Veterné elektrárne s premenlivou rýchlosťou	81
3.2.3	Rozdelenie veterných zariadení.....	81
3.2.3.1	Straty pri prevádzke veterných elektrární	84
3.2.3.2	Veterné farmy.....	84
3.2.4	Pozitíva využívania veternej energie.....	85
3.3	Slnko.....	85
3.4	Biopalivá.....	87
3.4.1	Spôsoby využitia biomasy na energetické účely	89
3.4.2	Výroba energie z biomasy	89
3.4.3	Výroba elektrickej energie z biomasy.....	90
3.5	Geotermálna energia.....	90
3.5.1	Spôsob výroby elektrickej energie v geotermálnej elektrárni	91
3.6	Palivové články	91
3.6.1	Princíp činnosti palivového článku s polymérovým elektrolytom	91
3.7	Tepelné čerpadlá.....	92
3.7.1	Princíp tepelného čerpadla	92

4 AKUMULÁCIA ENERGIE	94
4.1 Úvod	94
4.2 Metódy začlenenia decentralizovanej výroby elektriny	94
4.2.1 Metóda Marquerre	94
4.2.2 Metóda Ruths	94
4.2.3 Metódy CAES a AA-CAES	94
4.2.4 Prečerpávacie vodné elektrárne	95
4.2.5 Vodíková akumulácia	95
4.2.6 Superkapacity	95
4.2.7 Ni-Cd Akumulátory	96
4.2.8 Zotrvačníky	96
4.2.9 Batérie NaS	96
4.2.10 Batérie Na-Ion	96
4.2.11 Smes	96
4.2.12 Olovené akumulátory	97
4.2.13 ZEBRA batérie	97
4.2.14 Prietokové akumulátory	97
4.2.15 Metóda kvapalného vzduchu	97
4.2.16 Syntetické palivá	97
4.3 Porovnanie akumulačných technológií pre potreby využitia v energetike	98
4.4 Nasadenie akumulačných systémov	98
4.5 Podmienky na zavádzanie akumulačných systémov do distribučných sústav	98
4.6 Využitie akumulácie ako prostriedku na zníženie strát pri prenose a distribúcii	99
5 MIKROGRIDY	100
5.1 História problematiky mikrogridov	100
5.2 Koncept	101
5.2.1 Súčasti mikrogridu	102
5.3 Základné pojmy a rozdiely voči klasickým sieťam	103
5.4 Nesprávne definície mikrogrid sietí	104
5.5 Rozdelenie mikrogrid sietí	104
5.6 Prečo práve Inteligentné siete?	105
5.7 Požiadavky na inteligentné siete	106
5.8 Funkcie mikrogrid sietí	106
5.9 Technológie používané v mikrogridoch	107
5.10 Operačné režimy mikrogridu	108
5.10.1 Vzájomne prepojený a ostrovný režim	108
5.10.2 Ústredne riadené, plánované a autonómne režimy prevádzky	108
5.10.3 Riadené vypínanie a nábeh v paralelnej prevádzke	108
5.10.4 Štart z tmy v ostrovej prevádzke	108
5.11 Systémy automatizácie Distribučnej sústavy	108
5.12 King Island Renewable Energy Integration Project (KIREIP)	109
5.13 Enertag	109
5.14 Utsira	110

5.15 Rokashomura Wind Farm	111
6 INTELIGENTNÉ MERANIA	112
6.1 Elektromery	112
6.2 Použitie senzorov pri meraní.....	113
6.2.1 Prúdové senzory na princípe Rogowskeho cievky	113
6.2.2 Optické prúdové senzory.....	114
6.2.3 Prúdové senzory na princípe Hallovho efektu	115
6.2.4 Porovnanie zariadení na meranie prúdu	117
6.2.5 Napäťové senzory – Napäťový, rezistívny delič	118
6.2.6 Napäťové senzory – piezoelektrický	119
6.2.7 Optický napäťový senzor.....	121
6.2.8 Porovnanie metód merania napätia	121
6.3 IEC 61850-9-2.....	122
6.4 MU – Mergin unit	123
6.5 Synchronfázory	123
6.6 Dátové koncentrátoary	124
6.7 Inteligentný kóder - skalár.....	124
6.8 IMS.....	125
6.8.1 Základné funkcie IMS.....	125
6.8.2 Pokročilé funkcie IMS.....	125
6.8.3 Špeciálne funkcie IMS.....	125
6.9 Dátová centrála	126
7 MODEL SÚSTAVY	127
7.1 Typy uzlov v sústave	127
7.2 Princípy modelovania záťaže	127
7.3 Modelovanie prvkov elektrizačnej sústavy	127
7.4 Výpočet ustáleného chodu – metóda uzlových napätí.....	128
7.5 Riešenie nelineárneho modelu siete - úvod do iteračných metód.....	128
8 INTELIGENTNÉ SIETE.....	130
8.1 Inteligentné meranie a pokročilá meracia infraštruktúra	130
8.2 Systémy Inteligentnej domácnosti.....	131
8.2.1 Technológie systémov Inteligentnej domácnosti v energetike	131
8.2.1.1 Z-Wave.....	131
8.2.1.2 ZigBee	133
8.2.1.3 Wifi	134
8.3 Wide area monitoring system.....	135
8.3.1 SCADA	136
8.3.2 SPSM - Synchronized Phasor Measurement System.....	136
8.3.3 Riadenie decentralizovanej výroby elektrickej energie	137
8.3.4 Vplyv WAMS na existujúce EMS funkcie	138
8.3.5 Vplyv WAMS na elektrické stanice.....	138
9 ZÁVER	139

10 ZDROJE 141

1 ÚVOD

Dokument bol vytvorený, zavedený a udržiavaný v súlade s cieľom Aktivity č.5: „Priemyselný výskum v oblasti optimalizácie dátových štruktúr prvkov elektrizačnej sústavy pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí/mikrogridov“; konkrétne pre míľník č.1 „Analýza rozsahu dát potrebných pre modelovanie sústavy (prvky elektrizačnej sústavy, ich statické a dynamické parametre a prepojenia.“

V oblasti elektroenergetiky na verifikovanie predpokladaného správania sa jednotlivých elektrických prvkov, na odhalenie kritických oblastí pri predpokladanej prevádzke, na testovanie efektívnosti riadiacich a kontrolných stratégií a pod. sa používajú simulácie. Simulačné modely elektrizačných sústav (ES), ktoré predstavujú súbor matematických a logických vzťahov vyjadrujúcich chovanie prvkov ES vzhľadom na cieľ simulácie, sú v súčasnosti uznávaným nástrojom na analýzu ES.

Modely prvkov ES predstavujú abstraktný matematický popis fyzikálnej reality, a to buď vo forme algebrických alebo diferenciálnych rovníc. Štruktúra modelu sa docieli použitím teoretických poznatkov z elektrizačných sústav. Elektrizačnú sústavu radíme do kategórie rozľahlých systémov kybernetického typu. Jedinou možnosťou, ako aproximovať správanie týchto zložitých systémov, je použitie ich zjednodušených modelov s následnou simuláciou. Modely jednotlivých výkonových prvkov elektrizačnej sústavy sú stavebnými kameňmi pre model celej ES. Vo všeobecnosti, v prípade modelovania má veľký vplyv na presnosť modelovania použitie vhodných matematických modelov a hlavne identifikácia parametrov pre tieto modely.

Pre určenie ustáleného stavu v ES a pre simulácie prechodných javov v ES sa používa systémový prístup založený na popise jednotlivých prvkov - náhradné schémy so svojimi elektrickými parametrami. Zabezpečiť adekvátnosť modelov komponentov ES je možné len dôkladnou analýzou týchto prvkov ES. Problém modelovania a identifikácie parametrov modelov komponentov ES je náročný proces. Úroveň modelov závisí od účelu, pre ktorý sú použité. Najdetailnejšie modely používajú výrobcovia jednotlivých prvkov ES pri ich návrhu.

Úlohou identifikácie je zabezpečiť numerické hodnoty pre parametre takéhoto modelu. Napr. pre identifikáciu dynamického modelu generátorových jednotiek a ich hlavných komponentov sa štandardne využívajú dáta dodávané ich výrobcami. Vzhľadom na to, že sú tieto dáta často neúplné, prevádzkovateľ zdroja resp. dodávateľ riadiaceho systému musí vykonať testy a merania počas prevádzky stroja tak, aby následne bolo možné uskutočniť identifikáciu dynamického modelu a jeho parametrov. Pri simulácii ustáleného chodu elektrizačnej sústavy, ktorý je súčasne aj základným prevádzkovým stavom spočívajúcim v rovnovážnom stave prevádzkových veličín systému, je potrebné použiť vlastné elektrické parametre sústavy (ako sú napr. odpor R , reaktancia X vedení a pod.) a prevádzkové elektrické parametre sústavy (ako sú záťaže v uzloch sústavy, výkony generátorov a pod.). Najpresnejšie elektrické parametre jednotlivých prvkov sústavy vlastní prevádzkovateľ sústavy, ktorý tieto parametre upresňuje ich meraním. Ako prevádzkové elektrické parametre je možné použiť estimované archivované hodnoty, hodnoty namerané v reálnom čase, resp. priamo zadané hodnoty v závislosti od sledovaného cieľa simulácie. Numerické hodnoty elektrických parametrov sústavy a ďalších jej komponentov sú súčasťou databázy pre modelovanie ES. Rozvoj inteligentných sietí v energetike, hlavne vďaka technickému pokroku v rámci telekomunikačných technológií a zariadení, napomáha budovať moderné databázové simulačné prostredia.

Analýzou rozsahu dát potrebných pre modelovanie elektrizačnej sústavy, popisom jednotlivých prvkov ES, popisom statických a dynamických parametrov týchto prvkov a ich prepojení sa zaoberá nasledujúci dokument.

1.1 Vybrané základné pojmy z elektroenergetiky

1.1.1 Bezpečnosť pri riadení elektrizačnej sústavy

Zodpovednosť za riadenia časti sústavy sa určí dohodou medzi zainteresovanými stranami (Prenosová distribučná sústava (PDS), Distribučná sústava (DS)). Hlavným účelom tejto dohody je konkrétne rozdelenie zodpovednosti za konkrétne zariadenie v rámci sústavy.

1.1.2 Celková spotreba elektrickej energie

Jedná sa o sumárnu spotrebu elektrickej energie v rámci určenej oblasti, pričom sa počíta aj s energiou samovýrobcov a salda.

1.1.3 Diagram zaťaženia

Zobrazuje časový priebeh odoberaného výkonu pre konkrétnu oblasť, resp. Odborné miesto (OM) za určené časové obdobie.

1.1.4 Dispečerské riadenie

Centrálne riadenie sústavy (alebo jeho časti) z dispečingu. Medzi úlohy dispečingu patrí jednak kontinuálne zabezpečenie bilancie výroby a spotreby s prihliadnutím na efektívnosť, bezpečnosť a spoľahlivosť prevádzky a výrobných procesov za pomoci prípravy prevádzky a následného operatívneho riadenia a tiež analýza a hodnotenie jednotlivých procesov riadenia.

1.1.5 Distribučná sústava

Distribučná sústava (DS) je súbor zariadení slúžiacich na distribúciu elektrickej energie z prenosovej sústavy konečným odberateľom elektriny, súbor ochrán a automatík na zabezpečenie spoľahlivej prevádzky, informačné a zabezpečovacie systémy.

1.1.6 Dynamická stabilita

Stabilita sústavy pri veľkých zmenách v sústave (skrat, náhle pripojenie/odpojenie veľkej záťaže resp. výrobnej jednotky).

1.1.7 Elektrická sieť

Súbor vzájomne prepojených elektrických staníc, vedení.

1.1.8 Elektrický výkon

Z fyzikálneho hľadiska sa jedná o súčin napätia a prúdu. Môže byť definovaný vo viacerých formátoch za pomoci okamžitých alebo efektívnych hodnôt.

1.1.9 Elektrizačná sústava

Funkčný celok pozostávajúci z viacerých častí ako napr. elektrické stanice, vedenia, elektrárne, riadiace systémy slúžiace na výrobu, prenos a rozvod elektrickej energie.

1.1.10 Elektroenergetické zariadenie

Technologický celok určený na výrobu, prenos, rozvod alebo spotrebu elektrickej energie.

1.1.11 Elektráreň

Výrobná určená na premenu energie z rôznych zdrojov na elektrickú energiu.

1.1.12 Elektromer

Zariadenie slúžiace na merania rôznych parametrov súvisiacich s odberom, resp. dodávkou elektrickej energie.

1.1.13 Frekvencia siete

Nominálne frekvencie siete v rámci ENTSO-E (Európska sieť prevádzkovateľov prenosových sústav) je definovaná na úrovni 50 Hz (v USA naopak 60 Hz). Dovoľené odchýlky od uvedenej hodnoty sú popísané v normách a predpisoch.

1.1.14 Hromadné diaľkové ovládanie

Regulácia spotreby pomocou spotrebičov umožňuje ovplyvniť diagram zaťaženia. Operatívne služby DREP-ov využívajú HDO na predchádzanie havarijným stavom elektrizačnej sústavy SR alebo ich častí, na likvidáciu pohavarijných stavov, na reguláciu odoberaného výkonu (vyrovnanie diagramu) pri dodržaní obchodno-technických podmienok zmluvy na odber elektrickej energie, na zníženie prenosov v rozvodných sieťach pri dodržaní obchodno-technických podmienok zmluvy na odber elektrickej energie. Pravidlá na využívanie možností HDO sú uvedené v príslušnej PI.

1.1.15 Inštalovaný výkon

Štítkový údaj činného výkonu na zariadení bez strát.

1.1.16 Jalový výkon

Výkon potrebný na vytvorenie magnetických alebo elektrických polí.

1.1.17 Kvalita elektrickej energie

Súbor normatívnych parametrov, ktorých hodnoty garantuje prevádzkovateľ PS resp. DS podľa aktuálne platnej normy (STN EN 50160).

1.1.18 Ochrana siete

Jedná sa o súbor ochrán slúžiaci na obmedzenie poškodenia siete po poruche a limituje šírenie poruchy.

1.1.19 Ochrana zdroja

Systém ochrán zabraňujúci šíreniu poruchy do PS resp. DS.

1.1.20 Odberné a odovzdávacie miesto

Miesto inštalácie elektromera u koncového odberateľa.

1.1.21 Odber elektrickej energie

Uskutočňuje sa na základe uzavretej zmluvy medzi obchodnými partnermi. Jej súčasťou je časový harmonogram odberu zo siete v kWh alebo MWh dohodnutý pre každé jednotlivé meracie miesto zvlášť. Tým je vymedzený predmet a čas plnenia dodávky elektrickej energie. Spôsob stanovenia odberu a dodávky je definovaný v zmluve o pripojení k ES. Obchodné zmluvy musia pri definovaní obchodných vzťahov rešpektovať schémy a vzorce meracieho miesta v zmysle zmluvy o pripojení k ES.

1.1.22 Pilotný uzol

Typ uzla v PS, v ktorom je za pomoci sekundárnej regulácie napätia udržiavaná hodnota napätia na požadovanej úrovni.

1.1.23 Prenosová sústava

Súbor zariadení určených na prenos elektrickej energie. Prenos elektrickej energie sa v podmienkach SR uskutočňuje na napäťových hladinách 400 kV a 220 kV.

1.1.24 Regulácia napätia

Proces udržiavania napätia v pilotných uzloch ES za pomoci prostriedkov na to určených.

1.1.25 Regulácia činného výkonu

Zabezpečenie bilancie dodávky a spotreby činného výkonu.

1.1.26 Rozpad elektrizačnej sústavy

Proces rozpadu ES na niekoľko dielčích nesynchronne pracujúcich sústav, pričom v niektorých z nich môže dôjsť k odpájaniu zdrojov a k následnému prerušeniu dodávky elektrickej energie u odberateľov od najnižšieho stupňa dôležitosti.

1.1.27 Stabilita ES

Schopnosť ES zachovať rovnovážny stav, resp. nadobudnúť nový rovnovážny stav pri zmenách v sústave.

1.1.28 Vlastná spotreba elektrickej energie

Elektrická energia spotrebovaná na vnútorné procesy zariadenia/skupiny zariadení.

1.1.29 Štart z tmy

Blackout alebo aj štart z tmy je proces nábehu ES po úplnom rozpade ES.

1.1.30 Účinník

Podiel činného a zdanlivého výkonu.

1.1.31 Záloha

Záloha z pohľadu elektrizačnej sústavy môže byť studená, teplá a horúca. Jedná sa o časť prevádzkovej rezervy výkonu pripraveného k nábehu v dopredu určenom čase.

1.2 Základné elektrické veličiny

1.2.1 Elektrický náboj

Elektrický náboj predstavuje mieru polarizácie resp. schopnosti pôsobiť elektrickou silou. Základnou jednotkou elektrického náboja je 1 coulomb [C], pričom je definovaný ako náboj častíc, ktoré prejdú za jednu sekundu prierezom vodiča, ktorým prechádza elektrický prúd 1 A.

1.2.2 Elektrický prúd

Základnou jednotkou elektrického prúdu je 1 ampér [A], ktorý je definovaný ako elektrický prúd, ktorý pri stálom toku dvoma rovnobežnými priamymi, nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu umiestenými vo vákuu vo vzájomnej vzdialenosti 1 m vyvolá medzi vodičmi silový účinok $2 \cdot 10^{-7}$ N/m.

1.2.3 Elektrický potenciál

V prípade, že celkový náboj predmetu je nenulový, môže sa o ňom povedať, že má elektrický potenciál. Elektrický potenciál je definovaný ako podiel elektrického náboja a práce, ktorú je potrebné vynaložiť na premiestnenie elektrického náboja. Jednotkou elektrického potenciálu je 1 volt [V].

1.2.4 Elektrické napätie

Napätie je definované ako rozdiel potenciálov, preto ak hovoríme o napätí, musíme hovoriť o dvoch bodoch, medzi ktorými sa dané napätie nachádza. Ak je určený iba jeden bod, predpokladáme, že napätie daného bodu je vzťahnuté k potenciálu zeme, a je uvažovaný ako nulový.

1.2.5 Elektrický odpor

Pri prechode elektrického prúdu definovaným materiálom môžu nosiče elektrického náboja naraziť na častice daného materiálu, pričom pri náraze odovzdá nosič el. energie časť svojej energie. Mieru odporu materiálu voči prechodu nosičov elektrického náboja definuje elektrický odpor. Materiál je považovaný za vodivý v prípade, že aj samotný materiál obsahuje dostatočný počet voľných nosičov náboja. Elektrický odpor sa označuje ako R a jeho jednotkou je $[\Omega]$.

1.2.6 Elektrický výkon

Súčin napätia a prúdu.

1.2.7 Indukčnosť a kapacita

Okrem prvkov s činným odporom existujú aj prvky schopné akumulácie energie, pričom ich charakter môže byť induktívny aj kapacitný. Prvky s induktívnym charakterom akumulujú energiu vo forme magnetického poľa, a naopak, prvky s kapacitným charakterom akumulujú energiu vo forme elektrostatického poľa. Kapacitu zariadenia určujeme vo Faradoch $[F]$, pričom $1 F$ je kapacita telesa, ktoré sa nábojom $1 C$ nabije na napätie $1 V$. Indukčnosť sa meria v henry $[H]$.

1.2.8 Činný a jalový výkon

V obvode so striedavými hodnotami napätia a prúdu sa okrem činného výkonu uvažuje aj s výkonom jalovým označovaným ako Q meraným v VAR . Súčet činného a jalového výkonu je zdanlivý výkon S meraný vo VA .

1.3 Klasifikácia energetických zdrojov

Existencia energie je fyzikálne viazaná na hmotu, preto môžeme rozlišovať energiu podľa toho, na aký hmotný systém sa viaže. Treba však poznamenať, že rovnaký typ energie sa môže viazať na viacero nositeľov. Forma energie je preto viazaná druhom a nositeľom energie. Energetický zdroj z pohľadu energetiky môžeme definovať ako formu energie, ktorej premenou podľa platných fyzikálnych alebo chemických zákonov môžeme získať elektrickú energiu. Ľubovoľný druh energie môže byť klasifikovaný ako energia kinetická, potenciálna alebo kombinácia kinetickej a potenciálnej energie.

Podľa formy hmoty a vyššie uvedenej klasifikácie môžeme rozlíšiť tieto známe druhy energie:

- Anihilačná energia
- Elektrická energia
- Elektromagnetická energia
- Gravitačná energia
- Gravitónová energia
- Chemická energia
- Jadrová energia
- Mechanická energia
- Neutrinostatická energia
- Neutrínová energia
- Mezómová energia
- Tepelná energia

- Tlaková energia

Prvotné zdroje energie (teda také zdroje energie, ktoré sú voľne dostupné v prírode) sú jadrové, chemické, gravitačné, tepelné, mechanické, tlakové a elektromagnetické zdroje. Naopak, druhotné zdroje, teda zdroje umelo vytvorené, sú elektrostatické, magnetické, elektrické, jadrové, chemické, gravitačné, tepelné, mechanické, elektromagnetické a tlakové zdroje.

Podľa miesta v procese premien pri využívaní jednotlivých foriem energie rozoznávame prvotné (primárne) a druhotné (sekundárne) energetické zdroje:

- primárne: energia slnečného žiarenia, organické palivá, vodná energia (energia riek, morských vln a prúdov, prílivov a odlivov, teplotných gradientov morí), veterná energia, jadrové palivá, geotermálna energia,
- sekundárne: energia, ktorá vzniká po premene primárneho zdroja – napr. po spálení paliva vzniká teplo, ktoré môže byť následne využité.

Klasifikácia energetických zdrojov z hľadiska ich obnoviteľnosti:

- neobnoviteľné: ich využívaním sa postupne vyčerpávajú,
- obnoviteľné: neustále sa obnovujú a sú relatívne nepretržite k dispozícii.

Energetické zdroje môžeme klasifikovať aj podľa miesta využitia na:

- viazané na miesto využitia: sem patria zdroje energie, ktoré nemožno dopraviť na iné miesto, ako je slnečná energia, vodná energia, vietor a geotermálna energia,
- neviazané na miesto využitia: sú to všetky dopravnoschopné prvotné zdroje energie, ako sú fosílna palivá a jadrové palivá.

Podľa rozsahu využitia delíme zdroje na:

- tradičné (konvenčné): v praxi bežne používané zdroje energie (fosílna a jadrové palivá, vodná energia),
- netradičné (nekonvenčné): v praxi ešte nie sú dostatočne využité a technológia ich využitia sa vyvíja a overuje (geotermálna energia, slnečná energia, veterná energia, energia kozmického žiarenia).

2 ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA

2.1 Úvod

Pod pojmom elektrizačná sústava rozumieme súbor energetických zariadení, ktoré sú určené na výrobu a prenos a sú prepojené navzájom vonkajšími alebo káblovými vedeniami, spolu s meracími, ochrannými, riadiacimi, zabezpečovacími, informačnými a telekomunikačnými systémami.

Podľa dôležitosti môžeme rozdeliť vedenia na hlavné, prenosové, napájacie, distribučné, siete NN (nízke napätie) a prípojky. Transformácia elektrickej energie, resp. zmena jej napäťovej hladiny, je vykonávaná v transformačných staniciach a rozvodniach. Tie tvoria spojovacie body medzi sieťami rôznych napäťových hladín. Na základe veľkosti napätia preto môžeme klasifikovať siete ako prenosové a distribučné. Prenosové sústavy slúžia na prenos veľkých výkonov z centrálnych zdrojov a využívajú napäťové hladiny od 220 kV vyššie. Naopak, distribučné siete distribuujú elektrickú energiu na regionálnej úrovni a využívajú napäťové hladiny 110 kV a nižšie.

Aby elektrizačná sústava mohla zabezpečovať určené funkcie, musí plniť tieto požiadavky:

- zaručovať bezpečnosť osôb,
- zaručovať dostatočnú, spoľahlivú a kvalitnú dodávku elektrickej energie spotrebiteľom,
- výrazne znižovať zložitosť práce v prevádzke a v údržbe sústavy,
- pracovať s vysokou účinnosťou,
- pracovať s vyššími parametrami a s väčším počtom zdrojov a elektrických staníc,
- využívať odpadové teplo,
- umožňovať riadenie odberu elektrickej energie,
- byť materiálovo nenáročná,
- zabraňovať nepriaznivým vplyvom sústavy na životné prostredie.

2.2 História elektrizačnej sústavy

Do roku 1918 sa predaj elektrickej energie realizoval prostredníctvom lokálnych elektrární, v roku 1919 bol prijatý zákon o štátnej podpore pri začatí systematickej elektrifikácie, známy ako prvý elektrizačný zákon. Ministerstvo verejných prác zároveň vydalo normy pre trojfázovú prúdovú sústavu s frekvenciou 50 Hz a napäťové hladiny boli určené takto: nízke napätie 380/220 V, vysoké napätie 22 kV, veľmi vysoké napätie 100 kV, generátorové napätie 6 kV (5,25 kV v Bratislave). Existujúce 22 kV vedenia už začiatkom 30. rokov nestačili na rastúce prenosové požiadavky. V roku 1930 bolo do prevádzky uvedené prvé 110 kV vedenie. Jeho výstavba prebehla v rokoch 1929 až 1930 a smerovalo zo Žiliny cez Čadcu do Moravskej Ostravy.

Začiatky prenosovej sústavy na Slovensku sa datujú do rokov po Druhej svetovej vojne, keď nedávno znárodnené elektrárne vybudovali transformovňu 220/110 kV Bystričany. V tomto období sa po dobudovaní 400/110 kV a 200/110 kV transformovní zo 110 kV sústavy stala distribučná rozvodová sústava. Už počas vojny sa začalo stavať vedenie Lískovec – Prosenice – Sokolnice na Morave, dokončené bolo po vojne. Bol to začiatok budovania 220 kV systému. V roku 1953 sa 220 kV vedením Bystričany – Lískovec prepojili slovenské a české prenosové sústavy. Toto vedenie bolo súčasťou vedenia Lískovec – Zuglő do Maďarska. Neskôr sa pokračovalo výstavbou vedení Bystričany – Sučany s pokračovaním do Lemešian. V roku 1963 sa rozvodňa v Lemešianoch prepojila s rozvodňou v Mukačeve, čím sa československá 220 kV sústava prepojila so systémom ZSSR a Rumunska. Budovanie tejto sústavy bolo ukončené vedeniami Sokolnice – Križovany a Križovany – Bystričany. Do tejto sústavy boli zapojené zdroje Jadrová elektráreň Bohunice A1 (Križovany) a 4 bloky Elektrárne Vojany V1 (Lemešany).

Od roku 1950 bola sústava budovaná ako nadradená. Už pri jej budovaní však bolo „poukazované, že táto sústava nebude schopná zabezpečiť tak požiadavky prenosovej sústavy ČSR s excentricky umiestnenou výrobou elektrickej energie (Severné Čechy), ako aj požiadavky na medzinárodnú spoluprácu prepojených elektrizačných sústav“. Prvé vedenie s napätím 400 kV sa začalo stavať v roku 1958. Toto vedenie na trase Sučany – Prosenice bolo postavené v roku 1959, ale do roku 1969 bolo prevádzkované ako 220 kV vedenie. V Lemešanoch, Sučanoch a Križovanoch boli súčasne postavené 400 kV rozvodne a boli inštalované spojovacie transformátory 400/220 kV. Na konci šesťdesiatych rokov boli v rámci federácie založené Slovenské energetické podniky. Oblastný dispečing tak ostal na Slovensku, ale riadenie pokračovalo celoštátne.

V 70. rokoch boli postavené ďalšie 400 kV vedenia: Sokolnice – Križovany (1970) a južná vetva 400 prepojenia Križovany – Veľké Kapušany (1972). Neskôr sa budovali prepojenia na Maďarsko, transformovne 400/110 kV pre distribučnú sústavu a severojužné prepojenia (Križovany – Bošáca – Varín a Liptovská Mara – Horná Ždaňa – Veľký Ďur – Levice). Aj po zániku Česko-Slovenska však Prenosová sústava ostáva naďalej úzko prepojená s českou. Z federálnych čias sa zachovalo aj číslovanie vedení. V septembri 1998 bolo uvedené do prevádzky 2×400 kV vedenie do Poľska Lemešany – Krosno. Toto vedenie „ešte viac upevnilo postavenie ES Slovenska v medzinárodnej sústave CENTREL – UCTE a zvýšilo tranzitné možnosti elektrizačnej sústavy SR“.

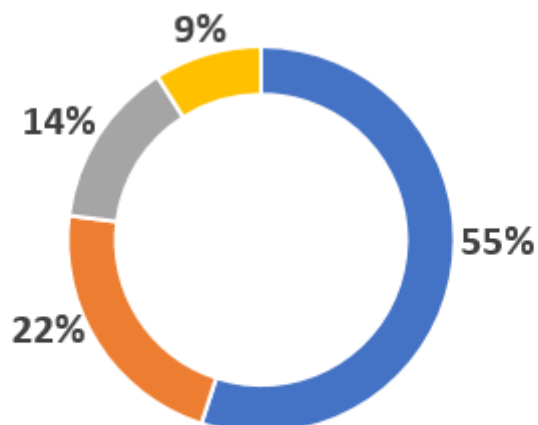
2.2.1 História elektrifikácie Slovenska

Elektrizačná sústava Slovenska začala vznikať postupne pred 125 rokmi. Prevratné objavy a poznatky na poli vedy a techniky koncom 19. storočia našli uplatnenie aj v elektroenergetike na Slovensku. Začiatky priemyselného využívania elektrickej energie sa orientovali na osvetlenie a na mechanický pohon zariadení. Jednalo sa o výrobu elektrickej energie v jednoduchých jednosmerných sieťach a jej priamu dodávku spotrebiteľom. Prechod z jednosmernej na trojfázovú striedavú sústavu predstavoval mnohé výhody ako jednoduchosť vytvorenia točivého poľa, nižšiu spotrebu materiálu vodičov na prenesený výkon a jednoduchú možnosť dvoch rôznych napätí – fázového a združeného. Ustálila sa tiež jednotná frekvencia striedavého prúdu 50 Hz.

Podľa štatistických údajov bolo v roku 1922 na Slovensku elektrifikovaných 167 miest a obcí. V roku 1928 bolo elektrifikovaných len 7 % obcí. Súbežne s dokončovaním elektrifikácie narastala aj spotreba elektrickej energie u maloodberateľov. Posledná obec na Slovensku (v okrese Prešov) bola elektrifikovaná v roku 1960, čím sa vtedajšie Československo stalo po NSR, Belgicku, Holandsku a Švajčiarsku piatou plne elektrifikovanou krajinou na svete. Potreba užšej spolupráce elektrárenských spoločností vyvrcholila ich spojením do účastinnej spoločnosti Slovenské elektrárne v roku 1942.

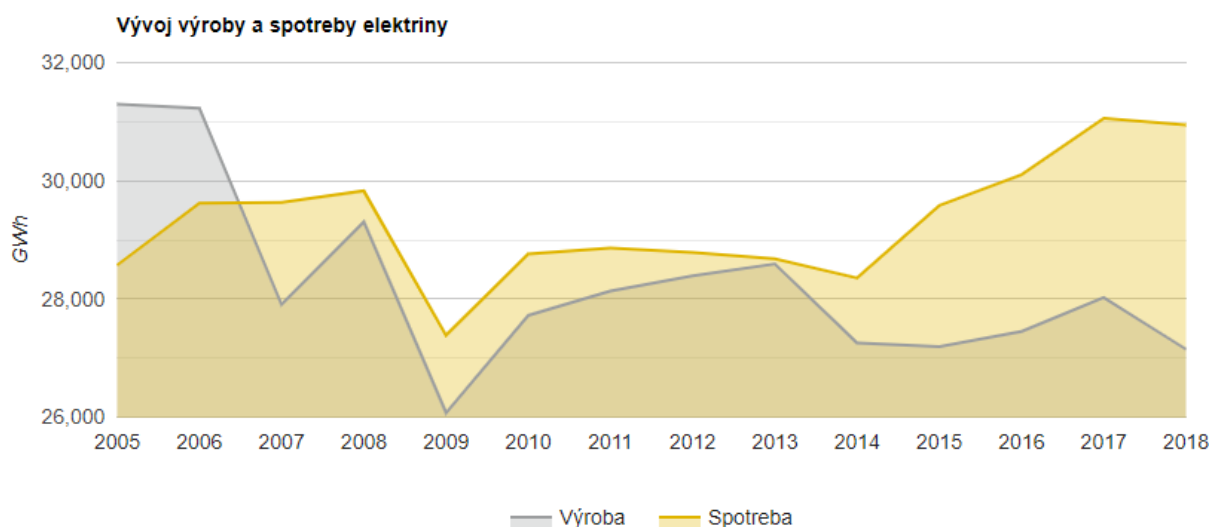
- 1883 Vynález transformátora
- 1884 Prvé elektrické osvetlenie v Bratislave
- 1884 Prvá elektráreň na území Slovenska bola uvedená do prevádzky v mlyne S. Ludwiga v Bratislave na Krížnej ulici. Používala 2,2 kW dynamo na jednosmerný prúd a 85 ks cca 15 W žiaroviek s uhlíkovým vláknom, prvých v Prešporke.
- 1887 Prvý trojfázový prenos
- 1888 Prvý asynchrónny motor
- 1889 Prvá vodná elektráreň na Slovensku vyrástla v Krompachoch. Mala inštalovaný výkon 22 kW a vyrábala jednosmerný prúd s napätím 110 V.
- 1891 Prvý diaľkový prenos elektrickej energie v Nemecku na vzdialenosť 175 km, vedením 20 kV.
- 1892 Prevádzka vodnej elektrárne Gelnica na rieke Hnilec
- 1895 Prvá električka v Bratislave
- 1901 Prevádzku začína mestská elektráreň v Bratislave.

- 1919 V ČSR začal platiť zákon č. 438 o všeužitočnosti elektrickej energie, štát tým prevzal na seba výstavbu elektrární, rozvodu a elektrifikáciu obcí.
- 1920 Ministerstvo verejných prác svojím výnosom normovalo napätie a frekvenciu (dovtedy napr. Košice 2,4 kV, Bratislava 5,25 kV, inde 3; 10,5; 15; 17; 22 kV).
- 1930 Prvé 110 kV vedenie Žilina – Třebovice
- 1930 Vodná Elektrárň Ladce - začala sa výstavba Vážskej kaskády.
- 1936 Prevádzka vodnej elektrárne Ladce na rieke Váh.
- 1942 Zlúčenie všeužitočných spoločností do úč. spol. Slovenské elektrárne.
- 1945 Dekrét o znárodnení energetických podnikov – základ jednotnej sústavy.
- 1948 Vznikla rozvodná sústava VVN 110 kV a prvý elektroenergetický dispečing.
- 1949 Začína výstavba prvého bloku Tepelnej elektrárne Nováky.
- 1952 Prvá spolupráca so zahraničím, vedenie 2 x 110 kV Nové Zámky – Kissigmád.
- 1953 Začala prevádzka vodnej nádrže a priehrady Orava.
- 1954 Prvé 220 kV vedenie Lískovec – Bystričany.
- 1958 Začiatok výstavby 1. bloku Atómovej elektrárne Jaslovské Bohunice - Bohunice A-1.
- 1963 Prvý 110 MW blok Elektrárň Nováky.
- 1967 Prvý 110 MW blok Elektrárň Vojany.
- 1969 Prvý prenos 400 kV vedením Sučany – Prosenice.
- 1972 Prvá jadrová elektrárň A1 Jaslovské Bohunice 3 x 50 MW.
- 1977 Začiatok výstavby Jadrovej elektrárne Mochovce.
- 1979 Začala prevádzka jadrovej elektrárne V1 Jaslovské Bohunice.
- 1980 Začala prevádzka prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh.
- 1984 Uvedenie 3. a 4. bloku Jadrovej elektrárne Bohunice V-2 do prevádzky.
- 1985 Začala prevádzka jadrovej elektrárne V2 Jaslovské Bohunice.
- 1990 Začala prevádzka jadrovej elektrárne Mochovce.
- 1992 Začala prevádzka vodnej elektrárne Gabčíkovo.
- 1995 ES Slovenska bola v rámci CENTREL v skúšobnej prevádzke synchronne pripojená k sústave UCTE.
- 1996 Uvedenie vodnej elektrárne v Gabčíkove do prevádzky.
- 1997 Slovensko sa stalo plnohodnotným členom UCTE.
- 1998 Prvý prenos medzi Slovenskom a Poľskom cez dvojité 400 kV vedenie.
- 1998 Uvedenie 1. bloku Jadrovej elektrárne Mochovce do prevádzky.
- 2006 Na základe prístupových zmlúv s Európskou úniou sa začína s odstavovaním 1. a 2. bloku Jadrovej elektrárne Bohunice V-1.
- 2008 Začiatok výstavby 3. a 4. bloku Jadrovej elektrárne Mochovce.
- 2010 E.ON uviedol do prevádzky paroplynovú elektrárň Malženice. Ide o najvýkonnejšiu a najúčinnejšiu elektrárň svojho druhu na území Slovenska.



■ Jadrové elektrárne ■ Tepelné elektrárne ■ Vodné elektrárne ■ OZE

Obrázok 1 - podiely druhov energií na Slovensku



Obrázok 1 - Vývoj výroby a spotreby elektriny

2.3 Elektrická sieť

Elektrická sieť je súbor vzájomne prepojených elektrických staníc rôznych typov. Prepojenia medzi stanicami sú realizované za pomoci elektrických vedení – vzdušných alebo káblových. Elektrické siete môžeme rozdeliť podľa viacerých parametrov:

- podľa druhu elektrického zdroja:
 - jednosmerné,
 - striedavé,
- podľa účelu:
 - prenosové – napätová úroveň 220 kV a vyššie,
 - distribučné – napätová úroveň 110 kV a nižšie,
 - priemyselné – najčastejšie 6 alebo 10 kV v závislosti od typov použitých spotrebičov.

2.4 Druhy sietí

Siete v elektrizačnej sústave môžu byť napájané z jednej, dvoch alebo viacerých strán. Podľa počtu napájacích bodov delíme siete na:

- Lúčové siete – takýto druh siete je napájaný iba z jednej strany, ich výhodou je pomerne nízka cenová náročnosť, nakoľko je postačujúci iba jeden transformátor. Medzi hlavné nevýhody týchto sietí patria problémy s chránením - pri zapôsobení ochrany je odpojená veľká časť odberateľov a pri pripojení väčšieho spotrebiča môže nastať pokles napätia u koncového odberateľa. Pre zvýšenie spoľahlivosti takejto siete sa využívajú doplniteľné prepojenia, ktoré sú za normálnych okolností rozpojené a zopínajú sa iba pri poruche.
- Okružné siete – typ siete napájanej z dvoch strán, avšak oba konce sú pripojené na ten istý napájací transformátor. Takýmto zapojením sa zvyšuje spoľahlivosť siete, nakoľko je možné selektívne pôsobenie ochrán. Takisto sú postačujúce menšie prierezy vodičov.
- Mrežové siete – z pohľadu úbytku napätia a spoľahlivosti je to najvýhodnejší typ siete, z druhej strany je však finančne najnáročnejší. Používa sa v husto zaľudnených oblastiach. Jej rozvoj resp. rozšírenie je pomerne jednoduché.

Pri voľbe typu siete treba brať do úvahy tieto hľadiská:

- Minimálne straty činného výkonu a napätia.
- Dôležitosť zabezpečenia dodávky elektriny.
- Zabezpečenie selektívnosti ochrán.
- Možnosť budúceho rozšírenia siete.

2.5 Vybrané typy zariadení

V tejto kapitole sú popísané jednotlivé typy zariadení používané v elektrizačných sústavách.

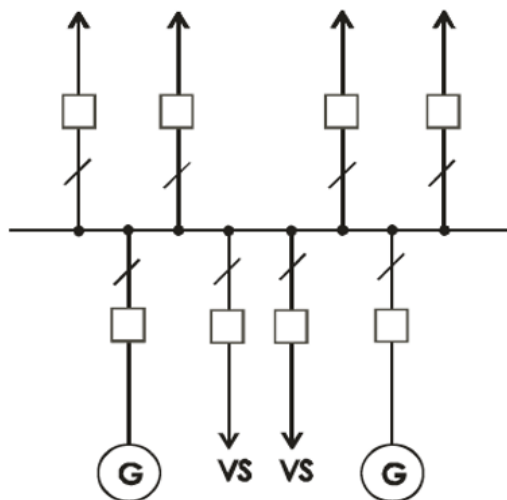
2.5.1 Uzol

Uzol je definovaný ako vodivé spojenie 2 a viacerých bodov. Časť elektrického obvodu medzi dvoma uzlami sa nazýva vetva. V uzloch elektrického obvodu sa prúd rozvetvuje, o čom hovorí aj prvý Kirchoffov zákon. Veľkosť prúdov vo vetvách je následne možné vypočítať pomocou Ohmovho zákona.

2.5.2 Prípojnice

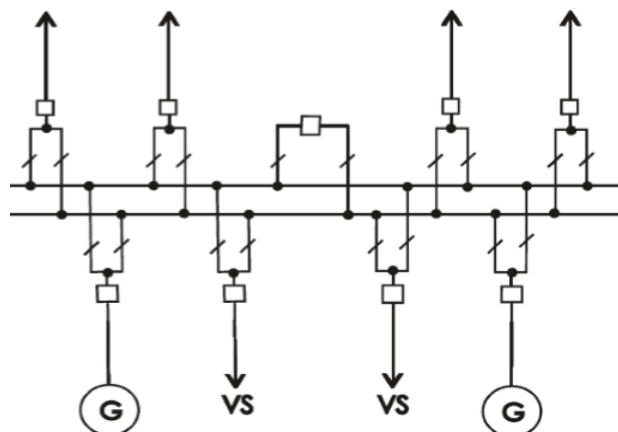
Počet a zapojenie prípojnicových systémov je dané požiadavkami prevádzky a stupňom dôležitosti napájania jednotlivých vývodov. Rozvodné zariadenia môžu mať usporiadanie prípojnicových systémov priame, okružné, alebo môžu byť bez prípojnic. Pri priamom usporiadaní môže byť prípojnicový systém delený priečne alebo pozdĺžne.

- Priečne delenie delí prípojnice na hlavné a pomocné. Systém hlavných prípojnic môže byť:
 - Jednosystémový



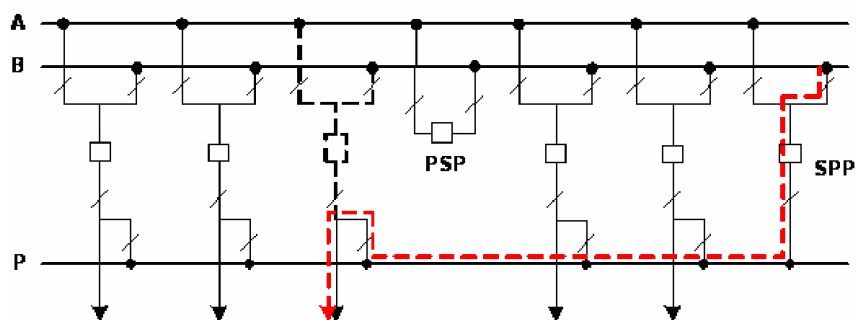
Obrázok 2 - jednosystémová prípojnica

- o Viacsystémový (dve a viac prípojnic)

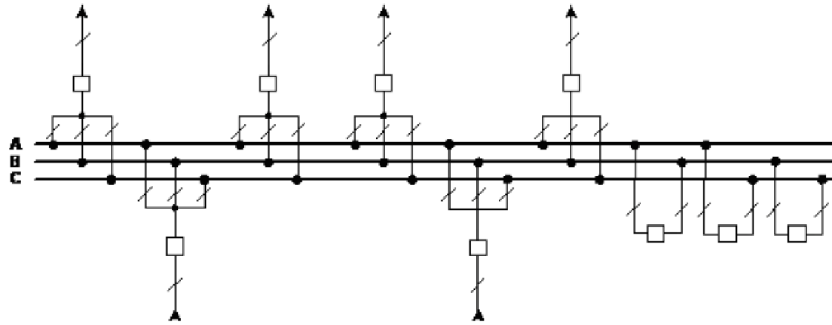


Obrázok 3 - viacsystémová prípojnica

Dvojitý systém prípojnic s pomocnou prípojnicou

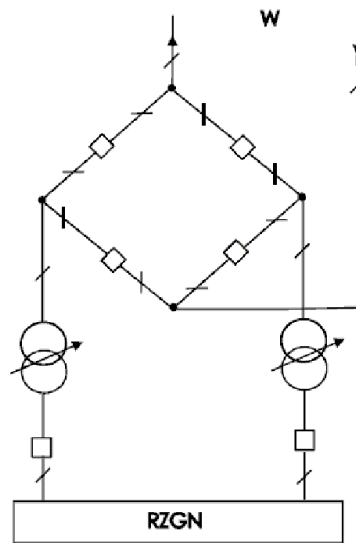


Obrázok 4 - dvojitý systém prípojnic s pomocnou prípojnicou

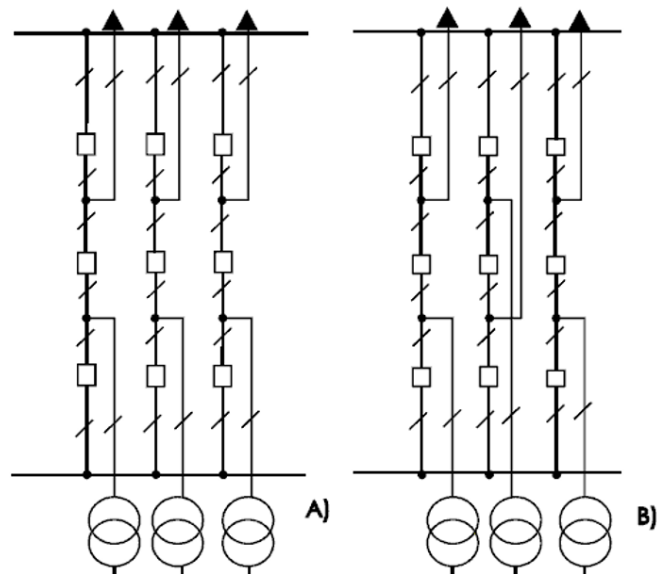


Obrázok 5 – trojitý systém prípojnic

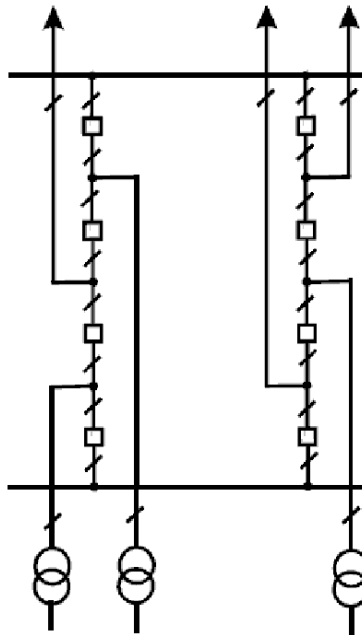
Zapojenie do štvoruholníka



Obrázok 6 – zapojenie do štvoruholníka



Obrázok 7 – zapojenie 3 vypínačov na 2 odbočky



Obrázok 8 – zapojenie 4 vypínačov na 3 odbočky

➤ Pozdĺžne delenie

Pomocná prípojnica je jednosystémová. Označovanie priečne delených prípojnicových systémov je W1, W2, W3, pomocný prípojnicový systém má označenie W5.

2.5.3 Vedenie

Elektrické vedenie je usporiadanie vodičov, izolačných materiálov a konštrukcií na prenos elektrickej energie medzi dvoma bodmi elektrickej siete. Vedenie musí byť vždy dimenzované podľa množstva pretekajúceho výkonu – t.j. prúdovej zaťažiteľnosti a prevádzkového napätia.

Pri vedeniach vysokého napätia (VN) počítame okrem rezistancie aj s indukčnosťou, s pozdĺžnymi parametrami R, L, ktoré sú príčinou úbytku napätia. Pri vedeniach veľmi vysokého napätia (VVN) a zvlášť vysokého napätia (ZVN) a pri káblových vedeniach všetkých napätí počítame aj s kapacitou. Pri vedeniach nad 60 kV uvažujeme s priečnymi parametrami G, C, ktoré sú príčinou úbytku prúdu.

Vedenia môžeme podľa vyhotovenia rozdeliť na:

- Vzdušné – vodiče sú umiestnené na stožiaroch, pričom najčastejšie sa jedná o tzv. holé vodiče, čiže vodiče bez ochranného obloženia.
- Káblové – jedná sa o úplne izolované vodiče, ktoré sú najčastejšie zakopané v zemi v káblových kanáloch. Špeciálnym typom káblového vedenia je závesný kábel, jedná sa o kábel umiestnený na podperných bodoch.

Typy vodičov:

- Cu vodiče
- Bronzové vodiče
- Oceľové laná
- Oceľovo-medené vodiče CuFe

- Špeciálne vodiče
 - antivibračné laná
 - duté laná

Najpoužívanejšie typy vodičov

- AAC – All Aluminium Conductor (celohliníkové laná)
- ACSR – Aluminium Conductor Steel Reinforced (hliníkové laná vystužené oceľou - AlFe)
- AAAC – All Aluminium Alloy Conductor (zliatinové laná - aldrej, aluflex, aludar,..)
- AACSR – Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced (zliatinové laná vystužené oceľou)

Nové typy vodičov

- AAS – All AS strand type (hliníkom potiahnutá oceľ)
- ACSR/AS – Aluminium Conductor Aluminum-clad Steel Reinforced type (oceľové jadro vymenené za hliníkom potiahnutú oceľ)
- TACSR/AS – Thermal resistant aluminium alloy ACSR/AS (plášť z teplot odolnej zliatiny)
- SLAC/AS – Small Loss ACSR/AS (nízko stratové vodiče)

2.5.3.1 Vedenie AC

2.5.3.1.1 Trojfázové vedenia a siete NN a VN

Tieto vedenia sa používajú pre zásobovanie priemyslu, poľnohospodárstva, elektrickej vozby mestskej a železničnej, menších miest a dedín. Pri výpočtoch sa vychádza z predpokladu, že sústava je súmerná a všetky napätia a prúdy majú harmonický priebeh. Pozdĺžna impedancia je konštantná po celej dĺžke vedenia a priečna admitancia sa zanedbáva. Pri sieťach NN sa môže tiež zanedbať reaktancia.

Pri výpočtoch uzlových sietí VN sa zisťujú predovšetkým prúdové a napäťové pomery v jednotlivých vedeniach a uzloch pri normálnych podmienkach a pri typických poruchách siete. Najvhodnejšia metóda pre výpočty je metóda uzlových napätí. Vzhľadom na predpoklad symetrie sústavy stačí vypočítať prúdy a napätia pre jednu fázu s tým, že výsledky v ostatných fázach sú rovnaké, ale len pootočené o 120 resp. 240 stupňov.

2.5.3.1.2 Trojfázové vedenia a siete VVN a ZVN

Vedenia VVN sa používajú pre zásobovanie veľkých spotrebiteľov, striedavej elektrickej vozby, veľkých miest a sú aj súčasťou distribučnej a prenosovej sústavy. Slúžia tiež na prepojenie so zahraničím.

Pri výpočtoch sa vychádza z predpokladu, že vedenia sú súmerné a všetky napätia a prúdy majú harmonický priebeh. Pozdĺžna impedancia a priečna admitancia sú konštantné po celej dĺžke vedenia. Vzhľadom na predpoklad symetrie sústavy stačí vypočítať prúdy a napätia pre jednu fázu s tým, že výsledky v ostatných fázach sú rovnaké, ale len pootočené o 120 resp. 240 stupňov. Výpočty môžu byť vykonané dvoma metódami:

- metódou rešpektujúcou homogénne vedenie s rozloženými parametrami,
- metódou náhradných článkov.

Tabuľka 1 - parametre VVN vedení

U [kV]	Najvyšší prenášaný výkon na jedno vedenie [MW]	Najväčšia dĺžka vzdušného vedenia [km]
110	25-50	50-150
220	100-200	150-250
400	500-700	600-1000
750	1800-2200	800-1500
1150	4000-60000	1200-2000

2.5.3.2 Vedenie DC

V súčasnosti majú jednoduché jednosmerné vedenia len obmedzené použitie pre rozvody elektrickej energie. Používajú sa napríklad pre napájanie núdzového osvetlenia a náhradných zdrojov. Rozvod býva dvojvodičový, alebo môže byť jeden pól uzemnený. Výrazné použitie majú jednosmerné siete v elektrickej vozbe a technologických procesoch, v priemyselných pohonoch, v metalurgickom a chemickom priemysle, či v niektorých typoch OZE a následne aj v domových rozvodoch.

Obnovenie používania jednosmerných prenosov v elektrizačných sústavách v poslednej dobe našlo uplatnenie najmä pre:

- prepojenie dvoch sústav s rôznymi frekvenciami ako jednosmerné spojky,
- reguláciu prenášaného výkonu medzi sústavami,
- prenos veľkých výkonov na veľké vzdialenosti,
- dlhé podmorské káblivé vedenia,
- zvýšenie prenosovej schopnosti sústavy, ktorej prenosová schopnosť je obmedzená stabilitou paralelného chodu generátorov.

Jednosmerné prenosy prinášajú tieto výhody:

- náklady na výstavbu stožiarov a vodičov sú menšie (nižšie stožiare, len dva vodiče),
- ako spätný vodič sa môže použiť zem,
- nie je skin-efekt,
- nie sú dielektrické a hysterézne straty a straty vírivými prúdmi,
- existuje jednoduchá regulácia veľkosti a smeru toku výkonu,
- používajú jednoduchšiu izoláciu a tým majú možnosť použitia vyššieho napätia,
- úbytok napätia je menší, než pri striedavom prenose,
- prenosová schopnosť je väčšia, ako pri striedavom prenose,
- menšie straty oproti stratám v striedavých sieťach,
- koróna vzniká až pri vyššom napätí.

Nevýhody jednosmerných prenosov sú:

- nákladné usmerňovače a striedače,
- pri použití zeme ako vodiča vznikajú bludné prúdy a elektrochemická korózia.

Po všetkých technických stránkach je jednosmerný prenos výhodnejší než striedavý, ale má väčšie investičné náklady.

2.5.3.3 Parametre vonkajších vedení

Na problematiku elektrických vedení je možné sa pozerať z viacerých uhlov pohľadu, pričom pri riešení rôznych úloh sú potrebné rôzne parametre. Nižšie je uvedený zoznam najčastejšie používaných parametrov elektrických vedení potrebných pre najpoužívanejšie výpočty.

Tabuľka 2 - parametre vonkajších vedení

PARAMETER	JEDNOTKA	POPIS
DĚLKA VEDENIA	Km	
PRIEREZ VEDENIA	mm ²	Plocha vodiča, cez ktorý prechádza elektrický prúd.
DOVOLENÝ PRÚD	A	Maximálny prúd, ktorý môže pretekať vedením v trvalej prevádzke, pričom nedôjde k ohriatiu vodiča nad pracovnú teplotu (vo všeobecnosti sa za maximálnu pracovnú teplotu vodiča považuje 70°C).
ELEKTRICKÝ ODPOR	Ω/km	
REAKTANCIA VEDENIA	Ω/km	
ZVOD VEDENIA	S/km	
SUSCEPTANCIA VEDENIA	S/km	
PRIRODZENÝ VÝKON	W	$P = \frac{U}{Z_0}$ V závislosti od toho, aký výkon je vedením prenášaný (menší alebo väčší ako prirodzený výkon), sa vedenie chová ako spotrebič resp. zdroj jalového výkonu.
VLNOVÁ IMPEDANCIA	Ω	$Z_0 = \sqrt{\frac{R + jX}{G + jB}}$ Ak sa vedenie zaťaží vlnovou impedanciou, vedením je prenášaný práve prirodzený výkon. Takéto vedenie nazývame prispôbeným. Z hľadiska strát na vedení sa jedná o optimálny stav, lebo straty činného výkonu na vedení sú minimálne.
OCHRANNÉ PÁSMO VEDENIA	M	V ochrannom pásme vedenia nie je možné stavať žiadne stavby, tento parameter je potrebné zohľadňovať pri výbere typu vedenia hlavne v zastavanom území obce.
NOMINÁLNE NAPÄTIE VEDENIA	V	Jedná sa o napäťovú hladinu, na ktorej sa bude vedenie prevádzkovať.

2.5.3.4 Tabuľkové hodnoty pre vedenia

V nasledujúcej tabuľke je uvedený zoznam parametrov potrebných pre základné modelovanie a dimenzovanie elektrických vedení.

Tabuľka 3 – parametre potrebné pre základné modelovanie a dimenzovanie elektrických vedení

Názov	S [mm ²]	Un [kV]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	B [S/km]	R0/R1	X0/X1	I max. [A]
10K_120_ANK	120	10	0.309	0.125	97	1	1	241
10K_120_ANKO	120	10	0.315	0.088	76	1	1	247
10K_120_AXEKCY	120	10	0.253	0.469	75	1	1	307
10K_150_ANK	150	10	0.252	0.085	84	1	1	282
10K_150_ANKO	150	10	0.252	0.085	84	1	1	282
10K_150_AXEKCY	150	10	0.206	0.211	79	1	1	356
10K_185_ANK	185	10	0.2	0.12	113	1	1	306
10K_185_ANKO	185	10	0.204	0.084	89	1	1	318
10K_240_ANK	240	10	0.157	0.082	98	1	1	371
10K_240_ANKO	240	10	0.157	0.082	98	1	1	371
10K_240_AXEKCY	240	10	0.128	0.198	94	1	1	437
10K_50_ANKO	50	10	0.755	0.097	52	1	1	147
10K_70_ANKO	70	10	0.54	0.094	64	1	1	180
10K_95_ANK	95	10	0.398	0.09	69	1	1	214
10K_95_ANKO	95	10	0.398	0.09	69	1	1	214
10V_100/25_AIFe6	100	10	0.2842	0.3546	1.76	1	1	300
10V_120_AIFe6	120	10	0.225	0.3634	1.85	1	1	357
10V_150_AIFe6	150	10	0.2	0.3597	1.56	1	1	387
10V_185_AIFe6	185	10	0.156	0.3523	1.69	1	1	459
10V_25_AIFe6	25	10	0.778	0.3893	1.89	1	1	135
10V_25_Cu	25	10	0.526	0.3964	1.74	1	1	150
10V_35_AIFe6	35	10	0.778	0.3893	1.89	1	1	150
10V_35_Cu	35	10	0.526	0.3964	1.74	1	1	183
10V_42/7_AIFe6	42	10	0.6671	0.385	1.59	1	1	163
10V_50_AIFe6	50	10	0.615	0.3819	1.09	1	1	177
10V_50_Cu	50	10	0.356	0.3832	1.87	1	1	233
10V_60/14_AIFe6	60	10	0.4662	0.3669	1.61	1	1	218
10V_70/11-1_AIFe6	70	10	0.4308	0.383	1.12	1	1	225
10V_70/11_AIFe6	70	10	0.401	0.3669	1.61	1	1	236
10V_70_AIFe6	70	10	0.434	0.371	1.92	1	1	225
10V_70_Cu	70	10	0.264	0.3738	1.44	1	1	294
10V_95_AIFe6	95	10	0.301	0.3595	1.88	1	1	289
10V_95_Cu	95	10	0.195	0.3643	1.05	1	1	363
22K_120_ANK	120	22	0.309	0.125	97	1	1	241
22K_120_ANKO	120	22	0.315	0.088	76	1	1	247
22K_120_AXEKCY	120	22	0.253	0.469	75	1	1	307
22K_120_SAXKA	150	22	0.256	0.13	69	1	1	315
22K_150_ANK	150	22	0.247	0.121	104	1	1	309
22K_150_ANKO	150	22	0.248	0.121	104	1	1	273
22K_150_AXEKCY	150	22	0.206	0.211	79	1	1	356
22K_150_DISTRI	150	22	0.206	0.164	91	1	1	390
22K_185_ANK	185	22	0.2	0.12	113	1	1	306
22K_185_ANKO	185	22	0.204	0.084	89	1	1	318
22K_185_SAXKA	185	22	0.167	0.12	79	1	1	400
22K_240_ANK	240	22	0.154	0.113	123	1	1	353
22K_240_ANKO	240	22	0.157	0.082	98	1	1	371
22K_240_AXEKCY	240	22	0.128	0.198	94	1	1	437
22K_35_SAXKA	35	22	0.87	0.16	47	1	1	151
22K_50_ANKO	50	22	0.755	0.097	52	1	1	147

Názov	S [mm ²]	Un [kV]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	B [S/km]	R0/R1	X0/X1	I max. [A]
22K_50_DISTRI	50	22	0.641	0.188	63	1	1	193
22K_70_ANK	70	22	0.529	0.137	79	1	1	177
22K_70_ANKO	70	22	0.54	0.094	64	1	1	195
22K_70_AXEKCY	70	22	0.443	0.182	63	1	1	263
22K_70_SAXKA	70	22	0.446	0.14	57	1	1	225
22K_95_ANK	95	22	0.39	0.13	89	1	1	211
22K_95_ANKO	95	22	0.398	0.09	69	1	1	214
22K_95_DISTRI	95	22	0.32	0.173	77	1	1	287
22V_100/25_AIFe6	100	22	0.2843	0.3691	1.74	1	1	300
22V_110/22_AIFe6	110	22	0.2591	0.3676	1.03	1	1	318
22V_120_AIFe6	120	22	0.225	0.3634	1.85	1	1	357
22V_120_SAXKA	150	22	0.256	0.13	69	1	1	315
22V_150/25_AIFe6	150	22	0.1999	0.3597	1.56	1	1	381
22V_150_AIFe6	150	22	0.2	0.3597	1.56	1	1	387
22V_150_DISTRI	150	22	0.206	0.164	91	1	1	390
22V_180/59_AIFe6	180	22	0.1999	0.3597	1.56	1	1	381
22V_185/31_AIFe6	185	22	0.1562	0.3671	1.92	1	1	451
22V_185_AIFe6	185	22	0.156	0.3523	1.69	1	1	459
22V_185_SAXKA	185	22	0.167	0.12	79	1	1	400
22V_210_AIFe6	210	22	0.13	0.4	2.876	1	1	542
22V_240/39_AIFe6	240	22	0.1181	0.3587	1.51	1	1	546
22V_240_AIFe6	240	22	0.1181	0.3587	1.51	1	1	546
22V_25_AIFe6	25	22	1.215	0.38	1.3	1	1	128
22V_25_Cu	25	22	1.215	0.38	1.3	1	1	135
22V_35_AIFe6	35	22	0.778	0.3893	1.89	1	1	150
22V_35_Cu	35	22	0.526	0.3964	1.74	1	1	183
22V_35_SAXKA	35	22	0.87	0.16	47	1	1	151
22V_42/7_AIFe6	42	22	0.6671	0.4214	1.837	1	1	163
22V_450_AIFe6	450	22	0.065	0.387	2.55	1	1	852
22V_50_AIFe6	50	22	0.615	0.3964	1.69	1	1	177
22V_50_Cu	50	22	0.356	0.3832	1.87	1	1	233
22V_50_DISTRI	50	22	0.641	0.188	63	1	1	193
22V_60/14_AIFe6	60	22	0.4662	0.3669	1.61	1	1	218
22V_70/11-1_AIFe6	70	22	0.4308	0.383	1.12	1	1	225
22V_70/11_AIFe6	70	22	0.401	0.3814	1.42	1	1	236
22V_70_AIFe6	70	22	0.434	0.3913	1.67	1	1	225
22V_70_Cu	70	22	0.264	0.3738	1.44	1	1	294
22V_70_SAXKA	70	22	0.446	0.14	57	1	1	225
22V_70_SiBr	70	22	0.264	0.3738	1.44	1	1	312
22V_95_AIFe6	95	22	0.301	0.374	1.448	1	1	289
22V_95_Cu	95	22	0.195	0.3643	1.05	1	1	363
22V_95_DISTRI	95	22	0.32	0.173	77	1	1	287
35K_120_ANK	120	35	0.304	0.137	76	1	1	227
35K_120_AXEKCY	120	35	0.253	0.22	51	1	1	341
35K_120_SAXKA	120	35	0.257	0.15	57	1	1	310
35K_150_ANK	150	35	0.242	0.132	82	1	1	257
35K_185_ANK	185	35	0.196	0.128	87	1	1	288
35K_185_SAXKA	185	35	0.168	0.14	63	1	1	395
35K_240_ANK	240	35	0.151	0.123	96	1	1	332
35K_240_AXEKCY	240	35	0.128	0.201	63	1	1	422

Názov	S [mm ²]	Un [kV]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	B [S/km]	R0/R1	X0/X1	I max. [A]
35K_35_SAXKA	35	35	0.871	0.18	38	1	1	148
35K_50_ANK	50	35	0.755	0.097	52	1	1	147
35K_70_ANK	70	35	0.529	0.137	60	1	1	195
35K_70_AXEKCY	70	35	0.433	0.195	44	1	1	264
35K_70_SAXKA	70	35	0.446	0.16	47	1	1	222
35K_95_ANK	95	35	0.383	0.142	71	1	1	199
35V_100/25_AIFe6	100	35	0.2843	0.3691	1.74	1	1	300
35V_110/22_AIFe6	110	35	0.2591	0.3676	1.03	1	1	318
35V_120_AIFe6	120	35	0.225	0.3634	1.62	1	1	357
35V_120_SAXKA	120	35	0.257	0.15	57	1	1	310
35V_150/25_AIFe6	150	35	0.1999	0.3597	1.56	1	1	381
35V_150_AIFe6	150	35	0.2	0.3597	1.38	1	1	387
35V_150_DISTRI	150	35	0.206	0.125	60	1	1	383
35V_180/59_AIFe6	180	35	0.1593	0.3482	1.87	1	1	454
35V_185/31_AIFe6	185	35	0.1562	0.3671	1.92	1	1	451
35V_185_AIFe6	185	35	0.156	0.3523	1.94	1	1	459
35V_185_SAXKA	185	35	0.168	0.14	63	1	1	395
35V_240/39_AIFe6	240	35	0.1181	0.3587	1.51	1	1	546
35V_240_AIFe6	240	35	0.125	0.3969	3.052	1	1	535
35V_25_AIFe6	25	35	1.215	0.38	1	1	1	128
35V_35_AIFe6	35	35	0.778	0.3893	1.89	1	1	150
35V_35_Cu	35	35	0.526	0.3832	1.87	1	1	183
35V_35_SAXKA	35	35	0.871	0.18	38	1	1	148
35V_42/7_AIFe6	42	35	0.6671	0.3813	1	1	1	163
35V_450_AIFe6	450	35	0.065	0.387	2.55	1	1	852
35V_50_AIFe6	50	35	0.615	0.3964	1.06	1	1	177
35V_50_Cu	50	35	0.356	0.3832	1.87	1	1	233
35V_60/14_AIFe6	60	35	0.2843	0.3691	1.74	1	1	300
35V_70/11-1_AIFe6	70	35	0.4308	0.383	1.12	1	1	255
35V_70/11_AIFe6	70	35	0.401	0.3814	1.42	1	1	236
35V_70_AIFe6	70	35	0.437	0.3855	1.16	1	1	225
35V_70_SAXKA	70	35	0.446	0.16	47	1	1	222
35V_95_AIFe6	95	35	0.301	0.374	1.44	1	1	289
35V_95_Cu	95	35	0.195	0.3643	1.05	1	1	363
35V_95_DISTRI	95	35	0.32	0.135	54	1	1	283
NNK_10_AYKY_10	10	0.4	3.096	0.086	1	1	1	57
NNK_10_CYKY_10	10	0.4	1.88	0.3	1	1	1	81
NNK_120DEV_AYKY_70	120	0.4	0.258	0.069	1	1	1	245
NNK_120_AKP_70	120	0.4	0.258	0.073	1	1	1	304
NNK_120_AYKY_70	120	0.4	0.258	0.069	1	1	1	245
NNK_120_CYKY_70	120	0.4	0.1566	0.069	1	1	1	320
NNK_150_AKP_70	150	0.4	0.206	0.073	1	1	1	350
NNK_150_ANKO_70	150	0.4	0.206	0.072	1	1	1	346
NNK_150_AYKY_70	150	0.4	0.2069	0.069	1	1	1	278
NNK_150_CYKY_70	150	0.4	0.1253	0.06	1	1	1	360
NNK_16_AKP_16	16	0.4	1.935	0.082	1	1	1	81
NNK_16_AYKY_16	16	0.4	1.935	0.082	1	1	1	70
NNK_16_AYKYz_16	16	0.4	1.935	0.09	1	1	1	61
NNK_16_CYKY_16	16	0.4	1.175	0.284	1	1	1	105

Názov	S [mm ²]	Un [kV]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	B [S/km]	R0/R1	X0/X1	I max. [A]
NNK_185_ANKO_95	185	0.4	0.167	0.073	1	1	1	396
NNK_185_AYKY_95	185	0.4	0.1673	0.068	1	1	1	313
NNK_185_CYKY_95	185	0.4	0.1016	0.055	1	1	1	388
NNK_240_AKP_120	240	0.4	0.129	0.071	1	1	1	464
NNK_240_ANKO_120	240	0.4	0.129	0.071	1	1	1	456
NNK_240_AYKY_120	240	0.4	0.129	0.068	1	1	1	359
NNK_240_CYKY_120	240	0.4	0.0783	0.05	1	1	1	470
NNK_25_AKP_25	25	0.4	1.84	0.0811	1	1	1	121
NNK_25_AYKY_25	25	0.4	1.84	0.0811	1	1	1	103
NNK_25_AYKYz_25	25	0.4	1.84	0.086	1	1	1	80
NNK_25_CYKY_25	25	0.4	0.752	0.278	1	1	1	134
NNK_35_AKP_25	25	0.4	0.8846	0.0792	1	1	1	147
NNK_35_AYKY_35	35	0.4	0.8846	0.0792	1	1	1	125
NNK_35_AYKYz_35	35	0.4	0.8846	0.083	1	1	1	99
NNK_35_CYKY_35	35	0.4	0.537	0.27	1	1	1	161
NNK_50_AKP_35	35	0.4	0.6192	0.0773	1	1	1	180
NNK_50_AYKY_50	50	0.4	0.6192	0.0773	1	1	1	147
NNK_50_CYKY_50	50	0.4	0.3759	0.074	1	1	1	185
NNK_6_AYKY_6	6	0.4	5.16	0.091	1	1	1	44
NNK_6_CYKY_6	6	0.4	3.133	0.319	1	1	1	61
NNK_70_AKP_50	70	0.4	0.442	0.074	1	1	1	225
NNK_70_AYKY_50	70	0.4	0.4423	0.073	1	1	1	183
NNK_70_CYKY_50	70	0.4	0.2685	0.072	1	1	1	225
NNK_95_AKP_70	95	0.4	0.325	0.073	1	1	1	270
NNK_95_AYKY_70	95	0.4	0.3259	0.071	1	1	1	216
NNK_95_CYKY_70	95	0.4	0.1979	0.071	1	1	1	275
NNV_10_AYKY_10	10	0.4	3.096	0.086	1	1	1	57
NNV_10_AYKYz_10	10	0.4	3.096	0.094	1	1	1	46
NNV_10_CYKY_10	10	0.4	1.88	0.3	1	1	1	81
NNV_10_Cu_10	10	0.4	2.029	0.346	1	1	1	69
NNV_120_AES_120	120	0.4	0.253	0.066	1	1	1	291
NNV_120_AYKY_70	120	0.4	0.258	0.069	1	1	1	245
NNV_150_AYKY_70	150	0.4	0.2069	0.069	1	1	1	278
NNV_16_AES_16	16	0.4	1.91	0.075	1	1	1	71
NNV_16_AYKY_16	16	0.4	1.935	0.082	1	1	1	70
NNV_16_AYKYz_16	16	0.4	1.935	0.09	1	1	1	61
NNV_16_AIFe6_16	16	0.4	1.882	0.329	1	1	1	83
NNV_16_CYKY_16	16	0.4	1.175	0.284	1	1	1	105
NNV_16_Cu_16	16	0.4	1.298	0.338	1	1	1	90
NNV_25/4_AIFe6_25	25	0.4	1.58	0.316	1	1	1	136
NNV_25_AES_25	0	0.4	1.2	0.075	1	1	1	105
NNV_25_AKP_25	25	0.4	1.84	0.0811	1	1	1	121
NNV_25_AYKY_25	25	0.4	1.84	0.0811	1	1	1	103
NNV_25_AYKYz_25	25	0.4	1.84	0.0811	1	1	1	103
NNV_25_AIFe6_25	25	0.4	1.39	0.313	1	1	1	128
NNV_25_Cu_25	25	0.4	0.809	0.325	1	1	1	120
NNV_35_AES_35	35	0.4	0.868	0.072	1	1	1	129
NNV_35_AYKY_35	35	0.4	0.8846	0.0792	1	1	1	125
NNV_35_AYKYz_35	35	0.4	0.8846	0.0792	1	1	1	125
NNV_35_AIFe6_35	35	0.4	0.97	0.302	1	1	1	161

Názov	S [mm ²]	Un [kV]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	B [S/km]	R0/R1	X0/X1	I max. [A]
NNV_35_Cu_35	35	0.4	0.611	0.311	1	1	1	145
NNV_42/7_AIFe6_42	42	0.4	0.687	0.298	1	1	1	191
NNV_50_AES_50	50	0.4	0.641	0.071	1	1	1	155
NNV_50_AGUz_50	50	0.4	0.6192	0.0773	1	1	1	147
NNV_50_AYKY_50	50	0.4	0.6192	0.0773	1	1	1	147
NNV_50_AIFe6_35	50	0.4	0.69	0.291	1	1	1	205
NNV_50_AIFe_35	50	0.4	0.69	0.291	1	1	1	205
NNV_50_Cu_50	50	0.4	0.435	0.3	1	1	1	185
NNV_6_Cu_6	6	0.4	2.1	0.346	1	1	1	50
NNV_70/11_AIFe6_70	70	0.4	0.401	0.28	1	1	1	305
NNV_70DEV_AIFe6_50	70	0.4	0.258	0.069	1	1	1	183
NNV_70_AES_70	70	0.4	0.443	0.068	1	1	1	202
NNV_70_AGUz_50	70	0.4	0.442	0.074	1	1	1	180
NNV_70_AKP_50	70	0.4	0.442	0.074	1	1	1	225
NNV_70_AYKY_50	70	0.4	0.4423	0.073	1	1	1	183
NNV_70_AIFe6_50	70	0.4	0.501	0.279	1	1	1	254
NNV_70_Cu_70	70	0.4	0.319	0.287	1	1	1	240
NNV_95_AES_95	95	0.4	0.32	0.067	1	1	1	251
NNV_95_AYKY_70	95	0.4	0.3259	0.071	1	1	1	216

Pri niektorých typoch výpočtov je možné použiť uvedené zjednodušenia:

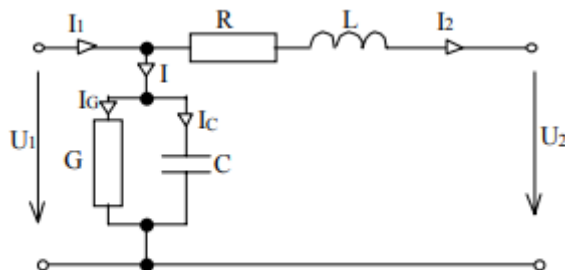
- Vedenia 110 kV $G \ll B$
- Vedenia VN (22 kV) $G \ll B$
- Vedenia NN (0,4 kV) $R \gg X$

2.5.3.5 Náhradná schéma vedenia pre sieťové výpočty

Pre potreby sieťových výpočtov nie sú potrebné presné výpočty pomocou homogénnych vedení, preto sa využívajú náhrady vedení za pomoci náhradných schém. Pre vedenia sa najčastejšie používa náhrada Π článkom, aj keď je možné použiť aj iné náhradné schémy (Γ , Π , T (sú odvodené od písmen, ktoré znázorňujú) a STEINMETZOV článok).

2.5.3.5.1 Γ článok

Tento článok vykazuje najmenšiu presnosť. Postačuje pre výpočty vzdušných vedení do cca 100 km, káblových vedení do cca 25 km. Celková priečna admitancia je sústredená na začiatku vedenia a celková pozdĺžna impedancia na konci vedenia.

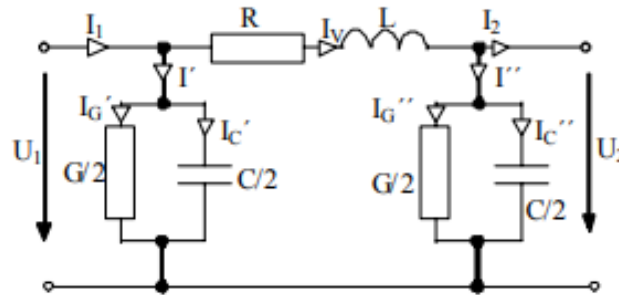


Obrázok 9 - Γ článok

Pre Γ článok sú Blondelove konštanty rovné: $A = 1$, $B = Z$, $C = Y$, $D = 1 + Z \cdot Y$

2.5.3.5.2 Π článok

Článok poskytuje dostatočné presné výpočty pre vzdušné vedenia do 300 km a káblové vedenia do 100 km. Celková pozdĺžna impedancia je sústredená v strede vedenia a polovice priečnej impedancie na začiatku a konci vedenia.



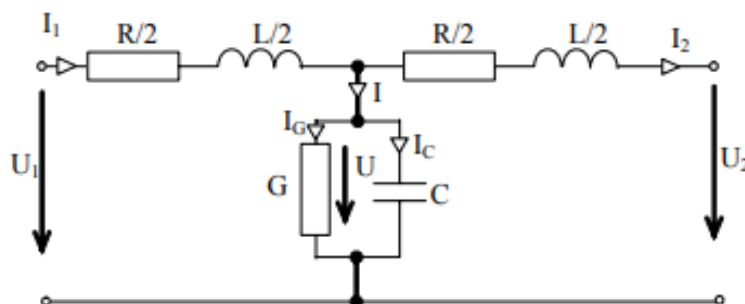
Obrázok 10 - Π článok

Pre Π článok sú Blondelove konštanty rovné:

$$A = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2}, \quad B = Z, \quad C = Y \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4} \right), \quad D = A$$

2.5.3.5.3 T článok

Použitie tohto článku je také isté ako u Π článku. Polovica pozdĺžnej impedancie je sústredená na začiatku a konci vedenia a celá priečna admittance je sústredená v strede vedenia.



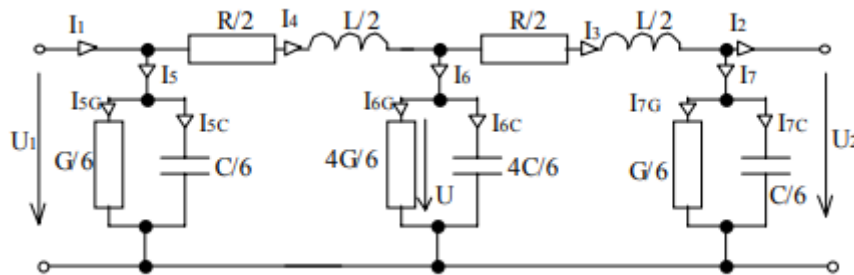
Obrázok 11 - T článok

Pre T článok sú Blondelove konštanty rovné:

$$A = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2}, \quad B = Z \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4} \right), \quad C = Y, \quad D = A$$

2.5.3.5.4 Steinmetzov článok

Tento článok prakticky vzniká spojením článkov Γ a Π . Poskytuje dostatočne presné výsledky pre vzdušné vedenia do 500 km a káblové vedenia do 150 – 200 km. Polovica pozdĺžnej impedancie je sústredená na začiatku a konci vedenia, šestina priečnej admittance na konci a začiatku vedenia a dve tretiny priečnej admittance v strede vedenia.



Obrázok 12 - Steinmetzov článok

Pre Steinmetzov článok sú Blondelove konštanty rovné:

$$A = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2} + \frac{Z^2 \cdot Y^2}{36}, \quad B = Z \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{6} \right)$$

$$C = Y \left(1 + \frac{5}{36} Z \cdot Y + \frac{Z^2 \cdot Y^2}{216} \right), \quad D = A$$

2.5.4 Transformátor

Transformátory sú silové prvky ES slúžiace na zmenu napätia prenášanej elektrickej energie pri zachovaní prenášaného výkonu. Podľa použitia poznáme transformátory:

- Blokové – jedná sa o transformátory zapojené v sérii s generátorom, kedy napätie generátora je na inej hladine ako napätie siete. Podľa typu elektrárne a veľkosti výkonu sa využívajú 2v alebo 3v blokové transformátory, pričom ich výkon je daný nominálnym výkonom generátora zmenšeným o vlastnú spotrebu.
- Spojovacie – spájajú dve siete s rôznymi napäťovými hladinami, pričom ich nominálny výkon je počítaný aj s uvážením rozvoja siete.
- Priemyselné distribučné – napájajú vlastné rozvody objektov.
- Transformátory vlastnej spotreby – jedná sa o transformátory napájajúce vlastnú spotrebu objektu.
- Izolačné – jedná sa o transformátory s prevodom 1:1, ich funkciou je galvanické oddelenie 2 sústav.

Rozdelenie transformátorov podľa počtu vinutí:

- Dvojvinuťové
- Trojvinuťové – jedná sa hlavne o spojovacie transformátory, v niektorých prípadoch aj blokové, či transformátory vlastnej spotreby. K terciárnemu vinutiu sa niekedy pripájajú kompenzačné tlmivky na reguláciu napätia v sústave. V prípade 3v blokových transformátorov je napätie sekundárneho a terciárneho vinutia identické a sú k nim pripojené generátory. Inokedy je z terciárneho vinutia napájaná vlastná spotreba.

Rozdelenie transformátorov podľa počtu fáz:

- Jednofázové – inokedy sa namiesto jedného trojfázového používa spojenie troch jednofázových transformátorov.
- Trojfázové

Transformátory delené podľa prevodu:

- 110/22 kV – transformujú napätie pre distribučnú sieť 22 kV. Tieto transformátory sú diaľkovo riadené aj pod zaťažením – t.j. je možné meniť aktuálnu odbočku bez jeho odpojenia a tým

regulovať veľkosť napätia na sekundárnej strane. Uzol sekundárnej strany transformátora sa prevádzkuje ako neúčinne uzemnený cez tlmičku alebo odpor. Tieto transformátory sa umiestňujú v transformačných staniciach, ktoré môžu byť vyhotovené ako stožiarové, murované, kioskové, kompaktné a vežové. Konštrukčne sa jedná o olejové transformátory s výkonom od 2,5 do 16 MVA.

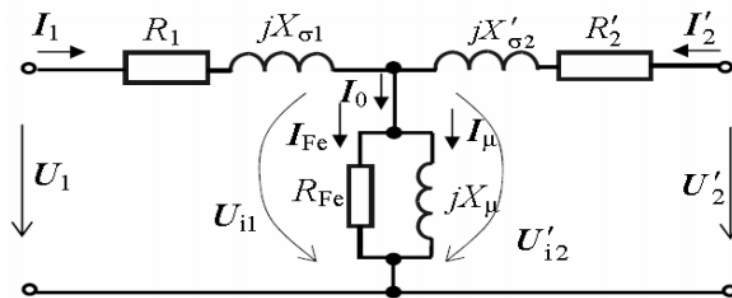
- 22/0,4 KV – napájajú rozvodné siete 400 V, ktoré sa používajú na menších ohraničených územiach. Zmena odbočky na týchto transformátoroch je možná iba pri ich odpojení. Konštrukčne sa jedná o suché transformátory s výkonom od 100 do 4000 kVA a krytím IP23.

Možné zapojenia vinutí transformátorov:

- Zapojenie do hviezdy
- Zapojenie do trojuholníka
- Zapojenie do lomenej hviezdy

2.5.4.1 Náhradná schéma dvojinuťového transformátora

Pri modelovaní transformátora sa využíva náhrada pomocou PI článku. PI článok pre dvojinuťový transformátor je zobrazený na obrázku.



Obrázok 13 - schéma 2 vinuťového transformátora

Za pomoci horeuvedenej náhradnej schémy je možné spísať zoznam parametrov. Na primárnej strane náhradného PI článku pre transformátor sa nachádza odpor primárneho vedenia R_1 a rozptylová reaktancia primárneho vedenia $X_{\sigma 1}$. Odpor primárneho vedenia a rozptylová reaktancia primárneho vedenia spolu tvoria impedanciu primárneho vedenia Z_p . Na primárnu stranu transformátora je pripojené primárne napätie U_1 . Naopak, na sekundárnej strane je pripojené sekundárne napätie U_2 a v pozdĺžnej vetve je zapojený odpor sekundárneho vedenia R_2 a rozptylová reaktancia sekundárneho vedenia $X_{\sigma 2}$, čo spolu tvorí impedanciu sekundárneho vedenia Z_2 .

V priečnej vetve je paralelne zapojený odpor reprezentujúci straty v železe transformátora R_{Fe} a magnetizačná reaktancia X .

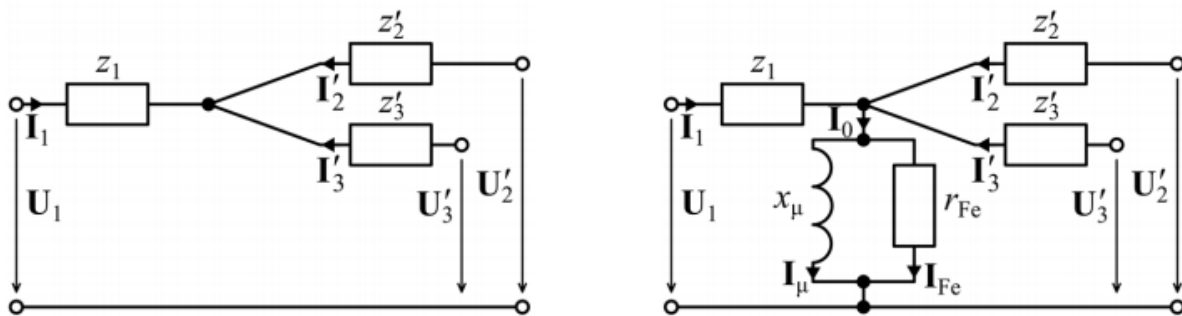
Pri označovaní parametrov sekundárnej strany transformátora si treba dať pozor na tzv. Čiarkované veličiny – tieto sú už za pomoci prevodu transformátora prepočítané na primárnu stranu. V tabuľke sú zobrazené prepočtové koeficienty medzi nominálnymi a fázovými hodnotami v závislosti od typu zapojenia transformátora, kde Y – zapojenie do hviezdy, D – zapojenie do trojuholníka a Z – zapojenie do lomenej hviezdy.

Tabuľka 3 - Parametre

Spojení vinutí		Napětí			proudy		
Vstupní v.	Výstupní v.	U_1	U_2	U_1/U_2	I_1	I_2	I_1/I_2
Y	y	$\sqrt{3}U_{1f}$	$\sqrt{3}U_{2f}$	N_1/N_2	I_{1f}	I_{2f}	N_2/N_1
D	D	U_{1f}	U_{2f}	N_1/N_2	$\sqrt{3}I_{1f}$	$\sqrt{3}I_{2f}$	N_2/N_1
Y	D	$\sqrt{3}U_{1f}$	U_{2f}	$\sqrt{3}N_1/N_2$	I_{1f}	$\sqrt{3}I_{2f}$	$N_2/(\sqrt{3}N_1)$
D	Y	U_{1f}	$\sqrt{3}U_{2f}$	$N_1/(\sqrt{3}N_2)$	$\sqrt{3}I_{1f}$	I_{2f}	$\sqrt{3}N_2/N_1$
D	Z	U_{1f}	$3U_{2f}/2$	$2N_1/(3N_2)$	$\sqrt{3}I_{1f}$	I_{2f}	$3N_2/(2N_1)$
Y	z	$\sqrt{3}U_{1f}$	$3U_{2f}/2$	$2N_1/(3N_2)$	I_{1f}	I_{2f}	$\sqrt{3}N_2/(2N_1)$

2.5.4.2 Náhradná schéma trojvinutového transformátora

Podobne, ako v prípade dvojvinutového transformátora, je možné nakresliť náhradnú schému aj pre trojvinutový transformátor a to pridaním impedancie terciárneho vinutia. Jednotlivé parametre môžu byť buď impedancie jednotlivých vinutí, alebo vzájomné medzi 2 vinutiami.



Obrázok 14 - náhradná schéma 3vinutového TR

Impedancie z_1 , z_2 , z_3 sa vypočítajú z hodnôt z_{12} , z_{13} , z_{23} , ktoré meriame takýmto postupom:

- hodnotu z_{12} získame tak, že vinutie 1 je napájané, 2 je skratované, 3 je rozpojené,
- hodnotu z_{13} získame tak, že vinutie 1 je napájané, 2 je rozpojené, 3 je skratované,
- hodnotu z_{23} získame tak, že vinutie 2 je napájané, 3 je skratované, 1 je rozpojené.

Preto možno napísať, že:

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2$$

$$Z_{23} = Z_3 + Z_2$$

$$Z_{13} = Z_1 + Z_3$$

Matematickými úpravami následne dostaneme veľkosti jednotlivých impedancií:

$$z_1 = \frac{1}{2}(z_{12} + z_{13} - z_{23}),$$

$$z_2 = \frac{1}{2}(z_{12} + z_{23} - z_{13}),$$

$$z_3 = \frac{1}{2}(z_{13} + z_{23} - z_{12}),$$

2.5.4.3 Straty a účinnosť transformátorov

V súčasnosti je otázka udržiavania stavu životného prostredia viac než aktuálna. Spomínané je najmä globálne otepľovanie. Skleníkový efekt je spôsobovaný enormným zvyšovaním obsahu oxidu uhličitého v atmosfére. K značnej produkcii CO₂ dochádza aj pri výrobe elektrickej energie. Z toho vyplýva, že úspora elektrickej energie znamená aj zníženie produkcie CO₂. Veľké straty vznikajú aj pri procese distribúcie elektrickej energie a k týmto stratám prispievajú aj transformátory. Len v Európe sa odhadujú straty elektrickej energie transformátorov na 50 TWh za rok. Pre názornosť tohto čísla - ročná spotreba elektrickej energie sa na Slovensku pohybuje okolo hodnoty 25 TWh. Preto je dôležité definovať transformátor z hľadiska stratovosti a podporovať zlepšovanie.

Straty v transformátore je možné rozdeliť na:

- **Straty naprázdno** – v náhradnej schéme sú reprezentované R_{Fe} . Vznikajú v materiáli jadra transformátora. Medzi straty naprázdno patria hysterézne straty (závislé od veľkosti frekvencie) a straty vírivými prúdmi. Straty naprázdno sú činného charakteru.
- **Straty nakrátko** (jalové straty) – vznikajú prechodom prúdu vinutiami transformátora.
- **Doplniteľné straty transformátora** – straty vírivými prúdmi vo vinutiach transformátora. Straty majú jalový charakter.
- **Straty v dielektriku** – veľkosť týchto strát je v porovnaní s ostatnými veľmi malá a preto je možné ich zanedbať.

2.5.4.4 Regulácia výstupného napätia transformátorov

V prípade, že transformátor je vybavený prepínačom odbočiek, je možné za pomoci takéhoto transformátora regulovať napätie v sieti. Napätie je možné regulovať ako na strane NN, tak aj na strane VN.

- 1.) **Regulácia napätia na strane VN** - strana VN má väčší počet závitov ako N, t.j. regulácia sa môže robiť jemnejšie, pracuje sa na strane vyššieho napätia a pri menších prúdoch. Nevýhodou je možná zmena magnetického toku, t.j. zmena zaťaženia a využitia magnetického jadra, ako to vyplýva z nasledovného vzťahu:

$$U_1 = 4,44f\phi N \quad \rightarrow \quad \frac{U_1}{N_1} \sim \frac{U_{i1}}{\downarrow N_1} = \uparrow U_{zav} \sim \phi.$$

Zmenšovaním počtu závitov N_1 sa zvýši magnetický tok ϕ , zvýši sa napätie na závit U_{zav} a tým aj výstupné napätie U_2 .

2.) **Regulácia napätia na strane NN** - magnetický tok je stále rovnaký, železné jadro je plne využité, regulácia sa uskutočňuje vo väčších krokoch pri nižšom napätí a pri vyšších prúdoch:

$$\frac{U_1}{N_1} = \text{konšt.} \rightarrow \phi = \text{konšt.} \rightarrow U_{zav} = \text{konšt.}$$

$$U_{i2} \doteq U_2 = U_{zav} N_2.$$

Magnetický tok a teda aj napätie na závit U_{zav} je konštantný. Zmenšovaním počtu závitov N_2 klesá napätie U_{i2} a tým klesá aj napätie U_2 : $\downarrow U_{i2} = U_{zav} N_2 \downarrow$ a opačne.

2.5.4.5 Parametre transformátorov

Štítkové a katalógové údaje transformátorov:

- Nominálny výkon transformátora S_n [kVA]
- Prevod transformátora $p = U_1/U_20$ [-]
- Percentuálne napätie nakrátko u_k [%]
- Zapojenie transformátora $Yy, Yd, Dy,$
- Nominálne napätie primárneho vinutia U_1 [V]
- Nominálne napätie sekundárneho vinutia U_2 [V]
- Nominálne napätie terciárneho vinutia U_3 [V]
- Straty naprázdno ΔP_0 [W]
- Straty nakrátko ΔP_k [W]
- Percentuálny prúd naprázdno i_0 [%]
- Percentuálne napätie nakrátko u_k [%]

2.5.4.6 Tabuľkové hodnoty dvojinuťových transformátorov

Tabuľka 4 - hodnoty 2vinuťových TR

Meno	S-inst [MV A]	Un1 [kV]	Un2 [kV]	I max.1 [A]	I max.2 [A]	Straty naprázdno [kW]	Prúd naprázdno [A]	Straty nakrátko [kW]	Napätie nakrátko [%]	R0/R1	Prevod na odbočku	Odb. min	Odb. max	Odb. men. min.	Odb. men. max.	Regulácia (P/S)	Typ zapojeni a prim.	Typ zapojeni a sek.	Hodí nový uhol
TRf-250-400/121	250	400	121	361	1195	250	0.38	864	12.89	0.9	1.87	1	20	10	10	Primár	Y	Y	0
TRF-40-110/23	40	110	23	209	1004	25	0.38	86	12.89	0.9	1.736	0	20	10	10	Primár	Y	Y	0
TRF-200-231/121	200	231	121	500	955	33	0.38	208	8.45	0.9	1.87	-9	9	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_630_S	0.63	35	0.4	10.4	909.3	1.313	1.44	7.952	5.8	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_630_NJ	0.63	35	0.4	10.4	909.3	1.45	0.8	7.6	6.3	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_630_N	0.63	35	0.4	10.4	909.3	0.771	0.18	7.055	6.2	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_400_S	0.4	35	0.4	6.6	577.4	1.163	1.7	5.972	6	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_400_NJ	0.4	35	0.4	6.6	577.4	0.573	0.22	4.493	5.81	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_400_N	0.4	35	0.4	6.6	577.4	0.597	0.23	4.973	5.8	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_250_S	0.25	35	0.4	4.1	360.8	0.8	2.4	4.3	6	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_250_NJ	0.25	35	0.4	4.1	360.8	0.436	0.26	3.42	4.18	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_250_N	0.25	35	0.4	4.1	360.8	0.426	0.19	3.48	4.2	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_160_S	0.16	35	0.4	2.6	230.9	0.578	1.32	2.358	5.7	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_160_NJ	0.16	35	0.4	2.6	230.9	0.309	0.36	2.352	4.19	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_160_N	0.16	35	0.4	2.6	230.9	0.289	0.89	2.249	4	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_100_S	0.1	35	0.4	1.6	144.3	0.393	1.58	1.86	6.2	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_100_NJ	0.1	35	0.4	1.6	144.3	0.209	0.54	1.751	4.11	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
35_04_100_N	0.1	35	0.4	1.6	144.3	0.236	0.27	1.805	3.9	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_630_S	0.63	22	0.4	16.5	909.3	1.291	0.79	7.262	6.1	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_630_NJ	0.63	22	0.4	16.5	909.3	0.771	0.21	6.833	6.8	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_630_N	0.63	22	0.4	16.5	909.3	0.67	0.14	6.909	6	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_400_S	0.4	22	0.4	10.5	577.4	1.095	1.41	8.154	6.2	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_400_NJ	0.4	22	0.4	10.5	577.4	0.573	0.22	4.493	5.81	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_400_N	0.4	22	0.4	10.5	577.4	0.515	0.26	4.858	5.7	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_315_S	0.315	22	0.4	8.3	454.7	1.1	1.5	8	6	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_250_S	0.25	22	0.4	6.6	360.8	0.7	1.34	3.743	4	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_250_NJ	0.25	22	0.4	6.6	360.8	0.436	0.27	3.354	4	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0

Meno	S-inst [MV A]	Un1 [kV]	Un2 [kV]	I max.1 [A]	I max.2 [A]	Straty naprázdno [kW]	Prúd naprázdno [A]	Straty nakrátko [kW]	Napätie nakrátko [%]	R0/R1	Prevod na odbočku	Odb. min	Odb. max	Odb. men. min.	Odb. men. max.	Regulácia (P/S)	Typ zapojeni a prim.	Typ zapojeni a sek.	Hodi nový uhol
22_04_250_N	0.25	22	0.4	6.6	360.8	0.477	0.48	3.28	4	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_200_S	0.2	22	0.4	5.2	288.7	1.15	5.4	4	4.2	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_160_S	0.16	22	0.4	4.2	230.9	0.741	2.62	3.633	4.2	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_160_NJ	0.16	22	0.4	4.2	230.9	0.285	0.25	2.29	4.5	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_160_N	0.16	22	0.4	4.2	230.9	0.305	0.45	2.264	3.9	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_100_S	0.1	22	0.4	2.6	144.3	0.465	2.81	2.679	4.3	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_100_NJ	0.1	22	0.4	2.6	144.3	0.2	0.26	1.783	3.9	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
22_04_100_N	0.1	22	0.4	2.6	144.3	0.208	0.36	1.783	4	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_630_S	0.63	10	0.4	34.64	909.3	1.8	1.19	8	6.1	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_630_NJ	0.63	10	0.4	34.64	909.3	0.77	0.17	6.801	6	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_630_N	0.63	10	0.4	34.64	909.3	0.723	0.26	6.864	6.1	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_400_S	0.4	10	0.4	23.1	577.4	1.1	1.4	8.68	6.2	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_400_NJ	0.4	10	0.4	23.9	577.4	0.57	0.25	4.786	6.3	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_400_N	0.4	10	0.4	23.1	577.4	0.548	0.28	4.886	5.7	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_250_S	0.25	10	0.4	14.4	360.8	0.62	1.7	3.4	4.2	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_250_NJ	0.25	10	0.4	14.4	360.8	0.407	0.26	3.235	4.13	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_250_N	0.25	10	0.4	14.4	360.8	0.366	0.85	3.271	3.9	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_160_S	0.16	10	0.4	9.2	230.9	0.575	1.78	2.749	4.4	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_160_NJ	0.16	10	0.4	9.2	230.9	0.291	0.28	2.279	3.81	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_160_N	0.16	10	0.4	9.2	230.9	0.284	1.41	2.303	3.9	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_100_S	0.1	10	0.4	5.8	144.3	0.34	2.3	2.23	4.2	2	5	-1	1	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_100_NJ	0.1	10	0.4	5.8	144.3	0.205	0.3	1.724	3.78	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0
10_04_100_N	0.1	10	0.4	5.8	144.3	0.368	1.25	1.872	3.6	2	2.5	-2	2	0	0	Primár	Y	Y	0

2.5.4.7 Tabuľkové hodnoty trojvinuťových transformátorov

Tabuľka 5 - hodnoty 3vinuťových TR

Názov	TR3-200- 231/121/22	TR3-250- 400/121/10_5	TR3-40- 110/23/10_5
Sn prim. [MVA]	0.2	0.25	0.04
Sn sek. [MVA]	0.2	0.25	0.04
Sn ter. [MVA]	0.1	0.1	0.02
Un1 [kV]	231	400	110
Un2 [kV]	121	121	23
Un3 [kV]	22	10.5	10.5
I max.prim. [A]	500	361	209
I max.sek. [A]	955	1195	1004
I max.ter. [A]	3180	5780	1099
Straty naprázdno [kW]	33	250	25
Prúd naprázdno [A]	0.38	0.38	0.38
Straty nakrátko 1/2 [kW]	208	864	86
Straty nakrátko 1/3 [kW]	104.1	400	40
Straty nakrátko 2/3 [kW]	104.1	400	40
Napätie nakrátko 1/2 [%]	8.45	12.89	12.89
Napätie nakrátko 1/3 [%]	8.45	13.11	13.11
Napätie nakrátko 2/3 [%]	12.45	6.71	6.71
R0/R1	0.9	0.9	0.9
X0/X1	0.9	0.9	0.9
Prevod na odb.	1.87	1.87	1.736
Odbočka min.	-9	1	0
Odbočka max.	9	20	20
Odb.nom.min.	0	10	10
Odb.nom.max.	0	10	10
Regulácia (P/S)	Primár	Primár	Primár
Typ zapojenia prim.	Y	Y	Y
Typ zapojenia sek.	Y	Y	Y
Typ zapojenia ter.	Y	Y	Y

2.5.5 Spínacie prvky

Za pomoci spínacích prvkov je možné meniť topológiu siete a spínať jednotlivé zariadenia alebo častí sústavy.

Typy spínacích prvkov:

- Vypínač – spínací prvok schopný vypínania pod zaťažením. Hlavným parametrom pri výbere vypínača je jeho maximálny vypínací prúd. Jedná sa o garantovanú hodnotu prúdu, pri ktorom je vypínač schopný prerušiť obvod bez jeho poškodenia.
- Odpájač – sa používa na viditeľné rozpojenie obvodu. Nie je možné ho používať pod zaťažením, môže byť však pod napätím. Jeho pohon môže byť buď ručný, tlakovzdušný alebo elektrický.
- Odpínač
- Poistka
- Uzemňovač
- Skratovač

2.5.5.1 Parametre spínacích prvkov

Vo všeobecnosti je možné spínacie zariadenia charakterizovať týmito parametrami:

- **Nominálne napätie UN (kV)** – toto napätie by malo byť rovné najvyššiemu napätiu v sústave.
- **Nominálny prúd IN (A)** – zodpovedá maximálnemu prevádzkovému zaťaženiu. Menovitým prúdom sa nesmú časti prístroja zohriať nad dovolenú hranicu.
- **Nominálna frekvencia fN (Hz)**
- **Nominálne zotavné napätie UC (V)** – napätie, ktoré sa objaví na kontaktoch vypínača po prerušení prúdu. Je definované prekmitom, strmou a rezonančnou frekvenciou.
 - prekmit zotaveného napätia p (kV)
 - maximálna hodnota UC
 - strmota zotaveného napätia S (kV/μs)
 - nárast zotaveného napätia
 - rezonančná frekvencia fr
 - frekvencia zotaveného napätia
- **Nominálny skratový vypínací prúd I_{vyp} (kA)** – je prúd, ktorý udáva výrobca a prístroj je ho za predpísaných podmienok (zotavené napätie, účinník, spínacie poradie...) schopný bez poškodenia vypnúť:

$$I_{vyp} \geq I_k'' \quad (\text{kA}; \text{kA})$$

kde I_k'' je počiatočný rázový súmerný skratový prúd pri najnepriaznivejších podmienkach.

- **Nominálny vypínací prúd odpínača** – je prúd odpínača, ktorý udáva výrobca a prístroj je ho za predpísaných podmienok (zotavené napätie, účinník, spínacie poradie...) schopný bez poškodenia vypnúť. U odpínačov sa udáva vypínací prúd pre prevažne činnú záťaž ($\cos \varphi = 0,7$), pre kapacitnú a pre indukčnú záťaž.
- **Nominálny zapínací prúd I_Z** – prúd, ktorý spínací prístroj bez poškodenia zapne. Prichádza do úvahy pri zapínaní do skratu, ktorého minimálna hodnota je $I_Z = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{vyp}$. Spínací prístroj vyhovuje, ak je splnená podmienka:

$$I_Z \geq I_{km} \quad (\text{kA}; \text{kA}),$$

kde I_{km} je celkový nárazový skratový prúd.

- **Jednosmerná zložka skratového prúdu I_{JS} (%)** – veľkosť jednosmernej zložky skratového prúdu, pri ktorej vypínač spoľahlivo rozpojí obvod. Udáva sa v percentách vypínacieho skratového prúdu.
- **Dynamický prúd I_{DYN}** – maximálna vrcholová hodnota prúdu, ktorú prístroj znesie bez poškodenia vplyvom elektromagnetických síl. Prístroj vyhovuje, ak:

$$I_{dyn} \geq I_{km} \quad (\text{kA}; \text{kA}),$$

- **Nominálny krátkodobý výdržný prúd I_K** – prúd, ktorý prístroj krátkodobo znesie bez poškodenia alebo prehriatia sa. Zvyčajne sa udávajú hodnoty pre skrat trvajúci 1 a 3 s.
- **Vypínací čas t_{VYP}** – čas od impulzu vypnutia až do prerušenia prúdu.
- **Zapínací čas t_{ZAP}** – čas od impulzu zapnutia až po zopnutie kontaktu.
- **Čas trvania oblúku t_{OBL}** – čas od vzniku oblúka až po jeho uhasenie.
- **Počet zopnutí skratového prúdu**
- **Počet rozopnutí skratového prúdu**
- **Počet zopnutí/rozopnutí nominálneho prúdu**
- **Mechanicky prípustný počet zopnutí**
- **Dovolené mechanické namáhanie** statickými a dynamickými silami vo vodičoch.
- **Vypínacia charakteristika** – grafická závislosť vypínacej doby od prúdového zaťaženia.

2.5.5.2 Vypínače

V elektrizačnej sústave nastávajú stavy, kedy je potrebné vypnúť časť obvodu aj počas prevádzky t.j. pod zaťažením. Takýmto stavom môže byť napríklad porucha. Pre bezpečné vypnutie prúdových obvodov sa používajú vypínače. Vypínač musí byť preto dimenzovaný podľa predpokladaných hodnôt skratového prúdu.

Podľa konštrukčného vyhotovenia môžeme vypínače rozdeliť na:

- **Plynotvorné** s tuhým hasivom, ktoré vplyvom elektrického oblúka vytvára plyn pôsobiaci ako zhášacie médium (plyn vytesňuje vzduch potrebný pre horenie oblúka).
- **Olejové**, kde systém kontaktov je ponorený v oleji, ktorý zháša elektrický oblúk. Nevýhodou je veľké množstvo oleja a jeho horľavosť.
- **Expanzné**, kde zhášacie médium je voda s prímiesou proti zamrznutiu. Elektrický oblúk vytvorí vodnú paru, ktorá expanduje. Svojím prúdením a prítomnosťou v zhášacom prostredí spôsobuje ochladenie a uhasenie oblúka. Nevýhodou je zvyšková vodivosť expanzínu a preto musel byť vypínač doplnený vlastným odpájačom.
- **Máloolejové** pracujú na podobnom princípe ako expanzné, ale nemajú zvyškovú vodivosť, olej tvorí len zhášacie médium a je ho menej ako pri olejovom. Pohon je ručný, elektromotorický alebo pneumatický.
- **Tlakovzdušný vypínač** používa na uhasenie oblúka a na ovládanie pohybu kontaktov stlačený vzduch s tlakom 1 – 2,5 MPa. U tlakovzdušných vypínačov sa k zhášaniu elektrického oblúka používa stlačený vzduch, ktorý sa vháňa do priestoru medzi kontaktmi.
- **Vypínače s elektronegatívnymi plynmi** sú vypínače, u ktorých sa oblúk zháša v prostredí elektronegatívneho plynu (freón, hexafluorid síry - SF₆). SF₆ má pri atmosférickom tlaku 3 krát väčšiu priernú pevnosť ako vzduch (vzduch má priernú pevnosť 3 kV/mm), pri tlaku 0,2 MPa má SF₆ priernú pevnosť oleja.
- **Vákuový vypínač** má dobrú vypínaciu schopnosť a malé rozmery vďaka veľmi jednoduchému kontaktnému systému s malým zdvihom, ktoré nevyžadujú údržbu. Oblúk sa vytvára len zo splynovania kontaktného materiálu. Vákuový vypínač vypína v prvej nule prúdu. Vákuový vypínač je vhodný k vypínaniu striedavých prúdov, nie je vhodný pre jednosmerný prúd.

2.5.5.2.1 Tabuľkové údaje vákuových vypínačov pre 22 kV vedenia

Tabuľka 6 - údaje vákuových vypínačov

Parameter	Hodnota
U_N	25 kV
I_N	630 ÷ 2500 A

Parameter	Hodnota
f_N	50 Hz
U_C	záleží od U_N , zvyčajne $U_C = 1,7 \times U_N$
S	0,34 ÷ 0,57 kV/μs
I_{VYP}	12 ÷ 25 kA
I_Z	25 ÷ 62,5 kA, väčšinou platí $I_Z = 2,5 \times I_{VYP}$
I_{DYN}	25 ÷ 62,5 kA, väčšinou platí $I_{DYN} = I_Z$
$I_{kt=1s}$	16 ÷ 25 kA, zvyčajne rovný I_{VYP}
$I_{kt=3s}$	16 ÷ 25 kA, zvyčajne rovný I_{VYP}
t_{VYP}	40 ÷ 60 ms
t_{ZAP}	30 ÷ 60 ms
t_{OBL}	20 ms
počet zopnutí/rozopnutí menovitého prúdu	10000 ÷ 30000
počet rozopnutí skratového prúdu	Cca 100
počet zopnutí skratového prúdu	Cca 100
mechanicky prípustný počet zopnutí	30000

2.5.5.3 Odpájače

Po vypnutí obvodu vypínačom je potrebné uskutočniť bezpečné a hlavne viditeľné odpojenie daného obvodu. Za týmto účelom sa využívajú odpínače. Odpínač nemôže vypínať prúdové obvody, nakoľko nie je dimenzovaný na také vysoké prúdy, obvod však môže byť pod napätím. Odpínače sa využívajú najmä pri vykonávaní údržby či opravách zariadení.

Podľa účelu delíme odpájače na:

- **prípojnicové**, ktoré zaisťujú viditeľné odpojenie odbočky od systému prípojnic,
- **vývodové**, ktoré zaisťujú viditeľné odpojenie vedenia, či už káblového alebo vzdušného, od vypínača odbočky. Môžu byť vybavené uzemňovačmi (uzemňovacie nože), s ktorými je možné uzemniť hlavné nože odpájača, a tak spolu s ním aj určitú časť rozvodného zariadenia. Musia byť blokované tak, aby ich nebolo možné zapnúť, keď sú zapnuté kontakty hlavných nožov a naopak.

Podľa konštrukčného vyhotovenia poznáme odpájače:

- **Nožové**, ktoré sa skladajú zo základného rámu, na ktorom sú umiestnené podperné izolátory. Podperné izolátory sú umiestnené v dvoch radoch. Na troch spodných izolátoroch sú upevnené ložiská s pohyblivými nožmi a na protiľahlých troch izolátoroch sú pevne uložené perové kontakty.
- **Rotačné**, u ktorých má každý pól dva otočné izolátory nesúce spínacie zariadenie, ktoré sa pohybuje v rovine rovnobežnej so základným rámom.
- **Pantografické**, u ktorých sa kontakty pohybujú vo zvislej rovine.
- **Sklápacie**, u ktorých sa spínacia pohyblivá časť sklápa v rovine pólův okolo čapu v ložisku na jednom izolátore.

2.5.5.3.1 Tabuľkové hodnoty odpájačov pre vedenia 22 kV sú uvedené v tabuľke

Tabuľka 7 - hodnoty odpájačov pre 22 kV

Parameter	Hodnota
U_N	25 kV
I_N	400-1250 A
f_N	50 Hz
$I_{kt=1s}$	16 ÷ 20 kA
$I_{kt=3s}$	16 ÷ 25 kA
$t_{ZAP/VYP}$	3-20s v závislosti od typu pohonu
I_{dyn}	40 – 50 kA
t_{OBL}	20 ms
Nominálny počet operácií	Cca 3 000 cyklov

2.5.6 Recloser

Recloser je diaľkovo ovládané zariadenie používané v distribučných sústavách za účelom opätovného uvedenia vypnutého vedenia do prevádzky po uplynutí určeného času. Recloser musí byť schopný spínať nominálne aj skratové prúdy. Súčasťou reclosera je okrem vypínača aj meracia a riadiaca jednotka. Recloser sa umiestňuje priamo na stožiar VN spolu s doplniteľnými zariadeniami ako anténa, transformátor napätia, ovládacia skriňa...

2.5.6.1.1 Orientačné hodnoty parametrov 22 kV recloserov

Tabuľka 8 - hodnoty parametrov 22 kV recloserov

Parameter	Hodnota
U_N	27 kV
I_N	Do 1,2 kA
nominálny skratový prúd – efektívna hodnota	12,5 kA
menovité výdržné napätie za sucha po dobu 1 min	60 kV
menovité výdržné napätie za mokra po dobu 10 s	50 kV
t_{ZAP}	< (55 - 100) ms
T_{VYP}	< (30 – 50) ms
Počet zopnutí bez údržby	10 000 cyklov

2.5.7 Polovodičové meniče

AC → DC – usmerňovače (rectifiers) v priemysle: nabíjačky akumulátorov, zväračky, elektrolýza, telekomunikácie; v elektrickej trakcii: koľajové vozidlá na AC prúd, napájanie DC elektrifikovaných tratí; v energetike: napájanie budenia synchronných generátorov, HVDC prenosy a ďalšie.

DC → AC – striedače (inverters) zdroje neprerušovaného napájania UPS, automobilové meniče = 12- 4V/~230V, súčasť nepriamych VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) meničov pre pohony, fotovoltaické elektrárne, HVDC (High Voltage DC) energetické prenosy a iné.

DC → DC – jednosmerné meniče (DC converters) - napájanie DC zariadení, súčasť SMPS zdrojov, regulácia jednosmerných motorov; v elektrickej trakcii: regulácia trakčných motorov, dobíjanie akumulátorov a pod.

AC → AC – striedavé meniče (AC converters) - regulácia univerzálnych motorov; v priemysle: elektrické ručné náradie; v domácnosti: vysávače, mixéry, kuchynské roboty, stmievače osvetlenia, regulácia tepelných spotrebičov a iných.

Spätňý vplyv polovodičových meničov na napájaciu sieť a okolie

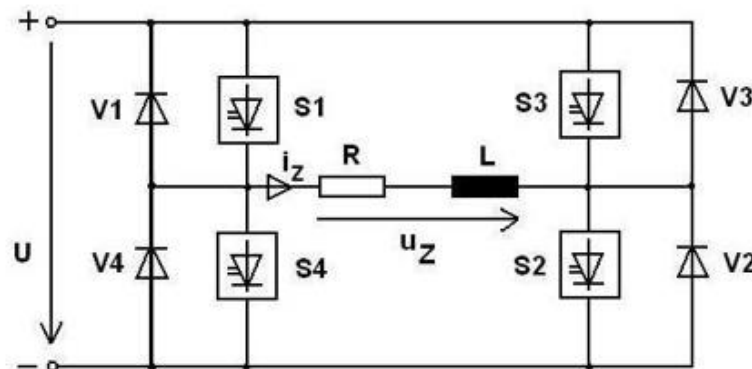
- zhoršovanie účinníka siete (reaktívny výkon),
- vplyv vyšších harmonických napájacieho prúdu (THD I),
- deformácia striedavého napájacieho napätia (THD U),
- vysokofrekvenčné rušenie (EMC).

2.5.7.1 Striedač

Striedače sú zariadenia určené na zmenu DC prúdu na AC prúd požadovanej frekvencie. Striedače v závislosti od typu sú určené pre napájanie elektronických systémov, zariadení výpočtovej, meracej a regulačnej techniky a ostatných systémov. Veľkou prednosťou väčšiny typov striedačov je galvanické oddelenie vstupu od výstupu.

Typy striedačov:

- Autonómny striedač – pracuje s nútenou komutáciou alebo premenlivou výstupnou frekvenciou, ktorej veľkosť je určená riadiacimi obvodmi striedača.
- Trojfázový striedač – pridaním jednej vetvy s tranzistormi a diódami k schéme jednofázového striedača dostaneme trojfázový striedač.
- Viac hladinové striedače – používajú sa ako náhrada striedačov pre veľké napätie.



Obrázok 15 – schéma 1fázového striedača

2.5.7.2 Menič

Menič mení jednosmerný prúd na striedavý. Hoci menič spotrebováva istú časť energie na svoju prevádzku, takto vyrobená elektrina má rovnaké vlastnosti ako elektrina z verejnej elektrickej siete.

Menič je zariadenie, ktoré mení jednosmerný prúd z batérie na striedavý (220 V, 50 Hz resp. iné hodnoty). Meniče sú dodávané v rôznych veľkostiach podľa svojho výkonu od asi 250 W až po viac ako 8 000 W. Moderné meniče sú schopné dodávať elektrickú energiu oveľa lepšej kvality ako bežné elektrárne a prenosová sústava. Menej kvalitné meniče však môžu spôsobovať šum v niektorých

elektronických prístrojoch. Sú tiež schopné pracovať ako "buffer" medzi solárnym (domácim) systémom a rozvodnou sieťou, a tak umožniť predávanie nadbytočnej elektriny do siete.

Meniče napätia a frekvencie sa v elektrických pohonoch používajú vtedy, ak je potrebné zmeniť napäťové alebo frekvenčné parametre siete, ktorá je k dispozícii. Statické meniče napätia a frekvencie sa skladajú z tyristorov, riadiacich a komutačných obvodov. Riadiace obvody umožňujú automatické riadenie celého pohonu. Komutačné obvody umožňujú zapínanie a vypínanie tyristorov. Menič napätia s fázovým riadením sa napája striedavým napätím a mení jeho veľkosť pomocou fázového posunu spúšťacích impulzov. Impulzné meniče sa využívajú napr. v pohonoch električiek na takmer bezstratové riadenie rýchlosti jazdy.

Podľa vyhotovenia ich rozdeľujeme na:

- točivé,
- statické.

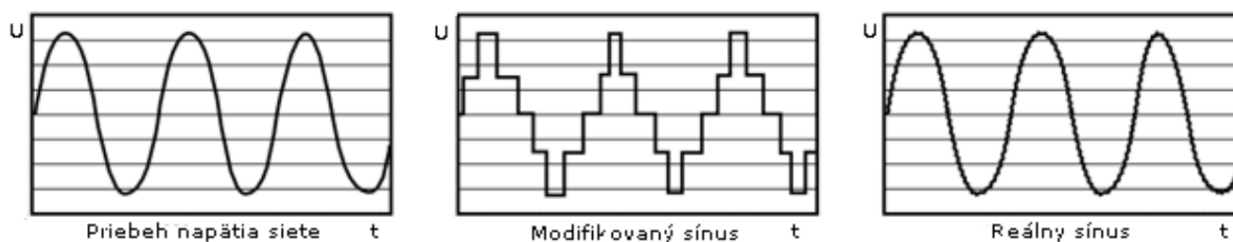
Na bezstratové riadenie menších striedavých prúdov sa používajú triaky, ktorých vlastnosti zodpovedajú vlastnostiam dvoch antiparalelne spojených tyristorov.

Možnosť riadiť veľkosť napätia sa využíva napr. pri stmievačoch žiaroviek, na riadenie jednofázových komutátorových motorov vo vysávačoch, vŕtačkách...

Meniče frekvencie rozdeľujeme na:

- priame – cyklokonvertory,
- nepriame - usmerňovače so striedačmi.

Na nasledujúcom obrázku vidieť priebehy výstupných napätí meničov: 1. Priebeh napätia siete, 2. Priebeh napätia meniča s modifikovanou sínusoidou, 3. Priebeh napätia meniča s reálnou sínusoidou.



Obrázok 16 - priebehy výstupných napätí meničov

Menič s modifikovanou sínusoidou: tento typ meniča je výhodný z hľadiska jednoduchšej výroby a ceny, je však sprevádzaný radom nevýhod, ktoré sa viažu k priebehu výstupného napätia, ktoré vytvára.

- Nevhodný pre: laserové tlačiarne, všetky spotrebiče, ktoré používajú tyristor (vŕtačky a vysávače s reguláciou založenou na posune fázy), pre zariadenia obsahujúce riadený usmerňovač, niektoré notebooky, digitálne hodiny s rádiom, medicínske zariadenia, audio a videotechnika (spôsobuje šum), žiarivky s klasickým štartérom. Ďalej znižuje účinnosť pripojených motorov a spôsobuje zahrievanie a celkové zníženie životnosti.
- Možno pripojiť: je vhodný na napájanie každej odporovej záťaže, poradia si s ním aj spotrebiče so spínaným napájacím zdrojom (počítače, televízory, moderné kompaktné žiarivky) a taktiež možno pripojiť spotrebiče s jednofázovým sériovým komutátorovým motorom (vysávač, mixér a pod.).

Menič s reálnou sínusoidou: Tento typ meniča je vhodný pre napájanie každého spotrebiča v domácnosti. Vďaka hladkému výstupnému napätiu sa tento priebeh najviac približuje priebehu napätia siete, jeho výroba je však náročnejšia a od toho sa odvíja aj cena.

- Vhodný pre každý typ odberu, výhodou je bezproblémovosť pripojených spotrebičov.

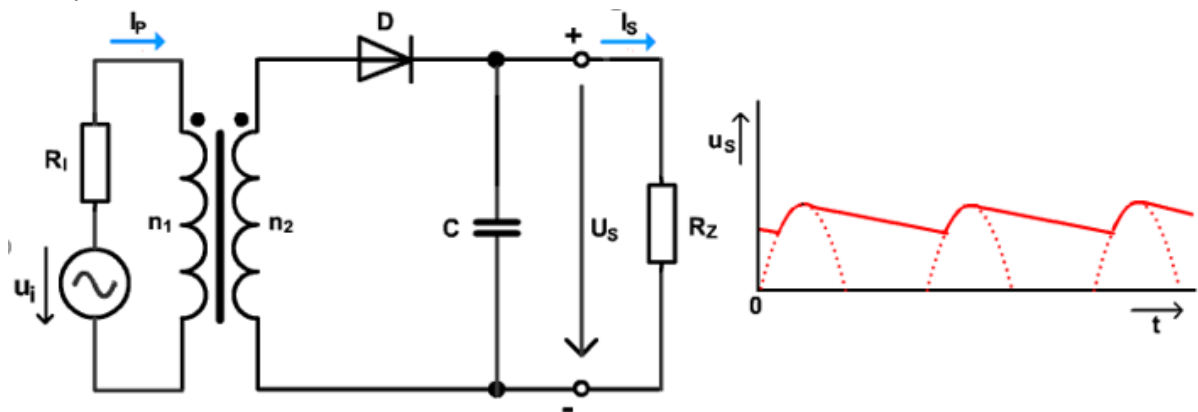
2.5.7.3 Usmerňovač

Usmerňovače sa delia na:

- elektrónkové,
- výbojkové,
- polovodičové.

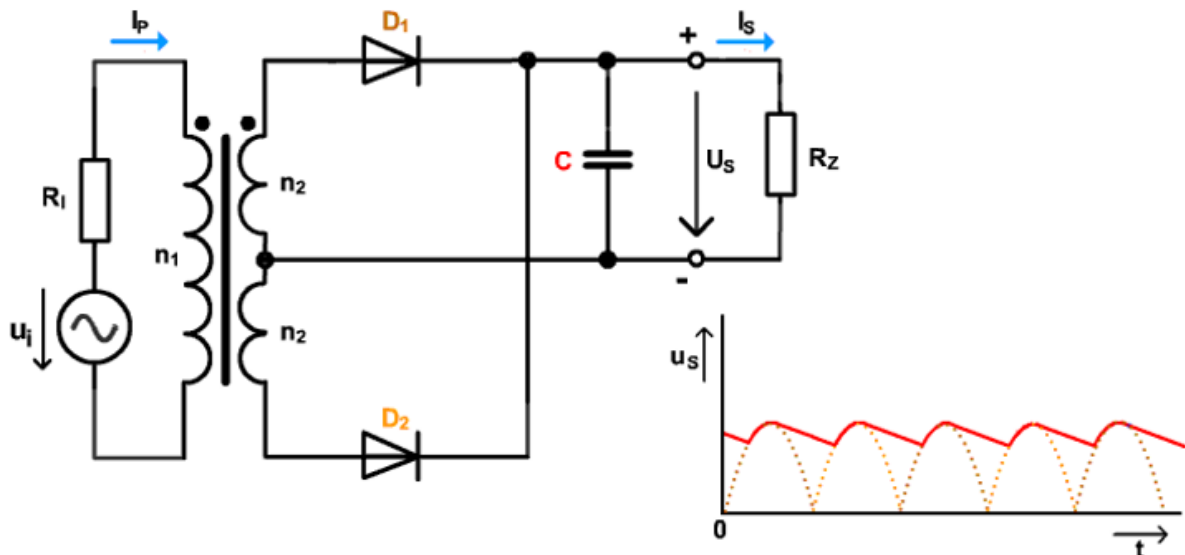
Podľa konštrukcie sa rozdeľujú na:

- Jednocestné - jednocestný usmerňovač je z troch základných druhov zapojení najjednoduchší a najlacnejší. Nevýhodou jednocestných usmerňovačov je veľké zvlnenie usmerneného prúdu. Používa sa preto tam, kde sa na výsledok usmernenia nekladú osobitné požiadavky. Dióda prepúšťa prúd len v kladných polperiódach a počas zápornej polperiódy neprepúšťa prúd.



Obrázok 17 - jednocestný usmerňovač

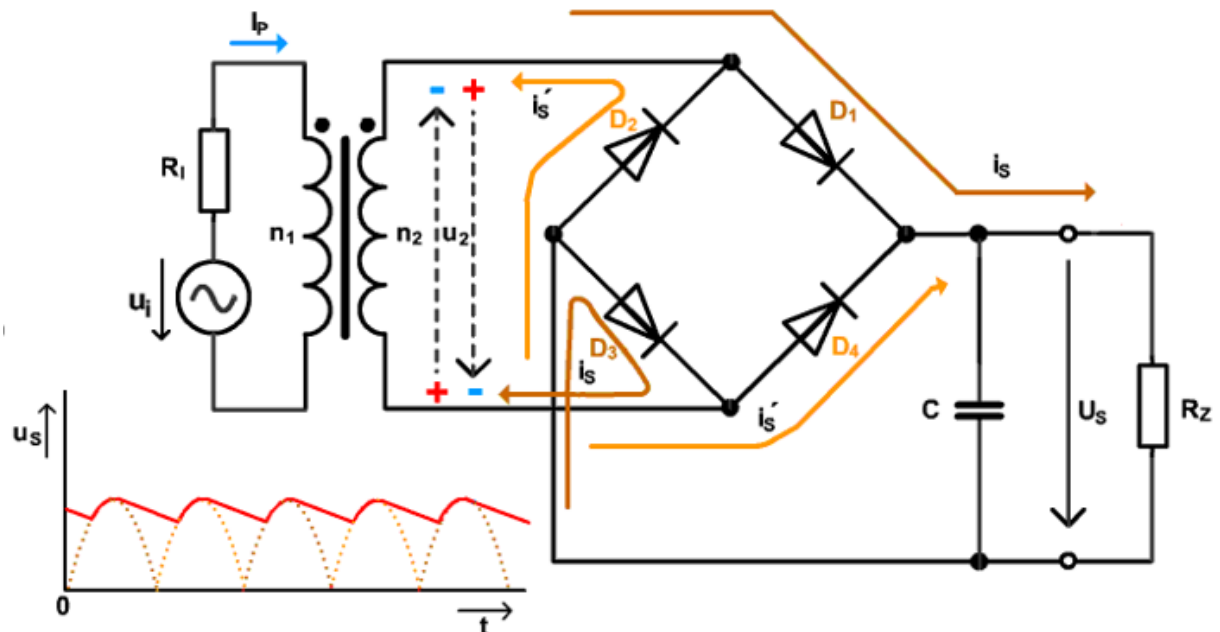
- Dvojcestné – v praxi sa najčastejšie používajú dvojcestné mostíkové usmerňovače.



Obrázok 18 - dvojcestný usmerňovač

- Mostíkové (Graetzovo) zapojenie usmerňovača - usmernenie obidvoch polvln striedavého prúdu bez špeciálneho transformátora s dvojitém sekundárnym vinutím umožňuje mostíkový usmerňovač. Oproti dvojcestnému zapojeniu má výhodu, že potrebuje len polovičné napätie sekundárneho vinutia pri rovnakom usmernenom napätí. Diódy môžu mať taktiež nižšie

inverzné napätie a transformátor je menší ako pri dvojcestnom usmerňovači rovnakého výkonu. Mostíkový usmerňovač umožňuje dvojcestné usmernenie aj bez použitia transformátora.



Obrázok 19 - mostíkové zapojenie usmerňovača

Pri prenose elektrickej energie DC vedeniami sa používa na jednej strane vedenia výkonový tyristorový usmerňovač (konvertor), na druhej strane vedenia zase tyristorový striedač (inventor). Ak sa vyžaduje vratný chod (t.j. obidvoma smermi), môže konvertor pracovať v režime invertora pri fázovom posune väčšom ako 90° a menšom ako 180° , pričom prúd prechádza vedením rovnakým smerom pri zmenenej polarite vedenia. Výhodnejšia je zmena smeru prúdu prepojením svoriek v rozvodnej stanici, pričom polarita vedenia zostane zachovaná. Na jednosmerný prenos sa používajú dva vodiče, výnimočne aj jeden.

Na väčšie výkony sa najmä v priemysle používajú polovodičové usmerňovače napájané z trojfázovej siete.

2.5.8 Kompenzačné zariadenia

Nakoľko v ES sú striktné pravidlá na kvalitu elektrickej energie, je potrebné inštalovať kompenzačné zariadenia. Tieto slúžia na reguláciu napätia, účinníka či vyšších harmonických. Medzi kompenzačné zariadenia patria napr. reaktory, tlmivky, sériové kondenzátory, statcom.

2.5.8.1 Reaktor

Reaktory svojimi parametrami zväčšujú reaktanciu obvodu a tým obmedzujú skratové prúdy. Konštrukčne sa jedná o cievky bez jadra, môžu byť jednofázové a trojfázové, vzduchové alebo olejové. Reaktory sa zaraďujú napr. medzi pozdĺžne delené prípojnice, na začiatky vedení, do odbočiek pre HDO, tiež medzi terciárne vinutia transformátorov a prípojnice vlastnej spotreby a pod.

2.5.8.2 Tlmivka

Tlmivka je vlastne reaktor bez železného jadra. Tlmivky slúžia ako kompenzačné členy najmä v prenosových sústavách pri kompenzácii kapacitných prúdov málo zaťažených vedení a na

spomalenie nárastu obnovených napätí. Môžu sa inštalovať do špeciálnych elektrických staníc – kompenzovní. V SR sa ale pripojujú k terciáru transformátorov vo veľkých transformačných staniciach. Kompenzačné tlmivky sú obvykle olejové a konštrukčne podobné transformátorom. Vyrábajú sa aj pre najvyššie napätia s výkonmi až stovky MVar.

Ďalšími druhmi tlmiviek sú zhášacie tlmivky (Petersenove) slúžiace na kompenzáciu prúdov vznikajúcich pri zemnom spojení. Zapojujú sa medzi stred transformátora a zem. Konštrukčne sú to cievky so železným jadrom, ktorých indukčnosť sa mení posuvom železného jadra alebo prepínaním odbočiek. Ich výkony sú od 50 kVA do 4 MVA a zodpovedajú zemnému kapacitnému prúdu kompenzovanej siete. Chladenie býva olejové.

Pri vyšších kapacitných prúdoch v káblových sieťach sa namiesto tlmivky používa uzemnenie cez odporník. Zhášacia tlmivka sa k uzlu transformátora pripojuje cez odpájač a odporúča sa zaradiť aj poistku. Na ochranu tlmivky proti prepätiu sa k uzlu pripojujú aj bleskoistka.

2.5.8.2.1 Tabuľkové hodnoty tlmiviek

Tabuľka 9 - hodnoty tlmiviek

Parameter	Popis
I_n	Menovitý prúd [A]
$U_{n,TL}$	Menovité napätie tlmivky (združené) [kV]
I_{th}	Menovitý krátkodobý prúd proti zemi [kA/1s]
I_{dyn}	Menovitý dynamický prúd [kA]
Druh	Druh kompenzačnej tlmivky: suchá, RODC, ...
Počet	Celkový počet 3-fáz. jednotiek [ks]
Q_n	Celkový menovitý výkon [MVar]
dP	Celkové činné straty pri I_n [kW]
L	Menovitá indukčnosť pre jednu 3-fáz. jednotku [mH]
X	Menovitá reaktancia pre jednu 3-fáz. jednotku [Ω]
Chladenie	Druh chladiaceho média kompenzačnej tlmivky: vzduch, ...
Zapoj. vinutí	Zapojenie vinutí: hviezda, ...
Mater. vinutí	Materiál vinutí: meď, ...
Typ uzla	Typ uzla: 1 - uzol (PQ) 2 - uzol (PU) s obmedzením dodávaného jalového výkonu 3 - uzol (UD) bilančný
Uhol	Záťažný uhol [°] - pri UD uzle je to požadovaný uhol napätia - pri PQ a PU uzloch je to počiatočná hodnota uhla napätia
G	Činná zložka priečnej vodivosti [S]
B	Jalová zložka priečnej vodivosti [S]
P_{odb}	Odoberaný činný výkon [MW]
Q_{odb}	Odoberaný jalový výkon [MVar]

2.5.8.3 Kompenzačné kondenzátory

V elektrických staniciach môžu byť inštalované kondenzátorové batérie pre skupinovú alebo centrálnu kompenzáciu jalového výkonu. V zariadeniach VN sa obvykle jedná o kondenzátorové rozvádzače, kde je v najjednoduchšom prípade kondenzátorová batéria s konštantným výkonom (FC –

Fixed Capacitors). Toto zariadenie je vhodné tam, kde sa výkon kompenzovaného spotrebiča nemení, alebo sa mení iba v malom rozsahu (neregulované pohony s asynchrónnymi motormi).

Kompenzátory s výkonom spínaným v niekoľkých stupňoch sa použijú v prípadoch, kedy nie je potrebná kompenzácia účinníka na určitú hodnotu, ale stačí kompenzácia do určitého pásma hodnôt. Tento spôsob kompenzácie je u nás v súčasnosti najviac rozšírený, využíva sa pásmo povolených hodnôt účinníka od 0,95 do 1 induktívneho charakteru. Pre možnosť kompenzovať účinník tam, kde sa jalový výkon s časom mení, boli postupne zavedené dynamické kompenzátory s využitím tyristorovo riadených tlmiviek (TCR – Thyristor Controlled Reactors) spolu s nepremennými kondenzátormi, alebo s využitím tyristorovo spínaných kondenzátorov.

Podľa normy IEC 60681-1 je menovité napätie (UN) kondenzátora definované ako trvalé povolené prevádzkové napätie. Menovitý prúd (IN) kondenzátora je prúd tečúci kondenzátorom pri menovitom napätí (UN) na jeho svorkách pri predpoklade iba sínusového priebehu napätia a presnej hodnote generovaného jalového výkonu (KVar). Kondenzátory musia byť schopné trvalej prevádzky pri r.m.s. prúde (1,3 x IN). Z dôvodu kolísania napätia sú kondenzátory navrhnuté pre dočasné odolávanie prepätiu. Podľa požiadaviek normy sú kondenzátory navrhnuté napríklad na odolávanie požadovanému prepätiu rovnému 1,1 násobku UN, na 8 h počas 24 h.

Pre trojfázový výkon kondenzátora, ktorý je zapojený do trojuholníka, platí:

$$Q_C = 3 \cdot U_{zdr}^2 \cdot \omega \cdot C_\Delta$$

Pre trojfázový výkon kondenzátora zapojeného do hviezdy platí zdanlivo rovnaký vzťah:

$$Q_C = 3 \cdot U_f^2 \cdot \omega \cdot C_Y$$

Rozdiel medzi uvedenými vzťahmi spočíva vo veľkosti napájacích napätí. Kým pri zapojení do trojuholníka sú kondenzátory priložené na združené napätie $U_{zdr} = 3 \times 230 \text{ V}$, pri zapojení do trojuholníka sú napájané napätím $U_{zdr} = 230 \text{ V}$.

Český výrobca kondenzátorov ZEZ Silko navrhuje použiť kondenzátory s menovitou hodnotou 440 V pri THDU vyššom ako 2% a nižšom ako 3,5%.

2.5.8.3.1 Tabuľka NN kondenzátorov od Schneider-electric:

Tabuľka 10 – NN kondenzátory (Schneider electric)

Menovité napätie 380/400/415 V										
50 Hz				60 Hz				μF (X3)	Kód obalu	Katalógové číslo
Q_N (kvar)		I_N (A)		Q_N (kvar)		I_N (A)				
380 V	400 V	415 V	pri 400 V	380 V	400 V	415 V	pri 400 V			
0,9	1	1,1	1,4	1,1	1,2	1,3	1,7	6,6	EC	BLRCS010A012B40
1,5	1,7	1,8	2,5	1,8	2	2,2	2,9	11,3	DC	BLRCS017A020B40
1,8	2	2,2	2,9	2,2	2,4	2,6	3,5	13,3	DC	BLRCS020A024B40
2,3	2,5	2,7	3,6	2,7	3	3,2	4,3	16,6	DC	BLRCS025A030B40
2,7	3	3,2	4,3	3,2	3,6	3,9	5,2	19,9	DC	BLRCS030A036B40
3,8	4,2	4,5	6,1	4,5	5	5,4	7,3	27,8	DC	BLRCS042A050B40
4,5	5	5,4	7,2	5,4	6	6,5	8,7	33,1	HC	BLRCS050A060B40
5,6	6,3	6,8	9,1	6,8	7,5	8,1	10,8	41,8	HC	BLRCS063A075B40
6,8	7,5	8,1	10,8	8,1	9	9,7	13	49,7	HC	BLRCS075A090B40
7,5	8,3	8,9	12	9	10	10,7	14,4	55,0	LC	BLRCS083A100B40
13,5	9,3	10,0	13,4	10,1	11	12,0	16	61,6	MC	BLRCS093A111B40
9,4	10,4	11,2	15	11,3	12,5	13,4	18	68,9	MC	BLRCS104A125B40
11,3	12,5	13,5	18	13,5	15	16,1	21,7	82,9	NC	BLRCS125A150B40
13,5	13,9	15,0	20,1	15,1	17	18,0	24	92,1	NC	BLRCS139A167B40
13,5	15	16,1	21,7	16,2	18	19,4	26	99,4	NC	BLRCS150A180B40
15,1	16,7	18	24,1	18,1	20	21,6	28,9	111	SC	BLRCS167A200B40
18,1	20	21,5	28,9	21,7	24	25,8	34,6	133	SC	BLRCS200A240B40
18,8	20,8	22,4	30	22,5	25	26,9	36	138	SC	BLRCS208A250B40
22,6	22,2	23,9	32,0	24,0	27	28,7	38,5	147	SC	BLRCS222A266B40
22,6	25	26,9	36,1	27,1	30	32,3	43,3	166	SC	BLRCS250A300B40
22,6	27,7	29,8	40,0	30,0	33	35,8	48,0	184	VC	BLRCS277A332B40

Tabuľka 11 – Hlavné charakteristiky a prevádzkové podmienky

Hlavné charakteristiky	
Normy	IEC 60831-1/-2
Rozsah napätia	230 až 830 V
Frekvencia	50 / 60Hz
Rozsah výkonu	1 až 50 kvar
Straty (dielektr.)	< 0,2 W/kvar
Straty (celkové)	< 0,5 W/kvar
Tolerancia kapacity	-5%, +10%
Napäťová skúška Medzi svorkami	2,15 x U_N (AC), 10 s
Medzi svorkami a obalom	≤ 525 V: 3 kV (AC), 10 s alebo 3,66 kV (AC), 2 s > 525 V: 3,66 kV (AC), 10 s alebo 4,4 kV (AC), 2 s
Impulzné napätie	≤ 690 V: 8 kV > 690 V: 12 kV
Vybíjací odpor	Zabudovaný, bežný čas vybitia 60 s

Prevádzkové podmienky	
Teplota okolia	-25 / 55 °C (Trieda D)
Vlhkosť	95 %
Nadm. výška	2 000 m nad morom
Prepätie	1,1 x U_N 8 h počas 24 h
Nadprúd	Až do 1,8 x I_N
Špičkový nárazový prúd	250 x I_N
Spínacie cykly (max.)	Až do 7,000 spínacích cyklov za rok
Stredná životnosť	Až do 130 000 hodín
Odolnosť na harmon. prúd	$N_{LL} \leq 20$ %

2.5.8.4 Výber spôsobu kompenzácie

Od umiestnenia NN kondenzátorov v inštalácii závisí spôsob kompenzácie, ktorá môže byť centrálna (z jedného miesta pre celú inštaláciu), po častiach (po jednotlivých sekciách), na úrovni

zát'aze, alebo to môžu byť rôzne kombinácie posledných dvoch spôsobov. V princípe je ideálne inštalovať kompenzáciu v mieste spotreby a o veľkosti, aká je potrebná v ľubovoľnom čase. V praxi však rozhoduje technické a ekonomické hľadisko. Umiestnenie kompenzačných rozvádzačov v elektrickej sieti je určené:

- celkovým účelom (predísť penalizácii za jalovú energiu) - odľahčenie transformátora a káblov, obmedzenie podpätia a kmitov,
- režimom prevádzkovania (stabilná alebo premenlivá zát'az'),
- predvídateľný vplyv kondenzátorov na charakteristiky siete,
- nákladmi na inštaláciu.

Centrálne kompenzácia

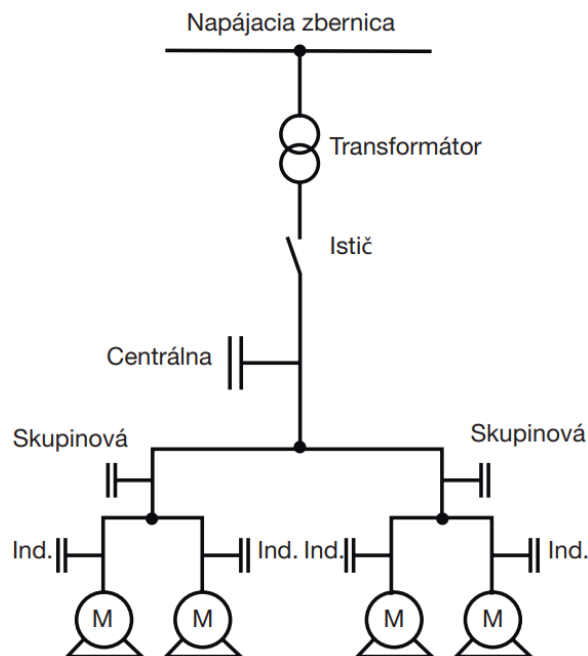
Kompenzačný rozvádzač je inštalovaný na začiatku celej inštalácie, ktorú chceme kompenzovať, aby poskytoval jalovú energiu celej inštalácii. Táto konfigurácia je vhodná pre stálu zát'az a rovnomerné zaťaženie.

Skupinová kompenzácia (po častiach)

Kompenzačný rozvádzač je pripojený nad hlavnými ističmi, ktoré napájajú danú časť inštalácie, ktorú potrebujeme kompenzovať. Táto konfigurácia je vhodná pre veľké inštalácie s úsekmi s rôznou úrovňou zaťaženia.

Kompenzácia individuálnych zát'azí

Kompenzačný rozvádzač je pripojený priamo na svorky indukčnej zát'aze (hlavne veľké motory). Táto konfigurácia je veľmi vhodná v prípade, ak je veľkosť výkonu zát'aze významná v porovnaní s predpísaným výkonom. Toto je ideálna technická konfigurácia, keďže reaktívna energia sa produkuje presne v mieste, kde je potrebná, a prispôbuje sa potrebe.



Obrázok 20 - schéma

2.5.8.5 Výber typu kompenzácie

Výber typu kompenzácie by mal závisieť od výkonových požiadaviek a zložitosti ovládania:

- pevná, pripojením pevnej hodnoty kapacity kondenzátorov,
- automatická, pripájaním požadovaného počtu stupňov a teda dodávaním jalovej energie podľa aktuálnej potreby,
- dynamická, pre kompenzovanie rýchlo kolísajúcich záťaží.

Pevná kompenzácia

Tento spôsob používa jeden alebo viac kondenzátorov a poskytuje konštantný výkon kompenzácie. Ovládanie je možné:

- ručné pomocou ističa alebo odpínača,
- poloautomatické pomocou stýkača,
- priame pripojenie na záťaž a priame spínanie so záťažou.

Tieto kondenzátory sú inštalované:

- na svorkách indukívnej záťaže (hlavne motorov),
- na zberniciach napájajúcich viac malých motorov a indukívnych zariadení, pre ktoré by bola individuálna kompenzácia príliš nákladná,
- v prípadoch, kde je predpokladaná úroveň zaťaženia konštantná.

Automatická kompenzácia

Tento spôsob kompenzácie poskytuje automatické ovládanie a prispôsobuje množstvo reaktívneho výkonu zmenám inštalácie za účelom udržiavania požadovaného $\cos \varphi$. Zariadenie je inštalované v miestach, kde sú zmeny činného a/alebo jalového výkonu relatívne veľké, napríklad:

- na zbernicu hlavného distribučného rozvádzača,
- na svorky silno zaťaženého napájacieho kábla vývodu.

Typ pevnej kompenzácie je vhodný v prípade, ak je jalový výkon kondenzátorov (KVar) nižší alebo úmerný 15 % výkonu napájacieho transformátora. Nad 15 % sa odporúča inštalovať automaticky riadený kompenzačný rozvádzač. Riadenie je najčastejšie riešené elektronickým zariadením (Regulátor účinníka siete), ktorý monitoruje aktuálny účinník siete a rozhoduje o pripojení alebo odpojení kondenzátorov za účelom udržiavania požadovaného účinníka siete. Jalová energia je potom riadená krok po kroku. Regulátor účinníka siete navyše poskytuje informácie o charakteristikách siete (napätie a skreslenie, účinník, aktuálny činný a jalový výkon ...) a o stave zariadenia. V prípade poruchy vysielajú signály alarmov. Pripájanie je bežne riešené pomocou stýkačov. Na kompenzáciu rýchlo premenlivých záťaží musí byť použité rýchle a opakované pripájanie kondenzátorov a statické spínacie prístroje.

Dynamická kompenzácia

Tento typ kompenzácie sa vyžaduje pri premenlivej záťaži a potrebe zabrániť fluktuácii napätia. Princípom dynamickej kompenzácie je spojenie pevného kompenzačného rozvádzača a elektronického kompenzátora var, čo poskytuje kompenzáciu indukívnej aj kapacitnej zložky prúdu. Výsledkom je nepretržite premenlivá, rýchla kompenzácia, ktorá sa výborne hodí k záťažiam ako sú výťahy, dvriče, bodové zväračky a pod.

2.6 Spotreba

Odoberaný elektrický výkon v čase je definovaný diagramom zaťaženia. Plocha diagramu predstavuje celkovú spotrebovanú energiu za dané obdobie. Diagram zaťaženia môže byť definovaný pre rôzne časové obdobia – deň, týždeň, mesiac, rok. Z diagramu je takisto možné určiť maximálne a minimálne zaťaženie.

Pre správne nastavenie modelu spotreby je potrebné vedieť, o aký typ záťaže sa jedná:

- čisto činná – žiarovky, elektrické ohrievače,
- kapacitná – kondenzátorové banky, zapustené káble, kondenzátory používané v rôznych obvodoch ako sú motorové spúšťače a pod.,
- induktívna – motory, transformátory, cievky,...
- kombinované – jednofázové motory často používajú kondenzátory, ktoré pomáhajú motoru pri spúšťaní, ladiacich obvodoch alebo filtračných obvodoch atď.

Typy zaťaženia:

- Domáce/bytové zaťaženie - domácu záťaž tvoria svetlá, ventilátory, domáce elektrické spotrebiče (vrátane TV, AC, chladničiek, ohrievačov atď.), malé motory na čerpanie vody a pod. Väčšina domácich spotrebičov sa počas dňa pripája len niekoľko hodín. Napríklad, osvetľovacia záťaž je pripojená na niekoľko hodín počas nočnej doby.
- Komerčné zaťaženie - pozostávajúce z elektrických záťaží, ktoré sú určené napríklad v reštauráciách, obchodoch, nákupných centrách atď. Tento druh zaťaženia sa vyskytuje viac hodín počas dňa v porovnaní s domácou záťažou.
- Priemyselná záťaž - priemyselné zaťaženie pozostáva z dopytu po zaťažení priemyslu. Zahŕňa všetky elektrické záťaže používané v priemyselných odvetviach spolu s použitým strojovým zariadením. Priemyselné prístroje môžu byť pripojené počas celého dňa.
- Mestská záťaž - tento typ zaťaženia pozostáva z pouličného osvetlenia, vodovodných a kanalizačných systémov atď. Pouličné osvetlenie je prakticky nemenné počas nočných hodín. Voda sa môže čerpať do nadzemných skladovacích nádrží mimo špičkových hodín, aby sa zlepšil faktor zaťaženia systému.
- Zavlažovacie zaťaženie - do tejto kategórie patria motory a čerpadlá používané v zavlažovacích systémoch na dodávku vody pre poľnohospodárstvo. Všeobecne platí, že zavlažovacie zaťaženia sa dodávajú počas mimo špičkových alebo nočných hodín.
- Trakčná záťaž - elektrické trate, električky a pod. Tento typ zaťaženia dosahuje svoj vrchol v ranných a večerných hodinách.

Delenie podľa zaťaženia:

- Lineárne zaťaženie
- Nelineárne zaťaženia

Delenie podľa počtu fáz:

- Jednofázové zaťaženia
- Trojfázové zaťaženia

Pre potreby simulácií v reálnom čase sú potrebné presné hodnoty odberov – z tohto dôvodu je nevyhnutné použitie 4 kvadrantných inteligentných elektromerov (IMS).

2.6.1 Sieť NN a AC spotrebiče

Sieť nízkeho napätia 230 V je prítomná takmer v každej domácnosti. V nej sa nachádzajú typické spotrebiče:

- indukčná záťaž: chladnička, práčka, rôzne transformátory (rádio, stolná lampa...), vysávač, ventilátor a pod.,
- odporová záťaž: žiarovka, vykurovacie telesá na princípe odporového ohrevu,
- kapacitná záťaž: spínané zdroje s kapacitným filtrom (PC, monitor, televízor, kompaktná žiarivka).

Spotrebiče s indukčnou a kapacitnou záťažou majú pri spustení vysoký nábehový prúd, ktorý musí striedač dokázať poskytnúť. Zvlášť v prípade indukčných záťaží, ako je chladnička (kompresor), treba výkon meniča mnohokrát zvýšiť, aby mohla pracovať. Niektoré typy chladničiek sa po dlhšej odstávke spúšťajú tak, že do časti vinutia motora je púšťaný prúd, ktorého účinkami je ohrievané chladivo. Kompresor sa spustí až po ohriatí chladiva a do tej doby môže tiecť vinutím aj 10 násobok nominálneho prúdu. Tento dej môže trvať aj minútu a môže preťažiť menič. Nábehový prúd spínaných zdrojov trvá iba veľmi krátky impulz a nijak extrémne nezvyšuje nároky na menič (1 000 W menič dokáže po 30 pol-vín poskytnúť až 2 000 W výkonu).

2.6.2 Sieť MN a DC spotrebiče

Výhoda použitia DC siete malého napätia je v tom, že ide o bezpečné napätie, teda riziko úrazu elektrickým prúdom je minimálne. Ďalšou výhodou je úspora financií; ak sa nahradia AC spotrebiče za DC, znížia sa tým nároky na striedač. Za výhodu je možné považovať aj fakt, že striedač je zariadenie, ktoré svojou vlastnou spoľahlivosťou zlepšuje spoľahlivosť dodávky energie v budove. V prípade poruchy striedača je možné stále využívať sieť MN, ktorá ním nie je nijak ovplyvnená. Najvhodnejšie je teda použiť také spotrebiče, ktoré vyžadujú neustály prívod energie alebo vysokú spoľahlivosť dodávky, čo môžu v domácnosti predstavovať: chladnička, svetelné zdroje, termostat a podobne. Nevýhodou malého napätia sú však veľké straty, takže kabeláž je drahšia v porovnaní s vedením NN (230 V) pri rovnakom prenášanom výkone na rovnakú vzdialenosť.

2.6.3 Matematické modelovanie záťaží

Z matematického hľadiska je možné záťaž modelovať viacerými spôsobmi a to:

- Záťaž je priradený konštantný výkon, ktorý je nezávislý na napätí a frekvencii. Jedná sa o najjednoduchší spôsob modelovania záťaže.
- Ďalším zjednodušeným spôsobom modelovania záťaže je modelovanie za pomoci konštantnej priechnej admitancie, ktorá sa určí zo zložiek činného a jalového výkonu pri nominálnom napätí a nominálnej frekvencii:

$$Y = \frac{P + jQ}{U^2}$$

Pri zmene napätia sa hodnoty P a Q menia v pomere $(U/U_n)^2$, z čoho vyplýva, že obe zložky výkonu sa menia kvadraticky vzhľadom na zmenu napätia.

Výkon vo všeobecnosti je nelineárnym parametrom závisiacim od napätia a frekvencie $P = P(U, f)$ a $Q = Q(U, f)$. Pre prechodné deje sa tieto závislosti nazývajú dynamickými a naopak, pre ustálené stavy sú tieto charakteristiky nahradené statickými.

Statické charakteristiky záťaží:

- Napätiová charakteristika,

$$p = p_{ou} + p_u u; q = q_{ou} + q_u u; q = a + b u + c u^2$$

príčom pre u platí u [0.9; 1.1]. Derivácie zložiek výkonu p_u a q_u podľa napätia sa nazývajú súčinitelmi regulačného efektu napätia a umožňujú matematicky vyjadriť vplyv zmeny napätia na výkon.

- Frekvenčné charakteristiky,

$$p = p_{of} + p_f f; q = q_{of} + q_f f$$

príčom platí, že $f \in [0.92; 1.05]$. Derivácie zložiek výkonu podľa frekvencie p_f a q_f sa nazývajú súčinitelmi regulačného efektu frekvencie.

2.7 Ochrany

Poruchy v ES vznikajú nečakane a pre ich rýchle odstránenie je potrebné inštalovať ochrany. Ochrana je zariadenie, ktoré kontroluje správny chod určitého typu zariadenia. Vstupné dáta sú k ochrane privádzané pomocou prístrojových transformátorov alebo senzorov v prípade nových typov ochrán. Následne na ich základe ochrana rozlišuje, či sa jedná o normálny alebo poruchový stav – v takomto prípade ochrana odosiela pokyn na odpojenie chráneného zariadenia od zvyšku ES. Ochrana je definovaná svojím algoritmom.

Ochrany rozdeľujeme podľa typu chráneného zariadenia na ochrany:

- generátorov,
- transformátorov,
- záťaží,
- vedení.

Podľa druhu poruchy ich delíme na:

- skrat,
- preťaženie,
- prepätie,
- podpätie,
- zemné spojenie,
- nesymetriu,
- zníženie alebo prekročenie sieťovej frekvencie,
- spätný tok výkonu,
- stratu budenia.

Podľa funkčného princípu ich delíme na:

- Prúdové - nadprúdová ochrana je jednoduchá a najpoužívanejšia ochrana. Je menej selektívna ako ostatné ochrany a preto sa projektuje ako záložná ochrana. Pri preťažení a pri skrate narastá prúd, ochrana ho meria a po prekročení nastavenej hodnoty začne pôsobiť. Aby nepôsobila pri prúdových nárazoch je jej činnosť podmienená zapôsobením podpäťovej ochrany. Podľa času pôsobenia poznáme závislé, polozávislé a nezávislé ochrany.
- Napäťové - pôsobí pri náraste napätia ako prepäťová ochrana, alebo pri poklese napätia ako podpäťová ochrana. Používa sa v kombinácii s inými ochranami.
- Dištančné - dištančná ochrana je impedančná ochrana, ktorá sa aktivuje, ak jej popudový článok zistí poruchu a následne rozbíha ostatné články. Merací článok zistí meraním impedancie vedenia vzdialenosť poruchy, časový článok meria čas závislý od vzdialenosti poruchy a dá impulz vypínaču. Ochrana môže byť časovo odstupňovaná, čím sa zvyšuje selektivita a spoľahlivosť istenia. V najkratšom čase vypína blízky skrat, so vzdialenosťou od miesta poruchy časy narastajú. Táto ochrana nie je vhodná pre krátke a káblové vedenia, lebo majú malú impedanciu a tým sa znižuje presnosť pôsobenia.
- Rozdielové - rozdielová (diferenciálna) ochrana pôsobí spoľahlivo pri poruchách vo vnútri chráneného úseku a je necitlivá pri poruchách vo vonkajších obvodoch. Používa sa pre chránenie transformátorov vrátane prívodných vedení. Spolupracuje s frekvenčným relé, ktoré jej činnosť pri zapínaní transformátora blokuje. V prípade poruchy vo vnútri úseku (medzi PTP1 a PTP2) tečie cez diferenciálne relé vyrovnávajúci prúd a ochrana vypína. V prípade poruchy mimo chránený úsek sa vstupný a výstupný prúd menia rovnako a cez diferenciálne relé netečie vyrovnávajúci prúd.
- Porovnávacíe - porovnáva merané veličiny na koncoch chráneného úseku. Povel k vypnutiu dá vtedy, keď popudové články rozbehnú ochranu a smerové články indikujú tok prúdu do alebo z chráneného úseku. Ináč smerové články činnosť ochrany blokujú. Pre svoju činnosť

potrebuje spojovacie vedenie, aby sa ochrany na oboch koncoch mohli navzájom informovať o smere prúdu.

- Frekvenčné
- Wattové
- Pri nesymetrii

Podľa rýchlosti pôsobenia ochrany:

- okamihové – pôsobia okamžite po vzniku poruchy,
- časovo nezávislé – nastavená doba pôsobenia je nezávislá od meranej veličiny,
- časovo závislé – doba pôsobenia ochrany je závislá od meranej veličiny,
- kombinované.

Podľa konštrukčného hľadiska:

- elektromechanické,
- elektronické,
- digitálne.

V praxi sa používa na ochranu konkrétneho zariadenia súbor ochrán. Napr. súbor ochrán vedenia 110 kV tvoria základná ochrana dištančná a záložné ochrany dištančná a porovnávací. Súbor ochrán transformátora nad 40 MVA tvoria nadprúdová, rozdielová, podpäťová a kostrová ochrana, plynové relé a ochrana proti preťaženiu.

2.7.1 Centrálna ochrana

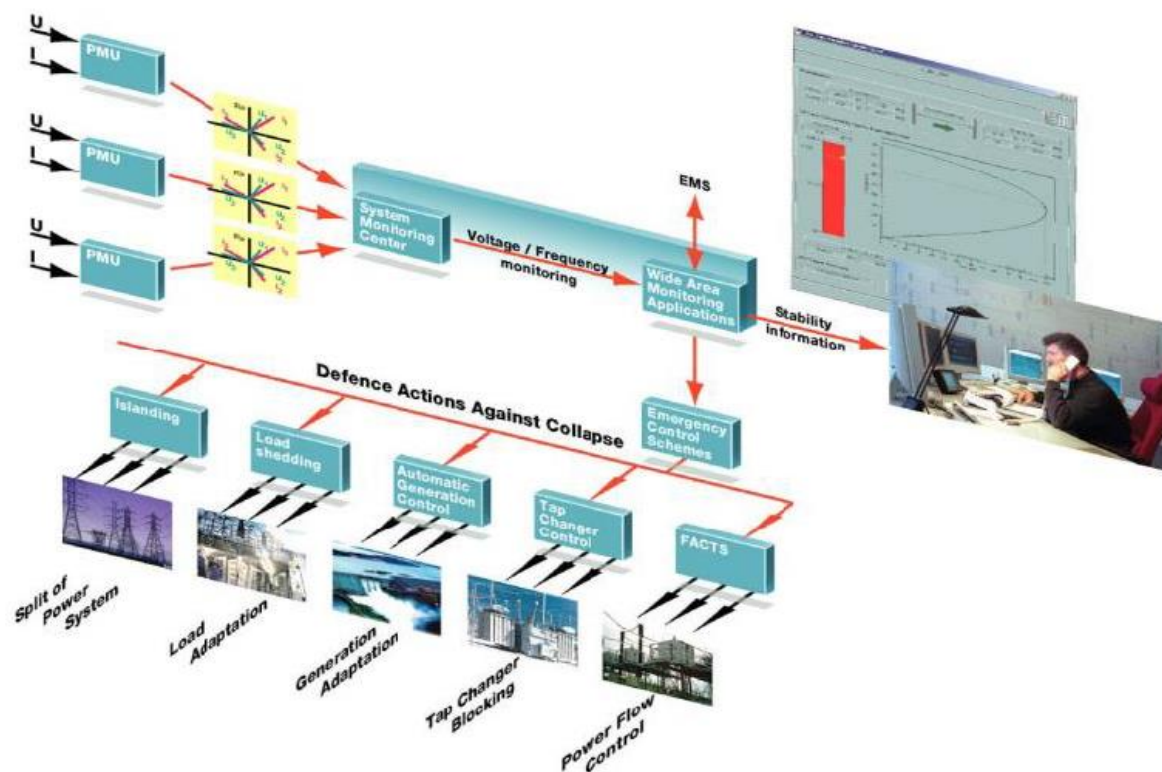
Dokument IEEE PES pracovnej skupiny K15 definuje centrálnu ochranu ako systém zložený z počítača s vysokým výpočtovým výkonom schopným zabezpečiť ochranné, kontrolné, monitorovacie a komunikačné funkcie.

Koncept centrálnej ochrany sa datuje k začiatkom využívania počítačov. Prvý návrh bol publikovaný v roku 1969 a prvá inštalácia pre overenie konceptu prebehla v roku 1971. Prvé experimenty boli zamerané na využitie počítačovej techniky pre ochranné funkcie a boli limitované vtedy dostupnými technológiami.

Koncept centrálnej ochrany predstavuje nový spôsob chránenia elektrizačnej sústavy využívajúci digitálne dáta z MU prostredníctvom procesnej zbernice popísanej v IEC 61850 9 2. Centrálna ochrana prináša množstvo výhod v rámci ochranných funkcií, kedy všetky algoritmy použitých funkcií prebiehajú na jednom zariadení. Použitie konceptu centrálnej ochrany má vplyv na celú topológiu systému, kedy nie je potrebné IED pre každé pole v rozvodni, resp. inú časť systému, z čoho vyplýva zníženie nákladov na chránenie. Zároveň je toto riešenie pripravené pre implementáciu inteligentných sietí.

Centrálna ochrana má široké spektrum využitia od rozvodní až po jednotlivé chránené oblasti.

2.7.1.1 Architektúra centrálnej ochrany



Obrázok 21 – architektúra centrálnej ochrany

Centrálna ochrana na rozdiel od klasických ochrán nepôsobí iba lokálne, ale aj v širšom kontexte. Zjednodušene povedané, nechráni iba jeden konkrétny prvok, ale viacero systémových súčastí naraz. Na začiatok si treba uvedomiť, že WAP (wide area protection) alebo aj centrálna ochrana je koncept, na ktorý sa dá pozrieť z rôznych uhlov pohľadu – od ochrany konkrétnej sústavy, časti sústavy či rozvodne. V prípade, že v sústave je viacero centrálnych ochrán, tieto môžu navzájom kooperovať – t.j. vymieňať si definované dáta potrebné pre svoju prevádzku a fungovanie.

Dáta pre potreby chránenia sú zbierané za pomoci meraní v definovaných uzloch chránenej oblasti. Pre potreby centrálnej ochrany sa vo väčšine prípadov začína uvažovať so zamenením prístrojových transformátorov senzormi (o jednotlivých senzoch si povieme neskôr).

Merania sú navzájom synchronizované v UTC čase napr. za pomoci GPS, hovoríme o tzv. synchrofázoroch. Čiže dostávame sa do stavu, kedy máme všetky potrebné merania s časovou pečiatkou, ktorá nám pri ich zbere pomáha jednoznačne identifikovať resp. napárovať jednotlivé vzorky v čase.

Merania sú odosielané či už prostredníctvom optickej siete alebo internetu do dátového koncentrátora, kde prebieha ich párovanie. Následne sú odosielané do systémového monitorovacieho centra a v konečnom dôsledku sú poslané algoritmu centrálnej ochrany, ktorá vyhodnotí zozbierané dáta.

Ako už bolo naznačené, centrálna ochrana má nielen ochrannú, ale aj preventívnu funkciu, nakoľko na základe zozbieraných dát môže upozorniť na blížiace sa problémy, resp. slabé miesta v sieti, a tým pádom aj odvrátiť rozpad siete.

Centrálna ochrana má teda aj riadiacu funkciu, ktorá jej zabezpečuje prístup k FACTS zariadeniam, odbočkám transformátorov, k riadeniu výkonov generátorov, zabezpečuje tiež prechod do ostrovnej prevádzky či riadenie zaťaženia siete.

Keďže sa jedná o naprogramovaný algoritmus, je možné mu definovať pravidlá, ako má postupovať v niektorých situáciách a tak zjednodušiť a urýchliť proces odstránenia poruchy v systéme. Niektoré koncepty hovoria aj o využití neurónových sietí pri „učení“ ochrany pružne reagovať na zmeny a poruchy v sieti.

Nakoľko rôznych variantov, ako môže porucha vzniknúť či sa vyvíjať, je veľa a nikdy nie je možné sa pripraviť na každý scenár, musí byť ochrana schopná obnoviť chránený systém po poruche.

Systémové riadenie môže prebiehať automaticky alebo manuálne. V prípade automatického riadenia je rozhodovanie prenechané riadiacemu algoritmu ochrany a naopak, v prípade manuálneho riadenia si niektoré akcie vyžadujú autorizácie operátorom.

K základným funkciám ochrany patria:

- detekcia abnormálnych stavov v sústave,
- udržanie frekvenčnej stability,
- udržanie napäťovej stability,
- udržanie dynamickej stability,
- odstránenie poruchy v systéme pomocou dopredu určených pravidiel,
- obnovenie chodu systému.

Riadenie ochrán:

- automatické,
- manuálne (operátorom).

Funkcie ochrany:

- odpojenie generátora,
- odpojenie záťaže,
- podfrekvenčné odľahčovanie,
- podnapäťové odľahčovanie,
- delenie systému,
- ovládanie systémových stabilizátorov,
- ovládanie ventilov turbíny,
- riadenie výkonu HVDC,
- ovládanie budiacich systémov,
- ovládanie kompenzačných zariadení.

2.7.2 Recloser

Recloser je diaľkovo ovládaný vypínač s podporou funkcie opätovného zapínania. Na rozdiel od klasického vypínača recloser obsahuje aj meráciu a riadiacu jednotku, ktoré zodpovedajú za automatické funkcie prvku. Recloser sa inštaluje priamo na stožiar vzdušného vedenia (v prípade sietí VN). Spolu s recloserom sú na stožiar montované aj diaľkový ovládač s anténou, meracími zariadeniami a zvodičom prepätia. Reclosery vo významnej miere prispievajú k rozvoju inteligentných distribučných sietí.

2.7.3 Synchronný generátor

Synchronný generátor mení mechanickú energiu na elektrickú odoberanú zo statorového vinutia. Synchronne generátory v ES pracujú synchronne, t.j. bez sklzu. V prípade, že z nejakého dôvodu hrozí výpadok generátora zo synchronizmu, je potrebné takýto generátor odpojiť od zvyšku sústavy – takéto odpojenie je sprevádzané ekonomickými stratami a možným rozvojom narušenia stability v rámci ES.

Tento typ generátora sa používa v konvenčných elektrárňach všetkých výkonov a niektorých typoch OZE, ako sú napr. niektoré typy veterných elektrární.

Podľa typu rozlišujeme rotory:

- S vyjadrenými pólmi – jedná sa o rotor s viacerými pólovými dvojicami. Používajú sa napr. vo vodných elektrárňach. Tento typ rotora má nižšie otáčky. Najčastejšie využívaný je rotor s 88 pólovými dvojicami.
- S hladkým rotorom – rotor s jedným pólovým párom, t.j. rotor sa otáča s rýchlosťou 3000 ot/min. Tento typ rotora je využívaný v elektrárňach s parnou turbínou, nakoľko para vytvára vysoký krútiaci moment.

Otáčky rotora resp. samotného generátora sú udržiavané pomocou regulátora turbíny – tieto regulátory sú bližšie rozobrané v ďalších kapitolách.

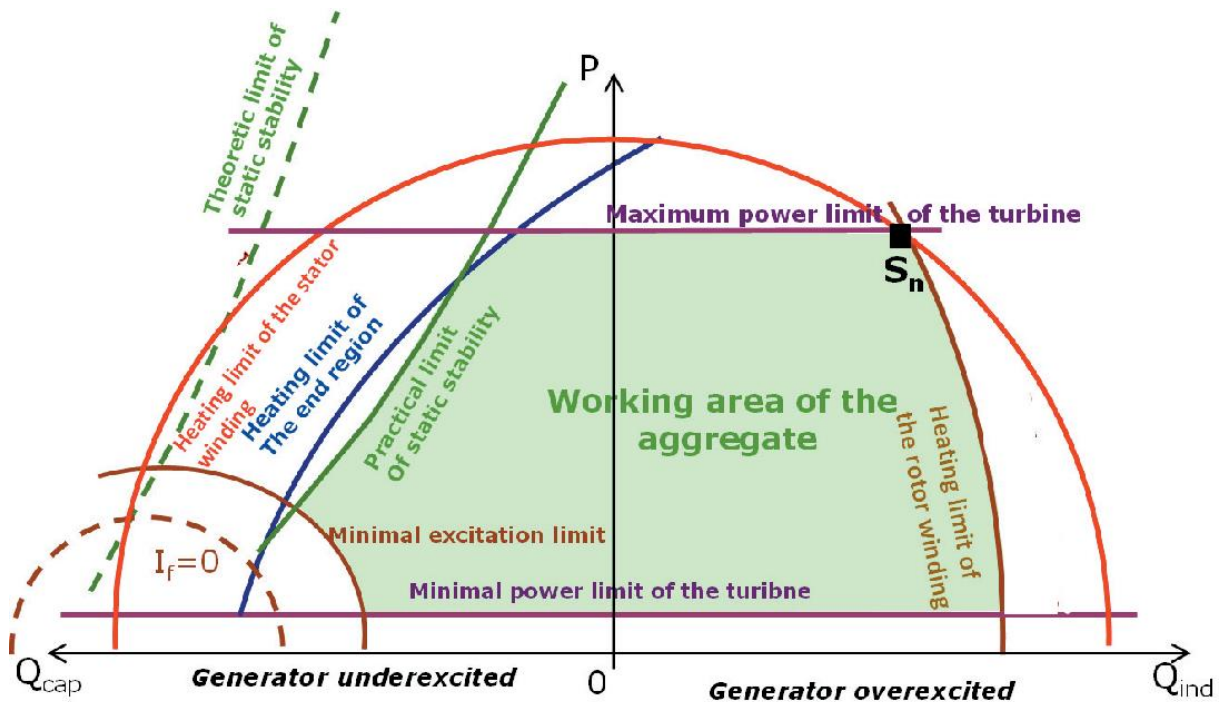
Napätie na svorkách generátora je udržiavané za pomoci regulátora budenia – zmenou budiaceho prúdu v budiacom vinutí je udržiavané resp. regulované výstupné napätie generátora.

Oproti asynchrónnym generátorom majú veľa výhod, ktoré sú ale na druhej strane vykompenzované vyššou výrobnou cenou. Synchronný generátor môže pracovať ako v ostrovnom režime, tak aj paralelne s distribučnou sieťou. Vďaka riadenému budeniu umožňujú synchronne generátory udržiavať konštantný fázový uhol medzi napätím a prúdom pri paralelnej práci so sieťou a konštantné výstupné napätie pri práci do samostatnej záťaže. Pripájanie synchronného generátora na sieť prebieha v okamžiku, kedy má sieť i generátor zhodné efektívne hodnoty napätia, zhodný kmitočet, rovnaký sled vo fázach a rovnaké okamžité hodnoty napätia. Ak sú dodržané tieto podmienky pripojenia generátora k sieti, nedochádza k žiadnym významným prechodovým dejom, ktoré by negatívne ovplyvňovali sieť. Naproti tomu asynchrónny generátor v momente pripojenia zaťaží sieť magnetizačnými prúdmi minimálne. Pre výrobu elektrickej energie vo výrobných posielanej do samostatnej siete a výrobných väčších výkonov sa skoro vždy používajú práve synchronne generátory. V poslednej dobe sa konštruujú pre malé výkony i generátory s permanentnými magnetmi.

2.7.3.1 PQ diagram synchronného generátora

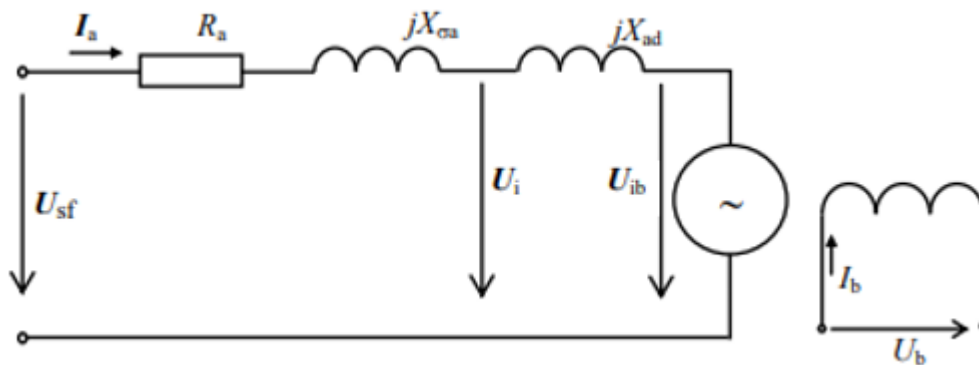
PQ diagram synchronného stroja definuje jeho pracovnú oblasť, t.j. množinu výkonov, v rámci ktorých je možné plánovať jeho prevádzku.

- Červená kružnica predstavuje jednotkovú kružnicu so stredom v 0 – táto krivka predstavuje krivku nominálneho výkonu generátora $S_n = 1$.
- Fialová priamka definuje maximálny možný výkon dodávaný turbínou na hriadeľ rotora generátora.
- Zelená plná a prerušovaná čiara predstavujú limit statickej stability daného stroja – teoretická statická stabilita znamená, že sa jedná o hraničnú hodnotu; prechodom pracovného bodu generátora za túto priamku je statická stabilita narušená. Teoretická hranica stability uvažuje s rezervou výkonu.
- Bordové kružnice predstavujú hranicu podbudenia generátora.
- Hnedá kružnica predstavuje tepelný limit rotora.



Obrázok 22 - schéma

2.7.3.2 Náhradná schéma synchronného generátora s hladkým rotorom



Obrázok 23 – náhradná schéma 1 fázy synchronného stroja s hladkým rotorom s napäťovým zdrojom

- U_{sf} - fázor svorkového napätia
- I_a - fázor prúdu kotvy
- U_i - fázor indukovaného napätia kotvy
- U_{ib} - fázor budiaceho napätia na strane kotvy
- R_a - odpor jednej fázy statorového vinutia
- $X_{\sigma a}$ - rozptylová reaktancia kotvy
- X_{ad} - reaktancia reakcie kotvy
- $X_d = X_{ad} + X_{\sigma a}$ - synchronná reaktancia.

2.7.3.3 Parametre synchrónneho generátora

Tabuľka 10 - Parametre SG

Parameter	Popis
S_n	Nominálny zdanlivý výkon generátora [MVA]
U_n	Nominálne napätie generátora [kV]
$\cos \varphi_n$	Nominálny účinník generátora [-]
U_{max}	Maximálne dovolené statorové napätie generátora [kV]
U_{min}	Minimálne dovolené statorové napätie generátora [kV]
R_{St}	Rezistencia jednej fázy statorového vinutia [Ω]
X_{2n}	Spätná reaktancia v nenasýtenom stave [%]
X_{dn}	Synchrónna reaktancia v pozdĺžnej osi v nenasýtenom stave [%]
X_{ds}	Synchrónna reaktancia v pozdĺžnej osi v nasýtenom stave [%]
X_{qn}	Synchrónna reaktancia v priečnej osi v nenasýtenom stave [%]
X_{qs}	Synchrónna reaktancia v priečnej osi v nasýtenom stave [%]
X'_{dn}	Prechodná reaktancia v pozdĺžnej osi v nenasýtenom stave [%]
X'_{ds}	Prechodná reaktancia v pozdĺžnej osi v nasýtenom stave [%]
X'_{qn}	Prechodná reaktancia v priečnej osi v nenasýtenom stave [%]
X'_{qs}	Prechodná reaktancia v priečnej osi v nasýtenom stave [%]
X''_{dn}	Rázová reaktancia v pozdĺžnej osi v nenasýtenom stave [%]
X''_{ds}	Rázová reaktancia v pozdĺžnej osi v nasýtenom stave [%]
X''_{qn}	Rázová reaktancia v priečnej osi v nenasýtenom stave [%]
X''_{qs}	Rázová reaktancia v priečnej osi v nasýtenom stave [%]
X_0	Netočivá reaktancia [%]
X_1	Rozptylová reaktancia rotora [%]
T_a	Časová konštanta jednosmernej zložky [s]
T'_d	Prechodná časová konštanta pre pozdĺžnu os [s]
T''_d	Rázová časová konštanta pre pozdĺžnu os [s]
T'_q	Prechodná časová konštanta pre priečnu os [s]
T''_q	Rázová časová konštanta pre priečnu os [s]
H	Zotrvačnosť
D	Tlmenie
$r = U_{bmax}/U_{bn}$	Pomerný strop budiaceho napätia

2.7.4 Asynchrónny generátor

Asynchrónny stroj je druh točivého elektrického stroja na striedavý prúd bez komutátora, pri ktorom je ustálená otáčavá rýchlosť rotora odlišná od rýchlosti otáčania otáčavého magnetického poľa statora, teda asynchrónna. Asynchrónny generátor sa často využíva vo veterných, malých vodných elektrárňach a kogeneračných staniciach.

Asynchrónny generátor je konštrukčne zhodný s asynchrónnym motorom. Nie je však jednoduché si predstaviť princíp funkcie asynchrónneho generátora. Obecne sa vie, že asynchrónne generátory sú

využívané pre výrobu elektrickej energie len v paralelnom spojení s tvrdou distribučnou sieťou. Ich ďalšie využitie je vo svete veľmi diskutované.

Základné vlastnosti asynchrónneho generátora pripojeného na sieť:

- Elektromotor vo funkcii asynchrónneho generátora môže dodávať prúd do trojfázovej rozvodnej siete.
- Za normálnych okolností ho nie je možné použiť v miestach, kde nie je táto sieť. Nemôže pracovať ako núdzový zdroj pri jej výpadku alebo ako jediný zdroj v neelektrifikovaných lokalitách.
- Nie je nutné zložiť fázovanie generátora k sieti.
- Generátor nevyžaduje žiadnu reguláciu napätia a frekvencie.
- Vodný motor poháňajúci tento generátor nepotrebuje regulátor otáčok. Generátor si sám turbínu pribrzdí na zodpovedajúce otáčky. Vhodný prevodový pomer zabezpečí, aby v ten okamih pracovala turbína v optimálnom režime.

2.7.4.1 Vhodný výber generátora pripojeného na sieť

Bolo by celkom logické použiť taký generátor, ktorého otáčky by boli čo najnižšie (400 až 740 ot./min.). To preto, aby sa ušetrilo na prevode. Nízkootáčkové stroje sú však veľké, drahé a zle sa chladia. Motory s vyššími otáčkami (2800 ot./min.) sú najmenšie, najlacnejšie a veľmi dobre sa chladia vlastným ventilátorom. Môžu sa použiť ako generátor, vtedy je ich možné za veľkej vody preťažiť. Pri výpadku siete by mohol odľahčený generátor dosiahnuť nebezpečne vysoké otáčky a mohol by sa roztrhnúť. Vysokootáčkové motory sa teda nepoužívajú vo funkcii asynchrónnych generátorov. Kompromisným riešením pre malé elektrárne je najbežnejšie používaný typ štvorpólový alebo šesťpólový. Na trhu je najdostupnejší a jeho cena je primeraná. Má dostatočne účinné chladenie a krátkodobo vydrží aj otáčky odľahčenej turbíny.

2.7.4.2 Prevádzka generátora pripojeného na sieť

Veľmi jednoduchá je obsluha aj automatizácia. Vodný motor je zo začiatku uzavretý. K sieti sa pripojí generátor. Pracuje ako elektromotor a dosiahne asynchrónne otáčky. Potom obsluha alebo automatika pozvoľna otvorí prívod vody do vodného motora a vodný motor bude generátor zrýchľovať, dokým ho roztočí na nadsynchrónne otáčky. Potom začnú agregáty dodávať energiu do siete, čím dôjde k mechanickému zaťaženiu a agregáty sa na týchto otáčkach ustália. Agregáty sa odporúča zastavovať obráteným postupom.

2.7.4.3 Asynchrónny generátor v ostrovnom režime

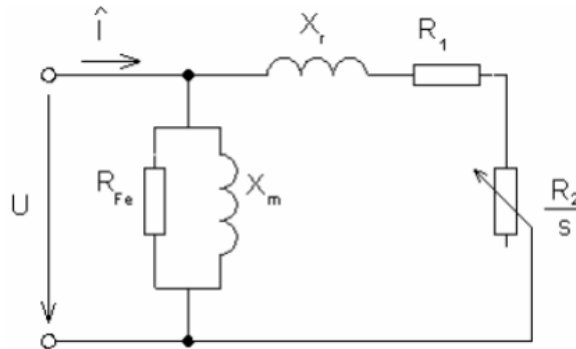
Asynchrónny generátor nie je schopný samostatnej výroby elektrickej energie, ale obdobne ako synchronný generátor potrebuje pre svoju funkciu budenie. Asynchrónny generátor pre svoju funkciu potrebuje jalovú energiu. Ak si predstavíme asynchrónny motor a pripustíme možnosť výskytu končiaceho magnetizmu v jeho rotore, môžeme predpokladať, že sa bude po jeho roztočení na svorkách statorového vinutia indukovať "malé napätie". Pre nabudenie už roztočeného motora potrebujeme magnetizačný prúd. Máme k dispozícii "malé napätie" harmonického priebehu a môžeme ho využiť pre vytvorenie budiaceho (magnetizačného) prúdu. Naším záujmom je, aby vytvorenie tohto magnetizačného prúdu bolo bezstratové. Takéto požiadavky spĺňa svojimi vlastnosťami kondenzátor. Jeho závislosť prúdu na napätí je popísaná vzťahom

$$i = C \cdot dU / dt [A]$$

kde i je okamžitá hodnota prúdu, C je kapacita kondenzátora, dU je zmena napätia a dt je časový úsek.

Okamžitá hodnota prúdu tečúca kondenzátorom je úmerná zmene napätia v čase, kde je kapacita kondenzátora konštantou úmernosti. Ak pripojíme tento kondenzátor k svorkám statora, začne ním pretekať prúd. Tým sa bude podieľať na vytvorení magnetického indukčného toku rotora.

2.7.4.4 Náhradná schéma a parametre asynchrónneho generátora



Obrázok 24 - náhradná schéma asynchrónneho generátora

- U - fázové napätie [V]
- I - fázový prúd [A]
- R_{Fe} - odpor, na ktorom vznikajú mechanické i činné straty v magnetickom obvode [Ω]
- X_m - magnetizačná reaktancia [Ω]
- X_r - rozptylová reaktancia [Ω]
- R_1 - činný odpor statorového vinutia [Ω]
- R_2 - činný odpor rotorového vinutia [Ω]
- s - sklz [-]
- szv - sklz zvratu [-]
- M_m - mechanický moment [Nm]
- M_{zv} - moment zvratu [Nm]
- I_2 - fázový prúd, ktorý sa podieľa na tvorbe momentu [A]
- m - počet fáz [-]
- p - počet pólových dvojíc [-]
- f_1 - frekvencia siete [Hz]
- P_m - mechanický výkon [W]

2.7.5 Turbína

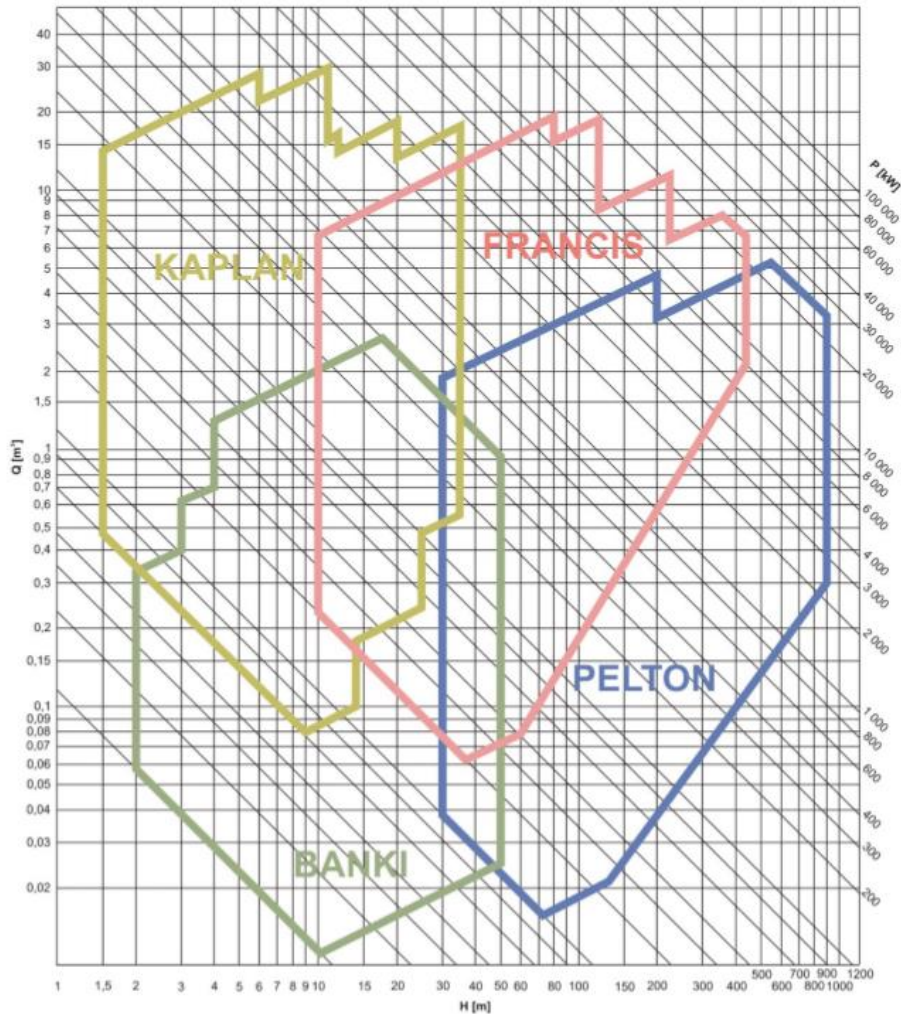
Turbína v spojení s generátorom slúži na priamu premenu mechanickej energie privádzanej na turbínu na elektrickú v generátore. Turbína môže byť s generátorom spojená buď napriamo, alebo za pomoci spojky. Pre každý typ média je potrebný iný typ turbíny.

2.7.5.1 Turbíny vo vodných elektrárnach

Pri výbere turbíny pre vodnú elektráreň hrajú podstatnú rolu výška spádu a prietok. Typy turbín používaných vo vodných elektrárnach:

- Francisova turbína je vhodná pre elektrárne s pomerne konštantným prietokom a spádom. Jedná sa o pretlakovú turbínu, t.j. voda do nej vstupuje s väčším tlakom, ako z nej vystupuje.
- Peltonova turbína – rovnotlaká turbína je používaná pre vysoké spády s malým prietokom. Voda je na turbínu privádzaná za pomoci tangenciálnych trysiek.

- Bankiho turbína je priečna dvojnásobne pretekaná horizontálna prietoková turbína. Používa sa najmä v malých vodných elektrárňach so spádom od 2 do 30 m a s prietokom od 20 do 2000 l-s-1. Účinnosť je 78 až 84 %. Výhodou je, že jej ložiská sú umiestnené mimo nádrže s vodou a teda ňou môže pretekať aj pitná voda bez toho, aby sa znehodnotila.
- Kaplanova turbína – jedná sa o upravenú francisovu turbínu. Používa sa pri nízkych spádoch (do 80m). Je možné regulovať jej výkon natočením lopatiek a samotnej turbíny.
- Prečerpávacia (reverzibilná) Deriazova turbína – je možné ju použiť v generátorovom aj v motorovom režime.



Obrázok 25 - turbíny vo VE

2.7.5.1.1 Parametre turbíny

- Špecifické otáčky - charakterizujú schopnosť stroja dosiahnuť pri maximálnych možných otáčkach najväčší výkon. Dostaneme ich, ak prepočítame rozmer turbíny tak, aby pri spáde $H = 1$ m mala turbína výkon 0,736 kW.

$$n_s = \frac{n}{H} \frac{\sqrt{1,36P}}{\sqrt[4]{H}}$$

- Priebežné otáčky sú najvyššie otáčky, ktoré môže turbína dosiahnuť.

- Účinnosť turbíny je definovaná pomerom mechanického výkonu a hydraulického príkonu turbíny, sú v nej zahrnuté všetky straty, ktoré vznikajú v turbíne a predstavuje teda celkovú účinnosť.
- Hydraulická účinnosť je určená hydraulickými stratami, ktoré vznikajú následkom viskózneho trenia častíc vnútri toku vody a na obtekaných plochách. Tieto straty vznikajú kvôli obtekaniu profilov lopatiek, rázu na vstupe do lopatkovej mreže, tvorbou vírov a ich odtrhávaním, vznikom kavitačných javov.
- Objemová účinnosť je daná objemovými stratami ΔQ vznikajúcimi v tesneniach, odľahčovacích zariadeniach a medzerách medzi lopatkami a komorou.
- Mechanická účinnosť je daná mechanickými stratami v radiálnom a axiálnom ložisku a diskovými stratami rotáciou povrchu venca náboja obežného kolesa vo vode
- Celková účinnosť turbíny je určená súčinom účinnosti hydraulickej η_h , objemovej η_q a mechanickej η_m účinnosti
- Mechanický výkon turbíny je určený hodnotou mechanickej energie dodávanej hriadeľom turbíny za jednotku času. Určuje sa výkonom generátora meraným na svorkách, ktorý je nižší o mechanické a elektrické straty generátora, straty v prevodoch a zotrvačníku. Pre mechanický výkon platí: $P = \rho \cdot QV \cdot E \cdot \eta$.
- Hydraulický výkon turbíny Ph je teoretický výkon zodpovedajúci prietoku vstupným prierezom turbíny, je určený vzťahom: $Ph = \rho \cdot QV \cdot E$.
- Menovitý výkon turbíny je výkon turbíny pri menovitej mernej energii a menovitých otáčkach. Ďalej sa rozlišuje zaručovaný výkon, čo je mechanický výkon turbíny pri zaručovanej mernej energii a zaručovaných otáčkach.
- Inštalovaný výkon turbíny je maximálny výkon turbíny, ktorý je možné dosiahnuť pri najpriaznivejších podmienkach.

2.7.5.2 Turbíny vo veterných elektrárnach

Podľa orientácie turbíny poznáme turbíny s vertikálnou (Darrieova, Savoniova) a horizontálnou osou otáčania (dvojvrtuľové, trojvrtuľové).

2.7.5.2.1 Darrieova turbína:

- tichá prevádzka systému a nízka štartovacia rýchlosť od cca 1 m/s,
- pracuje nezávisle od smeru vetra,
- systém vydrží vysoké rýchlosti vetra až do 90 km/h,
- pracuje na vztlakovom princípe,
- generátor a ostatné súčasti sa dajú uložiť mimo stožiar,
- problémová regulácia výkonu.

2.7.5.2.2 Savoniova turbína:

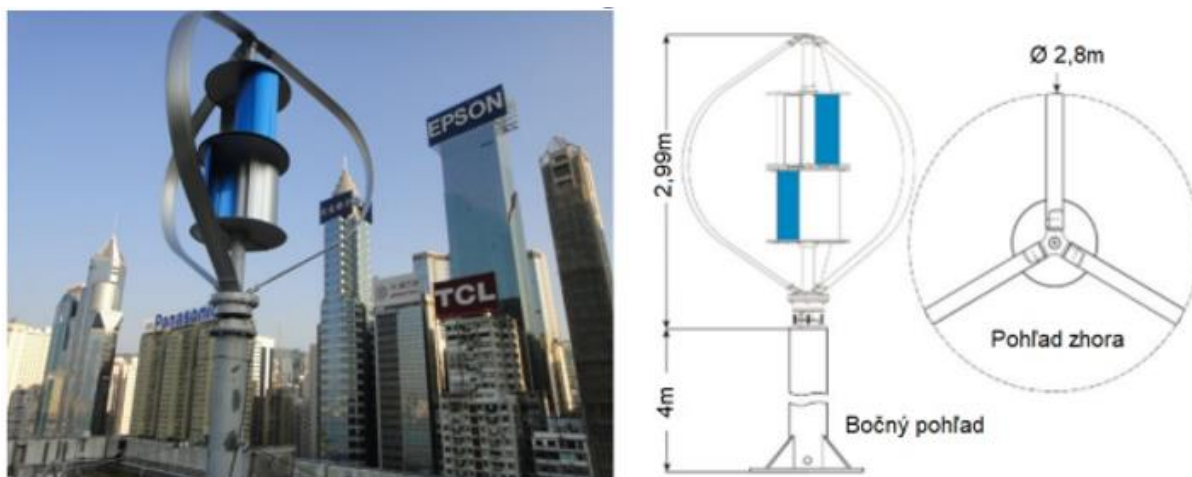
- pracuje na odporovom princípe (využíva rozdielny koeficient odporu 2 častí turbíny),
- má pomerne malú účinnosť (okolo 20 %),
- nevýhodou je existencia mŕtveho uhla – možné odstrániť spojením niekoľkých turbín.

Tabuľka 11 - technické špecifikácie WINDSIDE WS-4B

Hmotnosť turbíny	800kg
Výška turbíny	4m
Rozbehová rýchlosť vetra	2 m/s
Menovitá rýchlosť vetra	15 m/s
Max. rýchlosť vetra	neobmedzená
Výkon pri rýchlosti 10m/s	400 W
Hlučnosť	<5dB

2.7.5.2.3 Veterná turbína HI-VAWT

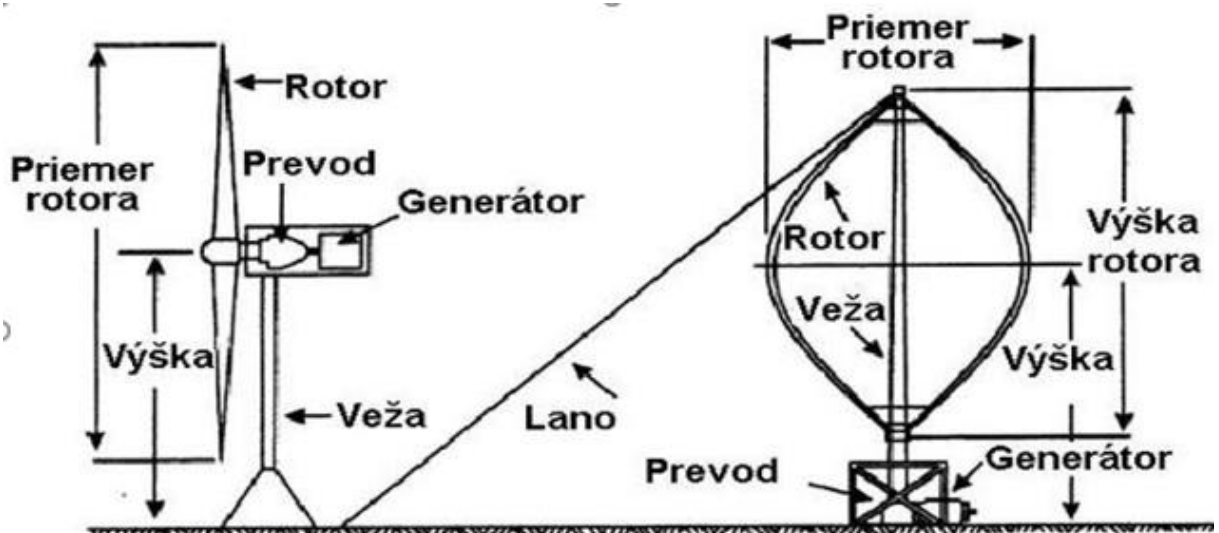
Spoločnosť Hi-VAWT vynašla ideálne riešenie, ako prekonať nedostatky Darrieusovho a Savoniovho rotora tým, že ich skombinovala do jednej turbíny, vďaka čomu sa nedostatky eliminovali. Teda zlý samostatný rozbeh Darrieusovho rotora kompenzuje Savoniov rotor umiestnený v strede turbíny, vďaka ktorému môže turbína pracovať aj pri slabom vetre. Naopak, nízka účinnosť Savoniovho rotora sa nahradí vysokou Darrieusovho rotora.



Obrázok 26 - dizajn a rozmery veternej turbíny DS-1500W (Hong Kong)

Pre typ DS-1500 je výška ku šírke rotora 2,99 x 2,8 m, hmotnosť rotora je 380 kg, počet lopatiek Darrieusovho rotora je 3 a počet Savoniových rotorov je 2. Materiál využívaný pri konštrukcii lopatiek je anodizovaný hliník a materiál rotora je pozinkovaná oceľ SS400. Minimálna pracovná rýchlosť vetra je 3 m/s a maximálna pracovná rýchlosť vetra je 15 m/s. Menovitý výkon je 1500 W pri rýchlosti vetra 12 m/s. Typ generátora, ktorý využíva, je AC trojfázový synchronný PMG generátor. Brzdový systém je automatický a aj manuálny (mechanická bubnová brzda). Teplota, pri ktorej dokáže pracovať, je v rozmedzí od -10°C do +40°C. Maximálna prípustná vlhkosť prostredia, pri ktorej dokáže pracovať, je 95 %

2.7.5.2.4 Turbíny s horizontálnou osou otáčania:



Obrázok 27 - turbína s horizontálnou a vertikálnou osou

2.7.5.2.5 Solar Wind Downdraft Tower

Veža Solar Wind Downdraft Tower bola prvá hybridná technológia obnoviteľnej energie zo slnka a vetra na trhu v roku 2014. Patentová štruktúra sa skladá z vysokého dutého valca so systémom vstrekovania vody v blízkosti vrchnej časti valca a veterných tunelov obsahujúcich turbíny v blízkosti dna. Táto technológia kombinuje suchý vzduch ohrievaný slnečnými lúčmi slnka s vodou, ktorá pôsobí ako silný katalyzátor na vytvorenie silného prírodného vetra. Tento vietor prechádza turbínami vo veži pri vysokých rýchlostiach. Následne tieto turbíny poháňajú generátory, kde sa kinetická energia vetra mení na elektrickú energiu.



Obrázok 28 - model hybridnej technológie SOLAR-WIND Tower

Princíp fungovania veže

Séria čerpadiel dodáva vodu do vstrekovacieho systému, ktorá sa dostáva až ku vrcholu veže, kde je cez celý otvor vpúšťaná jemná hmla. Voda zavedená vstrekovacím systémom sa odparuje a je absorbovaná horúcim suchým vzduchom, ktorý je zohriaty pomocou slnečných lúčov slnka (využitie solárnej energie). Výsledkom procesu je, že sa vzduch stáva chladnejším a ťažším, ako okolitý teplejší

vzduch. Vzniknutý vzduch padá cez valec rýchlosťou do 80 km/h. Následne je vzduch odklonený do veterných tunelov, ktoré obklopujú základňu veže. Na konci tunelov sa nachádzajú veterné turbíny, ktoré sú roztáčané vďaka padajúcemu studenému vzduchu. V generátoroch sa vzniknutá kinetická energia premieňa na energiu elektrickú.

V geografických oblastiach, kde sú atmosférické podmienky priaznivé, môžu byť na exteriéri veže postavené veterné turbíny s vertikálnou osou otáčania, ktoré zachytávajú energiu vetra na výrobu doplnkovej elektrickej energie. Tento duálny prístup výrazne zvyšuje čistú energetickú kapacitu a produktivitu veže.

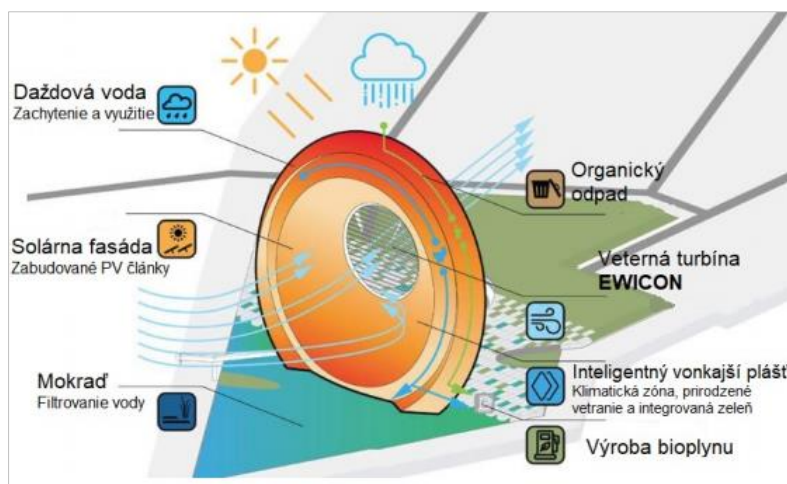
Tabuľka 12 - Porovnanie solárnej, veternej a hybridnej farmy pri ročnej výrobe 5 000 GWh



Typ farmy	Veterná	Solárna	Hybridná
Rozloha	18 000 akrov	8 500 akrov	640 akrov
Výrobná cena	\$4 miliardy	\$4,2 miliardy	\$1,5 biliónu
Životnosť	20 rokov	25 rokov	50 rokov
Vyžaduje menič	Áno	Áno	Nie
Štátna dotácia	Áno	Áno	Nie
Výroba energie 24/7	Nie	Nie	Áno
Predvídateľný výkon	Nie	Nie	Áno
Predvídateľný max. dopyt	Nie	Áno	Áno
Dane/emisné povolenia	Áno	Áno	Áno

2.7.5.2.6 Dutch WindWheel

Veterné koleso sa javí ako veterná turbína pozostávajúca z dvoch trojrozmerných kruhov so svetlou, oceľovou a sklenenou konštrukciou. Kruhy alebo kolesá, ktoré sú navinuté okolo seba spájajú sa vo vrchnej časti konštrukcie, sú navrhnuté na základe princípu triangulácie, aby sa dosiahla štruktúrna stabilita. Podvodná základňa poskytuje ilúziu plávajúceho kolesa. Celá konštrukcia bude vysoká 174 m. Navrhovanou polohou na umiestnenie holandského "veterného kolesa" je medzinárodný prístav mesta Rotterdam. Táto stavba bude príkladom rýchleho pokroku v oblasti obnoviteľnej energie a ekonomiky. Veterné koleso sa stane dynamickou prezentáciou holandského dizajnu a bude poskytovať nepretržitú platformu na demonštráciu technických a technologických inovácií. Stavba bude kruhovitého tvaru a "poháňaná" veternou turbínou EWICON, ktorá bude výsledkom moderných technologických riešení. Turbína bude premieňať kinetickú energiu vetra priamo na energiu elektrickú bez použitia otáčajúceho sa rotora. Okrem tohto hlavného zdroja energie bude budova produkovať energiu aj zo slnka.



Obrázok 29 - schéma turbíny

Princíp fungovania veternej turbíny EWICON

Veterná energia je jedným z trvalo udržateľných zdrojov energie. Jej jedinou chybou sú rotujúce lopatky konvenčných veterných turbín, ktoré vyžadujú pravidelnú údržbu a vyvolávajú kritiku milovníkov vtákov. To by mohlo vysvetliť, prečo môžeme vidieť vo svete rôzne prototypy veterných turbín, ktoré uzatvárajú lopatky v komore, alebo ich nahrádzajú systémom podobným disku. Výskumníci v Holandsku sa však rozhodli úplne vylúčiť potrebu mechanickej súčiastky a vytvorili bezlopatkovú veternú turbínu EWICON bez pohyblivých častí, ktorá vyrába elektrickú energiu s použitím nabitých vodných kvapiek. Súčasná konštrukcia sa skladá z oceľového rámu, ktorý drží rad izolovaných trubiek usporiadaných vodorovne. Každá trubica obsahuje elektródy a trysky, ktoré nepretržite uvoľňujú pozitívne nabité častice vody do vzduchu. Keď sú častice odfúknuté, napätie zariadenia sa mení a vytvára elektrické pole, ktoré možno preniesť do siete na každodenné použitie.

Vietor vyvoláva pohyb nabitých častíc proti smeru elektrického poľa, čím zvyšuje potenciálnu energiu týchto častíc. Nabité častice sa potom môžu zhromažďovať v nabíjacom systéme, ktorý je izolovaný od zeme. Pretože nabíjací systém začína s elektricky neutrálnym nábojom, rozptýlené nabité častice spôsobujú vzostup jeho potenciálu. Zem v systéme EWICON v podstate funguje ako kolektor pre nabité častice.

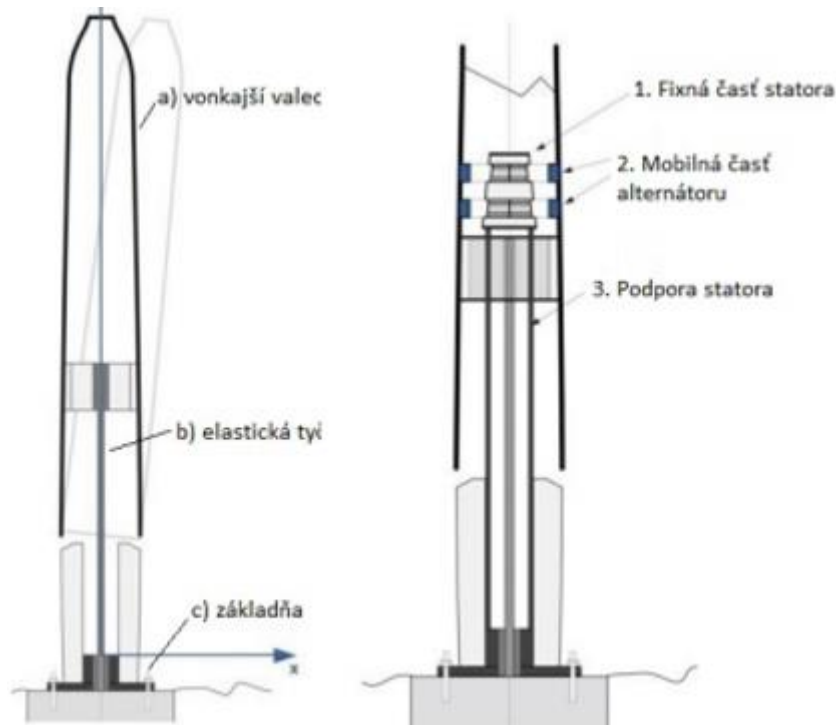
Samotný systém je izolovaný od zeme a rozptýlenie nabitých častíc zvýši potenciál systému. Teoreticky by nabité častice mohli byť čokoľvek, čo by mohlo mať elektrický náboj. Kvapky vody sa však ukázali ako najpraktickejší spôsob rozptýlenia prúdov nabitých častíc. Je tu však limit množstva náboja, ktorý môže kvapôčka zadržať predtým, než sa rozpadne na menšie kvapky, a tento náboj závisí od prirodzeného povrchového napätia kvapaliny. Výpar je tiež problémom, pretože nabité kvapôčky musia prežiť, kým sa nedostanú na zem.

Otázkou je, koľko vody je v tejto schéme potrebnej na vytvorenie zmysluplného množstva energie. Výskumníci vypočítali teoretickú prácu vetra vykonanú na kvapke, ktorá je približne $1,13 \cdot 10^{-8}$ [J]. Za predpokladu, že rozprašovací dýza rozptyľuje približne 107 kvapiek za sekundu, potom jedna tryska vytvára prúd o výkone 113 [mW]. Sústava týchto trysiek $[30 \times 30]$ by produkovala približne 102 W. Za predpokladu, že kvapky vody s priemerom 5 μm sú nabité na 70 % maximálneho teoretického náboja (dané Rayleighovým limitom), potom prúd pretekajúci cez každú dýzu je rovný 4,7 μA . To by znamenalo výstupný výkon približne 0,5 W do elektrického zaťaženia 20 G Ω .

Energetický výkon by bol závislý nielen od rýchlosti vetra, ale aj od počtu kvapiek, množstva náboja umiestneného na kvapôčkach a od sily elektrického poľa. Výroba energie EWICON je v tomto momente príliš nízka. Výskumníci veria, že tento proces bude finančne konkurencieschopný voči tradičným technológiám veternej energie o dva až štyri roky.

2.7.5.2.7 Vortex Bladeless

Vortex Bladeless je vetrom indukovaný vibračný rezonančný generátor. Využíva veternú energiu z fenoménu vírenia zvaného "Vortex Shedding", čo v preklade znamená uvoľňovanie víru. Technológia pozostáva z bezlopatkového valca upevneného vertikálne elastickou tyčou ku základni. Valec, ktorý osciluje vplyvom vetra, generuje elektrinu cez alternátorový systém. Inými slovami, ide o veternú turbínu, ktorá nie je vlastne ani turbína. Vírové veterné generátory sa svojimi vlastnosťami a nákladmi na výrobu približujú skôr k solárnym panelom než k veterným turbínam.



Obrázok 30 - komponenty veternej turbíny typu Vortex Bladeless

Funkcia a náklady

Inžinieri sa pri navrhovaní budov a konštrukcií snažia eliminovať vibračné sily, no Vortex turbína využíva práve tento jav oscilácie vo vetre. Typická konštrukcia sa rozkmitá len pri určitých frekvenciách vyvolaných určitou rýchlosťou vetra, ale Vortex tvrdí, že pomocou magnetov dokáže prestaviť turbíny aj počas prevádzky tak, aby využili čo najviac z energie vetra. Keď konštrukcia začne vibrovať, alternátor v základni zariadenia konvertuje mechanický pohyb na elektrinu.

Náklady na výrobu elektriny sú o 40 % nižšie ako u klasických veterných turbín. Veľká časť tohto zníženia nákladov pochádza z údržby, pretože Vortex nemá pohyblivé rotačné diely, alebo prevody. To znižuje servisné intervaly a nevyžaduje pravidelné mazanie. Okrem toho sú výrobné náklady novej turbíny v porovnaní s klasickou len polovičné, lebo nie je potrebné vyrábať drahé, masívne lopatky. Druhou stranou mince je však o 30 % nižšia účinnosť v porovnaní s tradičnými veternými turbínami.

2.7.5.2.8 TYER-WIND

TYER-WIND je nový koncept veternej turbíny, ktorý využíva zmenu paradigmy vertikálnej osy. Namiesto lopatiek je vybavený mávajúcimi krídlami, ktoré premieňajú kinetickú energiu vetra na zelenú elektrinu na základe 3D kinematiky s názvom „Aouinian“.

Princíp fungovania 3D kinematiky Aouinian predstavuje významnú revolúciu v oblasti mechaniky. Umožňuje premenu lineárneho pohybu na rotačný (piestový) a je schopný napodobňovať kinematiku

zvierat vrátane kolibríka veľmi účinným a „prirodzeným“ spôsobom. Má široký rozsah strategických aplikácií vrátane veternej energie, spaľovacích motorov, čerpadiel, lodného pohonu a mnohých ďalších. Vertikálny konvertor veternej energie TYER využíva veternú energiu vďaka krídlam, ktoré dokonale napodobňujú pohyb jedného z energeticky najúčinnejších vtákov - kolibríka. Turbína bude zložená z dvoch krídiel, z ktorých každé bude mať dĺžku 1,6 m a budú vyrobené z uhlíkových vlákien. Technológia TYER, ktorú vyvinula spoločnosť Anis Aouini, je inšpirovaná prírodou a ukázala sa ako efektívna a ekologická. Žiadne rotujúce lopatky, len mávanie krídlami, ktoré premieňajú veternú energiu na zelenú elektrinu vďaka svojej revolučnej kinematike. Turbína Tyer Wind je stále vo fáze testovania. Výskumníci stále zhromažďujú informácie o aerodynamickom správaní, energetickej účinnosti, namáhaní stožiara a veľa ďalších.

2.7.5.3 Faktory ovplyvňujúce výkon veterných turbín:

- Sila vetra
- Plocha rotora
- Veterné podmienky
- Teplota vzduchu
- Hustota vzduchu
- Nadmorská výška
- Výška veže turbíny nad terénom

2.7.6 Priemyselný a komerčný systém ochrany elektrizačnej sústavy

Ako sa priemyselné a obchodné prevádzkové procesy a závody stali zložitejšími a rozsiahlejšími, požiadavka na zvýšenú spoľahlivosť zdrojov elektrickej energie sa tiež zvýšila. Zavedenie automatizácie techniky do priemyslu a obchodu prirodzene viedli k dopytu po nasadení väčšej ochrany energetického systému spoľahlivosti a efektívnosti.

Ochraňovanie a kontrole priemyselných systémov napájania sa musí venovať náležitá pozornosť. Mnoho z techník, ktoré boli vyvinuté pre energetické systémy EHV, na ktoré sa môžu vzťahovať aj systémy nízkeho napätia, poslúžili zvyčajne v zmenšenom rozsahu. Priemyselné systémy však majú veľa zvláštnych problémov a zaslúžili by si individuálnu pozornosť a rozvoj konkrétneho riešenia. Mnoho priemyselných závodov má nainštalované vlastné generátory. Niekedy je to len na núdzové použitie obmedzené počtom prípojnic a s obmedzenou kapacitou. Toto sa často prijíma na zabezpečenie bezpečného odstavenia výrobných zariadení. V iných procesoch umožňuje výrobu podstatného množstva elektrickej energie, čo umožňuje aj export akýchkoľvek prebytkov pre verejnosť do zásobovacieho systému. Zdroje, ktoré generujú paralelne s verejnou DS, sa často označujú ako kogenerácia.

2.7.6.1 Usporiadanie pripojenia

Usporiadanie systému prípojnic je veľmi dôležité pre zložité priemyselné systémy. Vo väčšine systémov však existuje jedna prípojnica rozdelená na časti ističom zbernicového úseku. Hlavná a pohotovostná jednotka pre konkrétnu položku procesného zariadenia sa bude dodávať z rôznych častí rozvádzača, alebo niekedy z rôznych rozvádzačov. Hlavným kritériom návrhu energetického systému je, že jednotlivé výpadky na elektrickej sieti v závode nespôsobia stratu hlavného aj pohotovostného disku súčasne. Pri zvážení pre stredne veľké priemyselné zásobovacie systémy sú použité nielen duplicitné napájacie zdroje a transformátory, ale určité dôležité systémy sú tiež oddelené. To umožňuje maximálne využitie pohotovostného režimu generátorového zariadenia. Pohotovostný generátor je zvyčajne naplňovaný turbodúchadlom naftového typu.

Pri detekcii straty sa generátor spustí automaticky. Príslušný obvod ističa sa zatvorí, akonáhle je generátorová súprava v behu. Pre typický dieselový generátor bude núdzové zásobovanie k dispozícii do 10-20 sekúnd od vydania príkazu štartovacej sekvencie. Dosky základnej služby sa používajú na napájanie týchto zariadení a sú nevyhnutné pre bezpečné vypnutie, obmedzenú prevádzku príp. ochranu elektrární a bezpečnosti personálu. Toto pokryje procesné pohony nevyhnutné pre bezpečné vypnutie, odvetranie systémov, záťaž UPS napájajúce núdzové osvetlenie, procesy riadiace počítače atď. Núdzový generátor môže byť v rozsahu veľkosti od jednej jednotky s výkonom 20 - 30 kW v malom závode do niekoľko jednotiek s výkonom 2 - 10 MW vo veľkej ropnej rafinérii alebo podobnom závode.

2.7.6.2 Diskriminácia

Ochranné zariadenie pracuje v spojení s rozvádzačmi. Pre typický priemyselný systém budú podávače a zariadenia chránené hlavne ističmi rôznych typov a stýkačov. Ističe budú mať svoje združené nadprúdové a zemné relé. Môže to byť aj stýkač vybavený ochranným zariadením (napr. ochrana motora), ak sú poskytnuté príslušné poistky na prerušenie poruchových prúdov v nadmernom množstve. Hodnotenie poistiek a výber nastavenia relé sa vykonáva tak, aby sa zabezpečilo, že sa dosahuje diskriminácia - teda schopnosť selektovať a izolovať iba chybné časti systému.

2.7.6.3 Poistky

Ochranné zariadenie najbližšie k skutočnému bodu napájania je s najväčšou pravdepodobnosťou poistka alebo systém poistiek a je dôležité, aby sa zväžila správnosť použitia tohto dôležitého zariadenia. Poistka je kľúčovým zariadením na odstraňovanie porúch na ochranu vo vnútri priemyselného a obchodného zariadenia, či už sú namontované v rozvádzači alebo ako súčasť stýkača alebo poistkového spínača. Toto sa považuje za dôležitú súčasť ochrany obvodu NN, kombináciou bezpečného zapojenia a prerušenia obvodu s izoláciou. Poistky kombinujú charakteristiky ekonomiky a spoľahlivosti; faktory, ktoré sú najviac dôležité v priemyselných aplikáciách. Nedostatok diskriminácie prostredníctvom nesprávne fungujúcej poistky bude mať za následok zbytočné odpojenie zásob.

2.7.6.3.1 Charakteristika poistky

Čas potrebný na roztavenie tavitelného prvku závisí od veľkosti prúdu. Tento čas je známy ako „prípravný“ čas poistky. Odparovanie prvku nastáva momentom topenia a dochádza k fúzii medzi parou a náplňou (prášok) vedúcej k rýchlemu zániku oblúka. Poistky majú znázornenú hodnotnú charakteristiku označovanú ako „vypínacia“. Keď je nechránený obvod vystavený prepätiu a nastane skratová chyba, prúd stúpa k maximálnej hodnote. Poistka zvyčajne preruší skratový prúd predtým, ako dosiahne potenciálnu hodnotu, v prvej štvrtine až v polovici cyklu skratu. Stúpajúci prúd je prerušený tavením tavitelnej látky. Pretože elektromagnetické sily na prípojniciach a spojeniach prenášajúcich skratový prúd súvisia s plochou, je cenné, že „medzná hodnota“ významne znižuje mechanické sily vyvolané poruchovým prúdom a ak nie, môže to skresliť správne hodnotenie prípojnic a spojení.

2.7.6.3.2 Diskriminácia medzi poistkami

Poistky sú často zapojené do série, aby boli schopné diskriminovať na všetkých súčasných úrovniach. Diskriminácia sa dosiahne, keď väčšia („hlavná“) poistka zostáva nedotknutá poruchovými prúdmi, ktoré sú vyčistené menšou poistkou. Prevádzkovú dobu poistky je možné rozdeliť na dve časti: čas potrebný na to, aby poruchový prúd roztavil prvok, a čas potrebný na vytvorenie oblúka vytvoreného vo vnútri poistky na uhasenie a izolovanie obvodu. Celková energia, ktorá sa počas prevádzky rozptýli v poistke, pozostáva z „energie pred vznikom oblúka“ a „energie od oblúka“. Hodnoty sú obvykle vyjadrené v pojmoch I_2t , kde I je súčasný prechod cez poistku a „ t “ je čas v sekundách. Na získanie pozitívnej diskriminácie medzi poistkami nesmie celková I_2t hodnota menšej poistky prekročiť

predžiarivý I2t hodnotu hlavnej poistky. V praxi to znamená, že hlavná poistka bude musieť mať hodnotenie výrazne vyššie ako hodnotenie menšej poistky, a to môže spôsobiť problémy s diskrimináciou. Typicky musí mať hlavná poistka menovitú hodnotu najmenej 160 % menšej poistky.

2.7.6.3.3 Ochrana poistiek a vplyv teploty

Kábel z PVC smie byť zaťažený iba na celú svoju nominálnu hodnotu, ak má „blízku ochranu pred nadmerným prúdom“. Tento stupeň ochrany môže byť poskytnutý pomocou poistkovej vložky, ktorá má „Tavný faktor“ nepresahujúci 1,5, ak: Fúzny faktor = minimálny fixačný prúd / prúd. Káble vyrobené z iných izolačných materiálov (napr. papiera, XLPE) nemajú z tohto hľadiska žiadne zvláštne požiadavky.

Vysoké teploty okolia môžu ovplyvniť schopnosť poistky. Väčšina poistiek je vhodná na použitie v prostredí teploty do 35 °C.

2.7.6.4 Prerušovače okruhov

Niektoré časti priemyselného energetického systému sú najefektívnejšie chránené poistkami, ale výmena prepálenej poistky môže byť obzvlášť nepohodlná. V týchto miestach sa namiesto nich používajú ističe, ktoré prerušovačom prerušia maximálnu možnú poruchu prúdu bez poškodenia seba samého. Okrem toho pri prerušení poruchového prúdu musí istič rýchlo rozptýliť výsledný ionizovaný plyn od kontaktov prerušovača, aby zabránil opätovnému úderu oblúka, a ďalej od iných živých častí prístroja, aby sa zabránilo poruche. Prerušovač, jeho kábel alebo prípojnice a kryt ističa musia byť všetky konštruované tak, aby odolali mechanickým silám vyplývajúcim z magnetického poľa a tlaku plynu vnútorného oblúka, ktorý produkuje najvyššie úrovne poruchového prúdu, s ktorými sa možno stretnúť.

2.7.6.4.1 Miniaturne ističe (MCB)

Základná jednopólová jednotka je malý, ručne zatváraný, elektricky alebo ručne otváraný spínač umiestnený v lisovanom plastovom obale. Sú vhodné na použitie na 230 V AC jednofázové / 400 V AC trojfázové systémy a na DC pomocné napájacie systémy s prúdovými hodnotami do 125 A. V každej jednotke je obsiahnutý tepelný prvok, ktorý bimetalový pásik prepne, keď ním prechádza nadmerný prúd. Tento prvok pracuje s vopred určenou charakteristikou inverzného času/prúdu. Vyššie prúdy, zvyčajne také, ktoré presahujú 3-10-násobok menovitého prúdu, vypne istič bez úmyselného oneskorenia magnetický vypínací nadprúdový prvok. Prevádzkové doby ističov nie sú nastaviteľné. Európska norma EN 60898-2 definuje okamžité vypnutie, zatiaľ čo výrobca môže definovať inverznú hodnotu časového tepelného vypnutia. Maximálna AC striedavého prúdu je povolená na 25 kA. Jednopólové jednotky môžu byť spojené do skupín mechanicky tvoriace 2, 3 alebo 4 pólové jednotky, ak je to potrebné, namontovaním na rozvodnú dosku. Dostupné hodnotenia hodnotia mini-ističe ako vhodné pre priemyselné, obchodné alebo domáce použitie, pre ochranu zariadení ako sú káble, osvetlenie a kúrenie obvodov a tiež na riadenie a ochranu nízko spotrebných motorových obvodov. Môžu byť použité namiesto zapnutých poistiek a sú zvyčajne „zálohované“ zariadením vyššej kapacity prerušenia poruchy.

Rôzne jednotky príslušenstva ako sú izolátory, časovače možno kombinovať s podpäťovými alebo vypínacími jednotkami mini-ističov, aby vyhovovali konkrétnemu obvodu, ktorý sa má ovládať a chrániť. Ak sa vyžaduje personálna alebo protipožiarna ochrana, zariadenie s prúdovým chráničom (ZPCH) možno kombinovať s mini-ističom. ZPCH obsahuje miniaturný prúd vyváženia jadra transformátora, ktorý zahŕňa všetky fázy a neutrálny vodiča na zabezpečenie citlivosti na zemné poruchy v rámci typického rozsahu 0,05 % až 1,5 % menovitého prúdu v závislosti od vybraného ZPCH. Rovnováha jadra CT energizuje bežný magnetický vypínací pohon pre zostavu mini-ističa. Je tiež možné získať

prúdovo obmedzujúce mini-ističe. Tieto typy - otvorené pred dosiahnutím potenciálneho poruchového prúdu - majú podobné vlastnosti ako poistky.

2.7.6.4.2 Istič tvarovaného puzdra (MCCB)

Tieto ističe sú veľmi podobné ističom MCB, ale majú tieto dôležité rozdiely: maximálne hodnoty sú vyššie s hodnotami napätia do 1 000 V AC //1200 V DC. Aj keď sú k dispozícii ako jednolôžkové, dvojlôžkové alebo trojlôžkové pólové jednotky, viacpólové jednotky majú spoločný kryt pre všetky póly. Ak je namontovaný, je spínač pre neutrálny obvod zvyčajne samostatné zariadenie pripojené k viacpólovému ističu tvarovaného puzdra; prevádzkové úrovne magnetickej a tepelnej ochrany môžu byť nastaviteľné najmä z dôvodu umiestnenia v systéme distribúcie energie bližšie k zdroju energie než ističe MCB (príslušná európska špecifikácia je EN 60947-2). Je potrebné postupovať opatrne pri skratových hodnotách ističov tvarovaného puzdra. Istič tvarovaného puzdra má dve vypínacie kapacity, z ktorých vyššia je jeho maximálna vypínacia schopnosť. Po prerušení prúdu nemusí byť istič vhodný pre ďalšie používanie. Dolná úroveň skratu resp. prevádzkový skrat umožňuje ďalšie používanie bez ďalších podrobností preskúmanie prístroja. Norma povoľuje vypínanie schopnosť až 25 % maximálneho vypínacieho výkonu kapacity.

Charakteristiky časového oneskorenia magnetickeho alebo tepelného úniku spolu s nutnosťou alebo veľkosťou zálohy zariadenie sa líšia podľa značky a veľkosti ističa. Niektoré ističe tvarovaného puzdra sú vybavené programovateľným vypnutím riadeným mikroprocesorom. Časovo oneskorené charakteristiky nadprúdu nemusia byť rovnaké ako štandardná charakteristika ochrany v závislosti od času uvedenej v IEC 60255-3. Preto diskriminácia s ostatnými ochranami musí byť starostlivo zvážená. Problémom môže byť, keď sú dva alebo viac ističov alebo ističov elektricky napájaných v sériách, pretože medzi nimi môže byť získanie selektivity ťažké.

2.7.6.4.3 Vzduchové ističe

V priemysle sa často stretávame s prúdovými chráničmi dimenzovanými na 3,3 kV a nižšie. Moderné NN ACB sú k dispozícii v prúdovom hodnotení do 6,3 kA s maximom vypínacej schopnosti v rozmedzí 85 kA - 120 kA r.m.s., v závislosti od napätia systému. Tento typ prerušovača pracuje na princípe oblúka; keď sa hlavné kontakty otvoria, je ovládaný pomocou nasmerovania do oblúkového žľabu. Tu sa odpor oblúka zvýši a tým pádom sa prúd zníži do bodu, keď napätie obvodu nedokáže udržať oblúk a prúd sa znižuje na nulu. Na pomoc pri zhasnutí slaboprúdových oblúkov na nasmerovanie prúdu vzduchu môže byť vzduchový valec namontovaný na každý stĺp cez kontaktné plochy, keď sa istič otvára, čím sa redukuje kontaktná erózia.

Vzduchové ističe na priemyselné použitie sú zvyčajne výsuvné a sú vyrobené s lícovou prednou doskou, čo ich robí ideálnymi na začlenenie spolu s poistkovými spínačmi a ističmi, takže sa maximalizuje počet obvodov v rámci danej podlahovej plochy. Staršie typy používajúce ručné alebo závislé ručné zatváranie sa považujú za bezpečnostné riziko. ACB sú zvyčajne vybavené integrovanou nadprúdovou ochranou, čím sa zabráni potrebe samostatných ochranných zariadení. Charakteristiky prevádzkovej doby integrálu ochrany sú často navrhnuté tak, aby diskriminovali ističe/poistky jednoduchšie, takže nemusia byť v súlade so štandardnými časovo závislými charakteristikami uvedenými v IEC 60255-3. ACB majú tiež vybavenie na prijímanie externého vypínacieho signálu a tento je možné použiť v spojení s externým relé.

2.7.6.4.4 Olejové ističe

Olejové ističe sú už mnoho rokov veľmi populárne priemyselné napájacie systémy s napätím 3,3 kV a vyšším. Nachádzajú sa iba v typoch „naftového oleja“ a „minimálneho oleja“, podstatným rozdielom je objem oleja v nádrži. V tomto type ističa sú hlavné kontakty uložené v olejom naplnenej nádrži s olejom pôsobiacim ako izolácia a médium na zhasnutie oblúka. Oblúk vznikajúci pri kontakte

separácie v poruchových podmienkach spôsobuje disociáciu uhľovodíkového izolačného oleja na vodík a uhlík. Vodík hasí oblúk. Vyrobený uhlík sa zmieša s olejom. Kvôli riziku požiaru spojeného s olejom musia byť dodržané bezpečnostné patrenia, napr. výstavba protipožiarnych stien.

2.7.6.4.5 Vákuové vypínače

V posledných rokoch sa tento typ ističa, spolu s CB používajúcim SF₆, nahradil OCB pre nové inštalácie v priemyselných/obchodných systémoch s napätím 3,3 kV a vyšším. V porovnaní s olejovými ističmi nemajú vákuové vypínače riziko požiaru a majú vysokú spoľahlivosť s dlhodobou životnosťou. Variáciou je vákuový stýkač s HRC poistkami, ktoré sa používajú v štartovacích zariadeniach motorov VN.

2.7.6.4.6 Ističe SF₆

V niektorých krajinách používajú ističe ako oblúkové zapaľovanie plyn SF₆. Médium sa uprednostňuje pred VCB ako náhrada pred vzduchom a olejom izolované CB. Niektoré moderné typy skriňových rozvádzačov umožňujú použitie buď VCB, alebo SF₆-izolované CB podľa požiadaviek zákazníka. Hodnoty do 31,5 kA r.m.s.; poruchový zlom pri 36 kV a 40 kA pri 24 kV sú typické. CB izolované SF₆ majú tiež výhody spoľahlivosti a intervalu údržby v porovnaní so vzduchovou alebo olejovou izoláciou CB.

2.7.6.5 Ochranné relé

Keď samotný istič nemá integrál ochrany, potom je potrebné vhodné externé relé. Pre priemyselný systém to najbežnejšie ochranné relé sú časovo oneskorené nadprúdy a zemné spojenie relé. Pre trojfázové systémy tradične existujú nadprúdové relé, ktoré sa často aplikovali na dve fázy iba pre reléový prvok. Dva nadprúdové prvky môžu byť použité na detekciu akejkoľvek medzifázovej poruchy.

2.7.6.6 Problémy s koordináciou

Existuje veľa problémov, ktoré sa bežne vyskytujú v priemyselných a obchodných sieťach, na ktoré sa vzťahuje nasledujúca časť. Pre štvorvodičové systémy zvyškové pripojenie trojfázové CT k prvku relé zemného spojenia ponúka ochranu zemného spojenia, ale prvok relé zemného spojenia musí byť nastavený vyššie ako najvyšší prúd jednofázovej záťaže, aby sa zabránilo nepríjemnostiam. Harmonické prúdy (ktoré sa môžu sčítať v neutrálne vodičom) môže tiež viesť k rušivým javom.

Zemná chyba reléového prvku bude tiež reagovať na fázovo neutrálnu poruchu pre fázu, ktorá nie je pokrytá nadprúdovým prvkom, kde sú použité iba dva nadprúdové prvky. Tam, kde sa vyžaduje, aby zemná ochrana reagovala iba na zemný poruchový prúd, ochranný prvok musí byť zvyškový pripojený k trojfázovým CT a k neutrálnemu CT alebo k rovnovážnemu stavu CT. V takom prípade musí byť nadprúdová ochrana aplikovaná na všetky tri fázy, aby sa zabezpečilo, že všetky fázovo neutrálné poruchy budú zistené nadprúdovou ochranou. Ak je neutrálny CT vynechaný, je neutrálny prúd braný relé ako prúd zemného spojenia a nastavenie relé by sa muselo zvýšiť, aby sa zabránilo problémom za podmienok normálneho zaťaženia. Keď je relé zemného spojenia napájané zo zvyškového spojenia CT, nastavenie prúdu a času relé musí byť také, aby bola ochrana stabilná počas prechodu prechodného CT prúdu cez relé.

2.7.6.7 Napätie a zmena fázovej ochrany

Napäťové relé sa často používajú v priemyselnej energetike zásobovacích systémov. Hlavným účelom je zistiť podpäťové a/alebo prepäťové podmienky na rozvádzačoch kvôli odpojeniu spotrebného materiálu skôr, ako by mohlo dôjsť k ich poškodeniu, alebo na zabezpečenie blokovania. Predĺžené

prepätie môže spôsobiť poškodenie zariadení citlivých na napätie (napr. elektronika), zatiaľ čo podpätie môže spôsobiť nadmerné napätie prúdu, ktorý sa má odoberať zaťaženie motora. Motory sú vybavené tepelnou ochranou proti preťaženiu, aby sa zabránilo poškodeniu nadmerným prúdom, ale na podpäťovú ochranu sa bežne vzťahuje odpojenie motorov po dlhšom poklese napätia. Moderné numerické ochranné relé motora zvyčajne obsahujú ochranné napäťové funkcie, čím odpadá potreba diskretných podpäťových relé na tento účel.

Staršie inštalácie môžu stále využívať diskretné podpätie. Mala by byť použitá ochrana proti prepätiu fázovej postupnosti, kde môže byť nebezpečné pre naštartovanie motora otáčanie v opačnom smere, ako je zamýšľané. Ak sa zistí reverzná sekvencia fáz, štartovanie motora môže byť blokovávané. Ak napätie reverznej fázy ochrany nie je, vysoko nastavená záporná fáza ochrana sekvenčného prúdu v relé by rýchlo zistila stav, keď je štartovacie zariadenie zatvorené - ale počiatočnému spätnému otáčaniu motora by nebolo možné zabrániť.

3 OBNOVITELNÉ A ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE

3.1 Voda

K dnešnému dňu sú vodné elektrárne najviac rozšíreným zdrojom elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Je to najmä pre ich účinnosť a spôsob regulácie výkonu. Zdrojom energie vo vodných elektrárňach je potenciálna energia vody, ktorá sa pri dopade na turbínu mení na mechanickú a následne v generátore na elektrickú.

Pracovný proces každého vodného stroja, každej vodnej turbíny je určený ich základnými pracovnými parametrami, t. j. veličinami, ktoré charakterizujú proces premeny mechanickej energie vody na mechanickú energiu rotujúceho hriadeľa.

Pomimo výroby elektrickej energie je vodné elektrárne možné tiež využiť za účelom regulácie toku, na možnosť plavby lodí, zavlažovanie, rybolov či na rekreačné účely.

3.1.1 Druhy vodných elektrární

Kritérií, podľa ktorých je možné rozdeliť vodné elektrárne, môže byť veľmi veľa. Základným je veľkosť inštalovaného výkonu:

Podľa STN, 1989 –75 0128 Vodné hospodárstvo – Názvoslovie využitia vodnej energie, to sú:

- malé vodné elektrárne s inštalovaným výkonom do 10 MW,
- stredné vodné elektrárne s inštalovaným výkonom od 10 MW do 200 MW,
- veľké vodné elektrárne s inštalovaným výkonom nad 200 MW.

Samotné malé vodné elektrárne sa podľa tejto normy delia na:

- domáce vodné elektrárne s inštalovaným výkonom do 35 kW,
- vodné mikro elektrárne s inštalovaným výkonom od 35 kW do 100 kW,
- vodné mini elektrárne s inštalovaným výkonom od 100 kW do 1 MW,
- priemyselné vodné elektrárne s inštalovaným výkonom od 1 MW do 10 MW.

Podľa využívaného spádu sa vodné elektrárne delia na:

- nízkotlakové, využívajúce spád do 20 m,
- stredotlakové, využívajúce spád od 20 m do 100 m,
- vysokotlakové, využívajúce spád nad 100 m.

Podľa účasti na pokrývaní denného diagramu zaťaženia elektrizačnej sústavy sú elektrárne:

- základné - pracujú prevažne v pásme základného zaťaženia denného diagramu,
- pološpičkové - pracujú v pásme pološpičkového zaťaženia denného diagramu,
- špičkové - pracujú v pásme špičkového zaťaženia denného diagramu, sú to najmä prečerpávacie vodné elektrárne;
- samostatné - nespolupracujú s elektrizačnou sústavou

Medzi výhody použitia Archimedovej skrutky v malých vodných elektrárňach patrí:

- možnosť využitia malých spádov a prietokov aj tam, kde by bolo problematické inštalovať iný zdroj,
- robustnosť, možnosť spracovať znečistené vody bez ich predchádzajúceho čistenia, odolnosť proti abrázii, vysoká spoľahlivosť, minimálna obsluha,

- ekologická vhodnosť – ryby, žaby a ostatné vodné živočíchy prejdú skrutkou bez problémov,
- pri malých zdrojoch a mikro zdrojoch s asynchrónnym motorom v generátorovom chode žiadna regulácia, a tým lacnejší agregát,
- skrutkové čerpadlá sa bežne vyrábajú, preto je možné sériové diely výhodne použiť vo funkcii vodného motora,
- žľab pre Archimedovu skrutku môže byť otvorený alebo uzavretý a môže sa zhotoviť z betónu na pološpičkové, pracujúce prevažne v pološpičkovom pásme denného diagramu zaťaženia elektrizačnej sústavy,
- špičkové, pracujúce prevažne v špičkovom pásme denného diagramu zaťaženia elektrizačnej sústavy,
- samostatné, ktoré nie sú zapojené do elektrizačnej sústavy.

Podľa pracovného režimu sa vodné elektrárne delia na:

- prietokové, ktoré neakumulujú vodu a využívajú len prirodzené prietoky toku,
- akumulčné, ktoré využívajú riadený odber vody z akumulčnej nádrže nad touto VE,
- prečerpávacie, ktoré využívajú vodu akumulovanú v hornej nádrži a z dolnej nádrže ju tam prečerpávajú.

Akumulčné vodné elektrárne sa delia na elektrárne s denným, týždenným, ročným a viacročným riadením podľa toho, či pracujú s riadeným odberom vody z akumulčnej nádrže tak, že jej cyklus vyprázdňovania a plnenia trvá spravidla jeden deň, týždeň, rok alebo viac rokov.

Podľa koncentrácie spádu sa vodné elektrárne delia na:

- prietokové
 - priehradové
 - haťové
- derivačné – vodu privádza umelo vybudovaný kanál alebo koryto,
- prečerpávacie – dve navzájom prepojené nádrže na rôznych výškových úrovniach, pričom jedna z nádrží môže, ale aj nemusí mať prirodzený prítok vody.
- prílivové – využívajú spád medzi prílivom a odlivom vody,
- využívajúce energiu vín.

Podľa veľkosti spádu poznáme:

- nízkotlaké – do 20 m,
- strednotlaké – do 100 m,
- vysokotlaké – nad 100 m.

V súčasnosti sa aj vďaka štátnej podpore rozšírili tzv. malé vodné elektrárne – jedná sa o VE s inštalovaným výkonom do 1MW.

3.1.2 Prečerpávacia vodná elektráreň

Sú to akumulčné špičkové elektrárne s denným cyklom a účinnosťou cca 75 %. Hospodárna prevádzka vyžaduje lacnú energiu. Najvýhodnejšia z hľadiska riadenia elektrizačnej sústavy je ich kombinácia s jadrovými elektrárnami. Majú vybudované dve nádrže s prirodzeným prítokom do hornej nádrže alebo bez neho. Čím je väčší spád, tým sú potrebné menšie úžitkové objemy nádrží na výkon PVE.

Z hľadiska vodného režimu môžu byť PVE:

- Klasické, ktoré majú hornú nádrž bez prirodzeného prítoku. Voda sa čerpá z dolnej nádrže s malým prítokom, ktorý hradí straty priesakom a vyparovaním (Čierny Váh). Najvýhodnejšie by bolo, aby pomer turbínovej a čerpadlovej prevádzky bol blízky jednej. Optimum sa však dosahuje pri pomere 1,1 až 1,5 (t. j. účinnosti 90 až 66 %). Súvisí to z rozdielnymi stratami v potrubí pri čerpadlovej a turbínovej prevádzke.
- Zmiešané, ktorých hornú nádrž tvorí priehrada na vodnom toku, takže sa tu okrem prečerpávania využíva aj primárny hydroenergetický potenciál. Spodná nádrž je vybudovaná ako vyrovnávací s elektrárnou a reguluje prietok v dolnom úseku vodného toku (L. Mara).
- So zvláštnou čerpacou stanicou, ktoré sa budujú vtedy, ak jestvuje možnosť čerpať vodu do hornej nádrže z nádrže, ktorá leží vyššie ako elektrárne. Vtedy bude čerpací výška menšia ako spád pri turbínovej prevádzke a účinnosť prečerpávania môže byť väčšia ako 1,0.

Usporiadanie sústrojenstva PVE môže byť:

- štvorstrojové – samostatné čerpadlo s motorom a turbína s generátorom,
- trojstrojové – čerpadlo s pevnou alebo vysúvateľnou spojkou spojené s turbínou a motorgenerátorom,
- dvojstrojové – reverzná turbína a motorgenerátor.

3.2 Vietor

V súčasnosti prakticky všetky väčšie veterné elektrárne dodávajú elektrickú energiu do elektrickej siete. Súvisí to s tým, že výkon jednej elektrárne je obyčajne omnoho väčší, ako je spotreba jedného resp. viacerých odberateľov. Maximálne výkony generátorov poháňaných veternou turbínou sa pohybujú až do 5 MW. V súčasnosti sú vo svete postavené veterné farmy s celkovým výkonom až do 500 MW.

Veterné elektrárne sa podľa výkonu rozlišujú na:

- malé (asi do 20 kW pre rodinné domy, farmy),
- stredné (od 20 do 50 kW),
- veľké (nad 50 kW).

VE nad 20 kW sa takmer výhradne používajú pre dodávky energie do verejnej siete. Celková účinnosť veternej elektrárne je asi 40 – 45 %, prakticky je na úrovni klasických parných elektrární.

Podľa orientácie osy otáčania delíme veterné elektrárne na:

- s vertikálnou osou otáčania,
- s horizontálnou osou otáčania.

Pred výstavbou veternej elektrárne je potrebné sa zamyslieť nad vhodnosťou lokality. Lokalita by mala spĺňať nasledovné kritériá:

- ročná priemerná rýchlosť musí byť aspoň 4 m.s-1 vo výške 10 m,
- umiestnenie lokality (stavba v chránenom území komplikuje schvaľovacie riadenie),
- vhodné geologické podmienky pre základy (zohľadniť seizmicitu),
- prístupnosť lokality stavebným mechanizmom,
- možnosť vlastníctva alebo dlhodobého prenájmu,
- vzdialenosť elektrického vedenia nízkeho alebo vysokého napätia (ak je to možné do 1 km),
- bezpečnosť prevádzky (teda dostatočná vzdialenosť od obydľí – hluk, možnosť rušenia telekomunikácií).

3.2.1 Veterné elektrárne s konštantnou rýchlosťou

Ako zdroj energie pre tento typ elektrárne sa používa asynchrónny generátor, pričom poloha lopatiek môže byť riadená alebo konštantná. Pre elektrárne s výkonom do 1 MW sa spravidla používa konštantné natočenie lopatiek turbíny a preto nie je potrebné inštalovať mechanizmus natáčania listov s radiacou jednotkou. Mechanizmus natáčania listov napomáha aj riadeniu výkonu elektrárne pri náhlych zmenách rýchlosti vetra – prispôbuje krútiaci moment vrtule rýchlosti vetra tak, aby krútiaci moment zostával konštantným.

3.2.2 Veterné elektrárne s premenlivou rýchlosťou

Ako zdroj energie môže byť použitý synchronný aj asynchrónny generátor. Využíva sa výkonový menič pre reguláciu výstupného výkonu veternej elektrárne v závislosti od rýchlosti vetra. Takisto vďaka meniču odpadá nepriaznivý vplyv flickera.

3.2.3 Rozdelenie veterných zariadení

- Podľa aerodynamického princípu na odporové a vztlakové.
- Podľa polohy osi otáčania:
 - veterné zariadenia s horizontálnou osou otáčania,
 - veterné zariadenia s vertikálnou osou otáčania.
- Podľa súčiniteľa rýchlobežnosti λ :
 - pomalobežné $\lambda < 1,5$ z = 6 – 40,
 - stredne rýchlobežné $\lambda = 1,5 – 3,5$ z = 4 – 6,
 - rýchlobežné $\lambda > 3,5$ z = 1 – 3.

Súčiniteľ rýchlobežnosti (rýchlostný súčiniteľ) λ je bezrozmerné číslo vyjadrujúce pomer obvodovej rýchlosti rotora a rýchlosti vetra. Hodnota súčiniteľa rýchlosti klesá so stúpajúcim počtom lopatiek rotora. Počet listov veternej turbíny má aj podstatný vplyv na veľkosť výkonového činiteľa c_p . Čím má turbína viac listov, tým dosahuje vyššiu hodnotu výkonového činiteľa pri nižších otáčkach turbíny. Rýchlostný súčiniteľ ovplyvňujú tieto faktory:

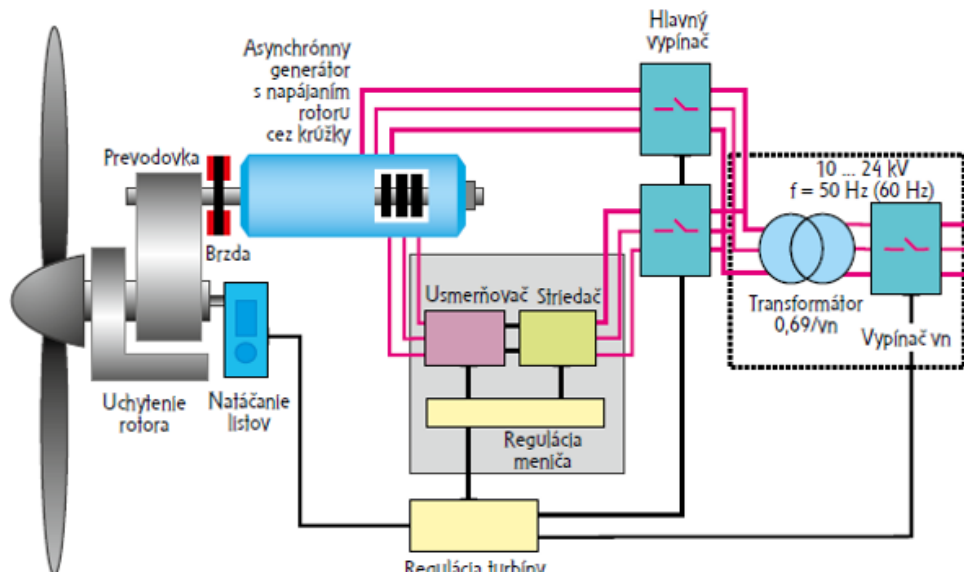
- počet lopatiek (listov) rotora,
- profil, šírka a uhol nábehu listov, čo má vplyv na počet otáčok, celkovú účinnosť, osový tlak a priebeh charakteristík.
- Podľa účelu na:
 - veterné zariadenia slúžiace na čerpanie vody,
 - veterné elektrárne.
- Podľa spôsobu dodávky elektrickej energie na:
 - systémy nezávislé od rozvodnej siete (grid – off), t. j. autonómne systémy, ktoré slúžia na lokálne zásobovanie elektrickou energiou s výkonom rádovo kW,
 - systémy dodávajúce energiu do rozvodnej siete (grid-on). Takto je pripojená väčšina veterných elektrární vyšších výkonov hlavne v oblastiach s veľkým veterným potenciálom. Slúžia výhradne na komerčnú výrobu elektrickej energie a na dodávku elektrickej energie veternou elektrárnou do rozvodnej siete a následne až k spotrebiteľovi.
- Podľa spôsobu regulácie výkonu:
 - pasívna regulácia (stall) – rotor elektrárne má pevné listy a na reguláciu využíva odtrhnutie prúdnic vzduchu od listu rotora pri určitej rýchlosti vetra. Dôjde tak k zníženiu výkonu;

- o aktívna regulácia (pitch) – využíva natáčanie celého listu rotora podľa okamžitej rýchlosti vetra tak, aby bol celkový nábeh veterného prúdu v danom okamihu optimálny.

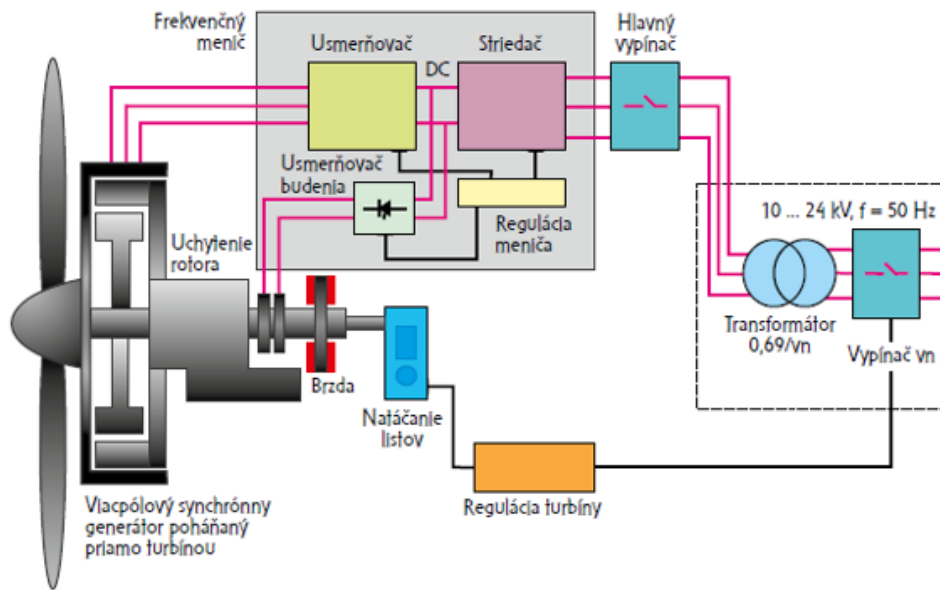
Možnosti pripojenia veterných elektrární do sietí

Pripájanie veterných elektrární k sieťam VN, VVN, ZVN je špecifické vzhľadom na ich odlišné charakteristické vlastnosti v porovnaní s tradičnými elektrárnami. Spôsob pripojenia veterných elektrární do sietí závisí od mnohých činiteľov:

- Veľkosť jednotkového inštalovaného výkonu veterných elektrární závisí od poveternostných podmienok, iné sú vo vnútrozemí a iné v blízkosti morských pobreží. Vo vnútrozemí sa používajú veterné turbíny približne do výkonu 2,5 MW a v blízkosti morských pobreží sa začínajú používať turbíny s jednotkovým inštalovaným výkonom až 5 MW.
- Celkový inštalovaný výkon veterných elektrární je rozhodujúcim parametrom na určenie napäťovej hladiny siete, ku ktorej bude veterná elektrárňa pripojená. Toto rozdelenie do jednotlivých napäťových hladín rešpektuje prenosové schopnosti vedení v jednotlivých napäťových hladinách.

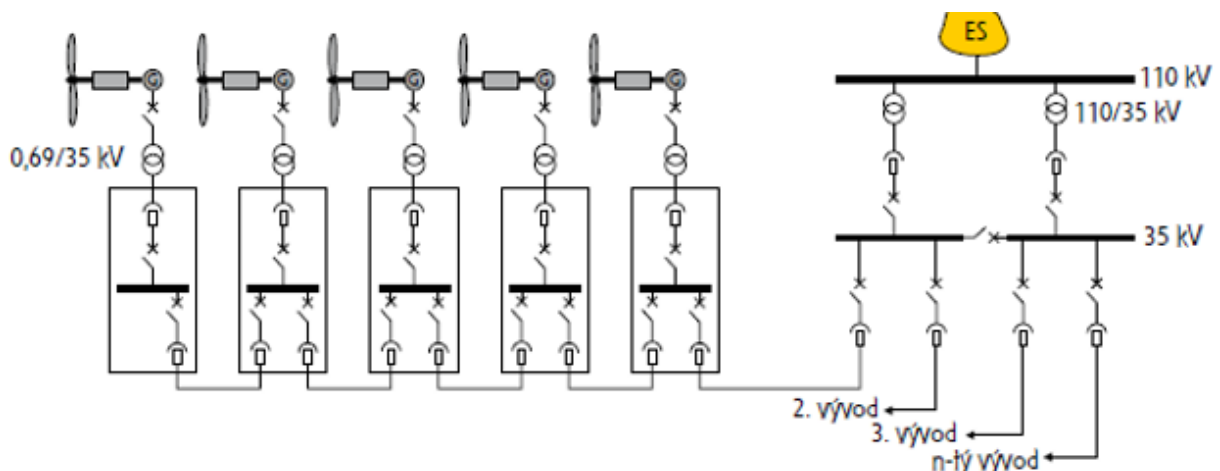


Obrázok 31 - asynchrónny generátor napájaný do rotora

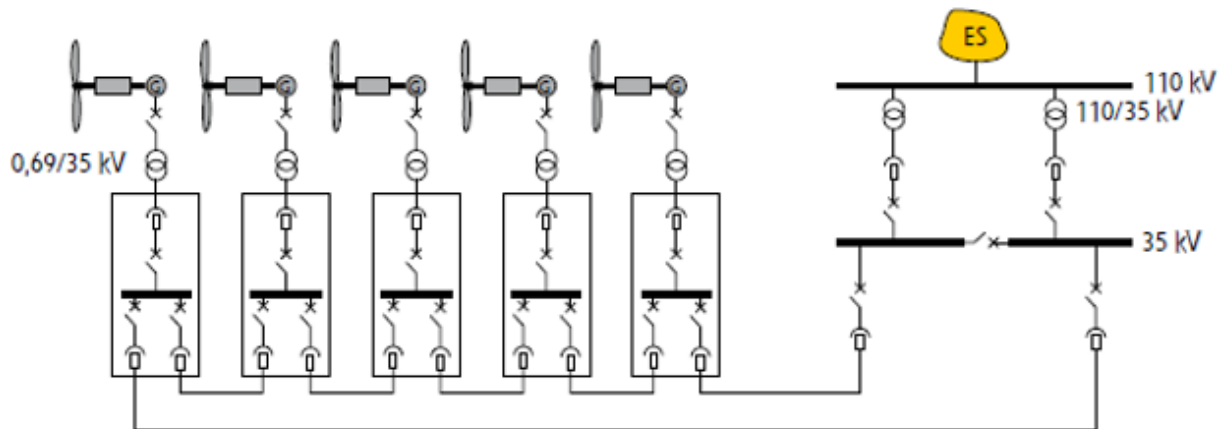


Obrázok 32 - viacpólový synchronný generátor poháňaný priamo turbínou

- Počet stožiarov a rozloha veterného parku má vplyv na spôsob vyvedenia výkonu (vzájomné prepojenie) veterných generátorových agregátov do elektrickej siete. V súčasnosti registrujeme dva zaužívané spôsoby prepájania jednotlivých veterných generátorových agregátov veterných elektrární v zahraničí. Prvý spôsob je tzv. radiálne prepojenie veterných generátorových agregátov. Tento spôsob vyvedenia výkonu sa vyznačuje nízkymi počiatočnými nákladmi, ale na druhej strane aj nízkou spoľahlivosťou zabezpečenia spoľahlivého vyvedenia výkonu skupiny veterných generátorových agregátov do ES. Druhý spôsob je tzv. skruhované prepojenie veterných agregátov. Tento spôsob vyvedenia výkonu sa vyznačuje naopak vyššími počiatočnými nákladmi, ale aj vyššou spoľahlivosťou vyvedenia výkonu skupiny veterných generátorových agregátov do ES.
- Vzdialenosť k najbližšej stanici, do ktorej má byť veterná elektráreň pripojená, je rozhodujúca z hľadiska realizácie pripojenia veterných elektrární do ES a z hľadiska nutnosti posilnenia predmetnej časti ES. Vo väčšine prípadov sa vhodné lokality na výstavbu veterných elektrární nachádzajú v oblastiach vzdialených od miest spotreby a v oblastiach slabo vybudovaných sietí. V týchto lokalitách bude nevyhnutná rekonštrukcia alebo výstavba vedení z dôvodu zabezpečenia spoľahlivého vyvedenia výkonu veterných elektrární bez ovplyvňovania okolitej siete.



Obrázok 33 - radiálne zapojenie pre vyvedenie výkonu



Obrázok 34 – kruhové zapojenie pre vyvedenie výkonu

3.2.3.1 Straty pri prevádzke veterných elektrární

Straty znečistením listov turbíny

Znečistenie listov turbíny veternej elektrárne je najčastejšie spôsobené hmyzom, srieňom alebo ľadom. Straty spôsobené znečistením listov hmyzom sa vyskytujú v teplých mesiacoch roka, keď teplota vzduchu neklesá pod bod mrazu. Znečistenie spôsobené hmyzom zvyšuje drsnosť povrchu listov, zvlášť nábehových hrán, čím sa zhoršujú ich aerodynamické vlastnosti. Odstránenie takéhoto znečistenia sa zabezpečuje občasným umývaním listov turbíny v rámci údržby. Straty spôsobené srieňom, inovárou, zľadovatením môžu v konečnom dôsledku zabrániť prevádzke veterných zariadení. Vyskytujú sa v zimnom období v chladnejšom klimatickom pásme, resp. vo väčších nadmorských výškach. Vznik námrazy a ľadu na listoch turbíny veternej elektrárne závisí od vzdušnej vlhkosti, teploty vzduchu a nadmorskej výšky. Hodnoty týchto strát sú 0 – 8 %. V prípade vyšších strát je potrebné takéto lokality vylúčiť. Vytváranie námrazy a ľadu je možné predchádzať aj vykurovaním listov turbíny, čo však prináša nárast energetickej spotreby samotnej elektrárne a komplikuje jej konštrukčné riešenie.

Časové straty

Sem patria straty spôsobené skrátením času prevádzky elektrárne v dôsledku plánovanej údržby, poruchy alebo odstávky. Typické hodnoty časových strát sú 3 – 7 %. Ak je veterné zariadenie vystavené extrémnym podmienkam, napríklad arktická klíma a slabá sieť, tak sa táto hodnota úmerne zvyšuje.

Rôzne straty

Rôzne straty reprezentujú straty vo výrobe energie, ktoré vznikli z titulu:

- nábehu a ukončenia generátorovej prevádzky,
- nárazového vetra,
- extrémneho vetra.

Medzi rôzne straty sa zarátavajú tiež straty vo vedení elektrického prúdu z miesta výroby na miesto odovzdania do verejnej siete. Typické hodnoty sú v hraniciach 2 – 6 %.

3.2.3.2 Veterné farmy

Vzhľadom na to, že veterná energia je forma energie s pomerne nízkym stupňom koncentrácie, pristúpilo sa vo vhodných lokalitách k sústreďovaniu veterných elektrární do tzv. veterných fariem – parkov. Veterné farmy pozostávajú z viacerých turbín, ktoré sú často inštalované v radoch za sebou a kolmých na smer vetra, ďalej z ciest, elektrických zariadení, monitorovacieho a radiaceho systému a budov určených pre potrebu servisu fariem. Veterné elektrárne na veterných farmách sú takmer

výlučne plnoautomatické. Farma má jedno centrálné pracovisko, odkiaľ sú na diaľku monitorované a riadené všetky elektrárne. Veterné farmy s viacerými veternými elektrárnami sa stavajú v oblastiach, kde nie sú ľudské obydľia bezprostredne blízko. Neprodukujú výrazne väčší hluk ako jednotlivá elektrárne. Najdlhšie trvajúcou fázou pri projektovaní veternej farmy je kvalifikácia parametrov veterného zdroja, ktorá v prípade projekcie veľkej veternej farmy môže trvať až 4 roky. Výstavba farmy trvá zvyčajne jeden rok.

Zásady rozmiestnenia turbín veternej farmy

Pri výstavbe veternej farmy sa jednotlivé elektrárne rozmiestňujú tak, aby si vzájomne neznižovali výkon. Minimálny rozstup v smere kolmom na smer vetra má byť 3,5 násobkom priemeru vrtule D . V smere vetra 6,5 násobkom D . Veterné farmy postavené na pobrežných hrádzach majú bočný rozstup medzi stĺpmi $5D$. Ak je prevládajúci smer vetra šikmý na túto líniu, tento rozstup sa zvyšuje. Straty spôsobené interakciou veterných turbín medzi sebou pre dobre navrhnutú veternú farmu sú v rozpätí 0 – 20 %. Tieto straty sú v projekte súčasťou celkových strát. Sóló stojaca turbína má stratu 0 % (nedochádza k interakcii s inou turbínou). Vhodne rozmiestnených 8 – 10 turbín môže mať stratu 5 %.

3.2.4 Pozitíva využívania veternej energie

Nahrádzanie výroby elektrickej energie z fosílnych palív energiou vyrobenou veterným elektrárnami sa vyznačuje týmito pozitívami:

- ušetrenie paliva, ktoré je neobnoviteľné,
- zamedzenie produkcie CO_2 , ktoré by spálením tohto paliva vzniklo,
- zamedzenie produkcie plyných emisií (SO_x , NO_x),
- zamedzenie produkcie tuhých úletov,
- zamedzenie produkcie pevných a kvapalných odpadov,
- zamedzenie produkcie odpadového tepla uvoľneného do atmosféry alebo vôd.

Ak vychádzame z množstva odpadových látok, ktoré vznikajú pri výrobe 1 kWh energie z uhlia, potom, pri výrobe 1 kWh z energie vetra sa znížia emisie:

- SO_2 o 5 – 8 g,
- NO_x o 3 – 6 g,
- CO_2 o 750 – 1 250 g,
- tuhých úletov o 40 – 70 g.

Vyššie hodnoty súvisia s prípadmi, keď elektrárne na fosílné palivo vyrábajú len elektrickú energiu; nižšie hodnoty, keď zároveň vyrábajú aj teplo. Jedným z možných ukazovateľov pozitívnej environmentálnej funkcie využívania OZE je úspora ekvivalentného množstva merného paliva. Napríklad veterná elektrárňa s výkonom 1,5 MW vyrobí za 20 rokov prevádzky približne 80 miliónov kWh elektrickej energie, čím nahradí 90 000 t hnedého uhlia. S týmto bezprostredne súvisí aj eliminácia produkcie CO_2 ako hlavného skleníkového plynu. Pri posudzovaní relevantnosti veternej energetiky ako alternatívy pre tradičné zdroje zohráva dôležitú úlohu vytvorenie predstavy verejnosti o dimenziách, v ktorých sa pri kalkulácii výkonových aj environmentálnych parametrov uvažuje. Z pohľadu informovanosti verejnosti o tom, koľko energie veterná elektrárňa vyprodukuje, sú preto vhodné vyjadrenia v podobe „ n kusov elektrární príslušnej výkonovej triedy vyrobí energiu pre n obyvateľov“.

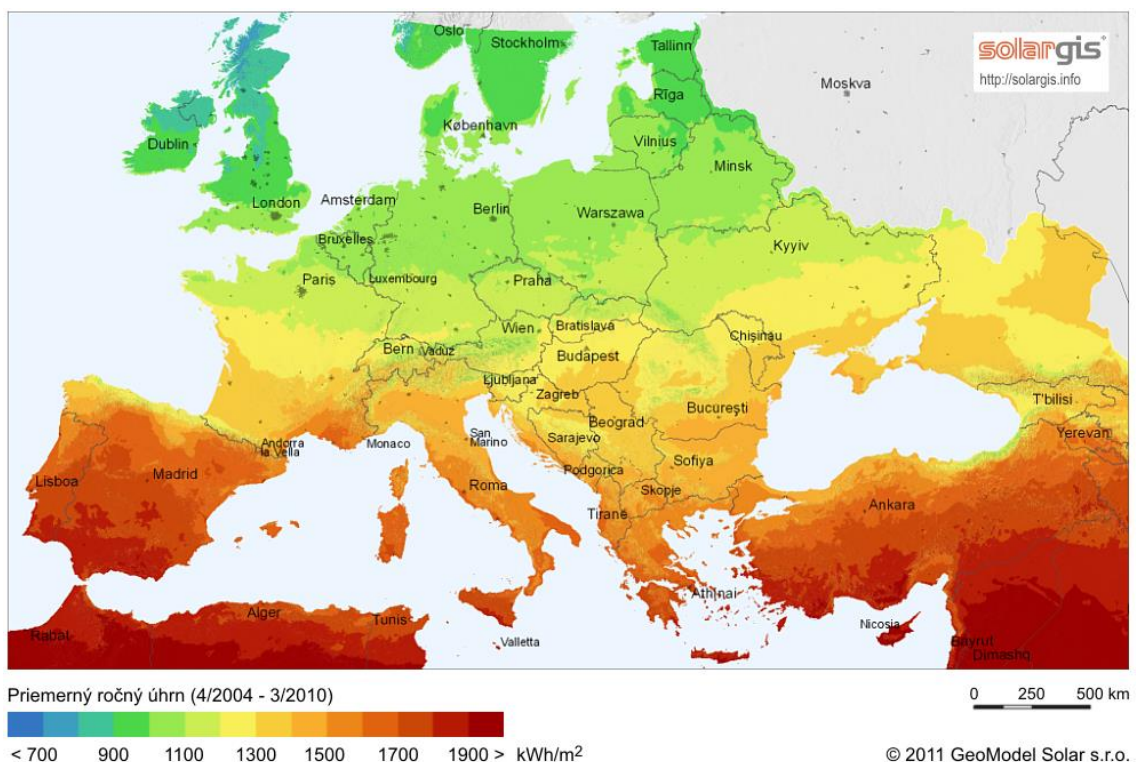
3.3 Slnko

Slnčná elektrárňa mení energiu slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Premenu je možné uskutočniť dvojakým spôsobom:

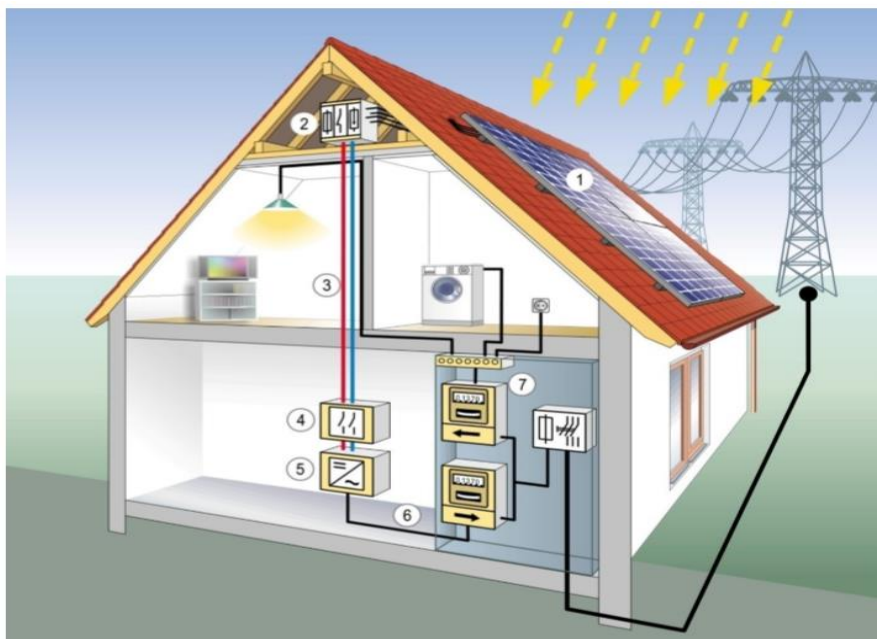
- Fotovoltickou premenou, kde účinnosť premeny je teoreticky asi 30 % (bežne dostupné fotoelektrické články by však mali mať účinnosť okolo 20 %). Pre získanie väčšieho výkonu je nutné sériovo paralelne prepojiť viac článkov do tzv. solárneho panelu (vyrábajú sa v niekoľkých výkonových radoch od 10 do 300 W). Fotovoltické články sú zdrojom jednosmerného elektrického prúdu s napätím obvykle 16 V. Elektrický výkon dodávaný panelom je závislý na atmosférických podmienkach a preto musí byť inštalovaný akumulátor energie, aby slnečná elektrárňa mohla dodávať elektrickú energiu aj v období bez slnečného svitu (zamračené, noc). Ďalšou súčasťou systému slnečnej elektrárne je striedač, ktorý premieňa jednosmerný prúd na striedavý, a transformátor, ktorý zvyšuje striedavé napätie na úroveň vyžadovanú spotrebičmi (napr. 230 V). Celková účinnosť slnečnej elektrárne tohto typu je v súčasnej dobe asi 9 %. Budujú sa slnečné elektrárne strechové s výkonom 3 kW a možnosťou pripojenia k sieti, alebo slnečné elektrárne s výkonom 100 – 500 kW, ktoré dodávajú elektrickú energiu do siete.
- Solárnou tepelnou premenou, keď sa slnečné žiarenie sústreďuje na absorbér, ktorým preteká teplotná kvapalina, ktorá sa zohrieva na vysokú teplotu. Vytvára sa prehriata para, ktorá je využitá rovnakým spôsobom ako v tepelnej elektrárni. Žiarenie sa sústreďuje buď rovinnými, alebo parabolickými zrkadlami. Takéto zariadenia sa stavajú obvykle na púšťach, kde je miesto pre inštaláciu mnoho tisíc zrkadiel a dostatočný počet slnečných dní v roku.

FV články je možné použiť na:

- priame napájanie spotrebičov,
- napájanie s podporou batérie,
- systém pracujúci paralelne so sieťou.



Obrázok 35 - globálne horizontálne žiarenie



Obrázok 36 - princíp FV elektrárne pripojenej k sieti

1. FV zdroj
2. Združovacia skrinka
3. DC kabeláž
4. DC hlavný vypínač
5. Striedač
6. AC kabeláž
7. Elektromerový rozvádzač a bytový rozvádzač pre napojenie spotrebičov

3.4 Biopalivá

Výroba elektrickej energie v bioelektrárnach je podobná ako v tepelných elektrárnach pri spaľovaní fosílnych palív, ale s podstatne nižšími hodnotami emisií oxidu uhličitého (CO₂). Palivom je biomasa alebo biopalivo. Biomasa je organická hmota zámerne produkovaná na energetické účely. Predstavuje najväčší potenciál obnoviteľnej energie. Tvoria ju materiály rastlinného a živočíšneho pôvodu vhodné pre energetické využitie. Biomasa sa považuje z hľadiska emisií CO₂ za neutrálne palivo, pretože pri jej spaľovaní sa uvoľní iba toľko CO₂, koľko rastlina počas svojho rastu prijala.

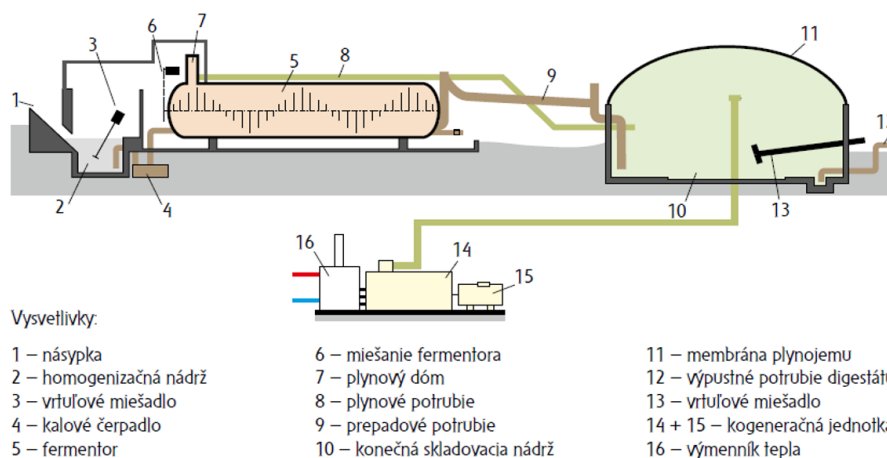
Biopalivo je ušľachtilé palivo vyrábané z biomasy – napr. drevné štiepky, pelety, brikety, drevoplyn, bioplyn, bionafta, bioalkohol. Premena biomasy na energiu prebieha dvoma základnými spôsobmi, premenou termochemickou (priame spaľovanie, pyrolýza, plyňovanie) a biochemickou (alkoholové kvasenie, metánové kvasenie).

Podľa druhu použitého biopaliva a zariadenia na premenu bioenergie na elektrickú energiu, existuje viac spôsobov výroby elektrickej energie:

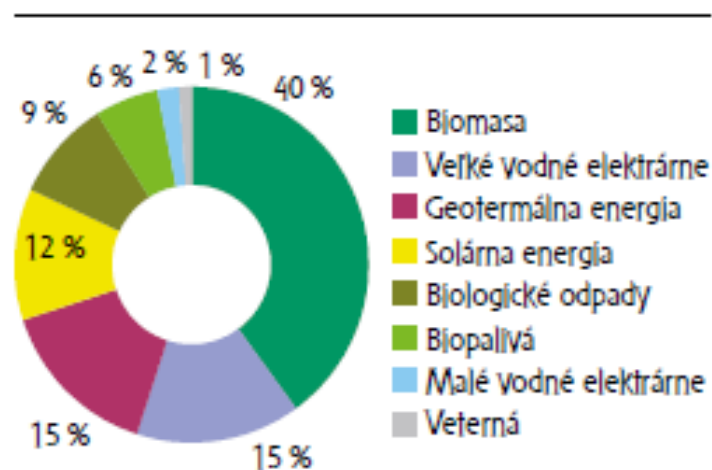
- parný kotol na pevné, resp. plynné biopalivo s parnou turbínou a generátorom,
- spaľovacia turbína s generátorom poháňaná bioplynom zo živočíšnych exkrementov alebo na drevný plyn,
- piestový motor s generátorom poháňaný bioplynom, bionaftou, etanolom alebo drevným plynom,
- elektrochemický palivový článok napájaný bioplynom, alebo kvapalným biopalivom.

Pre dosiahnutie maximálneho využitia energie v palive sú uvedené zdroje realizované prevažne ako kombinovaná výroba tepla a elektrickej energie – kogeneračné jednotky. Energetický význam tejto

produkcie elektrickej energie je relatívne malý. Podstatne väčší význam má dnes ako ekologický spôsob zneškodňovania odpadov. Z 1m³ bioplynu sa vyrobí až 1,6 kWh elektrickej energie a asi 3,5 kWh tepelnej energie.



Obrázok 37 - schéma biopalivovej stanice



Obrázok 38 - podiel OZE v SR

Odpadovú biomasu na výrobu tepla využíva v najvýznamnejšej miere drevársky priemysel, ale aj tu sa biomasa podieľa len na malej časti dodávok energie. Biomasu môžeme definovať ako substanciu biologického pôvodu (pestovanie rastlín a drevín v pôde alebo vo vode, chov zvierat, produkcia organického pôvodu, organické odpady). Biomasa pritom môže byť zámerné získavaná ako výsledok výrobnej činnosti, alebo ide o využitie odpadov z poľnohospodárskej, potravinárskej a lesnej výroby, z komunálnej sféry, starostlivosti a údržby krajiny. Teoretické výpočty odborníkov uvádzajú ročnú celosvetovú produkciu biomasy na úrovni 100 miliárd ton, ktorých energetický potenciál sa pohybuje na hodnote 1400 EJ, čo je takmer päťnásobok svetovej spotreby fosílnych palív (300 EJ).

Využitie biomasy na energetické účely je ale limitované:

- produkcia biomasy na energetické účely konkuruje ďalším spôsobom využitia biomasy (napríklad na potravinárske a krmovínárske účely, zaistenie surovín pre priemyselné účely, uplatneniu okrasnej funkcie biomasy),
- zvyšovanie produkcie biomasy vyžaduje rozširovanie produkčných plôch alebo zvyšovanie intenzity výroby, čo prináša požiadavku na zvýšené investície do samotnej výroby biomasy,

- získavanie energie z biomasy v súčasných podmienkach s ťažkosťami ekonomicky konkuruje využívaniu klasických energetických zdrojov; pôsobením ekologickej legislatívy môže ale nastať radikálna zmena,
- maximálne využitie biomasy na energetické účely z celosvetového hľadiska je problematické aj vzhľadom na rozmiestnenie zdrojov biomasy a spotrebiteľov energie, aj vzhľadom na problémy s akumuláciou, transportom a distribúciou získanej energie. Na druhej strane je možné uviesť celý rad výhod využívania biomasy na energetické účely:
 - eliminujú sa negatívne dopady na životné prostredie (tieto zdroje sú CO₂ neutrálne),
 - zdroj energie má obnoviteľný charakter,
 - ide o domáci zdroj energie, znižuje potrebu dovozu,
 - zdroje biomasy nie sú lokálne limitované,
 - riadená produkcia biomasy prispieva k tvorbe krajiny a starostlivosti o ňu,
 - účelne je možné využiť spáliteľné a niekedy aj toxické odpady.

3.4.1 Spôsoby využitia biomasy na energetické účely

Možnosti využitia biomasy na energetické účely predurčujú hlavne jej fyzikálne a chemické vlastnosti. Veľmi dôležitým parametrom je vlhkosť, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnotu 50 % sušiny je možné považovať za hraničnú medzi procesmi mokrymi (obsah sušiny je menší ako 50 %) a suchými (obsah sušiny je vyšší ako 50 %). Podľa princípu samotnej konverzie energie je možné definovať niekoľko spôsobov získavania energie z biomasy:

a) termochemická premena biomasy (suché procesy):

- spaľovanie,
- splyňovanie,
- pyrolýza;

b) biochemická premena biomasy (mokré procesy):

- alkoholické kvasenie,
- metánové kvasenie;

c) fyzikálna a chemická premena biomasy:

- mechanická (štiepenie, drtenie, lisovanie, briketovanie, peletovanie, mletie atď.),
- chemická (esterifikácia surových rastlinných olejov);

d) získavanie odpadového tepla pri spracovávaní biomasy (napríklad pri kompostovaní, aeróbnom čistení vôd, anaeróbnej fermentácii a pod.).

Existuje viacero spôsobov využitia biomasy na energetické účely, v praxi prevládajú pri suchých procesoch rôzne formy spaľovania, pri mokrych procesoch výroba bioplynu anaeróbnou fermentáciou. Z ostatných spôsobov najmä výroba metylesteru z bio olejov.

3.4.2 Výroba energie z biomasy

Na základe metódy použitej pri výrobe energie z biomasy sa dnes v praxi presadzujú nasledovné procesy:

- priame spaľovanie,
- termochemické spracovanie s cieľom zvýšenia kvality biopaliva; sem patrí napríklad pyrolýza alebo splyňovanie,
- biologické procesy, ako sú anaeróbne hnitie alebo fermentácia, ktoré vedú k produkcii plyných a kvapalných biopalív.

Bezprostredným produktom týchto procesov je teplo využívané v mieste výroby alebo v jej blízkosti. Teplo je možné využívať buď priamo na prípravu teplej vody, alebo na výrobu pary a následný pohon generátorového agregátu na výrobu elektriny. Inými produktmi sú napríklad drevné uhlie alebo kvapalné biopalivá aplikované ako pohonná hmota pre motorové vozidlá.

3.4.3 Výroba elektrickej energie z biomasy

Tradičný spôsob výroby elektriny z biomasy je vo väčšine prípadov založený na jej priamom spaľovaní a výrobe pary, ktorá poháňa parnú turbínu, podobne ako je to v konvenčných tepelných elektrárnach využívajúcich uhlie. Táto technológia je dnes veľmi prepracovaná a umožňuje použitie viacerých druhov vstupných surovín. Jej nevýhodou je, že si vyžaduje relatívne vysoké investičné náklady na jednotku výkonu, celková účinnosť výroby je nízka a navyše neposkytuje možnosti ďalšieho zlepšenia. Výroba elektriny splyňovaním biomasy je relatívne novou metódou. Namiesto priameho spaľovania biomasy sa využíva proces jej splyňovania a následného spaľovania plynu v plynovej turbíne, podobne ako je to pri výrobe elektriny v elektrárnach na plyn. Výhodou tejto technológie je oveľa vyššia účinnosť, pretože pri splyňovaní sa až 65 – 70 % energie obsiahnutej v biomase premieňa na horľavý plyn. Investičné náklady na výstavbu plynových turbín sú relatívne nízke a navyše tu existujú značné možnosti zlepšovania samotnej technológie. Hoci metóda splyňovania poskytuje viacero výhod, ešte nie je dostatočne rozvinutá na to, aby mohla byť bežne používaná.

Elektrárne so splyňovaním biomasy pozostávajú z nasledujúcich komponentov:

- zariadenie na prípravu a dopravu paliva,
- splyňovacia reaktorová nádoba,
- čistič plynov a zmiešavací systém,
- turbína resp. spaľovací motor.

Pri spaľovaní plynov v motoroch alebo turbínach sa vyžaduje použitie veľmi čistého plynu. Na výrobu takéhoto plynu sú potrebné nielen dodatočné zariadenia, ako sú chladiče a zmiešavacie systémy, ale aj špeciálne upravená reaktorová nádoba, čo celú technológiu značne komplikuje. Navyše technológia je dosť citlivá na použitý typ biomasy (rôzne druhy sa správajú odlišne), čo si vyžaduje vyššiu kontrolu vstupných surovín ako v iných typoch elektrární. Najlepším palivom býva drevné uhlie zbavené vlhkosti a iných prchavých látok, to však vyžaduje ďalšie zariadenie na jeho výrobu. V najjednoduchších plynových turbínach sú horúce odpadové plyny vypúšťané priamo do ovzdušia.

V moderných technológiách sú však tieto plyny využívané na výrobu pary v osobitných parogenerátoroch. Táto para sa môže použiť buď na vykurovanie objektov (kogeneračná jednotka), alebo je vháňaná späť do turbíny, čím sa zvyšuje výkon a účinnosť výroby (Steam-injected gas turbine – STIG), alebo sa použije na ďalšiu výrobu elektriny v parnej turbíne (Gas turbine/steam turbine combined cycle – GTCC), čo taktiež vedie k zvýšeniu celkového výkonu a účinnosti zariadenia.

3.5 Geotermálna energia

Elektrickú energiu je možné vyrobiť premenou geotermálnej energie v elektrárnach:

- hydrotermálnych, pomocou geotermálne nahriatej spodnej vode alebo pare,
- cirkulačných, prostredníctvom výmenníkov tepla.

V hĺbke 5 km sa všade v zemskej kôre nachádzajú "horúce suché horniny" (Hot Dry Rock - HDR). Tieto predstavujú ohromný energetický potenciál. Metóda získavania tepla je založená na vyvrtaní dvoch vrtov do nepriepustných hornín s vysokou teplotou (150 až 200 °C). Vrty sa spoja a následne sa do jedného z nich vtlačí voda, ktorá sa zohreje a druhým vrtom sa vracia naspäť na povrch. Na Slovensku sa tento systém zatiaľ nevyužíva, pričom existujú asi štyri potenciálne oblasti na takéto použitie.

3.5.1 Spôsob výroby elektrickej energie v geotermálnej elektrárni

Geotermálne elektrárne využívajú tepelnú energiu geotermálnej vody resp. geotermálnej pary na výrobu elektrickej energie. Z ekonomického hľadiska je výroba elektrickej energie najvýhodnejšia pri teplote geotermálneho zdroja vyššej ako 180 °C. Na základe skupenstva a teploty využívaného geotermálneho tepla existuje niekoľko druhov geotermálnych elektrární. Základné typy sú tieto:

- s prehriatou parou, kde para vychádzajúca z vrtu spolu s vodou po separácii poháňa parnú turbínu s generátorom, alebo je para z vrtu zavedená do parogenerátora (výmenník tepla), kde vyrába paru z povrchovej vody, ktorá následne poháňa parnú turbínu spojenú s elektrickým generátorom. Voda vychádzajúca zo separátora je odvádzaná do riek, alebo (oveľa častejšie a účinnejšie) vrátená cez reinjektážny vrt späť do podzemia. Tým sa súčasne vyvarujeme znečisteniu životného prostredia, zmenší sa pokles tlaku v podzemí a zároveň sa zníži jeho vyprázdňovanie,
- s horúcou vodou, keď geotermálna voda s vysokým tlakom a teplotou sa v expandéri premení na mokrú paru, ktorá poháňa parnú turbínu s generátorom,
- s binárnym cyklom, keď geotermálna voda s teplotou nad cca 130 °C vo výmenníku zohreje kvapalinu s nízkym bodom varu (čpavok, izobután), ktorej para poháňa expanznú turbínu spojenú s elektrickým generátorom.

3.6 Palivové články

Palivový článok (PČ) je zariadenie, v ktorom sa elektrická energia získava z chemickej energie paliva. Premena chemickej energie na elektrickú sa uskutočňuje priamo bez sprostredkujúceho procesu, ako je to pri spaľovaní fosílnych palív, keď sa chemická energia najskôr mení na tepelnú, potom na mechanickú a až tá na elektrickú. Proces premeny v palivovom článku prebieha tak, že do jeho priestoru je privádzané palivo a okysličovadlo, pričom dochádza k tzv. studenému spaľovaniu a premenou chemickej energie paliva vzniká elektrická energia a menší podiel tepelnej energie.

3.6.1 Princíp činnosti palivového článku s polymérovým elektrolytom

Základný princíp činnosti spočíva v tom, že na anódu článku sa privádza vodík, ktorý sa tu za pomoci katalyzátora štiepi na kladne nabité ióny atómu – katióny vodíka (H⁺) a elektróny (e⁻). Elektrolyt má membránové vlastnosti, preto prepúšťa z jednej elektródy na druhú iba katióny, pričom elektróny zadrží. Neprepustené - zadržané elektróny prechádzajú cez vonkajší elektrický okruh, kde vytvárajú jednosmerný elektrický prúd. Kyslík privádzaný na katódu reaguje s elektrónmi získanými z vodíka a vytvára ióny, ktoré reagujú s katiónmi vodíka za vzniku vody, resp. pary (tepla). Okrem vodíka sa ako palivo používajú aj metán, metanol, zemný plyn, glukózový roztok, bioplyn či dokonca kyselina mravčia, ktoré omývajú anódu (ktorá je negatívnou elektródou na rozdiel od pozitívnej pri elektrolýze) článku. Na katódu je zasa privádzané okysličovadlo – popri vzduchu alebo čistom kyslíku ním môže byť takisto tiokyanatan draselný alebo peroxid vodíka. Anódu a katódu oddeľuje elektrolyt, ktorým bývajú roztoky alebo kyseliny, taveniny uhličitanov alkalických kovov, keramika alebo membrány. Elektródy sú najčastejšie kovové, vyrobené z niklu alebo sa používajú uhlíkové nanorúrky, povrch majú potiahnutý katalyzátormi, napr. platinou alebo paládiom.

Podľa technológie katalýzy existujú palivové články (FC – fuel cell) mnohých typov, napríklad:

- Nízkoteplotné – ich pracovná teplota je 60 až 210 °C
 - AFC (Alkaline Fuel Cell) – elektrolyt tvorí KOH,
 - PE FC (Polymer Electrolyte FC), označované tiež PEM FC (Proton Exchange Membrane FC) – katalycky spaľuje vodík a elektrolyt tvorí polymérová membrána,
 - DM FC (Direct Methanol FC) – ako palivo slúži kvapalnú metanol C₂H₅OH,

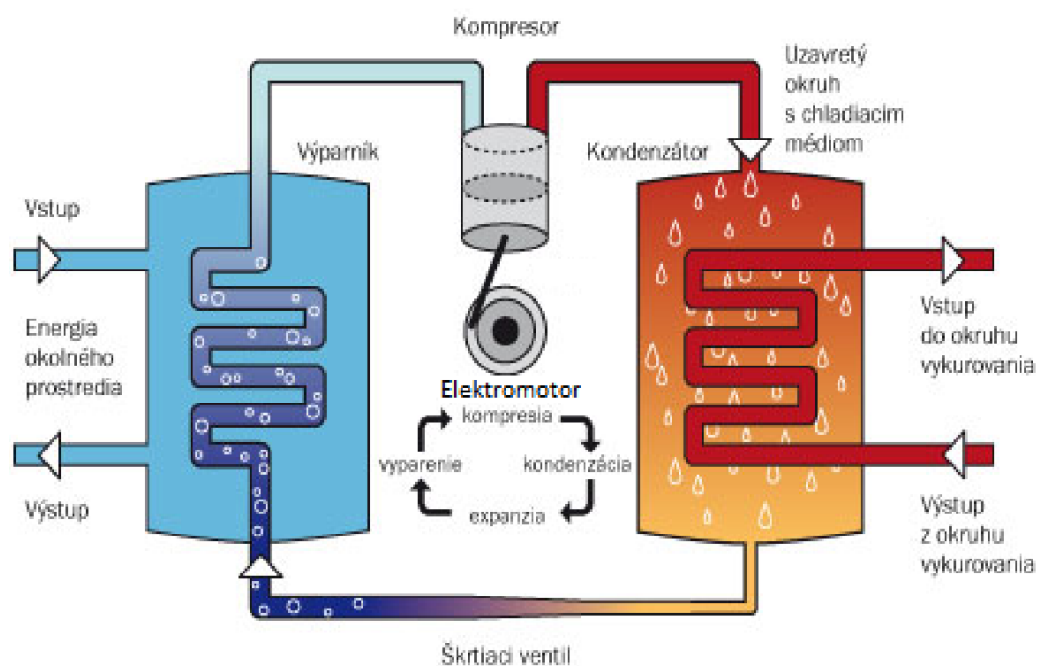
- PA FC (Phosphoric Acid FC) – elektrolyt tvorí kyselina fosforečná.
- Vysokoteplotné - ich pracovná teplota je 600 až 1000 °C
 - MC FC (Molten Carbonate FC) – elektrolytom sú roztavené uhličitany,
 - SO FC (Solid Oxide FC) – elektrolyt je z pevných oxidov vzácnych kovov (napríklad zirkónia).

Vlastnosti jedného palivového článku (jednej bunky) sú: napätie 0,5 až 0,8 V, veľkosť prúdu je závislá od plochy a druhu membrány, pri asi 10 cm² je približne 0,5 A. Výkonný agregát 70 kW sa vojde do asi 1m³.

3.7 Tepelné čerpadlá

3.7.1 Princíp tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo pracuje na obdobnom princípe ako chladnička. Tá odoberá teplo z vnútorného priestoru chladničky a pomocou chladiaceho okruhu ho prečerpáva do vonkajšej časti zariadenia. Tepelné čerpadlo miesto z potravín odoberá teplo zo zdroja prírodného prostredia (napr. vonkajšieho vzduchu, studničnej vody či pôdy z okolia domu) a odovzdáva ho tepelnej sústave (radiátory, podlahové vykurovanie, zásobníky teplej vody a pod.).



Obrázok 39 - princíp tepelného čerpadla

Prenos tepla sa uskutočňuje pomocou pracovnej látky – chladiva v uzatvorenom chladiacom okruhu podľa termodynamických zákonov. Pracovná látka má tú vlastnosť, že pri nízkych teplotách sa odparuje. Zdroj tepla (vonkajší vzduch alebo voda, popr. nemrznúca zmes) sa privedie k výmenníku tepla, v ktorom cirkuluje chladivo. Toto odoberie zdroju tepla potrebné teplo a prejde z kvapalného do plynného stavu. Zdroj tepla sa tým schladí o niekoľko stupňov. Kompresor plynné chladivo nasaje a stlačí. Tým sa zväčší jeho tlak a stúpne teplota. Pracovná látka je teda "prečerpaná" na vyššiu teplotnú úroveň.

Hnací prvkom tepelného čerpadla je kompresor, ktorý je spravidla poháňaný elektrickým motorom. Je dôležité vedieť, koľko elektrickej energie je potrebné dodať a koľko tepelnej energie

získame na vykurovanie. Tento pomer dodanej a získanej energie určuje tzv. výkonové číslo alebo tiež vykurovací faktor, ktorý je jedným z hlavných kritérií pre použitie tepelného čerpadla. Pri dodaní 1 kWh elektrickej energie vyrobí dobré tepelné čerpadlo 4 – 6 kWh tepelnej energie. Elektrická energia potrebná pre napájanie kompresora nie je energiou stratenou, ale zvyšuje energetický potenciál pracovného média, ktoré sa stále dostáva do kondenzátora. Tam odovzdá svoje teplo teplonosnej látke, napr. vode vo vykurovaní. Tým dôjde ku skvapalneniu média a po jeho škrtení v expanznom ventile sa médium dostáva opäť na začiatok celého pracovného cyklu.

Tepelné čerpadlo je teda zariadenie na odoberanie tepelnej energie z nízkopotenciálneho obnoviteľného zdroja tepla (voda, pôda, vzduch) a jeho prenos na vyššiu teplotnú úroveň pre využitie na vykurovanie, ohrev teplej úžitkovej vody a pod.

Príspevok tepla z nízkopotenciálneho obnoviteľného zdroja tak predstavuje 75 – 85 %. Výkonové číslo sa mení nielen v závislosti od teploty zdroja a vykurovacieho média, ale aj od vyspelosti konštrukčného riešenia konkrétneho tepelného čerpadla. Označenie tepelného čerpadla vychádza zo zdroja, z ktorého je tepelná energia odoberaná a z média, do ktorého je odovzdávaná. Podľa toho delíme tepelné čerpadlá na:

- Voda – voda
- Zem – voda
- Vzduch – voda

4 AKUMULÁCIA ENERGIE

4.1 Úvod

Pripojenie OZE nad 100 kW inštalovaného výkonu je vo väčšine prípadov riešené na napäťovej úrovni 22 kV. Pod 100 kW sa zdroje pripájajú na 400 V. Ak si uvedomíme, že sa jedná o zdroje bez možnosti centralizovaného riadenia, nastáva problém – ten je možné riešiť napr. pripojením dobre naprojektovanej batérie, ktorá dokáže pokryť náhle poklesy resp. prebytky. Preto môžeme považovať funkčný systém akumulácie za jeden zo stavebných prvkov sietí konceptu mikrogrid. Treba si však uvedomiť, že energia ako taká môže byť akumulovaná nielen systémom statických batérií - niektoré riešenia uvažujú aj s využívaním inteligentných spotrebičov či využitím akumulátorov v elektromobiloch, iné sa zase uberajú cestou palivových článkov či uskladňovaním energie v mechanických zotrvačníkoch a pod.

4.2 Metódy začlenenia decentralizovanej výroby elektriny

4.2.1 Metóda Marquerre

Jedná sa o historickú metódu založenú na tepelnej akumulácii elektrickej energie prostredníctvom teplej vody. Tá je následne cez regeneračný okruh kondenzovanej vody z turbíny opätovne využívaná. Tento systém sa vyznačuje vysokou mierou efektívnosti a akumuláčnej kapacity.

4.2.2 Metóda Ruths

V roku 1913 bol patentovaný systém pracujúci s rozdielnym tlakom. Jeho vynálezcom bol Dr. Ruths, ktorý postavil prvý takýto systém v Malmo. Mal výkon 50 MW a kapacitu 67 MWh. Princíp metódy spočíva v tom, že medzi dve nádrže s rozdielnym tlakom sa zapojí tepelné čerpadlo poháňané prebytočnou elektrinou a elektrický agregát, ktorý v dobe špičky vyrába elektrinu. Jej praktické využitie je však limitované technickými problémami pri veľkých výkonoch.

4.2.3 Metódy CAES a AA-CAES

Prvé pokusy akumulovať elektrinu pomocou stlačeného vzduchu vznikli už pomerne dávno. Pneumatický systém Djodjevic fungoval na princípe tlakových nádob, až neskôr sa táto metóda začala uplatňovať pod skratkou CAES (Compressed Air Energy Storage). Táto metóda však nie je veľmi známa, to isté platí aj pre jej vylepšený variant AA-CAES (Adiabatic Advanced CAES). Problém týchto metód predstavuje práve adiabatická kompresia a následné úspešné začlenenie vzhľadom na miestne podmienky. Oba systémy však predstavujú príležitosť pre OZE. Účinnosť systémov sa pohybuje okolo 60-75 % a svojim rozsahom je podobná PVE. Vo svete beží niekoľko úspešných projektov využívajúcich tieto metódy napr. McIntosh v USA či Huntorf v Nemecku. Oba systémy pracujú na princípe privádzania stlačeného vzduchu do spaľovacej komory, v ktorej je spaľovaný zemný plyn. Zvýšená entalpia spalín následne poháňa plynovú turbínu, ktorá vytvára točivý moment na hriadelí. Stlačeným vzduchom sa dosahuje úspora energie k pohonu kompresora. V prípade, že je potrebné ešte dodatočné zvýšenie entalpie, je to možné uskutočniť pomocou geotermálnej energie. AA-CAES pracuje s ideou adiabatického stlačenia vzduchu, stlačenie však vo všeobecnosti nie je možné za takých podmienok vykonať a preto sa uvažuje s paralelnou akumuláciou tepla. Teplo je následne využívané pri spätnom odbere stlačeného vzduchu. Táto technológia je využívaná napr. v Norton Plant, USA s inštalovaným výkonom 2,7 GW (7x300 MW).

4.2.4 Prečerpávacie vodné elektrárne

PVE sa často používajú v ES pre ich dobrú schopnosť akumulácie a následnej generácie elektriny. Pre ich rozvoj a výstavbu sú však potrebné vhodné geologické podmienky. Treba si však uvedomiť, že ich výstavba je príliš drahá a ako ich použitie ako horúcej zálohy energie nie veľmi vhodné.

4.2.5 Vodíková akumulácia

O tomto systéme sa v poslednej dobe veľa hovorí v súvislosti s dopravou ako aj energetikou. Treba si však uvedomiť, že účinnosť spätnej konverzie na elektrickú energiu je pomerne nízka – približne 30 % ak hovoríme o konvenčných typoch palivových článkov. Vodík je vyrábaný pomocou elektrolýzy vody (je to proces, pri ktorom sa na katóde uvoľňuje vodík a na anóde kyslík). K rozkladu vody je potrebná vysoká teplota a pomocou chemicko-technologických postupov je možné dosiahnuť lepšiu bilanciu.

Problémy pri akumulácii vodíka

Skladovať vodík vo väčších objemoch je pomerne problematické a to hlavne kvôli jeho malej hmotnosti a veľkosti – vodík uniká aj cez kryštálovú mriežku niektorých kovov a zliatin. Princiálne je možné vodík skladoch v troch skupenstvách:

- Plynnom
- Kvapalnom
- Pomocou metal-hybridných zásobníkov kedy je plyn naviazaný na kryštálovú mriežku zliatiny

Medzi hlavné výhody takéhoto systému patrí hlavne malé množstvo rotujúcich častí, ktoré by mohli spôsobiť poruchu. Palivové články sú pomerne citlivé na čistotu vstupných látok, na druhej strane sú bezemisné.

Ďalšou možnosťou pri vodíkovej akumulácii je absorpcia pomocou Li_3N , avšak táto metóda nie je pre energetiku vhodná.

4.2.6 Superkapacitory

Majú hustotu energie rádovo 10 Wh/kg, dlhšiu životnosť v porovnaní s klasickými akumulátormi a tak isto aj väčšiu účinnosť (okolo 95 %). Tak isto sú schopné dodávky výkonu pomerne v krátkom čase (niekoľko milisekúnd). Výhodou kondenzátorov (či už obyčajných alebo superkapacitorov) je ich aplikovateľnosť priamo k zariadeniu a tak isto veľký počet cyklov (viac ako 100 000).

Superkapacitor sa skladá z katódy a anódy z hliníkovej fólie, dvoch vrstiev aktívneho uhlíka oddelených separátorom. V nenabitom stave sú ióny voľne rozložené v elektrolyte. Po privedení napätia na elektródy sa začnú ióny pohybovať smerom k elektródam (podľa náboja k anóde alebo katóde). Treba si však uvedomiť, že prierazné napätie uhlíkovej dvojvrstvy je pomerne nízke (okolo 2,3 V).

Medzi hlavné výhody superkapacitorov patria:

- vysoká účinnosť (vďaka nízkemu vnútornému odporu a teda aj malým stratám),
- vysoká efektivita nabíjania,
- veľký počet cyklov.

Hlavné nevýhody:

- pomerne nízka hustota energie,
- napätie na výstupe sa mení v závislosti od množstva uloženej energie,
- vysoká dielektrická absorpcia.

4.2.7 Ni-Cd Akumulátory

Sú použité napr. v akumulačnej stanici v Fairbanks na Aljaške s inštalovaným výkonom 40 MW. Podobne ako u olovených článkoch aj nikel-kadmiové články sú uložené v plastovej alebo železnej hermeticky uzavretej nádobe. Katóda je niklová, anóda kadmiová, ako elektrolyt je použitý KOH alebo NaOH.

4.2.8 Zotrvačníky

Moderné zotrvačníky dosahujú rýchlosť viac ako 20 000 otáčok/min, pri takých rýchlostiach je samozrejmosťou použitie magnetického ložiska. Rotor sa točí prakticky vo vákuu a špeciálne konštrukčné prvky znižujú mechanické straty na minimum.

Akumulačné systémy na báze zotrvačníkov by mohli časom nahradiť staršie Ni-Cd. Na rozdiel od chemických článkov ich životnosť nie je limitovaná počtom cyklov – väčšinu problémov pri zotrvačníkoch predstavujú problémy s ložiskami (v prípade, že sú použité), únikom chladiva či strate vákua. Účinnosť zotrvačníkov je pomerne vysoká (okolo 90 %).

Zotrvačníky môžeme rozdeliť na:

- ideálny jednosmerný zotrvačník,
- ideálny dvojrozmerný alebo viacrozmerný zotrvačník.

Podľa dosahovanej rýchlosti môžeme rozdeliť zotrvačníky na:

- rýchlobežné – napr. Power ring, uhlíkové vlákna,
- pomalobežné – napr. kompaktné kovové, uhlíkové kompozitné,

Podľa použitých ložísk:

- s klasickými ložiskami – kompaktné kovové,
- magnetické ložiská – uhlíkové kompozitné, power ring,
- supravodivé ložiská – uhlíkové vlákna.

4.2.9 Batérie NaS

Jedná sa o batérie pracujúce s kombináciou sodíka, ktorý je veľmi reaktívny a v spojení s alkalickými kovmi môže dosahovať veľké hustoty energie (rádovo 400 Wh/kg) a síry. Účinnosť akumulácie takéhoto typu batérie sa pohybuje okolo 85-95 % v závislosti od veľkosti batérie.

4.2.10 Batérie Na-Ion

Batérie tohto typu predstavujú alternatívu k lítiovým batériám. Nominálne napätie jedného článku je 3,6 V a kapacita uloženej energie je okolo 400 Wh/kg.

4.2.11 Smes

Jedná sa supravodivé magnetické úložiská energie. Energia je ukladaná v magnetickom poli, problém však nastáva pri akumulácii energie nad 1 MWh.

4.2.12 Olovené akumulátory

Jedná sa o najčastejšie využívaný typ akumulačného systému so zastúpením okolo 50 % celosvetovo. Konštrukčne sú tieto akumulátory vyhotovené z dvoch samostatných nádob s elektródami z čistého olova a vodného roztoku kyseliny sírovej s hustotou od 1,2- 1,3. Elektródy sú mriežkované a vyplnené pastou.

Pri vybíjaní klesá koncentrácia kyseliny sírovej a naopak, pri nabíjaní jej koncentrácia stúpa. Pri prebíjaní batérie dochádza ku vzniku vodíka a kyslíka. Nominálne napätie takejto batérie je 2 V, hustota energie je pomerne nízka a ich nabitie je pomerne dlhotrvajúci proces.

4.2.13 ZEBRA batérie

Batérie s chemickým zložením NaNiCl majú výhodu pomerne veľkej energetickej hustoty.

4.2.14 Prietokové akumulátory

Pracujú na princípe redoxného článku. V súčasnosti existujú tieto typy palivových redoxných článkov:

- Polysulfidová brómová batéria
- Železo-brómová batéria
- Železo-chloritá batéria
- Zinko-cériová batéria
- Hologenové batérie
- Vanadové batérie

4.2.15 Metóda kvapalného vzduchu

Jedná sa o jednu z foriem mechanického ukladania energie. Systém je vysoko spoľahlivý a flexibilný vzhľadom na zaťaženie.

Proces pozostáva z 3 etáp:

- Skvapalnenie – kompresor stláča nasávaný plyn, pričom teplo je odsávané do zásobníka. Cez expandér je následne plyn skvapalnený a uskladnený pri atmosférickom tlaku.
- Uskladnenie média v tekutom skupenstve – kvapalina je uskladňovaná v dobre izolovaných nádobách.
- Spätná konverzia na elektrickú energiu – skvapalnený vzduch je pomocou kryogénneho čerpadla prečerpávaný do výparníka, odkiaľ je hnaný na expanznú turbínu. Celý systém pripomína klasický Rankin-Claisiov cyklus.

4.2.16 Syntetické palivá

Výroba syntetického metánu predpokladá zapojenie plynovodu, do ktorého je vyrobený plyn privádzaný. Pri využívaní syntetických palív sa predpokladá využitie elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov a teda zníženie podielu CO_2 v atmosfére.

4.3 Porovnanie akumuláčnych technológií pre potreby využitia v energetike

V nasledujúcej tabuľke sú porovnané účinnosti na vstupe, výstupe a celkové účinnosti široko používaných technológií akumulácie energie, ktoré sú schopné nahradiť PVE.

Tabuľka 13 - Metódy a ich účinnosti

Použitá metóda	Účinnosť na vstupe	Účinnosť na výstupe	Celková účinnosť
Ultrakapacity	95	95	90
Li-ion	93	93	86
Zotrvačníky	90	90	81
Olovené akumulátory	85	90	77
PVE	85	85	22
Stlačený vzduch	75	85	64
Plynný vodík	70	45	32
Kvapalný vodík	70	45	25
Teplá voda	95	95	90

4.4 Nasadenie akumuláčnych systémov

Nasadenie akumuláčnych systémov:

- Akumuláciu elektrickej energie je možné využiť ako doplnok z OZE pre účely kompenzácie nerovnomernosti dodávky elektrickej energie.
- Akumulačné systémy je možné použiť ako nutný doplnok k OZE určený legislatívou či podmienkami prevádzkovateľov ES.
- Za pomoci akumuláčnych systémov je možné doceliť lepšiu regulovateľnosť ES.
- Akumulačné systémy je možné použiť pre zlepšenie kvality elektrickej energie.
- Akumulačné systémy je možné použiť ako záložný systém pre spotrebiteľov prvej kategórie dôležitosti.
- Pri použití akumuláčnych systémov s veľkými výkonmi je vhodné použiť systémy na báze akumulátorov, nakoľko tieto môžu značne znížiť náklady na prevádzku záložných zdrojov ako sú dieselgenerátory.
- Akumulačné systémy sú neoddeliteľnou súčasťou pre dosiahnutie správneho fungovania sietí typu mikrogrid.

4.5 Podmienky na zavádzanie akumuláčnych systémov do distribučných sústav

Pred inštaláciou akumuláčného zariadenia do distribučnej sústavy (DS) je najskôr potrebné ho konfrontovať s prevádzkovými podmienkami DS. Je potrebné si uvedomiť, že každý typ akumulácie má svoje typické vlastnosti a preto je potrebné vykonanie predchádzajúcej analýzy, ktorá ukáže vhodnosť použitia daného typu akumulácie pre konkrétne použitie.

Pri inštalácii akumulačného systému je tak isto požiadavka na využitie jeho maximálnej kapacity, resp. jeho využitie v plnej maximálnej možnej miere, pričom je potrebné obrátiť svoju pozornosť najmä na:

- kapacitu článku,
- maximálny nabíjací prúd,
- maximálny vybíjací prúd,
- wattovú účinnosť,
- rýchlosť prechodu medzi nabíjaním a vybíjaním.

Vzhľadom na vyššie vymenované parametre nie je napätie ako také smerodajným parametrom pri výbere typu akumulácie. Vhodným využitím práve pre menšie typy akumulačných sústav sa považuje ich využitie v rámci DS napr. ako alternatíva výstavby nových vedení.

4.6 Využitie akumulácie ako prostriedku na zníženie strát pri prenose a distribúcii

Z dôvodu nerovnomernosti spotreby koncových odberateľov zapojených do DS ako aj nerovnomernosti dodávky elektrickej energie z OZE dochádza z preťažovaniu vedení či distribučných transformátorov. V prípade vhodne navrhutej a použitej akumulácie môžeme tieto výkyvy v sieti znížiť či dokonca eliminovať a tým zabezpečiť kontinuálnu dodávku elektrickej energie s minimálnymi odkloneniami.

Minimálne predpoklady, s ktorými je potrebné uvažovať pri návrhu akumulačného systému, sú:

- Spoľahlivosť – jedná sa o jednu z najdôležitejších vlastností systému, hovorí tak isto aj o jeho životnosti.
- Kvalita elektrickej energie – čo sa týka kvality elektrickej energie sa najväčší dôraz kladie na PQ krivky, kvalitu sínusoidy, napäťovú a frekvenčnú stabilitu, účinník a vyššie harmonické.
- Rýchlosť nábehu – v závislosti od typu použitia akumulačného systému závisí aj požiadavka na rýchlosť jeho reakcie, teda za akú dobu je schopný akumulačný systém zmeniť svoj dodávaný, resp. akumulovaný výkon.
- Zmena režimu (nabíjanie, vybíjanie) – je závislá od kapacity a chemicko-fyzikálnych vlastností.
- Celková účinnosť.
- Cena a prevádzkové náklady.
- Fakt, či sa jedná o náhradný, alebo krátkodobý zdroj.
- Samovybíjanie – je ovplyvňované napr. teplotou, vlhkosťou a pod.
- Výkonová hustota – hovorí o tom, aký veľký bude v konečnom dôsledku akumulačný systém.
- Rozmery systému.
- Prepraviteľnosť a modularita.
- Jednoduchosť montáže.

5 MIKROGRIDY

5.1 História problematiky mikrogridov

Rýchly posun k využívaniu distribuovaných obnoviteľných zdrojov energie ako náhrady za veľké elektrárne na fosílné palivá vynucuje zásadné prehodnotenie existujúcich modelov distribúcie a prenosu používaných v energetickom priemysle. Jedným z čoraz populárnejších riešení je prepojenie distribuovaných zdrojov v miestnych mikrosieťach - či už v mestských oblastiach, ktoré rýchlo prijímajú solárne strešné materiály, alebo na odľahlých miestach, kde môžu slnečná energia a vietor napájať off-grid siete. Aká je história mikrosietí, čo robia a ako fungujú?

Stanica Pearl Street na Manhattane, ktorú postavil Thomas Edison v roku 1882, bola prvou komerčnou elektrickou elektrárnou v USA a bola v podstate mikrosieťou. Uhoľná stanica pôvodne obsluhovala 82 zákazníkov v niekoľkých blokoch a napájala 400 žiaroviek. O dva roky neskôr to bolo až 508 zákazníkov s 10 164 žiarovkami. Mimochodom, bol priekopníkom aj ďalších dvoch riešení, ktoré sa v modernej dobe znovu skúmajú - bol to prvý závod na kombinovanú výrobu elektriny a tepla (keďže para používaná na napájanie generátorov bola používaná miestnymi výrobcami aj na vykurovanie okolitých budov) a využívala batérie na ukladanie energie.

V moderných mikrosieťach ide o viac zdrojov

Edisonov vynález z 19. storočia bol v skutočnosti iba malou verziou toho, z čoho sa stal tradičný návrh energetickej siete s centralizovaným zdrojom energie slúžiacim veľkému počtu spotrebiteľov - rovnako ako naftový generátor dodávajúci záložný výkon možno definovať ako mikrosieť. Moderným významom mikrosiete je však súbor viacerých menších energetických zdrojov rôznych typov (vrátane obnoviteľných zdrojov, ako sú solárne panely a veterné turbíny, ale aj generátory zemného plynu, systémy kombinovanej výroby elektriny a tepla a skladovanie energie), ktoré vlastnia miestni „zákazníci“, malé podniky alebo malí energetickí operátori pripojení na zásobovanie miestnej oblasti sebestačnou energiou. Potenciál moderných mikrosietí naznačila pre širšiu verejnosť devastácia spôsobená hurikánom Sandy v roku 2012. Odvtedy sa tvorcovia politiky a energetické spoločnosti začali chopiť svojho potenciálu. Sandy bol najväčším atlantickým hurikánom, aký bol v tom čase zaznamenaný a ponechal 8,5 milióna ľudí bez energie. Ďalších 1,3 milióna ľudí nebolo opäť pripojených ani o týždeň neskôr. Obrázky Manhattanu zahaleného v tme boli jasným prejavom toho, ako veľmi sa spoliehame na energiu, zatiaľ čo odhady stratových výnosov vo výške 1,1 miliárd dolárov priamo z dôvodu výpadku elektrickej energie odhalili, aké nákladné to môže byť.

Šesť mesiacov po Sandy správa od spoločnosti Navigant Research odhalila, že počet projektov v modernom štýle mikrogrid bol na celom svete 480. V roku 2018 rovnaká spoločnosť vykázala skoro 2 000 projektov na celom svete.

Mikrosiete sú šetrné k životnému prostrediu

Moderná mikrosieť nie je len o znižovaní rizika výpadkov elektriny počas búrky - jej oveľa dôležitejšou úlohou je v skutočnosti podpora zmeny klímy. Má vplyv na:

- zlepšenie energetickej účinnosti využívaním miestnej výroby a znižovanie strát po kábli vznikajúcich pri prenose energie zo vzdialených zdrojov,
- snahu o adopciu obnoviteľných zdrojov, pretože ide o nákladovo najefektívnejšie a najpohodlnejšie zdroje energie na inštaláciu v malom rozsahu.
- podporu využívania kombinovanej výroby tepla a elektrickej energie, ktorá je na 70-80 % efektívna, dvakrát vyššia, ako je účinnosť najefektívnejších centralizovaných elektrární.

Mikrosiete nepracujú izolovane

Moderné mikrosiete môžu zahŕňať čokoľvek, od malej skupiny domov až po celú komunitu. Pripojenie k jednej však neznamená, že sa musíte odrezáť od siete. Mikrosieť môže v skutočnosti fungovať rôznymi spôsobmi:

- Off-grid, kde je úplne sebestačná a umožňuje vzdialeným oblastiam pripojenie lacnejšie a rýchlejšie ako pripojenie k väčšej sieti.
- Virtuálna, kde využíva už nainštalovanú fyzickú sieť a nemožno ju odpojiť, ale je prevádzkovaná na trhu s energiou, akoby bola nezávislá.
- Pripojená k sieti, keď využíva vlastnú infraštruktúru a je možné ju „izolovať“ na vlastnú prevádzku, ale je tiež zabudovaná do širšej siete, aby umožnila iným zdrojom energie vyvážiť zaťaženie, ak je to potrebné.

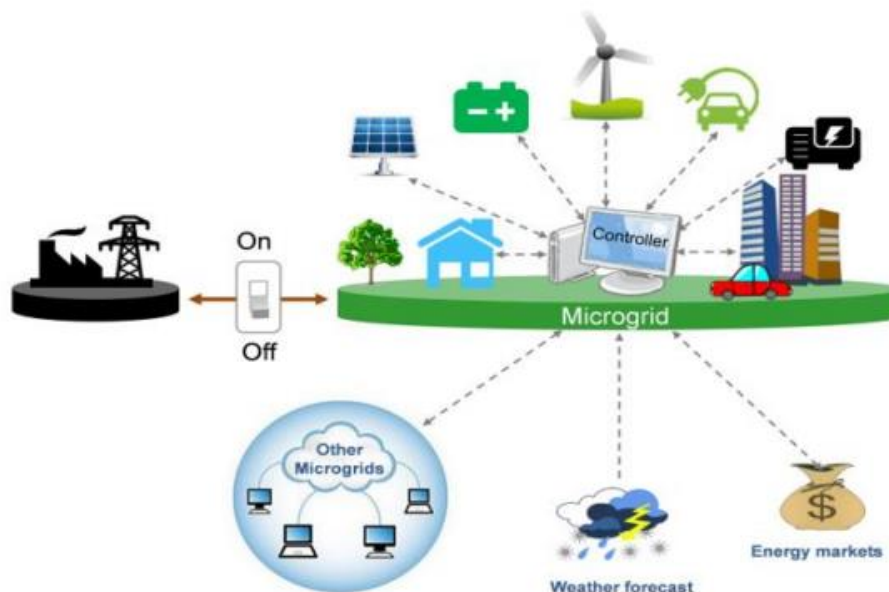
Mikrogrid môže byť inteligentný a dať moc do rúk spotrebiteľa

Nie všetky mikrosiete sú inteligentné, ale môžu byť. Samotné pripojenie miestnych zdrojov a ich prevádzka prostredníctvom meracích systémov je základnou formou modernej mikrosiete. Ďalším krokom je to, na čom LO3 Energy pracuje - inteligentná, transaktívna mikrosieť. Nové inteligentné domáce zariadenia - od inteligentného osvetlenia po internetové kanvice - umožňujú merať spotrebu energie ako nikdy predtým. Poskytnutím týchto údajov sieti mikrogrid prostredníctvom inteligentných meracích prístrojov možno vytvoriť trh, kde spúšťače založené na cene určujú, kde a kedy sa energia použije a ako sa s ňou obchoduje. Nielenže to dáva väčší výber do rúk spotrebiteľa, ale tiež to umožňuje integráciu systémov, ktoré dokážu vyvážiť výkyvy v sieti a vytvoriť efektívnejšiu energetickú budúcnosť pre všetkých.

5.2 Koncept

Mikrogrid ako architektonický a riadiaci koncept sieťovej infraštruktúry zvyšuje spoľahlivosť systému a kvalitu ním dodanej energie jeho segmentáciou do menších častí. Vďaka lokálnej výrobe a dodávke energie môže tiež umožniť zníženie nákladov na vybudovanie, údržbu a obnovu sieťovej infraštruktúry. Náklady sa znížia aj nižšími stratami na vedeniach, alebo vhodnými riadiacimi technikami umožňujúcimi prevádzkovať sieť v ekonomickom optime a znižujúcimi tak cenu koncovým užívateľom. Aj zahŕňajúce výkonových vedení a rozvoj sieťovej infraštruktúry, ktoré môžu byť problémom v priemyselne založených krajinách a ktoré sú vzhľadom na rastúcu hustotu obyvateľstva stále závažnejšie, môže koncept mikrogrid pomôcť riešiť. Využitelné benefity však nie sú zadarmo. Medzi najväčšie nevýhody mikrogridu patrí nutnosť zaviesť nové metódy merania a vyúčtovania, ktoré môžu ľuďom skomplikovať pre nich doteraz jednoduchý odber elektrickej energie. Ďalšou veľkou nevýhodou je nutnosť aplikovať nové ochranné štandardy a techniky, pretože súčasné nastavenie ochranných systémov by bolo pre mikrogrid nevyhovujúce. Zároveň, vzhľadom k princípu mikrogridu založenom na decentralizácii, je pre rozšírenie tohto konceptu potreba viac kvalifikovaného personálu a vysoké investičné náklady do už zavedeného a na prvý pohľad bezproblémovo fungujúceho systému, čím predstavuje pre prevádzkovateľov takýchto sústav veľkú výzvu.

Mikrogrid je v súčasnom svete meniacej sa energetiky stále častejšie skloňovaným pojmom, a to najmä kvôli benefitom, ktoré môže ponúknuť. O až tak nový koncept sa však nejedná. Výsledkom elektrifikácia na konci 19. storočia nemohlo byť, vzhľadom k vtedajším technologickým podmienkam, nič iné, než súčasný centralizovaný systém. S rozvojom a s vyššou dostupnou technológiou však vedci a inžinieri začali objavovať výhody decentralizácie a v rôznych častiach sveta začal prebiehať výskum a aplikácie tohto riešenia. Keďže však bola v rôznych častiach sveta motivácia pre realizáciu iná, nemal pojem mikrogrid až donedávna svetovo zdieľanú definíciu. Napríklad v Amerike bol mikrogrid vnímaný najmä ako spôsob, ako elektrifikovať aj veľmi vzdialené oblasti a ako nahradiť zastaranú sieťovú infraštruktúru, zatiaľ čo v Európe a v ďalších dovozovo veľmi závislých krajinách ako Japonsko bolo naopak hlavným cieľom umožniť integráciu a optimálnu prevádzku RES v elektrizačných sústavách a umožniť aj ich ďalší rozvoj a testovanie.



Obrázok 40 - schéma možného zapojenia mikrogridu

Až v roku 2012 bola na US Department of Energy vytvorená v súčasnej dobe najcitovanejšia definícia mikrogridu, podľa ktorej je mikrogrid "Skupina prepojených záťaží, distribuovaných zdrojov energie, s jasne definovanými elektrickými hranicami, ktorá vzhľadom k okolitej sieti vystupuje ako jedna riaditeľná entita. Zároveň môže byť táto skupina zariadení podľa potreby pripojená či odpojená a pracovať tak v sieťovom alebo v ostrovnom režime". S ďalším rozvojom bol potom v roku 2017 inštitútom IEEE vytvorený aj štandard špecifikujúci niektoré charakteristiky mikrogridu pod názvom Standard for the specification of Microgrid Controllers číslo IEEE 2030.7-2017. Veľmi podobným konceptom ako mikrogrid je aj koncept LDS používaný v SR od privatizácie po vzniku samostatného štátu. Rozdiel medzi týmito pojmami v podstate neexistuje a pre potreby tejto práce je možno hovoriť, že sa prekrývajú. To si môžeme dovoliť vzhľadom na fakt, že LDS nie je presne definovaný pojem a definícia mikrogridu je veľmi vágna. Na základe uvedenej definície mikrogridu a naopak, chýbajúcej definície LDS by sa bez veľkej chyby dalo povedať, že LDS môže a nemusí byť mikrogrid, ale mikrogrid je vždy LDS. Ďalším podobným, s mikrogrid prekrývajúcim sa pojmom, môže byť aj spoločné odberné miesto (SOM).

5.2.1 Súčasti mikrogridu

Ďalšou súčasťou definície je to, z čoho sa mikrogrid skladá. V tejto časti je potrebné si opäť uvedomiť, že mikrogrid je takzvané "technologicky agnostický" koncept a dizajn každého realizovaného systému vždy závisí od špecifických požiadaviek a ekonomickej situácie daného projektu. Všeobecne však možno uvažovať tri hlavné súčasti mikrogridu.

Prvou dôležitou súčasťou sú zdroje. Zdroje sú väčšinou z technických i ekonomických dôvodov malé, blízko lokálnej spotreby situované zariadenia. Rovnako ako v sieťovom zdrojovom mixe aj tieto zdroje môžeme deliť podľa rôznych parametrov do niekoľkých skupín. V lokálnych sústavách sa vyskytujú zdroje transformujúce energiu uloženú v chemickej forme a zdroje obnoviteľné. Zdrojmi transformujúcimi energiu chemickú sú v mikrogride najčastejšie spaľovacie motory a turbíny, či palivové články. Spaľovacie motory premieňajú vložené palivo procesom pálenia na energiu mechanickú. Palivami sú najčastejšie plyny vzniknuté z procesu využitia biomasy, alebo fosílna palivá. Ich veľkou

výhodou je možnosť rýchleho štartu a regulácie, čím je, ak je to žiaduce, umožnená ich funkcia ako záložných generátorov. Na druhej strane palivové články umožňujú premeniť chemickú energiu v palive priamo na elektrickú energiu chemickou reakciou vodíka a kyslíka. Využitie týchto systémov je však v dnešnej dobe vzhľadom k vysokým nákladom spojeným s nákupom a nízkej účinnosti veľmi neobvyklé. Všeobecne možno povedať, že využitie týchto dvoch zdrojov nie je v dnešných podmienkach kontinentálnej Európy žiaduce a moderný mikrogrid chce ich využitie eliminovať. Naopak je to so zdrojmi obnoviteľnými. Sem v kontexte mikrogridu radíme najmä fotovoltaické panely a veterné turbíny. Tieto technológie umožňujú zbierať nevyčerpatelnú energiu vetra a slnka a premieňať ju na energiu elektrickú. U veterných elektrární môžeme hovoriť o jednotkách kW až jednotkách MW striedavého charakteru produkovaného elektrického prúdu, čo môže uľahčiť ich implementáciu do súčasného systému. Naopak, solárne panely sú v stovkách W na zariadení a produkujú jednosmerný prúd. Je k nim teda potrebný prídavný striedač, aby mohli byť napojené do rozvodnej siete. Okrem popísaných zdrojov s reálnym potenciálom existuje mnoho ďalších riešení, ako sú vodné či geotermálne elektrárne, ktoré ale nemajú v súčasnej dobe príliš veľký potenciál. Ďalšou súčasťou je spotreba elektrickej energie, čiže záťaž. Historicky bola záťaž v sieti iba pasívna, takmer nepredikovateľná spotreba berúca zo siete elektrickú energiu a transformujúca ju na iné, požadovanej formy energie. Spotreba bola vždy až na výnimky (napríklad systém hromadného diaľkového ovládania HDO) neriadená a podľa aktuálnej situácie jej (aj keď s aspoň čiastočnou predstavou vďaka typovým diagramom dodávky (TDD) a historickým dátam) musela byť prispôbovaná výroba.

Súčasná technológia však umožňuje prístup k záťaži zmeniť a umožniť jej prevádzkovateľom aktívne zapojenie do trhu s elektrickou energiou a do riadenia systému. Vzniká koncept Demand Side Response (DSM), voľne preložené ako riadenie flexibility záťaže. Podľa typu záťaže potom tieto subjekty môžu poskytovať služby rôznych parametrov podľa potreby siete. Pretože väčšine RES, z ktorých sa ideálne mikrogrid skladá, chýba zotrvačnosť a ovládateľnosť poskytovaná v sieti rotačnými strojmi, je potreba začleniť do moderného systému aj akýsi tlmič náhlych zmien.

Tieto zariadenia sú kritické pre vyrovnanie nerovnováhy medzi výrobou a spotrebou a v budúcich sieťach budú bezpochyby zohrávať čoraz významnejšiu úlohu. Ich prínos spočíva v troch funkciách. Po prvé, umožňujú zdrojom produkovať energiu na maximálny výkon, aj keď je prenosová schopnosť siete limitovaná tým, že energiu uloží na neskoršie využitie. V ďalšom kroku umožňujú preklenúť momenty, kedy je naopak produkcia z RES nízka, dodávkou uloženej energie späť do siete a v neposlednom rade potom batériové úložiská pomáhajú udržiavať sieť v rovnováhe v prípade porúch či výpadkov, kedy sú vďaka svojim charakteristikám schopné strmých štartov a môžu tak zabezpečiť chod kritických zariadení, udržiavanie parametrov v sieti alebo opätovné spúšťanie. Väčšina pozornosti je v súčasnej dobe venovaná najmä technológii ukladania energie v batériách elektrochemickou premenou a technológii ukladania priamo do takzvaných superkapacitorov. Existujú však aj projekty skúmajúce technológie ukladania, medzi ktorými najslubnejšie sú tie na ukladanie vo forme kinetickej či potenciálnej mechanickej energie (zotrvačníky, žeriavy), tepelnej energie, či vo forme vodíka vyrábaného hydrolýzou.

5.3 Základné pojmy a rozdiely voči klasickým sieťam

Tabuľka 14 - porovnanie súčasného a možného budúceho stavu

	Súčasný stav	Mikrogrid
Spotrebiteľ	Nie je informovaný a nejaví záujem o informácie	Je informovaný a participuje na daniach v sústave
Zdroje	Dominujúce sú veľké zdroje energie rozmiestnené nezávisle od miesta spotreby	Decentralizovaná výroba, viacej menších zdrojov blízko miesta spotreby
Údržba a ekonomika	Malá možnosť implementácie nových technológií	Využitie nových technológií aj koncovým spotrebiteľom

	Súčasný stav	Mikrogrid
Kvalita elektrickej energie	Výpadky dodávok spôsobené nedostatočnou kvalitou elektrickej energie	Kvalita elektriny je primárnym ukazovateľom, v prípade jej nedodržania nasleduje penalizácia
Optimalizácia a riadenie	Malá, alebo žiadna integrácia dát po prevádzke	Úplné zdieľanie dát
Predvídateľnosť	Slabé využitie	Automatická detekcia problémov a ich prípadné odstránenie, využívanie nových technológií pri údržbe
Odolnosť siete	Zraniteľnosti systému pri úmyselnom napadnutí či prírodnej katastrofe	Možnosť odstránenia problému rekonfiguráciou siete

V súčasnosti sú systavy založené na využívaní veľkých centrálnych zdrojov energie a následnej distribúcii vyrobenej energie ku koncovému odberateľovi, ktorý sa môže nachádzať aj niekoľko 10 či 100 km od miesta výroby elektrickej energie. Celý proces prenosu a distribúcie nesie so sebou značné straty a prevádzkové náklady. Výkon v klasickej sústave teda tečie „zhora – dolu“. Naopak, v mikrogride sú využívané okružné vedenia alebo mrežové siete zabezpečujúce vysokú mieru spoľahlivosti dodávky elektrickej energie. Nakoľko je v nich umiestnených viacero menších zdrojov elektrickej energie, smer toku výkonu sa môže v čase meniť. Táto skutočnosť predstavuje problém z hľadiska chránenia, nakoľko nie je možné ich použitie tak, ako je to v klasických sústavách.

Presná definícia mikrogridu je pomerne problematická, skupina ERGEG definuje mikrogrid ako inteligentné siete, ktoré umožňujú nákladovo efektívne chovanie užívateľov siete a tým dosiahnutie vysokej miery efektivity, spoľahlivosti a kvality elektrickej energie s nízkym environmentálnym dopadom. Európska platforma pre energetiku považuje mikrogrid za elektrickú sieť, ktorá dokáže inteligentne integrovať všetky funkcie všetkých do nej pripojených zariadení – generátorov a spotrebičov tak, aby bola zaistená efektívna, ekonomická a bezpečná dodávka elektrickej energie. Americká komisia ministerstva energetiky USA naopak definuje mikrogrid ako samouzdravujúcu sa sieť umožňujúcu aktívnu spoluprácu odberateľov, prevádzkovanú s odolnosťou voči útokom a prírodným katastrofám, prispôbenú všetkým druhom zdrojov a spôsobom uskladnenia energie umožňujúcu uplatnenie nových produktov, služieb a obchodovania, prevádzkovanú efektívne s vysokou kvalitou pre potreby modernej ekonomiky.

5.4 Nesprávne definície mikrogrid sietí

Mikrogrid je charakteristický miestnou spotrebou, zdrojmi, inteligentným riadením či dostatočným uhlíkovým kreditom. V prípade, že aspoň jedna z týchto položiek vypadla, nie je možné sieť charakterizovať ako mikrogrid. Uhlíkový kredit je v niektorých krajinách využívaný na podporu OZE a kogeneračných technológií.

5.5 Rozdelenie mikrogrid sietí

V súčasnosti existujú 2 základné a 2 doplňujúce typy mikrogrid sietí:

- Mikrogrid zákazníka – zákazník si sám riadi sieť za bodom pripojenia – odberným miestom (PCC - Point of Common Coupling). Množstvo aplikácií tohto typu už existuje, pretože uvedený režim prevádzky siete je možný i z legislatívneho hľadiska, hlavne z hľadiska regulačnej politiky. Na strane siete zákazníka je značná voľnosť pre využitie rôznych moderných

a inovatívnych technológií. Vo väčšine prípadov sa jedná o priemyselné objekty. V rámci modernizácie výrobných technológií a zvyšovania kvality výrobných procesov je u tohoto typu mikrogrid sietí veľký potenciál pre využitie viacerých technológií inteligentných sietí.

- Komunitná mikrogrid sieť – tento typ siete možno definovať ako časť distribučnej siete, ktorá spadá do regulovaného odvetvia. Technologické vybavenie sa od predošlého typu mikrogrid sietí takmer neodlišuje. Základnými odlišnosťami je regulačná politika a ekonomické aspekty a to z dôvodov integrácie nového systému do existujúcej infraštruktúry. U tohoto typu mikrogrid sietí naberá na dôležitosti najmä regulačná politika.
- Virtuálna mikrogrid sieť – princíp je podobný ako u predchádzajúceho typu, s tým rozdielom, že jednotlivé technologické celky sú lokalizované v rôznych miestach nadradeného systému (distribučnej sústavy). Tieto technologické časti sú riadené ako celok. Pre splnenie požiadaviek na prevádzku tohoto typu siete je potrebné, aby jednotlivé technologické celky boli schopné pracovať v ostrovnom režime, prípadne každý technologický celok ako samostatný ostrov.
- Malé ostrovné siete – príbuznosť spočíva vo využívaní technológií inteligentných sietí a mikrogridov.

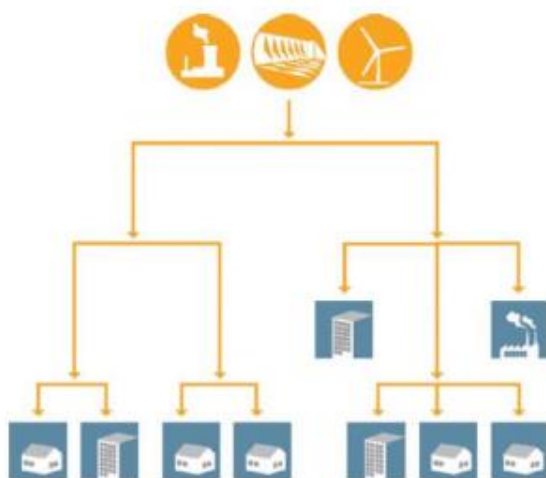
5.6 Prečo práve Inteligentné siete?

Za posledných niekoľko desaťročí dramaticky stúpajú straty elektrickej energie pri jej prenose a distribúcii, rovnako ako výška investícií do rozvoja siete nie vždy odráža výsledný dosiahnutý efekt. Ďalší problém z hľadiska bezpečnosti prevádzky sústavy predstavuje existujúca centralizácia zdrojov.

Môžeme preto definovať hlavné faktory napomáhajúce rozvoju inteligentných sietí:

- Zvýšenie efektívnosti a spoľahlivosti sústavy.
- Nástup decentralizovanej výroby elektrickej energie.
- Flexibilita odberu na strane odberateľov.
- Využitie obnoviteľných zdrojov.
- Elektromobilita.

Today's hierarchial power system



Fully realized smart grid



Obrázok 41 - porovnanie dnešného zapojenia PS a plne realizovaného mikrogridu

5.7 Požiadavky na inteligentné siete

Podľa amerického MGI by inteligentné siete mali:

- byť schopné samoliečenia,
- motivovať odberateľov aktívne participovať na dianí v sústave,
- dodávať elektrickú energiu vysokej kvality, čo sa v konečnom dôsledku prejaví aj úsporami pri zamedzení výpadkov,
- využívať všetky dostupné typy zdrojov a akumulácie energie,
- fungovať efektívne.

5.8 Funkcie mikrogrid sietí

Pre úspešnú realizáciu vyššie postavených úloh by mali mikrogrid siete zabezpečovať tieto funkcie:

- **Riadenie zaťaženia** – zaťaženie v rámci sústavy sa neustále mení a inteligentná sieť by mala byť preto schopná notifikovať vybraných odberateľov, aby dočasne zmenili svoj odoberaný výkon a umožnili generátorom, resp. zdrojom v sieti adaptovať sa na zmenu. Za pomoci dostatočne presnej matematickej predikcie dokáže inteligentná sieť vypočítať potrebnú výšku výkonovej zálohy pre konkrétnu situáciu v sieti. V porovnaní s klasickými sieťami, kde je výkonová bilancia udržiavaná za pomoci regulácie výkonu na strane výroby úpravou výkonu generátorov, napomáhajú v prípade inteligentných sietí v procese regulácie aj samotní odberatelia.
- **Reakcia na dopyt** – pod pojmom reakcia na dopyt rozumieme automatickú komunikáciu generátorov a odberov v reálnom čase zabezpečujúcu vyhladzovanie špičiek výkonu, čo sa v konečnom dôsledku prejaví pozitívne ako u odberateľov (nižšie ceny za elektrinu), tak aj u výrobcov (predĺženie životnosti zariadení). Eliminovaním výkonových špičiek sa znižuje tiež výška výkonovej rezervy.
- **Odolnosť voči zaťaženiu** – jednou z požiadaviek na mikrogridy je aj využívanie kruhových vedení, resp. mrežových sietí pre zabezpečenie dodávky elektriny. Túto požiadavku zabezpečujú aj klasické typy sietí, problém však nastáva pri poruchách, kedy môže dôjsť ku kaskádovým poruchám v dôsledku postupného preťažovania jednotlivých prvkov sústavy. Historicky sa na predodvrátenie kaskádových porúch používali metódy postupného odľahčovania sústavy, v mikrogridoch sú však požiadavky na inteligentnú rekonfiguráciu siete, ktorá zabezpečí dodávky elektriny ako aj predodvrátenie kaskádovej poruchy.
- **Decentralizácia výroby elektrickej energie** – jeden z predpokladov na zabezpečenie kontinuálnej dodávky elektriny. Nakoľko v sústave sa nachádza viacero autonómnych menších zdrojov výkonu, prípadná porucha nemôže do značnej miery ovplyvniť chod sústavy. Decentralizovaná výroba elektriny rovnako predpokladá, že časť elektriny je spotrebovaná lokálne priamo v mieste výroby – napr. vlastné zdroje energie v domácnostiach.
- **Cenová kategorizácia pre odberateľov** – v posledných rokoch sa pristupuje k postupnému nasadzovaniu IMS schopných okrem iného aj operatívnej zmeny tarify pre odber elektriny. V rámci inteligentných sietí sú predpokladané tieto zmeny s oveľa väčšou frekvenciou. Inteligentné spotrebiče budú preto schopné pružne reagovať a spínať sa na základe aktuálnej ceny elektriny.

Za hlavný rozdiel medzi súčasnou sieťou a sieťou typu mikrogrid sa považuje reverzibilita prenosu elektrickej energie. Súčasná sieť umožňuje prenos elektriny len jedným smerom, teda z miesta centralizovanej výroby do miesta spotreby. Sieť mikrogrid umožní výrobu v mieste spotreby do takej miery, že bude dochádzať k zmene smeru toku elektriny. Bude dochádzať k stavu, keď elektrická energia vyrobená v jednom regióne bude spotrebovaná v inom regióne. Takto fungujúca sústava si však

vyžaduje zavedenie a rozšírenie viacerých technológií, či už tieto technológie považujeme za súčasť sietí mikrogrid, alebo len za príbuzné technológie:

- Inteligentné meranie a pokročilá meracia infraštruktúra – zabezpečuje nie len pravidelný automatický odpočet údajov z inteligentných meracích systémov, ale aj obojsmernú komunikáciu potrebnú pre zabezpečenie dynamických taríf, prípadne pre odpájanie záťaže.
- Systémy Inteligentnej domácnosti – umožňujú automatickú reakciu niektorých spotrebičov na zmenu tarify v závislosti na potrebách spotrebiteľa. Zároveň tieto systémy sprístupňujú spotrebiteľovi on-line údaje o jeho spotrebe energií. V prípade úpravy zmluvných vzťahov medzi spotrebiteľom a prevádzkovateľom distribučnej siete, ako aj vhodného technického prepojenia medzi systémom Inteligentnej domácnosti a riadiacim systémom distribučnej siete, je možné zabezpečiť priame riadenie vybraných spotrebičov v rámci domácnosti.
- Distribuovaná výroba – nepredstavuje nevyhnutnú súčasť siete mikrogrid, patrí však medzi faktory vedúce k potrebe vytvorenia sietí mikrogrid. Veľké objemy distribuovaných, prevažne obnoviteľných zdrojov pripájaných do distribučných sietí má za následok vznik mnohých problémov. Od sietí mikrogrid a riadenia distribučnej sústavy na úrovni VN a NN sa očakáva riešenie týchto problémov.
- Elektromobilita – podobne, ako distribuovaná výroba, nepredstavuje nevyhnutnú súčasť siete mikrogrid, napriek tomu tieto pojmy navzájom úzko súvisia. Rovnako ako v prípade distribuovanej výroby platí, že súčasná sieť nebude schopná plniť svoju funkciu po rozsiahlom rozšírení elektromobilov. Od sietí mikrogrid sa očakáva, že umožní nie len efektívne postupné dobíjanie elektromobilov, ale aj využitie časti kapacity batérií pripojených elektromobilov pre potreby siete.

5.9 Technológie používané v mikrogridoch

Väčšina technológií používaných v mikrogridoch bola už predtým použitá v iných odvetviach, ako sú telekomunikácie či priemysel a momentálne sú postupne nasadzované aj v prostredí sietí typu mikrogrid.

- Integrovaná komunikácia
- Snímače a merače
- IMS
- PMU – fázorové meracie jednotky

Vysokorýchlostné snímače nazývané PMU distribuované v sieti (ako samostatné jednotky alebo ako funkcia v relé alebo meračoch) možno použiť na sledovanie kvality energie a v niektorých prípadoch reagujú automaticky. Fázory sú reprezentácie kriviek striedavého napätia a prúdu. V 80. rokoch sa zistilo, že hodinové impulzy zo satelitov globálneho pozičného systému (GPS) možno použiť na veľmi presné meranie času v sieti. S veľkým počtom PMU a schopnosťou porovnávať uhly odčítaných údajov všade v sieti výskum naznačuje, že automatizované systémy budú schopné spôsobiť revolúciu v riadení energetických systémov rýchlou a dynamickou reakciou na podmienky systému. Wide-Area Measurement System (WAMS) je sieť PMU, ktorá umožňuje monitorovanie v reálnom čase na regionálnej a národnej úrovni. Mnoho odborníkov v komunite inžinierov energetických systémov je presvedčených, že severovýchodné zatemnenie roku 2003 by bolo obsiahnuté v oveľa menšej oblasti, ak by existovala sieť s rozsiahlym fázorovým meraním.

- Pokročilé riadenie

5.10 Operačné režimy mikrogridu

5.10.1 Vzájomne prepojený a ostrovný režim

Takýto systém musí spĺňať všetky prevádzkové požiadavky stanovené DS. Pokročilé mikrogridy zaručujú vysokú kvalitu dodávky elektrickej energie ako aj elektrickej energie samotnej. V súčasnosti sa zmenili pravidlá pre ostrovné režimy. Dlhodobo zaužívané štandardy boli zmenené na IEEE1547. V USA bude potrebné pre nové mikrogridy spĺňať normu IEEE1547a.

5.10.2 Ústredne riadené, plánované a autonómne režimy prevádzky

To, v akom režime bude pracovať mikrogrid, závisí od rýchlosti reakcie zariadení na zmenu, rýchlosti komunikácie, spoľahlivosti zariadení, kapacity úložiska energie a veľkosti špičkového zaťaženia, platných nariadení a noriem.

5.10.3 Riadené vypínanie a nábeh v paralelnej prevádzke

Mikrogridy pripojené k nadradenej sústave musia mať zabudované algoritmy slúžiace na odpojenie a pripojenie k nadradenej sústave. Riadené vypínanie znamená, že sieť je odpájaná postupne s definovanou rýchlosťou a výkonovými skokmi.

5.10.4 Štart z tmy v ostrovnej prevádzke

Sústava musí byť schopná autonómneho štartu z tmy – t.j. štartu z tmy v ostrovnej prevádzke. Tak ako v prípade riadeného nábehu v paralelnej prevádzke, tak aj pri štarte z tmy by mal byť tento štart riadený automaticky za pomoci spúšťacích algoritmov.

5.11 Systémy automatizácie Distribučnej sústavy

K dnešnému dňu distribučné sústavy využívajú tieto systémy automatického riadenia prevádzky:

- Systém diaľkovej lokalizácie porúch.
- Inteligentné diaľkovo ovládané transformátorové stanice.
- Inteligentné úsekové odpínače.
- Autoreclosery – nakoľko až 70 % porúch v DS má prechodný charakter, autoreclosery prispievajú k automatickej obnove dodávky elektrickej energie po uplynutí predom definovaného času, môžeme teda hovoriť o decentralizovanom riadení sústavy.
- Spoľahlivý komunikačný systém – po zistení poruchy, ktorá nie je prechodného charakteru, je potrebná rekonfigurácia siete, ktorá je možná iba vďaka spoľahlivému komunikačnému systému alebo využitiu decentralizovaného riadenia sústavy.
- Samoliečiace sa siete – s použitím diaľkovo monitorovaných a ovládacích prvkov je možný automatický zber a vyhodnocovanie údajov o prevádzke. Tieto dáta je možné následne spracovávať a vyhodnocovať a v konečnom dôsledku aj automatizovať proces samotného riadenia siete. Pre tento účel je možné využitie rôznych technológií umelej inteligencie ako napr. neurónové siete, expertné či multiagiálne systémy.

Vďaka týmto zariadeniam je DS schopná rýchlejšie a pružnejšie reagovať na poruchy a rýchlejšie pristúpiť k prípadným potrebným manipuláciám či opravám.

5.12 King Island Renewable Energy Integration Project (KIREIP)

Ostrov King Island sa nachádza v blízkosti Austrálie a je na ňom umiestnené jedno z prvých prietokovo akumulčných zariadení pracujúcich na princípe VRB. Zariadenie pracuje od roku 2003 spolu s FV a veterným parkom. Takáto kombinácia znížila spotrebu spálenej nafty v diesel generátore takmer na polovicu – z 4,5 na 2,6 milióna litrov. Dieselgenerátor do tej doby pracoval v režime záložného zdroja.

Inštalovaný výkon veternej elektrárne bol na začiatkoch 2,45 MW a FV elektrárne približne 0,5 MW. Výkon úložného systému: 3 MW /1,5 MWh batéria, 2x1 MW zotrvačníky a 1,5 MW dynamickej záťaže. V sústave je tak isto možné rýchle riadenie spotrebiteľskej záťaže, čo zabezpečuje dodatočné systémové rezervy.

V roku 2014 bola inštalovaná bioplynová stanica produkujúca bioplyn pre existujúce dieselgenerátory. Náhradou nafty bioplynom sa King Island stal prvým a do dnešnej doby jediným off-grid mikrogridom MW rozmeru pracujúcim iba s obnoviteľnými zdrojmi energie.

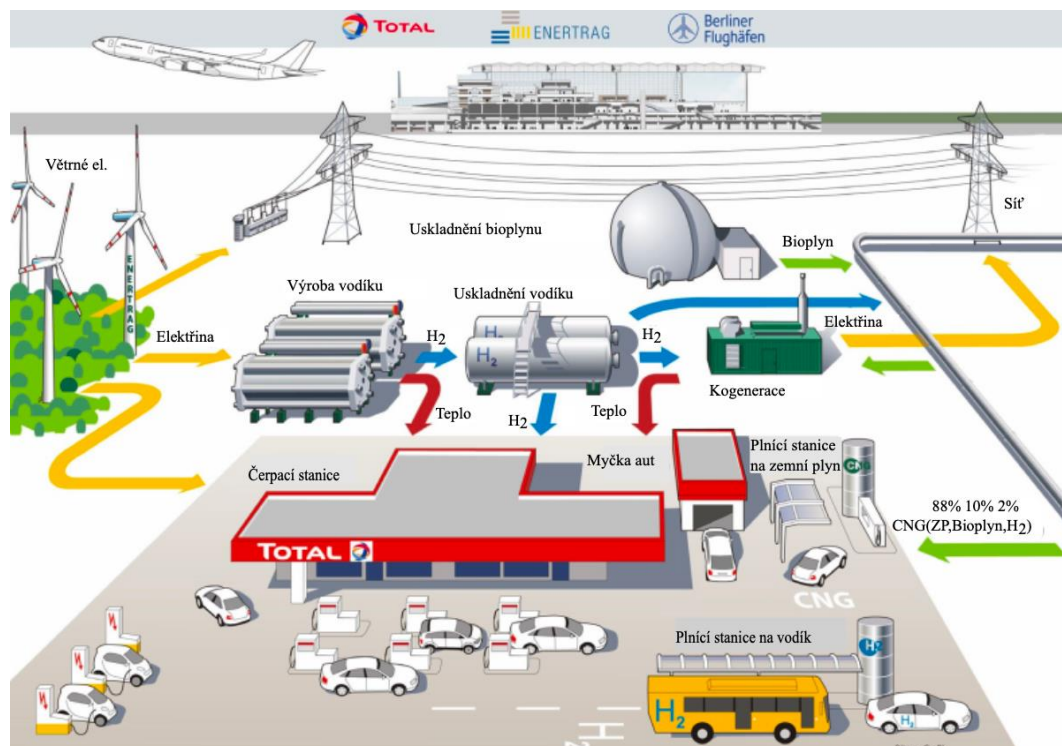
Mikrogrid má taktiež svoju online platformu (<http://www.kireip.com.au>), na ktorej je možné sledovať online výrobu/spotrebu z jednotlivých častí siete.

5.13 Enertag

Enertag je Nemecká skupina rozvíjajúca metódu vodíkového cyklu. Pilotný projekt bol uvedený v roku 2011 pod názvom elektrárň Prenzlau. Jedná sa o blok 3 veterných elektrární s jednotkovým výkonom 3 MW a 500 kW elektrolýzovou jednotkou vyrábajúcou vodík. Ten je následne spolu s bioplynom spaľovaný v kogeneračnej jednotke.

Jedná sa o prvý grid, ktorý v Európe kombinuje vzduch, vodík a bioplyn inak nazývaný aj P2G (Power to Gas technology). Uvedená technológia umožňuje premenu energie na plyn a jej následné uskladnenie. Je schopná produkovať okolo 120 m³ vodíka za hodinu.

Vodík je následne okrem kogenerácie využívaný pre účely dopravy – v areáli je umiestnená plniaca stanica na vodík.



Obrázok 42 - schéma zapojenia Enertragu

5.14 Utsira

Utsira je mesto v severnom Nórsku, ktoré prešlo na kompletne zásobovanie pomocou OZE. Ako akumulčný prvok využíva vodíkový cyklus s palivovými článkami. Projekt pozostáva z jednej turbíny, ktorá zásobuje externú sieť, druhá má znížený výkon na 150 kW a je napojená na systém skladovania energie – jedná sa o zostavu zotrvačiek s kapacitou 5 kWh a 100 kVA synchronným strojom, ktorý reguluje frekvenciu a napätie v gride. Pre spotrebovanie nadbytočnej elektriny je vybudovaný elektrolýzer s kapacitou 10 Nm³ s maximálnym príkonom 48 kW, sústava 5 kW kompresora s nádržami o objeme 2400 m³, tlaku 200 bar. V prípade bezvetria je spaľovaný vodík v motore s výkonom 55 kW a 10 kW palivových článkoch. Táto energia mala byť postačujúca na pokrytie spotreby 10 domácností na ostrove.

S palivovým článkom však vznikli rôzne problémy a trvanlivosť bola tiež zlá, čo znamenalo, že boli v prevádzke menej ako 100 hodín. Spaľovací motor fungoval lepšie, ale po poruche musel byť vymenený v roku 2009.

V marci 2007 sa ukázalo, že tento systém urobil ostrov 100 % sebestačným v oblasti elektrickej energie asi 65 % času, zatiaľ čo dlhodobé štúdie ukázali, že sebestačnosť dosiahla okolo 50 % času. Zvyšok času bolo potrebné privádzať energiu za pomoci podmorského kábla z pevniny. Účinnosť systému na výrobu vodíka bola 53 %. Samotný elektrolýzer mal účinnosť 73 %, ale okrem toho došlo k stratám na transformátore, vodíkovom kompresore a ďalších zariadeniach (vodné čerpadlá, sušenie, oxidácia, chladenie atď.). Účinnosť spaľovania vodíka bola 17-18 %, čo sa dalo značne zlepšiť pomocou dobrého palivového článku.

V roku 2010 bol projekt na vodík zrušený, avšak veterné turbíny s inštalovaným výkonom 600 kW zostali v prevádzke.

5.15 Rokkashomura Wind Farm

Jedná sa o veternú farmu prevádzkovanú Japonskou spoločnosťou Wind Development od roku 2008. Inštalovaný výkon veterného parku je 51 MW a jedná sa o najväčší veterný park s akumuláciou elektriny pomocou zásobníkov NaS. Výkon akumulátorov je 34 MW s kapacitou 238 MWh. Park pozostáva z 34 veterných turbín s jednotkovým výkonom 1,5 MW a zo 17 setov akumulátorov s jednotkovým výkonom 2 MW. Podľa prvých skúseností bola účinnosť akumulačnej sústavy pomerne dobrá – okolo 89-92 %.

6 INTELIGENTNÉ MERANIA

6.1 Elektromery

Elektromer je elektrický merací prístroj, ktorý meria množstvo spotrebovanej elektrickej energie. Elektromery sú zvyčajne kalibrované na fakturačnú jednotku kilowatthodinu [kWh], ktorá predstavuje jednotku energie spotrebovanú elektrickým zariadením s príkonom 1 KW po dobu 1 hodiny alebo 3,6 MJ.

Elektromery podľa princípu merania:

- Elektromechanické (indukčné)
- Statické (elektronické)

Elektromery podľa druhu meranej energie:

- Elektromery určené na meranie činného výkonu – najčastejšie využívané u maloodberateľov (domácnosti).
- Elektromery určené na meranie jalového výkonu.
- Štvorkvadrantové elektromery (kombinácia vyššie uvedených 2 typov elektromerov) – takýto typ elektromeru môže merať rôzne veličiny ako činnú alebo jalovú energiu (ako dodávku, tak aj odber), činný, zdanlivý a deformačný výkon.

Elektromery podľa počtu fáz:

- Jednofázové
- Trojfázové

Elektromery podľa počtu taríf:

- Jednotarifné
- Dvojtarifné
- Viactarifné – predpoklad ich využitia je práve v inteligentných sieťach, kedy sa cena elektriny bude dynamicky meniť v závislosti od trhovej ceny.

Elektromery podľa spôsobu merania:

- Priame – NN hladina, umiestnený priamo na OM.
- Polopriame – NN hladina, 3f elektromery, elektromer je umiestnený v elektromerovom rozvádzači.
- Nepriame – VN a VVN hladina, cez PTN.

Elektromery podľa použitia:

- Fakturačné
- Informatívne (podružné)

Elektromery podľa spôsobu komunikácie:

- **M-Bus** – priemyselný komunikačný protokol určený predovšetkým na diaľkový odpočet dát meracích prístrojov. Komunikácia prebieha po dvojlinke. Na jednu sériovú zbernicu môže byť pripojených až 250 staníc.
- **ModBus** – jedná sa o priemyselný sériový komunikačný protokol. Každé zariadenie určené na komunikáciu ma jedinečnú adresu. Umožňuje komunikáciu viacerých zariadení pripojených do rovnakej siete.
- **RS 232** – štandard pre sériovú komunikáciu na prenos dát medzi 2 zariadeniami s komunikačnou rýchlosťou 20kbps na max 15m. Kapacita vodiča závisí od použitého materiálu. Dáta sa posielajú v sérii po jednom vodiči.

- **RS 485** – štandard pre sériovú komunikáciu a na prenos dát medzi 2 zariadeniami hlavne v priemyselnom prostredí. Od RS 232 sa líši najmä napäťovou hladinou. Logické stavy sú reprezentované rozdielnym napätím medzi oboma vodičmi.
- **GSM** – používa sa k diaľkovému odpočtu elektromerov. Jedná sa o trvalé dátové spojenie poskytované mobilným operátorom.
- **PLC** – využíva existujúce silnoprúdové rozvody. V NN sieťach sa vyskytujú nežiadúce vplyvy, ktoré negatívne ovplyvňujú šírenie signálu (ako napr. útlm, rušenie, odrazy, straty).
- **RF** – rádiová komunikácia umožňujúca prenos až na vzdialenosť niekoľkých kilometrov (pomocou zosilňovačov až niekoľko 100 km). Na prenos dát v licencovanom pásme je potrebné povolenie telekomunikačného úradu. Oneskorenie signálu sa pohybuje rádovo v 10 ms. Nevýhodou tohto typu siete môže byť rušenie inými rádiovými signálmi.
- **Optické hlavy** – využívané na priamu komunikáciu PC a IMS. Pracujú na princípe infračerveného svetla s vlnovou dĺžkou 880 nm. Optické sondy sú spojené za pomoci kábla s USB alebo RS 232 konektormi.
- **Ethernet** – jedná sa o prenosovú technológiu určenú pre lokálne počítačové siete a založené na štandarde IEEE 802.3. Na prenos informácií sa používa ethernetový alebo optický kábel.

6.2 Použitie senzorov pri meraní

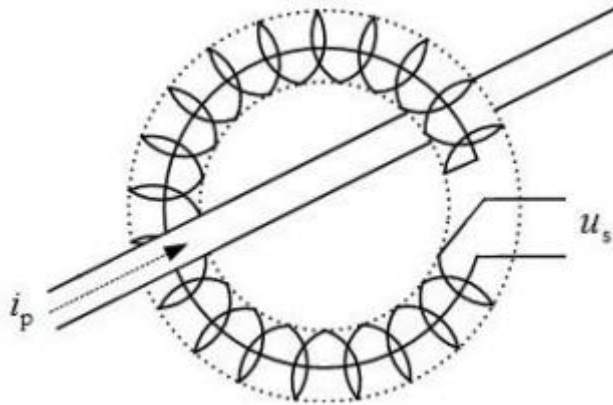
Medzi nové moderné metódy merania patrí využívanie nekonvenčných princípov merania tzv. senzorov. Ich výstupný signál je nízko potenciálový a rozvedenie signálu na väčšie vzdialenosti klasickým vodičovým spôsobom je nerealizovateľné. Z tohto dôvodu vznikla iniciatíva zdieľať tieto hodnoty digitálne; bol vytvorený Process bus, po ktorom je možné zdieľať merané hodnoty (SV) v digitálnej podobe.

Senzory pre hladinu vysokého napätia využívajú nekonvenčné princípy merania ako Rogowskeho cievka alebo napäťový delič. Konštrukcia senzorov je bez feromagnetického jadra, vďaka čomu nie je správanie senzora ovplyvnené nelinearitou a šírkou hysteréznej slučky. Pri konštrukcii senzora musia výrobcovia dbať na presnosť merania. Medzi hlavné benefity senzorov patrí redukcia veľkosti, zvýšenie bezpečnosti, väčšia štandardizácia a širší rozsah merania.

V roku 2013 uviedla firma ABB koncept UniGear Digital, ktorý predstavuje rozvádzač vysokého napätia využívajúci prúdové a napäťové senzory. Zdieľanie napätia medzi ochranami v rámci rozvodne prebieha prostredníctvom štandardu IEC 61850 9 2. Firma Locamation zaoberajúca sa vývojom ochrán predstavila riešenie centrálnej ochrany na báze vlastných zariadení a komunikačného protokolu. Riešenie firmy Locamation využíva distribútor Alliander v Holandsku.

6.2.1 Prúdové senzory na princípe Rogowskeho cievky

Meranie prúdu v prúdových senzoroch je na princípe Rogowskeho cievky. Jedná sa o toroidnú cievku bez jadra z feromagnetického materiálu. Umiestnenie senzora je okolo primárneho vodiča rovnakým spôsobom, ako je sekundárne vinutie v prúdovom transformátore. Namiesto konvenčných prístrojových transformátorov prúdu je výstupným signálom z prúdových senzorov napätie.



Obrázok 43 - Rogowskeho cievka

6.2.2 Optické prúdové senzory

Meranie prúdu pomocou optických senzorov je založené na Faradayovom jave. Ten spočíva v ovplyvňovaní optických vlastností meraného materiálu pôsobením vonkajšieho magnetického poľa – materiál sa stane opticky aktívny. Lineárne polarizovanému svetlu sa prechodom cez magnetooptický materiál pod vplyvom magnetického poľa otáča smer polarizácie. Uhol natočenia je lineárne úmerný veľkosti magnetického poľa.

Pre použitie rôznych prístupov k meraniu sa meranie prúdu pomocou optických elementov delí na tri základné druhy merania:

- prúdový senzor s optickým vláknom,
- prúdový senzor z bloku skla,
- prúdový senzor s vláknom s Braggovou mriežkou.

Prúdový senzor s optickým vláknom

Tento typ prúdového senzora pozostáva z optického vlákna navinutého okolo vodiča s meraným prúdom. Samotné vlákno je z materiálu podporujúceho Faradayov jav, teda samotné je senzorickým materiálom. Nakoľko Verdetova konštanta je v tomto prípade pomerne malá, musí byť tento nedostatok kompenzovaný vyšším počtom závitov, aby bola rotácia svetelného lúča merateľná. Optické vlákno nevyžaduje precízne prispôbenie alebo nastavenie. Presnosť je ovplyvniteľná rôznymi dopantmi v jadre vlákna alebo počtom závitov. Presnosť takto zostaveného prúdového senzora je ovplyvnená optickým javom – lineárnym a intrinzičným dvojlomom, kvôli ohýbaniu alebo vibráciám optického vlákna.

Prúdový senzor z bloku skla

Senzor sa skladá z magnetooptického materiálu, ktorý kompletne obklopuje vodič s meraným prúdom. Jedná sa o blok skla s robustnejším prevedením a relatívne malou hodnotou Verdetovej konštanty. Takto robustný senzor netrpí optickými chybami dvojlomu, ako optické vlákno. Existuje viacero variant vedenia svetelného lúča materiálom, či už presne jedenkrát, alebo niekoľkokrát. Meria sa rotácia polarizácie lineárne polarizovaného svetla teplotne závislá, teda senzor je citlivý na teplotné rozdiely.

Vlákno s Braggovou mriežkou

Senzor tohto typu nevyužíva Faradayov efekt, ale interferometriu. Vlákno s Braggovou mriežkou je zložené z rôznych materiálov s rôznym indexom lomu usporiadaných striedavo vedľa seba. Svetlo prechádzajúce cez vlákno sa na rozhraní dvoch oblastí odráža a láme.

6.2.3 Prúdové senzory na princípe Hallovho efektu

Meranie prúdu pomocou Hallovej sondy využíva fyzikálny jav spočívajúci vo vybočení voľných nosičov vo vodiči vplyvom magnetického poľa, nazývaný aj ako Hallov jav. Pomocou Hallovej sondy je možné merať ako jednosmerný, tak aj striedavý prúd bez potreby galvanického pripojenia sa k meranému obvodu. Hallova sonda je zariadenie malých rozmerov s nízkym energetickým odberom, imúnna voči vonkajšiemu šumu.

Základný princíp merania elektrického prúdu je založený na meraní magnetického poľa, ktoré sa vytvára okolo vodiča, ktorým preteká elektrický prúd. Pri meraní Hallovou sondou meriame magnetické pole vodiča, cez ktorý preteká zisťovaný prúd. Vodič je obklopený magnetickým obvodom – prstencom z magneticky mäkkého materiálu. Magnetické pole v prstenci je úmerné pretekajúcemu prúdu cez vodič, ktorý obklopuje. Pri udržiavaní riadiaceho prúdu IC Hallovej sondy na konštantnej hodnote sa Hallovo napätie mení úmerne so zmenou magnetického poľa v prstenci – teda s pretekajúcim prúdom v meranom vodiči.

Používajú sa dva princípy merania prúdu pomocou Hallovej sondy, ktoré odstraňujú niektoré nevýhody samotnej Hallovej sondy, ako napríklad teplotnú závislosť, malú citlivosť, obmedzený rozsah linearity, citlivosť na mechanické namáhanie a polohu, či obmedzený frekvenčný rozsah. Týmito metódami sú:

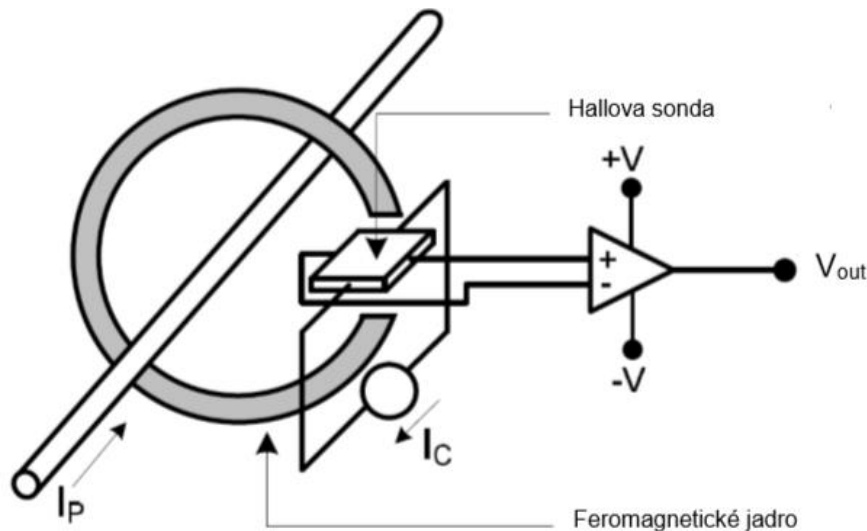
- Snímanie prúdu pomocou Hallovej sondy v otvorenej slučke
- Snímanie prúdu pomocou Hallovej sondy v uzavretej slučke

Snímanie prúdu pomocou Hallovej sondy v otvorenej slučke

Prúdový senzor používajúci Hallovu sondu v otvorenej slučke využíva feromagnetické jadro z materiálu s vysokou permeabilitou využívané na koncentráciu poľa. V magnetickom jadre je vzduchová medzera, cez ktorú prechádza vodič, cez ktorý tečie snímaný prúd IP . Samotné jadro nie je celistvé, prstencem obsahuje po jeho obvode prerušenie – vzduchovú medzeru, kde je vložená Hallova sonda. Hallovo napätie generované prostredníctvom magnetického poľa je zosilnené pomocou operačného zosilňovača a následne je zmerané meracím prístrojom. Názornú ukážku schematického zapojenia Hallovej sondy v otvorenej slučke je možné vidieť na obr. 46.

Výstup z Hallovej sondy pri meraní v otvorenej slučke má tvar hysteréznej slučky z dôvodu prítomnosti feromagnetického prstencu, s lineárnou časťou priebehu.

Medzi nevýhody patrí zahrievanie magnetického jadra spôsobené vyššími frekvenciami, malá šírka pásma (DC až 25 kHz), obmedzený rozsah linearity, vysoký offset, chyby zisku (gain drift) a menšia presnosť. Pre prúdy nižšie ako 50 A je pre vyššiu presnosť potrebné vodič s meraným prúdom navinúť na feromagnetické jadro niekoľkými otočkami. Toto však nie je možné vo všetkých prípadoch a taktiež straty v magnetickom jadre narastajú s druhou mocninou počtu závitov.



Obrázok 44 - schéma Hallovej sondy

Snímanie prúdu pomocou Hallovej sondy v uzavretej slučke

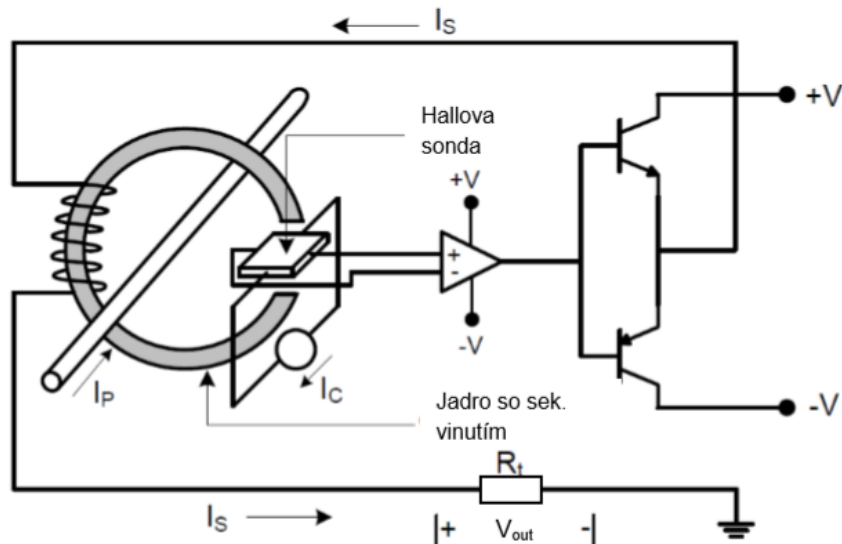
Prúdový senzor pozostávajúci z Hallovej sondy v uzavretej slučke má výrazne lepšie vlastnosti, ako prúdový senzor v otvorenej slučke. Základom senzora je, podobne ako v predchádzajúcom prípade, feromagnetické jadro so štrbinou, ktorá slúži na umiestnenie Hallovej sondy. Na jadro je v tomto prípade navinuté slaboprúde sekundárne vinutie spojené s operačným zosilňovačom cez push-pull zosilňovač. Takto vzniká záporná spätnoväzobná slučka.

Hallovo napätie, úmerné magnetickej indukcii v magnetickom jadre, generované Hallovou sondou je zosilnené pomocou operačného zosilňovača. Výstup operačného zosilňovača je napojený na push-pull zosilňovač, ktorého prúdový výstup je dodávaný do cievky navinutej na magnetickom jadre.

Prúd I_S dodávaný push-pull zosilňovačom cez sekundárne vinutie do magnetického jadra vytvára magnetickú indukciu rovnakú, ako je generovaná z primárneho vodiča meraným prúdom I_P , ale v obrátenom smere. Magnetická indukcia v jadre sa tým pádom eliminuje. Hallova sonda v tomto prípade deteguje nulovú magnetickú indukciu. Prúd I_C ňou prechádzajúci je, ako v prvom prípade, konštantný. Pri akýchkoľvek výkyvoch magnetického poľa spôsobených primárnym vodičom teda zareaguje a cez spätnú väzbu prúdom I_S pole vykompenzuje.

Prúd I_P sa dá jednoducho previesť na napätie vložením referenčného rezistora a následne sa dá merať. Udržiavanie magnetického jadra pri nulovej alebo iba miernej magnetickej indukcii má pozitívny vplyv na presnosť pre zotrvávanie v lineárnej oblasti merania, a tiež odstraňuje nepresnosti spôsobené hystereziou.

Hallova sonda v zapojení v uzavretej slučke poskytuje vysokú presnosť, veľkú šírku pásma, veľmi rýchlu odozvu, výbornú linearitu. Medzi nevýhody patrí väčšia spotreba energie, vyššia cena, väčšie rozmery a limitovaný tok prúdu sekundárnym vinutím s ohľadom na napájacie napätie.



Obrázok 45 - Hallova sonda v uzavretej slučke

6.2.4 Porovnanie zariadení na meranie prúdu

Prúdové transformátory sú stále najrozšírenejšie zariadenia na meranie prúdov v tradičných výkonových elektrických systémoch. Ich výhodami sú bezúdržbová prevádzka, vysoká stabilita a vysoké prierazné napätie. Z princípu fungovania vyplýva, že nemôže byť použitý na meranie jednosmerných prúdov. Medzi ich nevýhody patrí vysoká cena, veľkosť, vysoká váha a obmedzená šírka pásma.

Rogowského cievka, ktorá obsahuje vzduchové jadro, netrpí saturáciou feromagnetického jadra ako prúdový transformátor, a teda dosahuje veľkú šírku pásma s lineárnym priebehom. Medzi ďalšie výhody patrí galvanické oddelenie od vodiča s meraným prúdom, nízka cena, malé rozmery a váha. Medzi nevýhody patrí malá presnosť pri meraní nízkych prúdov a prúdov pri nízkych frekvenciách. Je určená pre meranie vysokých prúdov.

Optické prúdové senzory sa vyznačujú výbornou odolnosťou voči elektromagnetickému rušeniu, výbornými izolačnými vlastnosťami pri vysokom napätí a prúde, a veľkou šírkou pásma. Nevýhodou je v tomto prípade vysoká cena a zložitejšie vyhodnocovacie prístroje. Taktiež sú optické senzory náchylné na teplotné zmeny a v niektorých prípadoch na vibrácie a otrasy.

Prúdový senzor pozostávajúci z Hallovej sondy je v dnešnej dobe najvyužívanejší bezkontaktný spôsob merania prúdu. Medzi výhody patrí nízka cena, malé rozmery a veľká šírka pásma. Nevýhodami sú nízka citlivosť v porovnaní s ostatnými senzormi, malé prierazné napätie, teplotná závislosť a vyššia spotreba vplyvom sekundárneho kompenzačného prúdu.

Tabuľka 15 – porovnanie zariadení na meranie prúdu

Typ	Výhody	Nevýhody
Optické prúdové senzory	<ul style="list-style-type: none"> • Odolné voči elektromagnetickým vplyvom • Široké dynamické spektrum • Nízke výstupné napätie kompatibilné s digitálovo-analogovými konvertormi • Odolné voči vysokej teplote • Bez saturácie a ferorezenancie jadra • Úplná izolácia od prepätí 	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanické vibrácie môžu ovplyvniť presnosť merania • Potrebná mechanická izolácia senzoru • Veľmi intenzívne magnetické polia môžu ovplyvniť presnosť merania

Typ	Výhody	Nevýhody
Senzory na princípe Hallovho efektu	<ul style="list-style-type: none"> • Veľkosť výstupného signálu závisí od intenzity magnetického poľa a nie od frekvencie • Odolné voči vonkajším vplyvom • Použiteľné v statických aj v rotačných inštaláciách • V statických inštaláciách môžu merať vysoké hodnoty prúd bez prehrievania 	<ul style="list-style-type: none"> • Ovplyvňovanie externými magnetickými poľami • Potrebné chladenie
Prúdový senzor na princípe Rogowského cievky	<ul style="list-style-type: none"> • Rýchla odozva na zmenu meraného prúdu (ns) • Lineárny priebeh výstupnej veličiny (nedochádza ku saturácii) • Neexistuje nebezpečenstvo vysokého napätia na sekundárnom vinutí • Nízka cena • Bezproblémové chladenie • Menšie rozmery v porovnaní s klasickým PT 	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebné využitie integračného obvodu pre získanie priebehu meraného prúdu • Integračný člen udáva možnosti použitia
PT	<ul style="list-style-type: none"> • Môže dosahovať veľkú presnosť ak je správne nakalibrovaný • Izoluje merací okruh od prepätí 	<ul style="list-style-type: none"> • Saturácia zariadenia • Možné prehrievanie

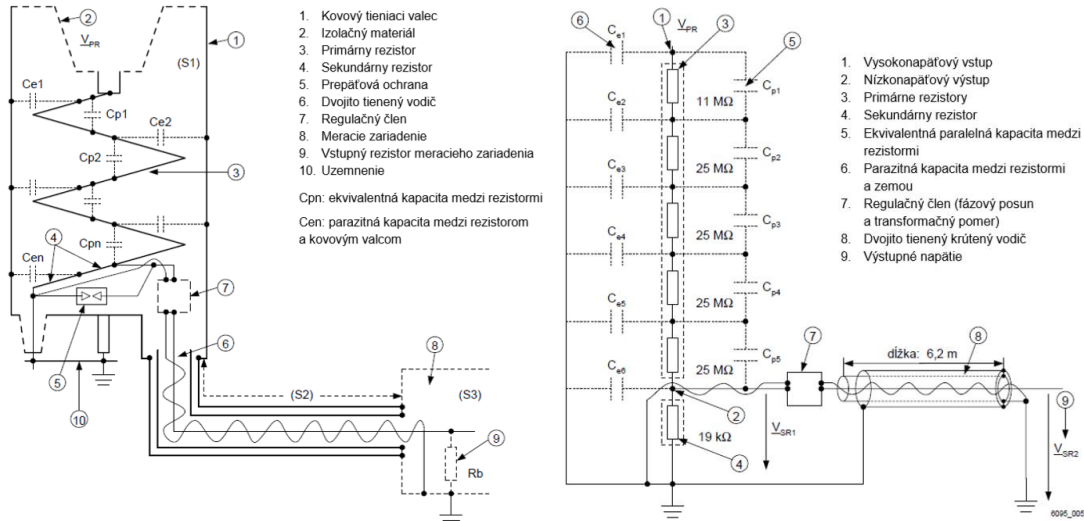
6.2.5 Napätové senzory – Napätový, rezistívny delič

Napätový delič

Za nekonvenčné metódy merania napätia sa považujú aj deliče napätia. Ich využiteľnosť podporuje aj dnešná digitálna technika, ktorá nepotrebuje vysoký výstupný výkon zo senzorov. Ich účelom je znížiť vysoké napätie natoľko, aby ho bolo možné merať klasickými nízkonapätovými meracími prístrojmi. Deliče napätia môžu byť zložené z rezistorov alebo kondenzátorov a na základe toho sa delia na rezistívne a kapacitné deliče napätia.

Napätový delič je pasívny lineárny obvod, ktorého výstupné napätie je časť vstupného napätia. Čiastkové napätie je výsledkom distribúcie napätia medzi jednotlivé časti deliča. Najjednoduchšie znázornenie napätového deliča je zobrazené na obr. 48.

Z je všeobecná impedancia, ktorá môže byť nahradená impedanciou rezistoru alebo kapacitoru a pomocou ktorej vieme s použitím Ohmovho zákona všeobecne vypočítať výstupné napätie deliča.



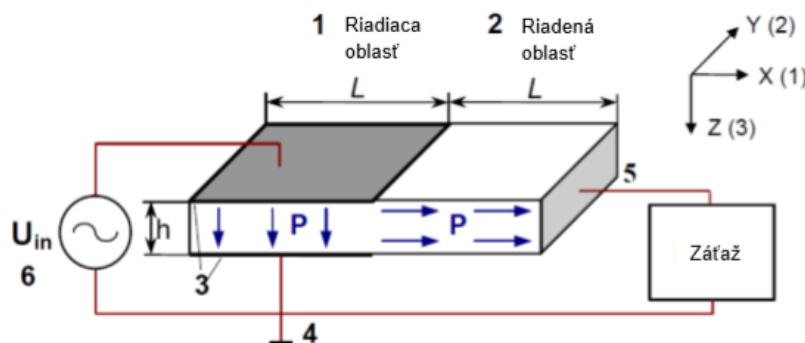
Obrázok 46 - schéma

Rezistívny delič

Rezistívny napäťový delič používaný ako napäťový senzor dosahuje triedu presnosti 0,2 % a taktiež je vhodný na presné meranie napätia. Senzor sa skladá zo série rezistorov uložených v kovovom valci, ktorý zabraňuje vonkajšiemu rušeniu. Primárne aj sekundárne rezistory sú vyrobené tlstovrstvou technológiou vyvinuté špeciálne pre túto aplikáciu. Aktívna časť tlstovrstvého rezistoru je chránená proti elektrickému poľu, ktoré existuje medzi povrchom rezistorov a kovovým valcom na nulovom potenciáli. Dôležité je tiež zabezpečiť všetky časti, na ktorých by mohlo indukovať napätie. Z toho dôvodu sú všetky časti tienené a nízkonapäťové vodiče aj krútené. Prezentovaný senzor je opatrený 111 MΩ primárnym rezistorom a 19 kΩ sekundárnym rezistorom. Bol nastavený pre primárne napätie 11,6 kV s výstupným napätím 3,25 V/√3.

6.2.6 Napäťové senzory – piezoelektrický

Nepriamy piezoelektrický jav, nepresne označovaný aj ako elektrostriktcia, je jav, kedy sa materiál deformuje vplyvom prítomnosti elektrického poľa. Deformácia materiálu je kvadraticky úmerná veľkosti elektrického poľa. Pri aplikácii striedavého elektrického poľa sa materiál periodicky sťahuje a roztahuje a ak je frekvencia totožná s vlastnými kmitmi kryštálu, vzniká mechanická rezonancia. V elektrickom obvode s jednosmerným elektrickým poľom sa piezoelektriká správajú ako kondenzátory.



Obrázok 47 - schéma piezoelektrického senzora

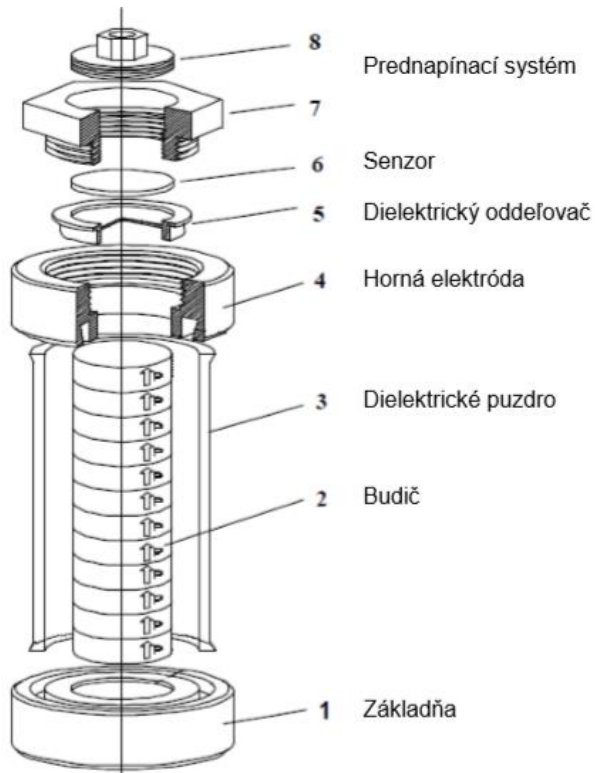
Rezonančný piezoelektrický transformátor

Rezonančné piezoelektrické transformátory sú založené na báze piezoelektrického transformátora Rosenovho typu. Konverzia napätia je dosiahnutá mechanickými vibráciami. Transformátor pozostáva z dvoch častí piezoelektrických oblastí pripevnených pojivom, pričom tieto oblasti sú voči sebe priečne polarizované. Oblasť, na ktorú sa prikladá merané napätie, nazývame riacou oblasťou, druhú oblasť, ktorá generuje transformované napätie, nazývame riadenou oblasťou. Tieto dve oblasti môžu byť vytvorené zvlášť a spojené pojivom, napríklad epoxidom, ale preferuje sa výroba z jedného kusa materiálu. Riadiaca oblasť má v smere polarizácie pokovované strany pre zaistenie správneho kontaktu. Na jednu stranu je pripojené merané napätie, druhá strana je pripojená na zem. V podobnom zmysle je pokovovaná aj strana riadenej oblasti.

Privedením striedavého napätia na kontakty riackej oblasti sa táto oblasť rozkmitá v smere polarizácie. Toto mechanické napätie vytvorí pozdĺžne mechanické napätie na riadenej oblasti, čím je generované elektrické napätie. V prípade, že by zariadenie nepracovalo v pásme rezonančnej frekvencie, tvorili by sa veľké prenosové straty vo vibráciách. Tento typ transformátora je teda zariadenie s veľmi úzkou šírkou pásma. Transformačný pomer je možné vypočítať pomocou rovnice. Transformátor v takomto zapojení produkuje výrazne väčšie napätie, ako doň vstupuje, a využíva sa ako vysokonapäťový generátor.

Nerezonančný piezoelektrický transformátor

V prípade nerezonančného piezoelektrického transformátora sa rezonančná frekvencia piezoelektrického materiálu nepribližuje meraným frekvenciám. Tento transformátor pozostáva z dvoch mechanicky spojených valcov z piezoelektrického materiálu umiestnených nad sebou. Valce sú dielektricky oddelené. Na jeden valec je privedený vysokonapäťový vstup, druhý generuje výstupné nízke napätie. Valec, na ktorý je privedený vstup, využíva nepriamy piezoelektrický jav, teda pod vplyvom napätia sa deformuje – v literatúre označovaný ako budič. Druhý valec využíva priameho piezoelektrického javu pri jeho samotnej deformácii vplyvom rozťažnosti budiča, generuje napätie.

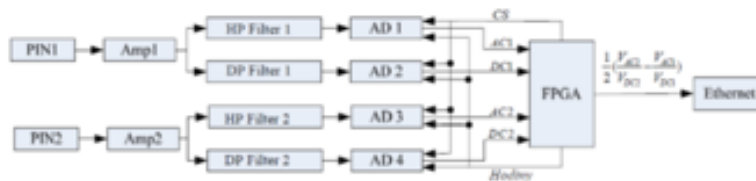
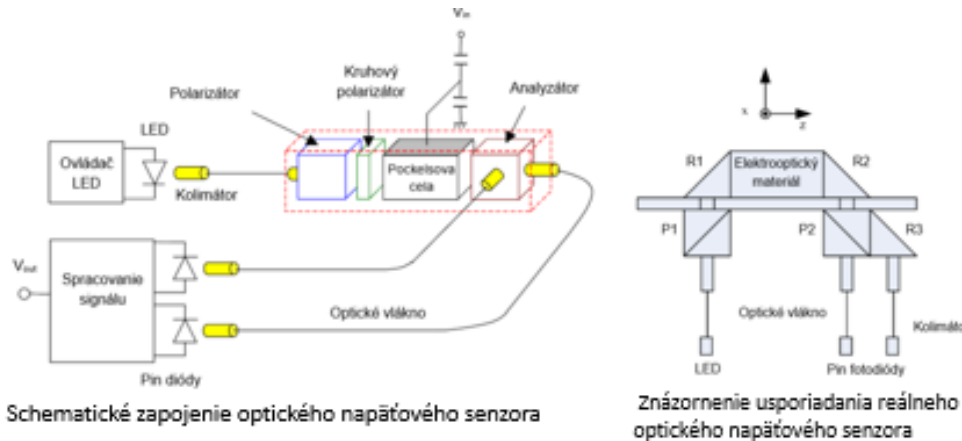


Obrázok 48 - schéma nerezonančného piezoelektrického TR

6.2.7 Optický napěťový senzor

Optické napěťové senzory pracují na principě svetlo-priepustného materiálu, ktorý vplyvom elektrického poľa mení svoje vlastnosti a ovplyvňuje lúč svetla prechádzajúci cez neho. Jav, ktorý sa pri tomto druhu merania využíva, sa nazýva Pockelsov efekt (lineárna zmena indexu lomu vplyvom elektrického poľa. V prípade kvadratickej závislosti sa jedná o Kerrov efekt.). Vplyvom priloženého elektrického poľa sa úmerne mení index lomu materiálu.

Princíp merania: Svetelný lúč prechádza cez jednotlivé polarizátory do Pockelsovej cely, kde je ovplyvnený fázový posun vlny. Analyzátor vyhodnotí intenzitu.



Obrázok 49 - optický napěťový senzor

6.2.8 Porovnanie metód merania napätia

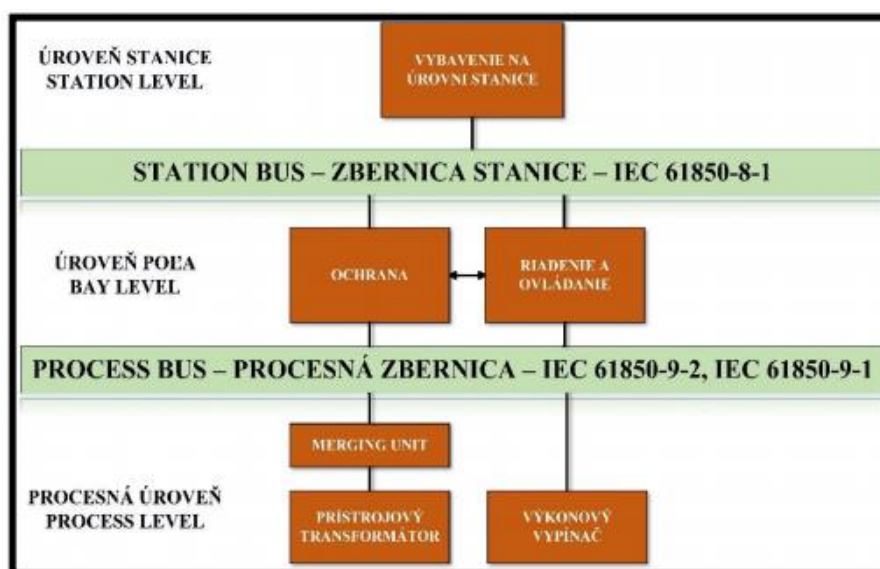
Tabuľka 16 - porovnanie metód merania napätia

Typ	Výhody	Nevýhody
PT	<ul style="list-style-type: none"> Výborná stabilita a presnosť v určenom prevádzkovom rozsahu Bezúdržbové 	<ul style="list-style-type: none"> Ferorezonancia Skrat sekundárneho vinutia má za následok deštrukciu transformátora (nutné použitie poistky) Veľké rozmery, váha, spotreba materiálu
Piezoelektrický napěťový transformátor	<ul style="list-style-type: none"> Stabilita transformačného pomeru v širokom frekvenčnom pásme (od DC po 10kHz) Vysoká citlivosť Tepelná stabilita 	<ul style="list-style-type: none"> Závislosť transformačného pomeru od pripojenej záťaže

Typ	Výhody	Nevýhody
Optický napät'ový senzor	<ul style="list-style-type: none"> • Široké frekvenčné pásmo (až niekoľko MHz) • Presnosť je limitovaná iba elektronikou a snímačmi • Žiadna saturácia pri poruchových stavoch • Imúnny voči elektromagnetickému rušeniu • Malé rozmery 	<ul style="list-style-type: none"> • Cena
Napät'ové deliče	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká presnosť • Široký rozsah meraného napätia • Nízka cena a malé rozmery 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapacitný senzor nie je možné používať na meranie DC napätia • Problém kapacitného senzora s vybíjaním zachyteného náboja • Zmena transformačného pomeru v závislosti od záťaže

6.3 IEC 61850-9-2

S rozvojom senzorov prúdu a napätia je nutné vyriešiť zdieľanie meraných hodnôt na väčšie vzdialenosti, ako je napr. zdieľanie meraných hodnôt medzi jednotlivými poľami v rozvodni, pretože výstup zo senzorov má nízku hodnotu v desiatkach MV. Túto problematiku vyriešil štandard IEC 61850-9-2, ktorý popísal pojem SV. Jedná sa o vzorkované hodnoty, kde pre ochranné funkcie je definovaných 80 vzoriek na periódu a pre hodnotenie kvality elektrickej energie 256 vzoriek na periódu. Jednotlivé vzorky musia byť časovo synchronizované, aby zariadenie, ktoré ich prijíma, mohlo presne definovať každú vzorku a ďalej s ňou pracovať. Všetky SV sú zdieľané medzi zariadeniami prostredníctvom procesnej zbernice – Process bus, definovanej taktiež štandardom IEC 61850-9-2. Norma definuje, ako majú byť pripojené jednotlivé zariadenia do zbernice, ktorá je taktiež prepojená s nadradeným systémom predstavujúcim zbernicu stanice – Station bus.



Obrázok 50 - station bus a process bus

Základné tri úrovne funkčnej hierarchie rozvodne sú zobrazené na Obr. 52.

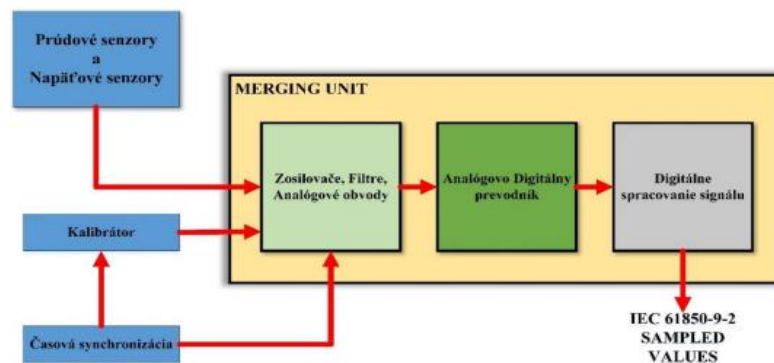
Procesnú úroveň predstavujú meniče napätia a prúdu, vypínače, prípadne zlučovacie jednotky – MUs.

Úroveň poľa predstavujú ochrany a riadiace zariadenia jednotlivých poľí.

Funkcie vyžadujúce dáta z viac ako jedného poľa sú implementované do úrovne stanice – Station level. Aplikácie s využitím štandardu IEC 61850-9-2 sú založené na distribúcii vzorkovaných hodnôt prúdu a napätia zo zlučovacích jednotiek – MUs do digitálnych ochrán (IED), ktoré ich ďalej využívajú pre meracie a ochranné funkcie.

6.4 MU – Merging unit

MU je zariadenie, ktoré slúži na konvertovanie analógového signálu z meničov napätia a prúdu na SV. Tieto hodnoty sú následne časovo synchronizované a posielané na process bus, kde sú ďalej dostupné pre ďalšie zariadenia, ktoré s nimi pracujú, ako napr. elektrické ochrany.



Obrázok 51 - merging unit

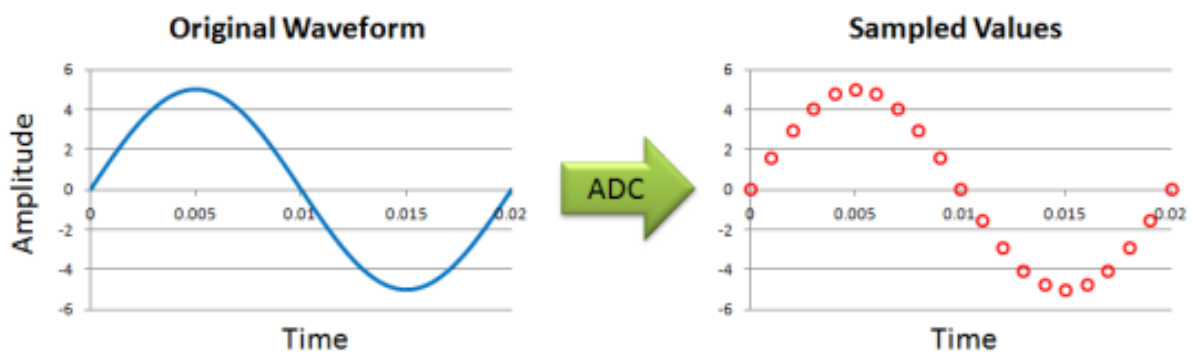
6.5 Sychrofázory

PMU alebo phasor measurement unit je zariadenie merajúce priebeh napätia alebo prúdu. Merania sú časovo synchronizované podľa UTC.

Proces merania:

1. Vzorkovanie vstupného signálu

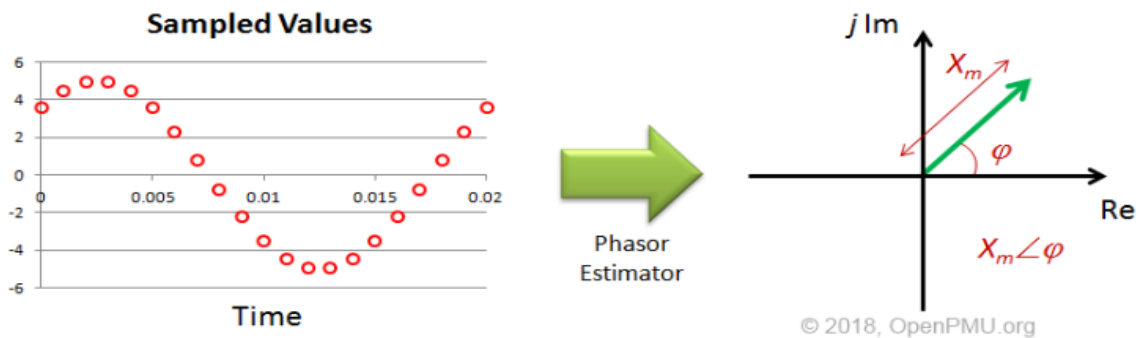
Vstupná sinusoida je digitalizovaná za pomoci analógo-digitálneho konvertora (ADC). ADC považuje vstupný signál za variabilný ako v čase, tak aj amplitúde. Výstupom je teda súbor diskretných hodnôt nazývaných „Samped values“ SV.



Obrázok 52 - schéma vzorkovania

2. Generovanie fázorov

Fázor musí byť vždy určený medzi 2 bodmi, je preto potrebné vybrať referenčný priebeh systémovej frekvencie (50 resp. 60 Hz), ktorý dosahuje maximum v presne definovaný okamih podľa UTC. Generovanie fázorov má za úlohu napasovať hodnoty amplitúdy, fázového posunu a frekvencie na SV.



Obrázok 53 - schéma generovania fázorov

3. Časová synchronizácia fázorov

Za pomoci GPS sú fázory synchronizované v UTC čase a vznikajú synchrofázory.

6.6 Dátové koncentráto

Medzičlánok v komunikácii medzi centrálnym serverom a lokálnou sieťou, ktorá je vytvorená z niekoľkých stacionárnych elektromerov a s ktorými komunikuje napríklad na princípe rádiového prenosu, cez rozhranie RS 232, RS 485 alebo PLC. Dátový koncentrátor slúži na riadenie a odčítanie niekoľkých stacionárnych elektromerov. Namerané dáta sú centrálnu uložené a následne sa odošlú na centrálny server na ďalšie spracovanie a vyhodnotenie. Posielanie nameraných údajov je realizované napríklad prostredníctvom GSM, GPRS alebo Ethernet. Z koncentrátora je možné dáta odčítavať jednotlivo alebo naraz, dáta sú posielané automaticky podľa nastaveného intervalu (denne, týždenne a mesačne) alebo na vyžiadanie operátora. Zber dát je možný aj osobitne poverenou osobou, ktorá sa pripojí priamo na koncentrátor pomocou rozhrania (RS 232, RS485) alebo pomocou optickej hlavy.

Jednou z ďalších úloh koncentrátora je archivovanie nameraných dát v prípade zlyhania komunikácie s centrálnym serverom. V prípade prerušenia komunikácie so stacionárnymi elektromermi sa stratené dáta automaticky obnovia po opätovnom spojení s elektromerom, nakoľko každý stacionárny elektromer má vlastnú pamäť, kde ukladá namerané dáta. História nameraných dát je prehľadne spracovaná v tabuľkovej alebo grafickej forme.

Ďalšou úlohou koncentrátora môže byť resetovať, nakonfigurovať statický elektromer alebo synchronizovať elektromerové hodiny. Dokáže samostatne kontrolovať konfigurácie siete a reagovať. V určitých intervaloch kontroluje činnosť siete, či nedošlo k zmenám, a ak áno, tak dokáže pružne na ne samostatne reagovať. Koncentrátor je schopný rozpoznať novopripojené stacionárne elektromery do lokálnej siete, ktoré boli z nej odobraté.

6.7 Inteligentný kódér - skalár

Skalár je navrhnutý tak, aby využíval najmodernejšiu internetovú technológiu a bol voľne konfigurovateľný pre akékoľvek použitie, či už v súčasnosti alebo budúcnosti. Obsahuje modulárne komunikačné zariadenia s rozhraniami ako napr. GSM, GPRS, 32-bit mikroprocesor s pamäťami RAM a Flash a multitaskingový OS schopný pracovať v reálnom čase. OS dovoľuje nainštalovať vlastné aplikácie, ktoré je možné za pomoci kalendára plánovane spúšťať. Výmena dát s centrálnou je riešená za pomoci zabudovaného rozhrania (GSM, Ethernet,...).

6.8 IMS

IMS je na základe poskytovaných funkčností možné rozdeliť na:

- IMS so základnými funkciami,
- IMS s pokročilými funkciami,
- IMS so špeciálnymi funkciami,

pričom každá nižšia úroveň obsahuje aj všetky funkcie vyššej úrovne.

6.8.1 Základné funkcie IMS

- Obojstranná komunikácia medzi OM a centrálou IMS.
- Monitoring odberu elektriny pripojeného OM.
- Priebehové merania odberu a dodávky činnej energie s diaľkovým odpočtom so základným intervalom 15 min, pričom základný interval na odpočet meradla je najmenej 1x mesačne.
- Registrácia odberu a dodávky vo viacerých tarifách.
- Odpočet a následné odoslanie nameraných údajov na základe manuálnej požiadavky zbernej centrály.
- Pravidelná a automatizovaná synchronizácia dátumu a času.
- Spínanie taríf.
- Možnosť diaľkovej zmeny času platnosti jednotlivých sadzieb.
- Registrácia porúch meradla.
- Možnosť diaľkovej parametrizácie a aktualizácie programového vybavenia určeného meradla a ďalších technických prostriedkov inteligentného meracieho systému bez ovplyvnenia meracieho systému určeného meradla.
- Možnosť parametrizácie alebo odpočtu určeného meradla cez lokálne rozhranie bez ovplyvnenia meracieho systému určeného meradla.

6.8.2 Pokročilé funkcie IMS

- Priebehové štvorkvadrantné merania so základným meracím intervalom 15min a základným intervalom pre odpočet 1 deň.
- Možnosť diaľkového odpojenia a pripojenia OM, ak to spôsob pripojenia k DS umožňuje.
- Prúdové a výkonové obmedzenie v určenom meradle, ak to umožňuje spôsob pripojenia do DS.
- Meranie efektívnych hodnôt napätia a prúdu v jednotlivých fázach.
- Vyhodnocovanie účinníka z nameraných hodnôt.
- Registrácia alarmov a napadnutí meracieho zariadenia.
- Možnosť výmeny komunikačného modulu bez zásahu do meracej časti IMS.

6.8.3 Špeciálne funkcie IMS

- Priebehové merania zdanlivej energie, zdanlivý aritmetický výkon, správny zdanlivý výkon, deformačný výkon, výkon nesymetrie.
- Meranie kvality elektrickej energie.
- Vyhodnocovanie účinníka.
- Možnosť komunikácie s dispečerským riadiacim systémom.

6.9 Dátová centrála

Vyhláška 358/2013, ktorou sa ustanovuje postup a podmienky v oblasti zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike:

- Centrála inteligentného meracieho systému je informačný systém prevádzkovateľa distribučnej sústavy, ktorý zabezpečuje zber, prenos, spracovanie a správu nameraných údajov a poskytovanie nameraných údajov informačným systémom prevádzkovateľa distribučnej sústavy, ktorých prostredníctvom prevádzkovateľ distribučnej sústavy zabezpečuje prístup k nameraným údajom podľa zákona a osobitného predpisu.
- Centrálnym dátovým skladoom je informačný systém organizátora krátkodobého trhu s elektrinou zabezpečujúci centrálny zber, dlhodobé uskladnenie, správu a zverejňovanie nameraných a validovaných údajov, ako aj údajov potrebných na ich spracovanie, poskytnutých organizátorovi krátkodobého trhu s elektrinou prevádzkovateľom distribučnej sústavy podľa zákona a osobitného predpisu.

Úlohy dátovej centrály:

- Čítanie dát z elektromerov podľa pokynov.
- Čítanie denných registrov z elektromerov.
- Posielanie povelov na elektromery (pripojiť, odpojiť a pod.).
- Synchronizácia času meradiel.
- Čítanie registrov udalostí z meradiel.
- Výstupy denných reportov.

7 MODEL SÚSTAVY

7.1 Typy uzlov v sústave

Pri výpočtoch ustáleného stavu je potrebné v každom uzle siete určiť:

- absolútnu hodnotu napätia,
- fázu napätia,
- činný a reaktančný výkon,

príčom zvyčajne poznáme iba 2 z vybraných parametrov. Na základe tohto predpokladu môžeme teda rozdeliť uzly na 3 základné kategórie:

- Uzol typu PQ – jedná sa o napájacie, resp. odberové uzly. V danom uzle je zadaný činný a reaktančný výkon, pričom nepoznáme veľkosť ani uzol napätia. Smer výkonu (teda či sa jedná o výrobu alebo spotrebu) určíme znamienkom >.
- Uzol typu PU – jedná sa o regulačné, resp. kompenzačné uzly. V prípade regulačných uzlov sa môže jednať napr. o tzv. pilotné uzly, v ktorých zadávame požadovanú veľkosť napätia a samotný regulátor následne reguluje veľkosť reaktančného výkonu pre jeho udržanie.
- Uzol typu U – bilančný uzol, úlohou tohto uzla je vyrovnávať bilanciu výkonov v sieti.

7.2 Princípy modelovania záťaže

Existuje viacero matematických modelov, za pomoci ktorých je možné modelovať záťaž v ES a to:

- konštantná impedancia/admitancia,
- dynamický model záťaže,
- náhrada záťaže statickými charakteristikami v závislosti od napätia s
 - konštantou vodivosťou,
 - konštantným prúdom,
 - konštantným výkonom.

Výber modelu záťaže je daný typom konkrétnej záťaže ako aj typom výpočtu. Vo všeobecnosti však platí, že záťaž v ES je nelineárnym prvkom závislým ako od napätia, tak aj od frekvencie.

7.3 Modelovanie prvkov elektrizačnej sústavy

Jednotlivé prvky ES (vedenia, transformátory, generátory, motory, odbery a pod.) sa pre určenie ustáleného stavu (výkonové, napäťové a prúdové pomery v sieti) alebo pre výpočet prechodných javov v ES (skratové pomery, prepätia) nahrádzajú náhradnými schémami so svojimi elektrickými parametrami.

Elektrické parametre, ktorými sa nahrádzujú jednotlivé zariadenia ES, sú:

- rezistancia R ,
- indukčnosť L , resp. indukčná reaktancia X_L ,
- konduktancia G ,
- kapacita C , resp. kapacitná susceptancia B .

Pri porušení symetrie v sústave – t.j. napätia alebo prúdy vo fázach nie sú vyvážené, využívame rozloženie do zložkových sústav. Nesymetrický dej rozložíme do niekoľkých symetrických, ktoré je následne možné za pomoci metódy superpozície sčítať. Treba však podotknúť, že tieto metódy je možné použiť iba pre lineárne obvody. V praxi sa najčastejšie používa rozloženie do súmerných zložiek:

- súslednej,
- spätnej,
- netočivej.

Prvky ES vzhľadom na ich charakteristiky je možné rozdeliť do troch skupín:

- Statické zariadenia bez magnetických väzieb medzi fázami – pre tieto zariadenia platí rovnosť parametrov vo všetkých 3 súmerných zložkách. Patria sem napr. reaktory na obmedzenie skratových prúdov.
- Statické zariadenia s magnetickými väzbami medzi fázami – patria sem napr. transformátory či vedenia. Súsledná a súmerná zložka pre tieto zariadenia je rovnaká, nakoľko vzájomné indukčnosti medzi fázami sú totožné, netočivá zložka závisí od konštrukcie a spôsobu uzemnenia.
- Točivé elektrické stroje – v zariadeniach vzniká točivé magnetické pole a preto sú impedancie v jednotlivých zložkách odlišné.

7.4 Výpočet ustáleného chodu – metóda uzlových napätí

Pri výpočte ustáleného chodu siete určíme:

- Prerozdelenie výkonov
- Straty výkonu a energie
- Napätia v jednotlivých uzloch
- Zaťaženie jednotlivých prvkov siete

Ustálený chod je jednoznačne určený, ak v každom uzle siete poznáme:

- Činný a reaktančný výkon
- Napätie a fázu

Pri výbere metódy riešenia je smerodajným to, či samotný model je definovaný systémom lineárnych alebo nelineárnych vzorcov. V prípade lineárneho modelu je jednou z možností využitie metódy uzlových napätí. Postup pri výpočte siete za pomoci metódy uzlových napätí:

- Vytvoríme admitančnú maticu rozmeru $[n \times n]$, kde n je počet uzlov a na jednotlivých pozíciách v matici je uvedená admitancia medzi danými uzlami.
- Vytvoríme maticu prúdov, v ktorej napájacie prúdy sú definované ako kladné a odberové ako záporné.
- Matica neznámych napätí

$$[I] = [Y] [U]$$

Riešenie takéhoto systému však nie je jednoznačné, pokiaľ nie je určená aspoň jedna veľkosť napätia v sústave – tento problém je možné odstrániť za pomoci využitia bilančného uzla. V konečnom dôsledku teda zo systému rovníc vyhodíme tú, ktorá definuje bilančný uzol.

Na riešenie lineárneho systému rovníc uvedenom vyššie je možné využiť klasické metódy úpravy matic.

7.5 Riešenie nelineárneho modelu siete - úvod do iteračných metód

V praxi sa častejšie vyskytujú prípady, kedy namiesto lineárneho modelu siete (t.j. taký model siete, kedy máme priamo zadané prúdy) máme nelineárny model, v ktorom máme definované výkony (činný, jalový). V takomto prípade nie je možné využitie priamych metód výpočtu a využívajú sa iteračné metódy. V reáli máme teda matematický model popísaný systémom nelineárnych rovníc s komplexnými

koeficientmi. Pri riešení takýchto modelov je pri výbere vhodnej metódy na ich riešenie rozhodujúcich niekoľko kritérií:

- Podmienky konvergencie riešenia
- Rýchlosť konvergencie
- Presnosť počítačovej aproximácie

Pre riešenie takýchto sústav sú najčastejšie využívané metódy:

- Newtonova iteračná metóda
- Gaussova iteračná metóda
- Gauss-Seidlova iteračná metóda

Ako príklad nasleduje stručný popis Newtonovej iteračnej metódy.

Newtonova iteračná metóda

Podmienky pre použitie Newtonovej iteračnej metódy:

- K príslušnej Jacobiho matici existuje inverzná matica.
- Je možná dostatočne presná počítačová aproximácia.
- Koeficienty rovníc sú reálne čísla – túto podmienku je možné splniť rozdelením rovnice s komplexnými koeficientami na dve rovnice s reálnymi koeficientami.

Nakoľko rovnice môže byť napísané buď v zložkovom alebo trigonometrickom tvare, máme 2 možnosti rozdelenia rovníc, aj keď výsledný postup výpočtu bude identický.

Ďalším z predpoklad pre použitie Newtonovej iteračnej metódy je, že v každom uzle (okrem bilančného) máme zadané činné a jalové výkony. Následne môžeme napísať:

$$\begin{bmatrix} [\Delta P] \\ [\Delta Q] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial \alpha} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial \alpha} \right] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\Delta U] \\ [\Delta \alpha] \end{bmatrix}$$

Zložkový tvar

$$\begin{bmatrix} [\Delta P] \\ [\Delta Q] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial e} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial f} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial e} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial f} \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\Delta e] \\ [\Delta f] \end{bmatrix}$$

Trigonometrický tvar

Postup pri výpočte:

1. Odhadnutie počítačových hodnôt absolútnej hodnoty napätia a uhla napätia v každom uzle sústavy okrem bilančného.
2. Výpočet činného a jalového výkonu v každom uzle sústavy.
3. Výpočet ΔP a ΔQ .
4. Výpočet Jacobiho matice.
5. Výpočet inverznej Jacobiho matice.
6. Za pomoci inverznej Jacobiho matice vypočítame ΔU a $\Delta \alpha$ (resp. Δe a Δf).

8 INTELIGENTNÉ SIETE

Rozvoju inteligentných sietí v energetike napomohol najmä technický pokrok v rámci telekomunikačných technológií a zariadení. Digitalizácia a následný prenos dát na veľké vzdialenosti umožňuje zber a vyhodnocovanie údajov prakticky v reálnom čase.

8.1 Inteligentné meranie a pokročilá meracia infraštruktúra

Inteligentné meranie je hlavným stavebným kameňom inteligentných sietí. IMS, alebo aj inteligentné meracie systémy, sú potrebné jednak pre zabezpečenie fakturácie v prípade prosumerov, jednak pri implementácii dynamických taríf.

Úrovnne funkcionality IMS:

- Základná – obojsmerná komunikácia, priebehové meranie v rasti 15 min., viactarifné meranie, vzdialená parametrizácia, integrované vnútorné prepínacie hodiny, registrácia manipulácie.
- Pokročilá – základná funkcionality rozšírená o priebehové štvorkvadrantné meranie odberu a dodávky činnnej energie (práce) AP a jalovej energie (práce) AQ, možnosť diaľkového pripojenia/odpojenia odberného miesta povelom z centrálneho inteligentného meracieho systému prevádzkovateľa distribučnej sústavy, prúdové a výkonové obmedzenie v určenom meradle.
- Špeciálna – pokročilá funkcionality rozšírená o meranie zdanlivej energie (práce) AS a vyhodnocovanie ďalších výkonových parametrov (aritmetický zdanlivý výkon S, správny zdanlivý výkon Sr, deformačný výkon D, výkon nesymetrie N), rozhranie pre komunikáciu s dispečerským riadiacim systémom.

Koncom roka 2020 uplynul termín zaväzujúci distribučné spoločnosti vo vyhláske o implementácii inteligentných meracích systémov (IMS). Implementácia IMS na Slovensku prebieha od roku 2014 (podľa vyhláske MH SR číslo 358/2013 z 28.10.2013), teda už šiesty rok. Medzitým sa objavilo mnoho noviniek. Búrivo sa rozvíja svet IoT (internet vecí) a dostupnými sa stávajú riešenia inteligentných domácností, ale aj miest. Rozvíja sa aj európska legislatíva a prináša priestor na rozvoj nových hráčov na energetickom trhu, ako prosumer (aktívny odberateľ elektriny) a agregátor (obchodník s flexibilitou). Tento vývoj prináša nové možnosti aj na využitie IMS.

Agregátor potrebuje aj informáciu o stave vašich spotrebičov, teda o tom, akú flexibilitu ponúkajú, o koľko môžu zvýšiť alebo znížiť svoj odber. Takto si vieme predstaviť činnosti agregátora, ktorý dokáže uplatniť na trhu s elektrinou regulačnú rezervu vytvorenú z flexibility jednotlivých partnerov. Pri volatilitte trhu s elektrinou, kde sa neustále mení situácia podľa zaťaženia či množstva vyrobenej elektriny z niektorých obnoviteľných zdrojov (ak fúka vietor, je veľa elektriny z veterných elektrární, ak náhle prestane, prebytok sa môže zmeniť na nedostatok), má agregátor veľký priestor na obchodovanie s aktuálnou flexibilitou, ktorú má k dispozícii.

Problém je v tom, ako preukáže svojim obchodným partnerom, ktorí od neho flexibilitu kúpili, že skutočne poskytol regulačnú rezervu, ktorú zobchodoval. Tu by mohli pomôcť IMS. Dokážu bez problémov poskytnúť 15-minútové odpočty odberu alebo dodávky elektriny. Z toho sa dá preukázať zmena, ktorú agregátor predal svojim partnerom. A IMS toho dokážu oveľa viac, môžu prejsť aj do režimu poskytovania odpočtov za kratší interval, napríklad 3 minúty, a poskytnúť tak hodnoverné informácie na vyhodnotenie zmeny.

8.2 Systémy Inteligentnej domácnosti

Množstvo prvkov na podporu IoT je aj takých, ktoré umožňujú riadiť zariadenia, do ktorých sú inštalované. Ak sú zariadenia spotrebičmi elektriny, stávajú sa potenciálne poskytovateľom flexibility odberu elektriny. Ak sú riaditeľné, ich odber sa môže meniť na základe pokynu zvonku, teda „na diaľku“, prostredníctvom komunikácie na báze Wi-Fi, bluetooth, rádia a podobne.

Na riadenie zariadení s IoT sú na trhu aplikácie označované ako inteligentná domácnosť. Napríklad schopnosť online aktivovať kúrenie z aplikácie podľa obvyklého času príchodu rodiny domov, prípadne na základe pokynu vyslaného z mobilu, ale aj na základe pokynu z iného systému, ktorý má v rukách agregátor. Samozrejme, iba za predpokladu, že sa s ním dohodneme, čo bude mať aj finančný rozmer. Dohoda môže mať aj takú podobu, že agregátor môže „cvičiť“ s naším ohrevom teplej vody ako chce, ale musíme mať napríklad od 15:00 hod. v pracovné dni a od 8:00 hod. cez voľné dni až do 22:00 hod. teplotu vody v zásobníku najmenej 45 °C. Zásobník znesie najvyššiu teplotu vody 85 °C. Tu sa črtá flexibilita, ktorú komerčne použije agregátor na to, aby s využitím flexibility množstva iných partnerov vytvoril regulačný potenciál, s ktorým môže obchodovať.

Okrem ohrevu vody poskytuje rodinný dom množstvo iných flexibilit. A nielen rodinný dom, ale v podstate každý odberateľ elektriny. A kto ním dnes nie je? Podmienkou je, aby išlo o objekt riadený vhodnou aplikáciou a aby jednotlivé spotrebiče (aspoň tie veľké) boli vybavené IoT a komunikovali s domácim počítačom trvale pripojeným na internet. Samozrejme, nevyhnutný predpoklad je aj zapojenie agregátora a uzavretie dohody o tom, v akom rozsahu môže disponovať flexibilitou vašich spotrebičov.

8.2.1 Technológie systémov Inteligentnej domácnosti v energetike

Technológie systémov Inteligentnej domácnosti sa neustále vyvíjajú, vylepšujú a raz za čas sa zrodia nové. V rámci tejto kapitoly sú uvedené hlavné bezdrôtové technológie, ktoré sú dnes tie najdôležitejšie.

8.2.1.1 Z-Wave

Z-Wave je komunikačný protokol určený na domácu automatizáciu a diaľkové ovládanie. Z-Wave systém zahŕňa viac ako 2 400 vzájomne kompatibilných produktov od viac ako 700 svetových výrobcov. Tieto produkty vzájomne spolupracujú vďaka striktným pravidlám potrebným na získanie Z-Wave certifikácie, ktorú vykonávajú nezávislé testovacie inštitúcie.

Z-Wave je jednou z troch najrozšírenejších rádiových protokolov, ktoré sú Z-Wave, ZigBee a WiFi. Spomedzi spomínaných protokolov je Z-Wave energeticky najúspornejší a technologicky môže mať lepší dosah, ako ostatné protokoly. Z toho dôvodu sa dostal do najlepšej trojky. Okrem toho je podstatné spomenúť aj skutočnosť, že Z-Wave zaručuje obojsmernú komunikáciu. To znamená, že ak zariadenie dostane signál, aby sa zapol, po zapnutí pošle naspäť potvrdenie, že príkaz zopnutia bol úspešný.

Z-Wave používa bezdrôtové frekvenčné pásmo okolo 900 MHz. Vzhľadom nato, že dané pásmo v jednotlivých regiónoch sveta má iné povolené frekvencie, Z-Wave v Amerike má 908,42 MHz, ale v Európe má 868,42 MHz.

Vzhľadom na danú skutočnosť každý výrobca používa čipy v tých frekvenciách, pre ktoré krajiny chce daný produkt predávať. Práve preto nie je možné zahrnúť do Európskeho systému nejaký spínač alebo senzor, ktorý sa predáva v Amerike.

Výhoda používania frekvenčného pásma okolo 900 MHz je v tom, že nie je frekventovaná. Keďže všetky iné hlavné bezdrôtové technológie (WiFi, Bluetooth, ZigBee) používajú frekvenčné pásmo 2,4 GHz, znamená to, že Z-Wave má pomerne čisté, ničím nerušené pásmo. Konečný dopad je teda v kvalite komunikácie bez interferencie.

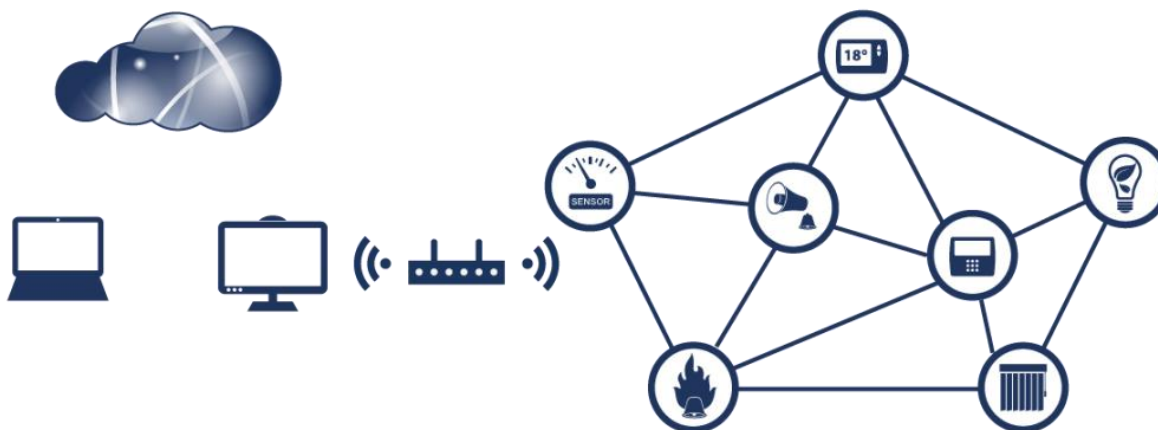
Vzhľadom na použité frekvenčné pásmo nedokáže Z-Wave komunikovať také množstvo dát naraz, ako dokáže WiFi, ale na druhej strane má lepší dosah. Pri komunikácii sa používajú malé dátové pakety (balíky) do 100 kbit/sekunda.

Komunikačný príkon je okolo 40-56 kbit/sekúnd, čo v podstate nie je veľké množstvo dát nato, aby sa niekde na ceste „stratilo“, ale dosť nato, aby akýkoľvek senzor alebo aktor dokázal odoslať alebo prijímať dáta/príkaz. Typ použitej komunikačnej modulácie je FSK (frequency-shift keying).

Bezdrôtová technológia Z-Wave na jednu centrálnu jednotku podporuje maximálne 232 zariadení. Také množstvo zariadení vysoko vystačuje pre rodinné domy, veď ak by ste mali všetky žalúzie, svetlá a zabezpečujúci systém integrovaný, ani pri väčších domoch by ste nemali viac ako cca. 50 zariadení. Takže dostať sa na 232 zariadení nie je jednoduché.

Štandardne pri bezdrôtových systémoch (typické pre WiFi) čím viac zariadení máte, tým viac máte sieť preplnenú a narazíte na problematiku nekvality a nespoľahlivosti pri komunikácii. Práve preto každý sieťový špecialista povie, že ak môžete, snažte sa dom stavať tak, aby ste mali čo najviac sieťových zariadení pripojených cez ethernetový kábel. Takáto problematika však pri Z-Wave bezdrôtovej technológii nie je, lebo Z-Wave používa sieťový mesh.

Sieťový mesh je technológia, kde zariadenie, ktoré je súčasťou siete, funguje ako opakovač, aby vytváral stabilnejšiu sieť. To znamená, že komunikácia nemusí prebiehať výlučne len medzi routerom a koncovým zariadením (alebo naopak – tak, ako to je pri WiFi), ale do komunikácie môže vstúpiť ďalšie „medzi“ zariadenie, aby bolo zabezpečené, že sa signál zaručene dostane od bodu A do bodu B, aj keď celkovo prechádza cez 3-4 zariadenia. Dokonca je možné, aby signál išiel nie z alebo do Routera, ale len medzi zariadeniami.



Obrázok 54 - štruktúra mesh systému a jeho spojenie s Cloudom

Aké výhody má sieťový mesh?

Stabilný signál

Signál sa zaručene dostane do bodu určenia. Ak by signál nedorazil z miesta odosielania (A) do miesta určenia (B), zariadenia, ktoré sú medzi bodom A a B, by preposlali (opakovali) signál, až kým zariadenie B nepošle potvrdenie, že dostal signál a vykonal príkaz.

Viac zariadení

Čím viac zariadení máte, tým máte stabilnejšiu sieť. Určite vám to dáva zmysel, veď stačí uvažovať nad tým, že ak medzi centrálnou jednotkou a koncovým zariadením máte 10 ďalších zariadení, tak máte 11 možných ciest, ako sa dostať z bodu A do bodu B: 1 cesta priamo a 10 cez niektorý z možných opakovačov.

Široké pokrytie

Keďže Z-Wave signál môže skočiť maximálne 4-krát, pri použití dostatočných aktívnych zariadení celkové pokrytie je pomerne veľké – ďaleko prekoná akékoľvek bežné požiadavky. Z-Wave Plus zariadenie má v exteriéri dosah až 100 metrov a v interiéri až 30 metrov (v závislosti od konštrukcie budovy). Ak daný dosah vynásobíme číslom 4, tak vo vnútri budovy systém môže mať až 120 m priamy dosah. Také veľké budovy už nie sú rodinné domy.

Na to, aby zariadenie mohlo fungovať ako opakovač, musí byť trvalo zapnuté v elektrike. Toto je základná technologická požiadavka, ktorú všetci výrobcovia musia spĺňať, lebo len tak sa zaručí, že akékoľvek zariadenie (od ktoréhokoľvek výrobcu), ktoré je určené na zapojenie do elektrickej siete (bez ohľadu nato, či je to silnoprád, slaboprád alebo USB napájanie), dokáže neustále „počúvať“ Z-Wave komunikáciu a v prípade potreby reagovať na požiadavku.

Práve preto zariadenia, ktoré sú napájané batériou, nie sú opakovačmi. Batériové zariadenia potrebujú šetriť výkon, aby umožnili dlhý výkon až 2 roky. Preto zvyčajne tieto zariadenia spia a len keď sú aktívne zobudené, komunikujú navzájom. Toto zobudenie v anglickej terminológii sa volá Wake-up. V mesh sieti každé zariadenie je uzol. Centrálna riadiaca jednotka je hlavný komunikačný uzol, trvalo zapojené zariadenia sú opakovacími uzlami a batériové zariadenia sú koncové uzly.

8.2.1.2 ZigBee

ZigBee ako štandard je založený na IEEE 802.15.4 rádiovéj špecifikácii a funguje na nelicenciovaných rádiových vlnách vrátane 2,4 GHz, 900 MHz a 868 MHz. 802.15.4 špecifikácia funguje na základe ratifikácie od Inštitútu inžinierov elektrotechniky a elektroniky (IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers) od roku 2003.

802.15.4 špecifikácia je založená na rádiových balíčkoch určených pre zariadenia s nízkymi výrobnými nákladmi, napájanými z batérie. Technológia umožňuje zariadeniam komunikovať v rôznych sieťových topológiách pri zachovaní životnosti batérie až niekoľko rokov.

ZigBee bola vyvinutá na vytváranie domácich sietí s nízko-energetickými zariadeniami pre účely, ako sú automatizácia domácnosti, zhromažďovanie údajov o zdravotníckych zariadeniach a iné projekty malého rozsahu, ktoré vyžadujú bezdrôtové pripojenie. Je to bezdrôtová ad-hoc sieť s nízkym príkonom, nízkou rýchlosťou prenosu dát a s obmedzeným dosahom (vhodný pre personálne účely).

8.2.1.2.1 Výhody ZigBee

Technológia ZigBee má byť jednoduchšia a lacnejšia ako iné bezdrôtové osobné siete (WPAN – wireless personal area network) napríklad Bluetooth, alebo všeobecnejšie bezdrôtové siete ako je Wi-Fi. Typické aplikačné oblasti sú bezdrôtové vypínače svetiel, merače a monitory spotreby domácej energie, systémy riadenia vykurovania a ďalšie spotrebné a priemyselné zariadenia, ktoré si vyžadujú bezdrôtový prenos dát s nízkym dosahom.

Jeho nízka spotreba energie obmedzuje priame prenosové vzdialenosti na 10 až 100 metrov, v závislosti od výkonu a charakteristík prostredia. Ako pri každej bezdrôtovej technológii nie je jedno, či rádiové vlny majú prechádzať v otvorenom priestranstve (kde dosah môže byť až 100 – 150 m), alebo vo vnútri budovy (s dosahom od 10 do 35 m).

Zariadenia s touto technológiou však môžu prenášať dáta aj na väčšie vzdialenosti tak, že každé prichádzajúce dáta v podobe dátových balíčkov posielajú ďalej. Tomu sa hovorí mesh networking a pre domácu automatizáciu má oveľa väčší význam, ako napr. technológia Bluetooth, kde sa dáta posielajú výlučne medzi koncovými zariadeniami na báze od-bodu-do-bodu (point-to-point).

ZigBee siete sú zabezpečené 128 bitovými symetrickými šifrovacími kľúčmi a majú definovanú rýchlosť do 250 kbit/s, ktorá sa najlepšie hodí pre prenos údajov zo senzora, spínačov, zámkov a iných drobných zariadení.

8.2.1.2.2 Typy ZigBee zariadení a štruktúra siete

V rámci jednej siete špecifikácia podporuje jedného koordinátora (centrálne riadiacu jednotku), viac smerovačov a viac koncových zariadení.

Koordinátor (ZC)

ZigBee Koordinátor (ZC – ZigBee coordinator) je smerovač (router) s niektorými ďalšími funkciami a používa pevne zakódovanú sieťovú adresu 0x0000.

Koordinátor je zodpovedný za:

- vytvorenie centralizovanej siete,
- výber vhodného komunikačného kanálu po skenovaní dostupných kanálov,
- výber rozšíreného PAN ID (Personal Area Network ID).

Zodpovednosti koordinátora sú centrum dôveryhodnosti (trust center) a správca siete (network manager). Centrum dôveryhodnosti je zodpovedné za bezpečnostné nastavenia a autorizácie pre sieť.

Správca siete monitoruje a opravuje problémy so sieťou, rieši konflikty PAN ID a v prípade rušenia mení komunikačný kanál. Tieto nastavenia rieši buď vývojár aplikácie centrálnej jednotky, alebo sú zabezpečené cez aplikačnú vrstvu napr. v ZigBee 3.0.

Smerovač (ZR)

Zigbee smerovače (ZR – ZigBee Routers) poskytujú smerovacie služby pre sieťové uzly. Smerovače môžu slúžiť aj ako koncové zariadenia (popísané v bode nižšie).

Na rozdiel od koncových zariadení však smerovače nie sú určené na spánok (nemôžu byť batériové zariadenia) a musia byť trvalo zapnuté počas existencie siete.

Koncové zariadenia (ZED)

ZigBee koncové zariadenia (ZED – ZigBee End Device) sú koncové uzly. Komunikujú iba prostredníctvom svojich bezprostredných smerovačov a na rozdiel od smerovačov nedokážu smerovať správy určené pre iné uzly.

Existujú dva typy koncových zariadení:

- Spiace koncové zariadenia - vypínajú svoju rádiovú komunikáciu pri nečinnosti, aby šetrili elektrickú energiu – to sa nazýva režim spánku. V určitých intervaloch sa však zobudia, aby prijímali prichádzajúce správy a potvrdenia. Sú to štandardné zariadenia napájané batériou.
- Nespiace koncové zariadenia - nefungujú ako smerovače správy pre iné zariadenia, ale sú trvalo napájané počas prevádzky. Vzhľadom nato, že sieť môže byť pomerne veľká, nie je vhodné, aby všetky trvalo zapojené zariadenia fungovali ako opakovače z dôvodu možného rušenia.

8.2.1.3 Wifi

WiFi je často jasnou voľbou pre internet vecí (IoT – Internet of Things), ale jeho obmedzenia viedli ku vzniku niekoľkých ďalších bezdrôtových protokolov (napr. ZigBee, Z-Wave, Bluetooth a iné), ako aj k pridaniu dvoch nových WiFi špecifikácií, 802.11ah a 802.11ax.

Zariadenia, ktoré majú slúžiť na IoT, majú rôzne požiadavky na konektivitu: dosah, rýchlosť prenosu dát, energetická účinnosť a náklady na výrobu zariadenia. Keďže WiFi je najrozšírenejší bezdrôtový protokol na svete s pokrytím takmer kdekoľvek, je logické, prečo výrobcovia zariadení IoT volia WiFi pre komunikáciu.

Ale nie vždy je to vhodná voľba. V tomto článku vám vysvetlíme dôležitú úlohu, ktorú môže hrať WiFi, ako aj dva nové WiFi štandardy: 802.11ah a 802.11ax.

8.2.1.3.1 Energetická účinnosť

Došli sme k tej najdôležitejšej otázke: Ako je WiFi energeticky účinná hlavne z pohľadu IoT zariadení? IoT zariadenia sice vyžadujú neustále pripojenie, ale nemusia mať vždy nepretržitý prístup k zdroju energie. Očakáva sa, že zariadenia internetu vecí budú energeticky úsporné, niekedy až do takej miery, že dokážu na jednu gombíkovú batériu fungovať až niekoľko rokov. A práve tu je problém. Keď WiFi ako štandard sa ratifikoval, nikto neriešil spotrebu energie pri komunikácii. Vtedy IoT zariadenia v takej miere, ako to poznáme dnes, ešte neexistovali. WiFi je energeticky náročný protokol a nie je najvhodnejší pre IoT zariadenia, hlavne pre tie, ktoré sa musia napájať batériami. Možno sa to zmení dobou, keďže vývoj batériových technológií je neustály, ale konkurenčné bezdrôtové protokoly sa tiež vyvíjajú. A to je len jedna z nevýhod WiFi v porovnaní s konkurenčnými technológiami pre IoT. Medzi ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú používanie technológií pripojenia IoT, patria:

- Náklady na vývoj a výrobu zariadení a podpora infraštruktúry.
- Jednoduchosť nasadenia, uvedenia do prevádzky a ovládanie.
- Spoľahlivosť a bezpečnosť.
- Škálovateľnosť.

8.2.1.3.2 Úloha WiFi v IoT

Ako sme Vám písali v odseku vyššie, WiFi alebo 802.11 je bezdrôtový protokol, ktorý bol originálne vytvorený s cieľom nahradiť Ethernet (káblová sieť) pomocou bezdrôtovej komunikácie cez nelicencované pásma 2,4 GHz a neskôr 5 GHz. Jeho cieľom bolo poskytnúť bezdrôtové pripojenie na krátku vzdialenosť s jednoduchou implementáciou, jednoduchým použitím a s interoperabilitou medzi výrobcami. Pri minimálnych nákladoch sa nekládol dôraz na energetickú účinnosť, keďže očakávaným využitím pri vzniku bola hlavne komunikácia medzi stolovými počítačmi. Vzhľadom na dlhú existenciu, neustálemu vývoju WiFi technológie a širokej dostupnosti WiFi veľa výrobcov pre svoje IoT zariadenia zvolí práve technológiu WiFi.

Použitie WiFi štandardu 802.11a / b / g / n / ac pre IoT zariadenia má nasledovné hlavné výhody a nevýhody:

Výhody:

- Nízke náklady na infraštruktúru a na výrobu zariadenia.
- Jednoduché nasadenie.
- Rozšírenosť technológie.

Nevýhody:

- Vysoká spotreba energie.
- Obmedzený rozsah.
- Vysoká interferencia kvôli rozšírenosti.

8.3 Wide area monitoring system

Wide Area Monitoring System alebo aj centrálny systém riadenia je systém využívajúci pokročilé technológie v oblasti meraní, informačných technológií a operačnej infraštruktúry za účelom zjednodušenia riadenia, monitoringu a chránenia sústavy

Funkcie WAMS:

- Zložkové sústavy - výpočet súslednej, spätnej a netočivej zložky z fázorových meraní vo všetkých 3 fázach.
- Dynamic Angle Reference - reprezentácia oscilácií a porúch v rámci sústavy.

- Monitoring činného a jalového výkonu - pri prekročení limitov systém upozorní operátora.
- Monitoring frekvencie - zobrazenie frekvencie a miery zmeny frekvencie.
- Monitoring napätia - grafická reprezentácia fázorov napätia v reálnom čase. Zobrazenie uhla medzi akýmkoľvek 2 bodmi v sústave.
- Monitoring stavu systému - farebné odlíšenie jednotlivých častí sústavy na základe napätia, frekvencie a zmeny uhla.
- Zobrazenie historických udalostí v sústave.
- Miera zmeny umožňuje sledovať mieru zmeny vybraných parametrov.
- Ostrovná prevádzka, resynchronizácia a štart z tmy, pomoc pri resynchronizácii sústavy v reálnom čase
- Monitoring oscilácií v sústave - sledovanie oscilácií v sústave a ich dynamická analýza,

WAMS pozostáva z:

- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- SPMS (Synchronized phasor measurement system)

8.3.1 SCADA

Systém pre dispečerské riadenie a zber dát umožňuje centrálny monitoring, zobrazenie dát, ovládanie a riadenie pripojených zariadení a zobrazenie alarmov.

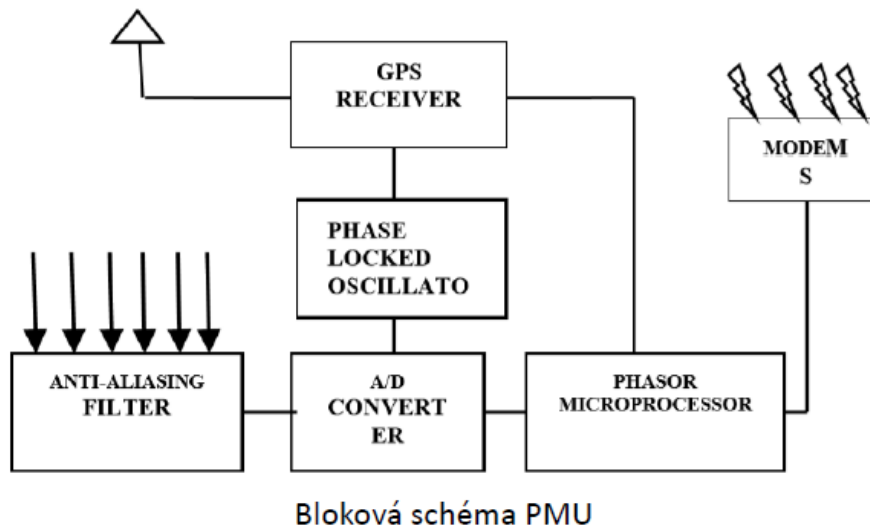
Hlavné komponenty SCADA systémov:

- RTU (Remote Terminal Unit)
- PLC (Programmable Logic Controller)
- Systém telemetrie
- Server pre spracovanie dát
- HMI (Human Machine Interface)

8.3.2 SPSM - Synchronized Phasor Measurement System

Systém pozostáva z:

- PMU - meria napätie, prúd, frekvenciu a ich mieru zmeny.
- Dátový koncentrátor - zabezpečuje zber dát z PMU, vyhodnocuje ich a korektným dátam priradzuje časový príznak.
- Komunikačný systém.



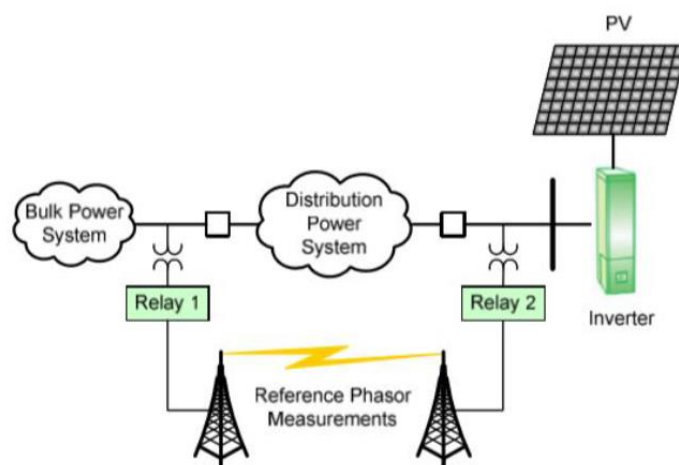
Obrázok 55 - bloková schéma PMU

8.3.3 Riadenie decentralizovanej výroby elektrickej energie

IEEE 1547 Štandard stanovuje dobu odpojenia decentralizovaného zdroja od ostrovnej siete na 2s (tento problém sa týka napr. FV zdrojov). Štandardné metódy merania využívajúce iba lokálne merania nedokážu v dostatočnom predstihu detegovať ostrovnú prevádzku pre všetky záťažové stavy. Synchronfázory zabezpečujúce merania v širokej oblasti napomáhajú detekcii prechodu do ostrovnej prevádzky prakticky vo všetkých stavoch.

Štandardné postupy vyhodnocovania prechodu do ostrovnej prevádzky využívajú informácie o lokálnom napätí a frekvencii, ktoré porovnávajú s hodnotami v určených bodoch sústavy a vyhodnocujú ich odchýlky. Tieto postupy však nie sú schopné včas detegovať prechod do ostrovnej prevádzky v prípade, že výkonová odchýlka medzi zdrojom a lokálnym odberom je relatívne malá.

Ďalším spôsobom pre vyhodnocovanie prechodu do ostrovnej prevádzky a izolovanie zdroja môže byť aj vyhodnocovanie stavov výkonových vypínačov a trip príkazov, tieto postupy sú však závislé od topológie siete.



Obrázok 56 - schéma

8.3.4 Vplyv WAMS na existujúce EMS funkcie

Tabuľka 17 - vplyv WAMS na EMS funkcie

Existujúce funkcie	WAMS nadstavba
Výpočet ustáleného stavu	Priame merania uhla Zníženie odozvy meraní Zvýšenie presnosti
Odhad topológie	Presnejší odhad
Odhad parametrov	Presnejší odhad
Systémové modely	Validácia modelov
Dynamické hodnotenie bezpečnosti	Online kalibrácia modelu Dynamické modelovanie záťaže
Tréningový simulátor pre operátorov	Dynamická odozva systému
ACE	Zvýšená presnosť

8.3.5 Vplyv WAMS na elektrické stanice

Tabuľka 18 - vplyv WAMS na elektrické stanice

Funkcia	WAMS nadstavba
Lokalizácia poruchy	Dvojterminálová lokalizácia poruchy
Ochrana prípojnic	Častejšie využívanie
Napájanie transformátora	Záťažové analýzy
Paralelná prevádzka transformátorov	Okružné toky
Sekvencie vypínačov	Presné časovanie pre prevádzkovanie vedení
Napájanie vedení	Synchrocheck
Systémové predikcie	Očakávané správanie systému

9 ZÁVER

V kapitolách predkladaného míľníka sa analyzuje rozsah dát potrebných pre modelovanie sústavy, ktorá zahŕňa prvky elektrizačnej sústavy, ich statické a dynamické parametre a prepojenia voči iným zariadeniam a prvkom.

Úvodom je čitateľ oboznámený so základnými pojmami používanými v elektroenergetike, so základnými elektrickými veličinami a klasifikáciou energetických zdrojov.

Kapitola Elektrizačná sústava poskytuje prehľad o histórii ES, zaoberá sa druhmi elektrických sietí a analyzuje vybrané typy zariadení, ktoré sa používajú. Pre tieto typy zariadení sú vyšpecifikované veličiny, ktoré sa merajú, ich parametre, schémy a výpočty zosumarizované v prehľadných tabuľkách. Kapitola sa taktiež venuje problematike spotreby a priemyselnému a komerčnému systému ochrán.

Obnoviteľné a alternatívne zdroje energie predstavujú v súčasnosti protežovaný a propagovaný smer, na ktorého využitie sa upriamujú všetky priemyselné krajiny. Dochádza k integrácii obnoviteľných zdrojov elektrickej energie do elektrizačnej sústavy so značným sumárnym inštalovaným výkonom. Hlavným hybným faktorom naštartovania tejto zmeny bol na začiatku environmentálny záujem, ktorý bol podporený politickými iniciatívami. V budúcnosti sa však očakáva, že technológie OZE sa natoľko rozvinú, že dokážu bez finančných stimulov konkurovať konvenčným zdrojom energie. V danej kapitole analyzujeme druhy OZE ako voda, vietor, slnko, biopalivá, palivové články, geotermálnu energiu a tepelné čerpadlá, v rámci ktorých sú popisované výhody a nevýhody daných zdrojov energie a ich merateľné parametre a možné prepojenie na ES.

Ďalšou témou je problematika akumulácie energie, ktorú je možné riešiť napr. pripojením dobre naprojektovanej batérie, ktorá dokáže pokryť náhle poklesy resp. prebytky. Funkčný systém akumulácie je jedným zo stavebných prvkov sietí typu mikrogrid. V kapitole sa analyzujú viaceré možnosti riešenia a metódy implementované vo svete a porovnávajú sa rôzne akumulačné technológie pre potreby využitia v energetike. Aplikácie na uskladnenie energie môžu vo vyššie uvedených prípadoch poskytnúť potrebnú elektrickú energiu, pričom fungujú ako vyrovnávacie zariadenia medzi stále sa meniacou spotrebou energie a výrobnými kapacitami.

Mikrogrid ako architektonický a riadiaci koncept sieťovej infraštruktúry zvyšuje spoľahlivosť systému a kvalitu ním dodanej energie jeho segmentáciou do menších častí. Vďaka lokálnej výrobe a dodávke energie môže tiež umožniť zníženie nákladov na vybudovanie, údržbu a obnovu sieťovej infraštruktúry. Mikrogrid je v súčasnom svete meniacej sa energetiky stále častejšie skloňovaným pojmom, a to najmä kvôli benefitom, ktoré môže ponúknuť. V kapitole sa zaoberáme základnými pojmami, súčasťami mikrogridov, požiadavkami na IS, technológiami inteligentných sietí a uvádzame príklady implementácie rôznych mikrogridov vo svete. Kapitola poukazuje na vysokú aktuálnosť riešenia problematiky optimalizácie prevádzky obnoviteľných zdrojov energie v elektrizačnej sústave a riešenie problematiky implementácie technológií inteligentných sietí a stanovenie ich vplyvu na bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy.

Kapitola Inteligentné merania sa zaoberá rôznymi technológiami, ktoré sú využívané pri vzdialenom meraní a ovládaní spotrebičov alebo zariadení, ktoré sú súčasťou ako prenosových sietí, tak mikrogridov alebo jednotlivých lokálnych zariadení, ktoré vyrábajú alebo spotrebúvajú elektrickú energiu.

Modelovanie elektrizačnej sústavy je v dnešnej dobe nástroj, ktorý pomáha pochopiť správanie sa rôznych zariadení q závislosti medzi zariadeniami a ktorý slúži na tvorbu predikcií do budúcnosti na základe rôznych vstupných parametrov a variantov. Simulačné modely elektrizačných sústav sú uznávaným nástrojom na analýzu ES. V súčasnej dobe pre energetiku existuje viacero účinných programových celkov, ktoré majú rozsiahle modelovacie schopnosti a používajú sa pre analýzu elektrizačnej sústavy. Sú to univerzálne programy na digitálnu simuláciu ustáleného chodu siete, elektromagnetických a elektromechanických prechodných javov v silových systémoch. V kapitole rozvážame aj rôzne metódy modelovania prvkov ES.

Rozvoju inteligentných sietí v energetike napomohol najmä technický pokrok v rámci telekomunikačných technológií a zariadení. Digitalizácia a následný prenos dát na veľké vzdialenosti umožňuje zber a vyhodnocovanie údajov prakticky v reálnom čase. Inteligentné meranie je hlavným stavebným kameňom inteligentných sietí. IMS alebo aj inteligentné meracie systémy sú potrebné jednak pre zabezpečenie fakturácie v prípade prosumerov, jednak pri implementácii dynamických taríf. V kapitole analyzujeme systémy Inteligentnej domácnosti a rôzne iné technológie, energetickú účinnosť sietí a ich vplyv na existujúce EMS funkcie a elektrické stanice.

10 ZDROJE

Použitá literatúra:

1.1 Vybrané základné pojmy z elektroenergetiky

- RAPŠÍK, Miroslav. Základy energetiky I. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia skrípt. ISBN isbn80-227-2074-7.

2 ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA

- www.seas.sk/sk/spolocnost/o-nas/slovenske-elektrarne/historia
- JANÍČEK, František. Obnoviteľné zdroje energie 1: technológie pre udržateľnú budúcnosť. [Pezinok]: Renesans, 2007. ISBN 978-80-969777-0-3.
- www.rocenka.sk/historia2002.html
- www.sepsas.sk
- www.zse.sk
- www.bratislavskenoviny.sk/najnovsie-spravy-z-bratislavy/pamatnici-historie/v-mlyne-svietili-prve-ziarovky-v-meste.html?page_id=74600
- <http://www.oze.stuba.sk>
- BARTNIKAS, R. -- SRIVASTAVA, K D. Power and Communication Cables, Wiley London, 2003, 880 p. London: Willey, 2003. 880 s.
- SLANINKA, P. Silové káble 1: Teória silových káblov a vodičov. Bratislava : STU v Bratislave, 1982. 237 s.
- BARTNIKAS, R. -- SRIVASTAVA, K. Power and communication cables: theory and applications. New York : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000. 858 s. ISBN 0-7803-1196-5.
- Anderson, P. M.: Power System Protection. Piscataway (USA) : IEEE Press, 1999. ISBN 0-7803-3427-2.
- JANÍČEK, F., ARNOLD, A., ŠEDIVÝ, J., ŠULC, I., CERMAN, A., PETREK, P.: Elektrické stanice. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave v Nakladateľstve STU, 2012. - ISBN 978-80-227-3678-7. - 1. vydanie.
- REVÁKOVÁ, D. -- BELÁŇ, A. -- ELESCHOVÁ, Ž. Prenos a rozvod elektrickej energie. Bratislava : STU v Bratislave, 2004. 191 s. ISBN 80-227-2118-2.
- <http://www.kves.uniza.sk/SmartGrids/?menu=riesenie&page=spinacie>
- Celso Penche Layman's guidebook on how to develop a small hydro site. [on-line]. 1998, Dostupné z URL: <http://microhydropower.net/download/layman2.pdf>
- Voith GmbH, Francis turbines. [online]. Dostupné z URL: <http://voith.com/en/products-services/hydro-power/turbines/francis-turbines-561.html>

- Voith GmbH, Pelton turbines. [online Dostupné z URL: <http://voith.com/en/products-services/hydro-power/turbines/pelton-turbines-563.html>]
- MarelliMotori Synchronous and Asynchronous Generators. online. Dostupné z URL: <http://www.marellimotori.com/MMCP/SIN.CT.027.4%20GB.pdf>
- Janíček, F. - Chladný, V. - Beláň, A. - Eleschová, Ž. Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU, Bratislava 2004. ISBN 80-227-2135-2
- SGB-SK Katalóg olejových transformátorov. [online]. Dostupné z URL: http://www.sgbsk.sk/download/olejove-transformatory/olej_trafa.pdf
- PAVELKA, J. a J. RYCHETNÍK. Větrné motory a elektrárny [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7. Dostupné z: http://aleph.lib.cas.cz/F/?func=direct&doc_number=000015008&local_base=AV
- ŠTOLCOVÁ, Tatiana. Malé veterné turbíny [online]. B.m., 2011. Technická univerzita V Bratislave, Strojnícka fakulta. Dostupné z: https://is.stuba.sk/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=2226;studium=74052;zp=28228;download_race=1;lang=sk
- Windside. Windside Production [online]. Dostupné z: <https://www.windside.com/>
- SESZTÁK, Ján. Malá veterná elektráreň - zdroj nevyčerpatelnej energie. vyvoj.hw.cz [online]. 2010 Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/novinky/mala-veterna-elektren-zdroj-nevyčerpatelnej-energie.html>
- SOLAR WIND ENERGY, Inc. SOLAR WIND ENERGY TOWER [online]. 2014. Dostupné z: <https://www.solarwindenergytower.com/index.html>
- DESIGN BUILD NETWORK. The Dutch Wind Wheel, Rotterdam. Verdict Media Limited [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.designbuild-network.com/projects/the-dutch-wind-wheel-rotterdam>
- WINDWHEEL CORPORATION. The Dutch Windwheel [online]. Dostupné z: <https://dutchwindwheel.com/en/index>
- FISCHER, Johnathan. EWICON bladeless wind turbine generates electricity using charged water droplets. TrendMD [online]. 2013 Dostupné z: <https://newatlas.com/ewicon-bladeless-wind-turbine/26907>
- DJAIRAM, Dhiradj. The Electrostatic Wind Energy Converter [online]. B.m., 2008. Technische Universiteit Delft. Dostupné z: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:e1cfdada-85ea-45c4-b6e4-b798abf5917e>
- TABLANG, Kristin. Introducing The Dutch Windwheel: An Ultra-Green, Cutting-Edge „Powerhouse“ Proposed For Rotterdam. Forbes Media [online]. 2015. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/kristintablang/2015/05/11/the-dutch-windwheel-rotterdam-netherlands/#3e46c435d3f5>
- Vortex Bladeless Turbine. Vortex [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://vortexbladeless.com/>

- PROCHÁZKA, Juraj. Bezlopatkové turbíny „vytrasú“ z vetra elektrinu. TECHBOX s.r.o. [online]. 2015. Dostupné z: <https://techbox.dennikn.sk/bezlopatkove-turbiny-vytrasu-z-vetra-elektzinu/>
- Tyer wind technology. TYERWIND [online]. 2017. Dostupné z: <http://www.tyerwind.com/technology/>

3 OBNOVITELNÉ A ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE

- Dušička, P. - Gabriel, P. - Hodák, T. - Čihák, F. - Šulek, P. Malé vodní elektrárny. 1. vydanie, Jaga group, Bratislava 2003. ISBN 80-88905-45-1.
- JANÍČEK, František. Obnoviteľné zdroje energie 1: technológie pre udržateľnú budúcnosť. [Pezinok]: Renesans, 2007. ISBN 978-80-969777-0-3.
- JANÍČEK, František. Obnoviteľné zdroje energie 2: Perspektívne premeny a technológieta. [Pezinok]: Renesans, 2010. ISBN 978-80-89402-13-7
- <http://www.oze.stuba.sk>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Pearl_Street_Station
- https://www.huffingtonpost.com/2013/09/09/microgrids-hurricane-sandy_n_3895982.html
- <https://www.theguardian.com/business/2003/aug/20/usnews.internationalnews>

4 AKUMULÁCIA ENERGIE

- BRESTOVIČ, T.: Možnosti získavania vodíka elektrolýzou vody pomocou elektrickej energie získanej z alternatívnych zdrojov a jeho následné skladovanie, Novus scienta 2007, dostupné na www.sjf.tuke.sk/novus/papers/072-078.pdf
- DENHOLM, P. & col.: The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation, 2010, dostupná na: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47187.pdf>
- BOSSEL, U.: Does a Hydrogen Economy Make Sense? Proceedings of the IEEE, ročník 94, č. 10, Říjen 2006: s. 1826–1837, ISSN 0018-9219, doi:10.1109/JPROC.2006.883715. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4016414>
- CROTOGINO, F.; MOHMEYER, K.-u.; SCHARF, R.: Huntorf CAES : More than 20 Years of Successful Operation. North, ročník 1, č. April, Apr 2001, URL http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_{ }Archiv/AKE2003H/AKE2003H_{ }Vortraege/AKE2003H03c_{ }CrotoGINO_{ }Jea_{ }HuntorfCAES_{ }CompressedAirEnergyStorage.pdf
- GATZEN, C.: The Economics of Power Storage. Oldenbourg Industrieverlag, München., 2008, 254 s., ISBN 978-3-8356-3138-0.
- GEOTHERMAL RESOURCES COUNCIL: What is Geothermal? URL <http://geothermal.org/what.html> [18]<http://geothermal.org/what.html>
- GRAZZINI, G.; MILAZZO, A.: Thermodynamic analysis of CAES/TES systems for renewable energy plants. Renewable Energy, ročník 33, č. 9, Zář 2008: s. 1998–2006, ISSN 09601481, URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148107003849>

- GREGOR, J.; UHER, J.; RADIL, L.: Nové možnosti akumulace elektrické energie. In Proceedings of the 9th International Scientific Conference EPE 2008, editace J. Drápela; J. Ma- cháček, Vysoké učení technické v Brně, 2008, ISBN 978-80-214-3650-3, s. 67 – 71.
- HAMAJIMA, T.; HANAI, S.: Test results of the 100 kWh SMES model coil - AC loss performance. Cryogenics, ročník 39, November 1999: s. 947 – 953, ISSN 0011-2275, doi: 10.1016/S0011-2275(99)00127-7.
- HIGHVIEW POWER STORAGE: Power Highview Storage - Large Scale Energy Storage. electronic, march 2012, URL http://www.highview-power.com/wordpress/?page_id=1320f
- HUŠEK, J.: Pumped storage hydro plant. SNTL Praha, 1963, ISBN 04-243-63, 10 – 30 s.
- KRBAL, M.: Výroba elektrické energie větrnými elektrárnami a možnosti její akumulace. 2007, [online].
- LEÓN, C. P. D.; FRÍAS-FERRER, A.; GONZÁLEZ-GARCÍA, J.; aj.: Redox flow cells for energy conversion. Journal of Power Sources, ročník 160, č. 1, 2006: s. 716 – 732, ISSN 0378-7753, doi:10.1016/j.jpowsour.2006.02.095. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877530600437X>
- LINDEN, D.; REDDY, T.: Handbook of batteries. McGraw-Hill handbooks, McGraw-Hill, 2002, ISBN 9780071359788.
- NGK, c. L.: NAs Battery. Online, 2011. URL http://www.ngk.co.jp/english/products/power/nas/image/img_nas_installation_01.jpg
- ZHONG, Y.; ZHANG, J.; LI, G.; aj.: Research on Energy Efficiency of Supercapacitor Energy Storage System. In 2006 International Conference on Power System Technology, IEEE, 2006, ISBN 1-4244-0110-0, s. 1–4, doi:10.1109/ICPST.2006.321547. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4115877>

5 MIKROGRIDY

- <https://www.hydro.com.au/clean-energy/hybrid-energy-solutions/success-stories/king-island>
- <https://enertrag.com/en/enertrag-projekte>
- <https://www.jwd.co.jp/en/around/>
- <http://peterasmus.com/journal/2009/11/6/the-microgrid-revolution.html>
- SLÁVIK, Jakub - HOLIŠ, Martin - PONIČAN, Ján - SADLOŇ, Matej. Tri piliere Smart grid. In *ATP Journal*. Roč. 27, č. 10 (2020), s. 18-21. ISSN 1335-2237. Projekt: 313021W404 530.
- Bernd M. Buchholz Zbigniew A. Styczynski, Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electric Power Systems of the future Second Edition

6 INTELIGENTNÉ MERANIA

- OUYANG, Yong, Jinliang HE, Jun HU a Shan WANG. A Current Sensor Based on the Giant Magnetoresistance Effect: Design and Potential Smart Grid Applications. Sensors [online]. 2012, 12(12), 15520-15541 DOI: 10.3390/s121115520. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/11/15520/>

- PATEL, ASHABEN. CURRENT MEASUREMENT IN POWER ELECTRONIC AND MOTOR DRIVE APPLICATIONS – A COMPREHENSIVE STUDY. Missouri-Rolla, 2007.
- ŠEDO, Jozef. Zariadenie pre sledovanie frekvenčného spektra prúdu odoberaného meničom v reálnom čase. Žilina, 2011. Diplomová práca. Žilinská univerzita v Žiline, Elektrotechnická fakulta. Vedoucí práce Ing. Peter Drgoňa, Ph.D.
- THURBER, W. The Hall Effect. In: The National Institute of Standards and Technology (NIST) [online]. b.r.]. Dostupné z: <https://www.nist.gov/pml/engineering-physics-division/hall-effect>
- Wikipedia: Faraday effect [online]. b.r. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Faraday_effect
- BOHNERT, Klaus a Peter GUGGENBACH. A revolution in high dc current measurement. ABB Review [online]. 2005, 2005(1), 5 ISSN 1013-3119. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/5aec632bde4451bfc1256fa50036f47d/06-10%201M500%20ENG%2072dpi.pdf>
- LIEHR, Sascha. Optical Measurement of Currents in Power Converters. Stockholm, 2006.
- Fiber Bragg grating. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_Bragg_grating
- LELAND, Eli, Christopher SHERMAN, Peter MINOR, Richard WHITE a Paul WRIGHT. A new MEMS sensor for AC electric current. SENSORS [online]. 2010 [cit. 2016-12-11]. DOI: 10.1109/ICSENS.2010.5690649. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5690649/>
- CARAZO, Alfredo Vázquez. NOVEL PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS FOR HIGH VOLTAGE MEASUREMENTS. Barcelona, 2000. Doctoral Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. Vedoucí práce Richard Bosch Totus.
- Electro-Optics. SALEH, Bahaa a Malvin TEICH. Fundamentals of Photonics (Second Edition). 1st ed. New York: Wiley-Interscience, 1991, s. 696-735. ISBN 0471213748.
- PAN, Feng, Xia XIAO, Yan XU a Shiyan REN. An Optical AC Voltage Sensor Based on the Transverse Pockels Effect: the origin, evolution, and impact of doi moi. Sensors [online]. 2011, 11(12), 6593-6602 DOI: 10.3390/s110706593. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/7/6593/>
- DVOŘÁK, M. PPMV Instrument transformers: Product presentation. ABB, 2008. Dostupné z: <http://www.cablejoints.co.uk/upload/ABB-MV-Medium-Voltage-Transformers-Presentation.pdf>
- PROCA, V. a N. PADURARU Methods for non-conventional measuring sensor integration in the medium voltage electrical equipment. 2005 IEEE Russia Power Tech [online]. IEEE, 2005, , 1-6 DOI: 10.1109/PTC.2005.4524774. ISBN 978-5-93208-034-4. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4524774/>

7 MODEL SÚSTAVY

- RAPŠÍK, Miroslav. Základy energetiky I. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia skript. ISBN isbn80-227-2074-7.
- Kolcun, M., Chladný, V., Varga, L.: Počítačová analýza elektrizačných sústav. Mercury-Smékal 2003, s. 119-153, ISBN 80-89061-65-6

- Trojánek, Z., Hájek, J., Kvasnica, P.: Přechodní jevy v elektrizačních soustavách. SNTL/ALFA Praha, 1987.
- Kimbark, E. W.: Power system stability. John Wiley & Sons, New York, 1988.

8 INTELIGENTNÉ SIETE

- http://www.kves.uniza.sk/SmartGrids/pdf/00_E_text_IKT_v_SG_short_Word.pdf
- SLÁVIK, Jakub - ELESCHOVÁ, Žaneta Concept of smart automatic reclosing for transient stability improvement of large power systems. In *EPE 2020 : 21st International scientific conference on electric power engineering. Prague, Czech Republic. October 19-21, 2020.* Prague : Czech Technical University in Prague, 2020, S. 439-443. ISSN 2376-5631. ISBN 978-1-7281-9479-0. V databáze: IEEE: 9269192; DOI: 10.1109/EPE51172.2020.9269192. Projekt: 1/0640/17 113.
- Bracíník, P. a kol.: Prvky elektroenergetických distribučních sítav, Žilinská univerzita v Žiline, 2012, Žilina, ISBN 978-80-554-0464-6.
- Synchronfázory v elektrizačních soustavách, Jiří Humlíček