

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny – návrh
lokální úpravy sítě vn**

**vedoucí práce: Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.
autor: Bc. Martin Buršík**

2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin BURŠÍK**
Osobní číslo: **E10N0008P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny - návrh lokální úpravy sítě vn**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

Diplomová práce "Vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny - návrh lokální úpravy sítě vn" bude zaměřena na tyto body:

1. Uveďte základní vlastnosti provozu uzlu sítě.
2. Zaznamenejte jakým způsobem se provádí kompenzace jalového výkonu a nabíjecího výkonu kabelového vedení.
3. Proveďte návrh s ohledem na minimalizaci ztrát.
4. Uvedené poznatky a návrh doložte na konkrétních případech.

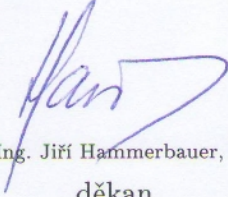


Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

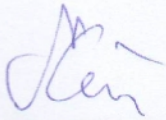
1. Skripta k předmětu Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie.
2. Přednášky z předmětu OZE, Elektroenergetika II.
3. Internetové podklady.
4. Platné ČN a předpisy.
5. Dle uvážení a pokynů udá konzultant.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na popis problematiky týkající se připojování fotovoltaických elektráren do distribuční soustavy, výpočet výkonových poměrů v zadané výrobně a návrh možností kompenzace jalového výkonu pro splnění požadavků dle novely energetického zákona.

Klíčová slova

Elektrizační soustava, přenosová soustava, distribuční soustava, vysoké napětí, fotovoltaická elektrárna, střídač, kompenzace, účinník, činný výkon, jalový výkon

Abstract

BURŠÍK, Martin – Photovoltaic power plant connection – local HV network design update

This diploma thesis is focused on the description of matters relating to connection of photovoltaic power plants into the distribution grid and the calculation of power ratios in the specified power plant and proposal of possibilities of reactive power compensation to satisfy the requirements according to the amendment of the Energy Act.

Key words

Electricity grid, transmission grid, distribution grid, high voltage, solar power plant, inverter, compensation, power factor, active power, reactive power

Prohlášení

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

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

V Plzni dne 10.5.2012

Bc. Martin Buršík

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Františku Žákovi ze společnosti EGE, s.r.o. za poskytnutí podkladů k diplomové práci a za odborné rady k řešení problematiky v mé diplomové práci. Dále bych rád poděkoval paní Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za metodické vedení mé práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA ČESKÉ REPUBLIKY	11
1.1 CHARAKTERISTIKA ČÁSTÍ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY.....	11
1.1.1 <i>Elektrárenská soustava</i>	12
1.1.2 <i>Přenosová soustava</i>	12
1.1.3 <i>Distribuční soustava</i>	12
1.2 DRUHY ELEKTRICKÉHO VEDENÍ.....	12
1.2.1 <i>Venkovní vedení</i>	13
1.2.2 <i>Kabelová vedení</i>	13
2 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI PROVOZU UZLU SÍTĚ	15
2.1 SÍŤ S PŘÍMO UZEMNĚNÝM UZLEM.....	15
2.2 SÍŤ S IZOLOVANÝM UZLEM.....	16
2.3 SÍŤ S NEPŘÍMO UZEMNĚNÝM UZLEM.....	17
2.3.1 <i>Síť s uzlem uzemněným přes tlumivku</i>	17
2.3.2 <i>Síť s uzlem uzemněným přes odpor</i>	18
3 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	20
3.1 PRINCIP ČINNOSTI FVE.....	21
3.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE.....	21
3.2.1 <i>Monokrystalické panely</i>	21
3.2.2 <i>Polykrystalické panely</i>	22
3.2.3 <i>Tenkvrstvé panely</i>	22
3.3 KONSTRUKCE PRO PANELE.....	22
3.4 STŘÍDAČE.....	23
3.5 ZPŮSOBY PROVOZU FVE.....	24
4 PŘIPOJOVÁNÍ ZDROJŮ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	26
4.1 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY.....	26
4.2 PŘIHLAŠOVACÍ ŘÍZENÍ.....	26
4.3 STUDIE PŘIPOJITELNOSTI.....	27
4.3.1 <i>Projektová dokumentace</i>	27
4.4 POŽADAVKY NA ZDROJE PŘIPOJOVANÉ DO SÍTĚ VN.....	27
4.4.1 <i>Přízpůsobení činného výkonu</i>	28
4.4.2 <i>Přízpůsobení jalového výkonu</i>	29
4.5 METODY KOMPENZACE.....	29
4.5.1 <i>Individuální kompenzace</i>	29
4.5.2 <i>Skupinová kompenzace</i>	29
4.5.3 <i>Centrální kompenzace</i>	30
4.6 KOMPENZACE U FVE.....	30
5 VLASTNÍ VÝPOČET VÝKONOVÝCH POMĚRŮ FVE	31
5.1 POPIS SITUACE.....	31
5.2 NÁHRADNÍ SCHÉMA FVE.....	31
5.3 POSTUP VÝPOČTU.....	32
5.3.1 <i>Výpočet náhradních parametrů</i>	32
5.3.2 <i>Výpočet kapacity střídače</i>	33

5.3.3	Výpočet uzlových napětí.....	35
5.3.4	Výpočet větvových proudů a ztrát	37
5.3.5	Výpočet dodávaného výkonu.....	39
5.3.6	Výpočet kompenzačních výkonů.....	42
5.4	NÁVRH ZPŮSOBU KOMPENZACE	46
5.4.1	Kompence pomocí kondenzátorů a tlumivek	47
5.4.2	Kompence pomocí kompenzátoru STELCOM	48
5.4.3	Regulace jalového výkonu samotným střídačem.....	50
ZÁVĚR		51
POUŽITÁ LITERATURA		53
PŘÍLOHA A		55
PŘÍLOHA B		56
PŘÍLOHA C		60
PŘÍLOHA D		61
PŘÍLOHA E		62
PŘÍLOHA F		63

Seznam symbolů a zkratek

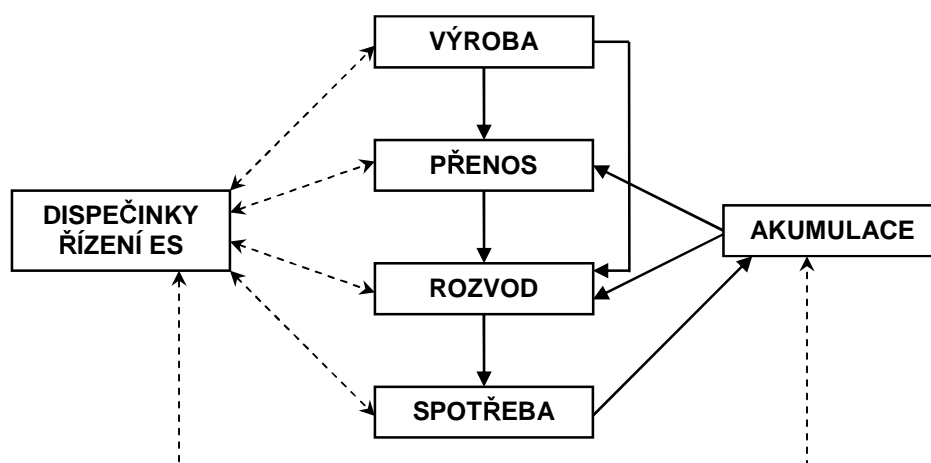
ES.....	Elektrizační soustava
PS	Přenosová soustava
DS	Distribuční soustava
zvn.....	zvlášť vysoké napětí
vvv	velmi vysoké napětí
vn	vysoké napětí
nn	nízké napětí
UCTE.....	Unie pro koordinaci přenosu elektřiny (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity)
ENTSOE	Evropská síť provozovatelů přenosových soustav (European Network of Transmission System Operators for electricity)
R.....	činný odpor
X_L	induktivní reaktance
G.....	svod
B_C	kapacitní susceptance
ω	úhlová frekvence
L.....	indukčnost
C.....	kapacita
U_f	fázové napětí
FVE.....	fotovoltaická elektrárna
PPDS.....	Pravidla provozování distribučních soustav
ERÚ	Energetický regulační úřad
PDS	provozovatel distribuční soustavy
\bar{U}	napětí v komplexním tvaru
\bar{U}^*	komplexně sdružené napětí
\bar{I}	proud v komplexním tvaru
\bar{I}^*	komplexně sdružený proud
\bar{S}	zdánlivý výkon v komplexním tvaru
\bar{Z}	impedance v komplexním tvaru
\bar{Y}	admittance v komplexním tvaru

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na popis problematiky připojování fotovoltaických elektráren do distribuční soustavy, výpočet výkonových poměrů zadané FVE a návrh možností kompenzace jalového výkonu pro splnění požadavků dle novely energetického zákona. Práce je rozdělena pěti kapitol. V první kapitole jsem stručně popsal elektrizační soustavu České republiky a druhy elektrických vedení. Je zde uvedeno dělení soustavy z různých pohledů. Elektrické vedení je rozděleno na venkovní a kabelové, kde jsou u každého typu uvedeny základní vlastnosti, oblasti použití a příklady. Druhá kapitola se věnuje prvnímu bodu zadán. Zde jsem popsal základní vlastnosti sítí s různým způsobem uzemnění uzlu. Pro každý způsob uzemnění je uveden a popsán obrázek s jednopólovou zemní poruchou. Ve třetí kapitole se zabývám popisem FVE. Na začátku kapitoly je popsána současná a nedávná situace včetně grafu vývoje připojovaného výkonu ve FVE a jejich počtu. Po té následuje popis částí FVE a možností jejich provozování. V první části čtvrté kapitoly uvádím obecné a některé konkrétní náležitosti pro připojování zdrojů do sítě včetně změn dle novely energetického zákona. Jsou zde i odkazy na danou legislativu. Ve druhé části čtvrté kapitoly uvádím metody kompenzace včetně příkladu jejich použití. Dále pak zdroje jalového výkonu u FVE s rozlišením kapacitních a induktivních jalových výkonů. V poslední kapitole řeším vlastní výpočet výkonových poměrů v zadané FVE a navrhuji možnosti kompenzace jalových výkonů s ohledem na nové požadavky pro připojení do distribuční soustavy.

1 Elektrizací soustava České republiky

Elektrizací soustava (ES) je vzájemně propojený soubor skládající se z elektrárenské soustavy (výroba), přenosové a rozvodné soustavy, řízení a také spotřeby (obr. 1.1). Úkolem ES je zásobovat v požadovaném množství, čase, místě, kvalitě a spolehlivosti místa spotřeby s co nejvyšší hospodárností. Jednotlivé části ES jsou propojeny pomocí vedení.



Obr. 1.1: Blokové schéma elektrizační soustavy ČR. [1]

1.1 Charakteristika částí elektrizační soustavy

Elektrizací soustavu také dělíme do skupin různých napěťových hladin, které obecně nazýváme:

- zvlášť vysoké napětí (zvn) – 400, 750kV
- velmi vysoké napětí (vvn) – 220, 110kV
- vysoké napětí (vn) – 35, 22, 15, 10, 6, 3, 1kV
- nízké napětí (nn) – 500, 400V.

Hodnoty uvedené u jednotlivých skupin jsou jmenovité sdružené velikosti napětí třífázové soustavy. V České republice se vyskytují všechny výše uvedené hladiny napětí. S napětím 750kV se lze setkat například v Číně, kde již připravují projekty i na vedení 1000kV [2]. Uvedené napěťové hladiny mají různou oblast použití. S hladinami zvn a vvn se setkáme v přenosových soustavách. Napěťové hladiny 35 a 22kV jsou spolu s větší částí hladiny 110kV využívány v distribučních soustavách. S ostatními hladinami vysokého napětí se lze setkat například ve velkých průmyslových závodech. V domácnostech pak využíváme napětí 400/230V, tj. 400V sdružené a 230V fázové napětí.

1.1.1 Elektrárenská soustava

První částí ES je elektrárenská soustava, do které patří všechny zdroje elektrické energie, tj. elektrárny. V České republice se lze setkat s uhelnými, jadernými, vodními či plynovými elektrárnami. Během posledních let se také rozšiřují elektrárny na biomasu či solární (fotovoltaické) a větrné elektrárny. V zahraničí se můžeme setkat například i s přílivovými elektrárnami. Výkon z elektráren je pomocí blokových transformátorů připojen do přenosové nebo rozvodné soustavy.

1.1.2 Přenosová soustava

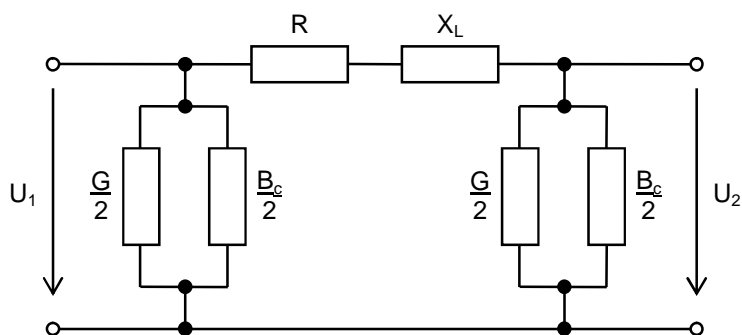
Přenosová soustava slouží pro přenos velkých výkonů na velké vzdálenosti. Propojuje všechny významné části ES v ČR. Od roku 1995 byla součástí Unie pro koordinaci přenosu elektriny (UCTE). Připojují se sem všechny velké elektrárny. Začátkem druhé poloviny 20. století k tomuto účelu na našem území sloužila napěťová hladina 220kV. Rostoucí spotřeba a s tím spojená potřeba méně ztrátového přenosu větších výkonů byla příčinou používání nové, vyšší napěťové hladiny. Od roku 1965 jsou u nás linky přenosové soustavy stavěny a provozovány na napěťové hladině 400kV. Součástí PS jsou i některá vedení na hladině 110kV. Do této soustavy jsou připojeny velké bloky elektráren o výkonech v řádu stovek a více megawattů (MW). V České republice celou přenosovou soustavu spravuje společnost ČEPS, a.s tvořící součást Evropské sítě provozovatelů přenosových soustav (ENTSOE).

1.1.3 Distribuční soustava

Distribuční soustava (DS) slouží pro distribuci (rozvod) elektrické energie z PS ke koncovým uživatelům. Do této soustavy jsou připojeny i zdroje elektrické energie o výkonech do desítek megawattů. Soustava je provozována na hladinách 110kV, vn a nn. Mezi nejvýznamnější provozovatele distribučních soustav v České republice patří společnosti ČEZ Distribuce, a.s.; E.ON Distribuce, a.s. a PREdistribuce, a.s.

1.2 Druhy elektrického vedení

Elektrické vedení je uspořádání vodičů, izolačních materiálů a konstrukcí pro přenos elektrické energie mezi dvěma body elektrické sítě. Elektrické vedení se dělí na venkovní a kabelové. Důležitými provozními parametry obou druhů vedení jsou odpor R , induktivní reaktance X_L , svod G a kapacitní susceptance B_C . Tyto parametry se dále dělí na podélné a příčné, z čehož vychází náhradní schéma elektrického vedení. Náhradní schéma může mít například podobu Γ -článku, T-článku nebo π -článku (obr. 1.2).

Obr. 1.2: Náhradní schéma vedení v podobě π -článku. [1]

1.2.1 Venkovní vedení

Venkovní vedení se skládá z holých a izolovaných vodičů, stožárů a izolátorů. Používá se zejména na hladinách vvn a nemalé části sítí vn. Při budování nových vedení jsou venkovní vedení preferována před kabelovými, je-li na ně dostatek prostoru. Důvodem jsou mnohem nižší náklady na jejich výstavbu ve srovnání s náklady na výstavbu kabelových vedení. Další výhodou venkovního vedení je jednodušší vyhledávání poruch. Ty jsou častější než u kabelového vedení, ale většinou se jedná o přechodné poruchy, které řeší automatika opětovného zapnutí. Nevýhodou těchto vedení oproti kabelovým je vyšší indukční reaktance X_L , a s tím spojený vyšší úbytek napětí a jalové ztráty na vedení.

Jako vodiče se nejčastěji používají AlFe lana, kde nosný drát (duše) je z oceli a dráty pláště jsou z hliníku. Na vedeních 400kV a 220kV se používají svazkové vodiče, tzn. tři vodiče na jednu fázi. Tím se dosáhne snížení ztrát korunou, snížení činných ztrát a zmenšení indukčnosti vedení. Zatím méně rozšířené jsou holé vodiče ACCR, tzv. kompozitní vodiče, kde nosný drát je z kompozitního materiálu, který je lehčí a vodivější než ocelové lano. Díky tomu lze dosáhnout až dvakrát vyšší přenosové kapacity vedení než u stejného vedení s ocelovými lany a možnosti použití větších průřezů při výměně bez změny stožárů.

Na vedeních vn se také používají holá AlFe lana. V místech s častým výskytem přechodných poruch, například linky podél lesa, se používají AlFe lana s PVC izolací. Izolované vodiče umožňují i snížení vzdáleností mezi lany.

1.2.2 Kabelová vedení

Jedná se o vedení tvořená izolovanými vodiči, nejčastěji uloženými v zemi a kabelových kanálech. Používají se v místech, kde není možné vystavět venkovní vedení z bezpečnostních, prostorových či jiných důvodů. Nejčastěji se s kabelovým vedením setkáme ve městech. Jak již bylo zmíněno, výstavba kabelových vedení je výrazně dražší než u venkovního vedení. Na kabelových vedeních dochází také k výrazně menšímu počtu poruch, které jsou však často

trvalého charakteru. Ve srovnání s venkovním vedením mají mnohonásobně vyšší kapacitu. Tím na nich nedochází k tak velkým úbytkům napětí a jalovým ztrátám jako u venkovního vedení. Je třeba ale věnovat větší pozornost nabíjecímu proudu a výkonu, při malém zatížení kabelu. Velikost nabíjecího proudu je převážně dána provozní kapacitou vedení. Je tedy zřejmé, že bude mít i převážně kapacitní charakter. Vzhledem k tomu, že velikost svodu G je výrazně menší než velikost kapacitní susceptance ($B_C = \omega \cdot C$), lze ho při výpočtu nabíjecího proudu zanedbat. V takovém případě platí následující vztahy pro nabíjecí proud a nabíjecí výkon:

$$I_{NAB..} = I_C = \omega \cdot C \cdot U_f \quad [A] \quad (1-1)$$

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_C = 3 \cdot U_f \cdot I_C \quad [VAr] \quad (1-2)$$

Hodnota takto spočítaného nabíjecího proudu je fázová. V případě nabíjecího výkonu se jedná o hodnotu sdruženou.

V dnešní době se pomocí kabelů připojují také fotovoltaické elektrárny (FVE) do sítě vn. K tomu se například používají kabely s označením AXEKVCY, AXEKVCE, AXEKVCEY a další. Společným rysem uvedených kabelů je jádro z hliníku (A), izolace ze zesíťovaného polyethylenu (XE) a měděné kovové stínění s ochranou proti podélnému šíření vody pláštěm (VC). Liší se pouze materiálem pláště, kde Y znamená měkčené PVC, E je polyethylen a EY je kombinace polyethylenu a PVC. K tomuto značení se dále doplňuje pro jaké jmenovité napětí daný kabel je, jaký má průřez a kolik má žil. [1]

2 Základní vlastnosti provozu uzlu sítě

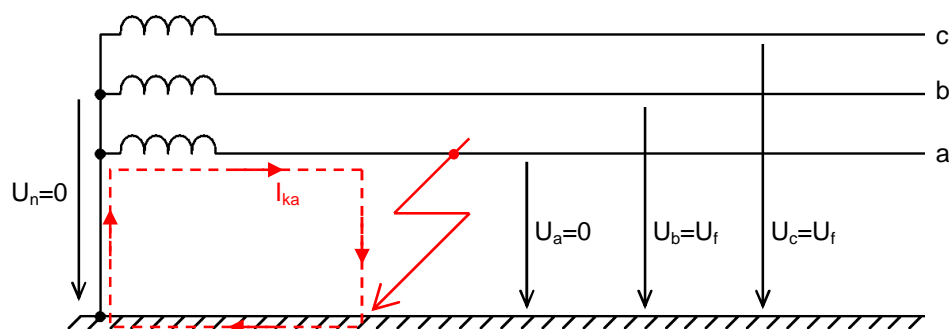
Uzel sítě je spojení vinutí transformátoru. Způsob uzemnění tohoto uzlu ovlivňuje velikost poruchového proudu při jedno nebo vícefázové poruše a velikost napětí mezi fázovými vodiči a zemí. Podle tohoto napětí se dimenzuje izolace. Podle způsobu spojení uzlu sítě se zemí rozlišujeme sítě na následující:

- síť s přímo uzemněným uzlem
- síť s izolovaným uzlem
- síť s nepřímou uzemněným uzlem

2.1 Síť s přímo uzemněným uzlem

Jak vyplývá z názvu, uzel vinutí transformátoru je spojený se zemí přímo nebo přes velmi malou impedanci. V České republice jsou s přímo uzemněným uzlem provozovány sítě zvn, vvn a velká část sítí nn na hladině 400V.

V případě poruchy se jedná o jedno či vícefázový zkrat. Jak je vidět na obrázku 2.1, při jednofázové poruše zůstává napětí uzlu transformátoru vůči zemi nulové ($U_n = 0$). Napětí v poškozené fázi v místě zkratu bude nulové. Půjdeme-li blíže ke zdroji, bude se i v poškozené fázi vyskytovat snížené napětí. Ve zdravých fázích pak zůstává jmenovitá fázová hodnota napětí, tj. nedochází zde k přepětím. To je z ekonomického pohledu výhodné, jelikož stačí izolaci dimenzovat na jmenovité fázové napětí. Výhodou této sítě je i možnost jednoznačného určení vzniku poruchy.



Obr. 2.1: Jednofázový zkrat. [1]

Nevýhodou těchto sítí je velká hodnota poruchového proudu, která způsobuje nebezpečné krokové napětí. Při poruše je tedy nezbytné tuto síť okamžitě vypnout. Bude-li v této síti použita jednopólová automatika opětovného zapnutí, může se soustava dočasně provozovat i jako dvoufázová.

Velikost jednofázového zkratu lze spočítat dle následujícího vztahu:

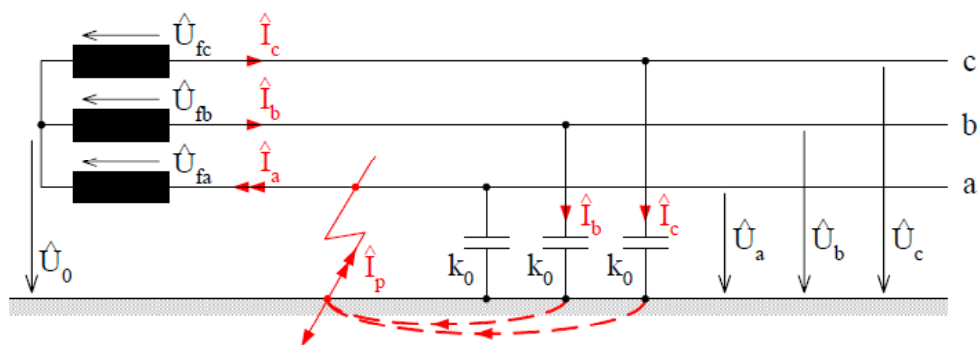
$$I_{\text{k1f}}^{\prime\prime} = \frac{3 \cdot c \cdot U_n}{Z_{k(1)} + Z_{k(2)} + Z_{k(0)}} \quad [\text{kA}] \quad (2-1)$$

kde c je napěťový součinitel, U_n je jmenovité napětí sítě v kilovoltech, Z_k je zkratová impedance v ohmech rozložená na souslednou, zpětnou a netočivou složku. Vzhledem k tomu, že velikost zkratové impedance závisí na místě zkratu v dané síti, bude i velikost zkratového proudu závislá na místě vzniku zkratu. Čím blíže ke zdroji vznikne zkrat, tím bude větší zkratový proud v daném místě.

2.2 Síť s izolovaným uzlem

V tomto případě uzel transformátoru není vůbec spojen se zemí. Provozuje se v sítích malého rozsahu. Nejčastěji se s ní tak lze setkat v průmyslových sítích na hladinách 6kV až 22kV. Místy se lze s touto sítí setkat i na hladině nn.

Na rozdíl od sítě s přímo uzemněným uzlem, zde v případě poruchy nedochází ke zkratu, ale k tzv. zemnímu spojení. To znamená, že zde dochází i odlišným napěťovým a proudovým poměrům. Jak je vidět na obrázku 2.2, při jednofázové poruše vznikne relativně malý poruchový proud (několik ampér). Jelikož se uzavírá přes kapacity mezi zdravými vodiči a zemí, bude mít převážně kapacitní charakter. Napětí v uzlu transformátoru vůči zemi bude fázové. V poškozené fázi bude napětí nulové, tentokrát v celé síti. Ve zdravých fázích pak je sružená hodnota jmenovitého napětí. To přináší vyšší nároky na izolaci, která tak musí být dimenzovaná na tuto hodnotu napětí.



Obr. 2.2: Jednofázové zemní spojení v souměrné síti. [3]

Výhodou této sítě je, že při vzniku jedné poruchy je možné zachovat provoz až do vyhledání zemního spojení. Při vzniku další poruchy je však síť nutno vypnout. Při přerušovaném zemním spojení vznikají v síti přepětí o velikosti čtyř až pěti násobku jmenovitého fázového napětí.

Velikost poruchového proudu ($I_{POR.}$) při jednofázovém zemním spojení v této síti lze spočítat dle vztahu (2-2), kde U_f je jmenovitá hodnota fázového napětí ve voltech, ω je úhlová frekvence sítě a C_0 je kapacita celé sítě proti zemi ve faradech.

$$I_{POR.} = I_{KAP.} = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \quad [A] \quad (2-2)$$

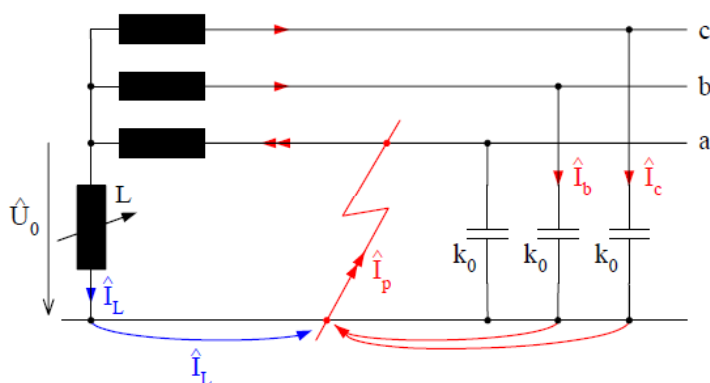
Na rozdíl od sítě s přímo uzemněným uzlem, zde velikost poruchového proudu nezávisí na místě zemního spojení, ale pouze na rozsahu sítě. Hodnoty tohoto proudu u venkovní sítě na hladině 22kV bývají přibližně 0,06A/km, u kabelové sítě 22kV pak cca 4A/km [3]. Síť, kde poruchový proud vychází vyšší než 20A se nesmějí provozovat izolovaně. Je tedy nutno použít kompenzaci (viz. další kapitoly). V praxi je doporučováno kompenzovat síť s poruchovým proudem již od 10A [4].

2.3 Síť s nepřímo uzemněným uzlem

Jak bylo naznačeno v předchozí kapitole, u sítí vn s poruchovým proudem větším než 10 až 20A je potřeba tyto proudy kompenzovat. V současnosti se nejvíce používají způsoby, kdy se uzel sítě uzemní přes odpor nebo přes tlumivku s proměnlivou indukčností. Tyto způsoby uzemnění mají velmi odlišné vlastnosti.

2.3.1 Síť s uzlem uzemněným přes tlumivku

Jedná se o síť, ve které je uzel transformátoru uzemněn přes Petersenovu zhášecí tlumivku. Jejím úkolem je kompenzovat kapacitní poruchové proudy v místě zemního spojení. V ideální kapacitně souměrné síti při bezporuchovém stavu bude napětí v uzlu nulové. V případě poruchy dochází k zemnímu spojení (obr. 2.3).



Obr. 2.3: Jednofázové zemní spojení v souměrné síti. [3]

V uzlu transformátoru bude vůči zemi fázové napětí. Díky tomu se tlumivka stane zdrojem proudu, který bude mít induktivní charakter. To znamená, že v případě ideální tlumivky bude proud procházející její cívkou zpožděn o 90° za napětím. Tento proud působí

proti kapacitnímu poruchovému proudu. V ideálním případě pak v místě poruchy nepoteče žádný proud. Velikost indukčnosti tlumivky v této situaci lze získat ze vztahů (2-3).

$$I_L = I_{KAP}$$

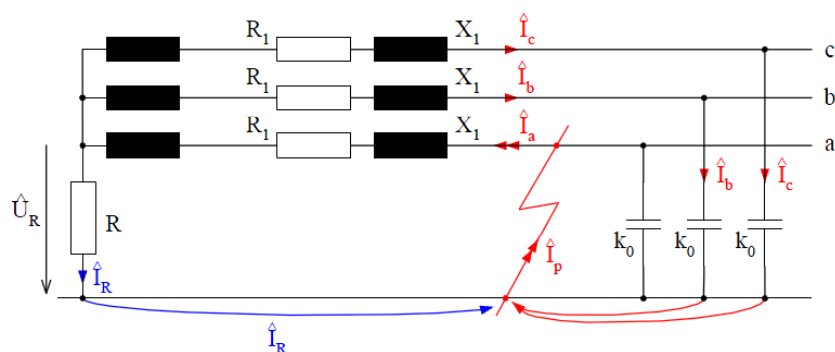
$$\frac{U_f}{\omega \cdot L} = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \Rightarrow L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0} \quad (2-3)$$

Jelikož tlumivky i síť nejsou ideální, bude místem zemního spojení procházet zbytkový proud. Ten se skládá z nevykompenzovaného proudu díky nepřesnému nastavení indukčnosti tlumivky, nevykompenzovatelnými činnými složkami způsobenými svody vedení a odporem tlumivky a z proudů vyšších harmonických [3]. U dobře vyladěné zhášecí tlumivky bude tento zbytkový poruchový proud mnohem menší než kapacitní proud sítě a bude mít činný charakter. V praxi je délka provozu se zemním spojením omezena přibližně na dvě hodiny z důvodu oteplení tlumivky. Do té doby je tedy nutno najít místo zemního spojení.

Tlumivka musí být laditelná, aby existovala možnost ji přeladit při změně konfigurace sítě. Dříve se ladění provádělo přepínáním odboček, dnes se provádí plynule změnou magnetického obvodu pomocí motoru, který je ovládán dálkově. V sítích s větší kapacitní nesymetrií (venkovní vedení) s malými činnými odpory je uzel transformátoru při rezonanci namáhán velkým napětím. V takovém to případě dochází k úmyslnému malému rozladění tlumivky, které by nemělo přesáhnout 10% z kapacitního proudu sítě. V kabelových sítích, které mají malou kapacitní nesymetrii, je ladění tlumivky obtížné. Čím více je síť symetrická, tím hůře se hledá ideální velikost indukčnosti tlumivky.

2.3.2 Síť s uzlem uzemněným přes odpor

Tento způsob uzemnění uzlu se zavádí z důvodu problémů s laděním zhášecí tlumivky spolu s dalšími technickými a ekonomickými problémy u kapacitně souměrných sítí. Zástupcem těchto sítí jsou městské kabelové sítě, kde dochází převážně k trvalým poruchám. Na rozdíl od venkovních sítí tak nedochází ke samozhášení poruch. Při vzniku jednofázové poruchy (obr. 2.4) dochází k poklesu napětí na postižené fázi. Napětí v uzlu vzroste téměř na fázové.



Obr. 2.4: Jednofázový zkrat v síti s uzlem uzemněným přes odpor. [3]

Poruchový proud v místě poruchy je součtem činného proudu odporem v uzlu a kapacitního proudu celé sítě. Nedochází tedy k vykompenzování poruchového proudu, ale k omezení jeho velikosti. Výsledná velikost poruchového proudu tedy závisí na rozloze celé sítě a zároveň klesá se vzrůstající vzdáleností od transformátoru. Podmínkou tlumení přepětí je, aby jmenovitý proud uzlového rezistoru byl větší než kapacitní proud sítě. Pro velikost odporu uzlového rezistoru pak platí:

$$I_R \geq I_{KAP}$$

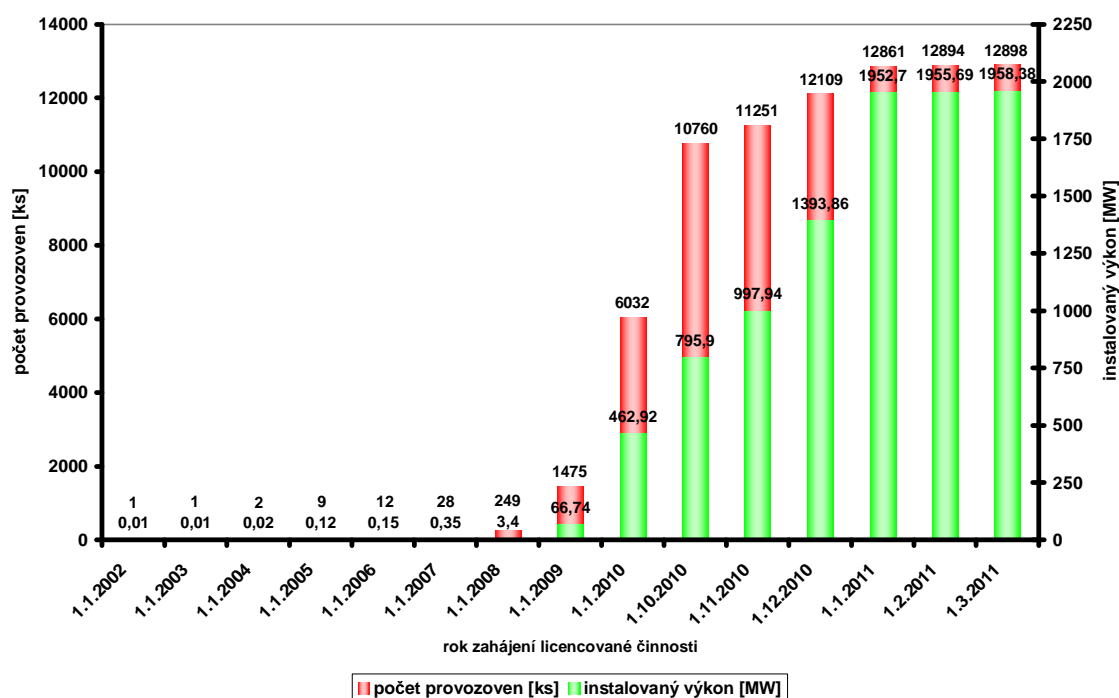
$$\frac{U_f}{R} \geq 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \Rightarrow R \leq \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_0} \quad (2-4)$$

Typickým rysem provozu sítě uzemněné přes rezistor je, že i při přechodné poruše dojde k vypnutí postiženého vývodu. U kabelových sítí je to přínosné, neboť poruchy často bývají způsobeny poškozením kabelu, kdy je další provoz nežádoucí. U venkovních vedeních, kde je častý výskyt přechodných poruch, které nemají za následek poškození vedení, lze použít systém automatiky opětovného zapnutí.

Překročí-li kapacitní proudy 350 až 400A považuje se uzemnění uzlu přes rezistor za nutné. U sítí s kapacitními proudy do 350 až 400A je možné uzel sítě takto provozovat. Zda to bude výhodnější, záleží na poměru přechodných a následných poruch a na poměru součtu délek kabelového a venkovního vedení. [1,3,5]

3 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny (FVE) patří do kategorie obnovitelných zdrojů, které se v posledních letech dostaly do popředí. Evropská unie a vlády vydávaly nařízení či zákony, ve kterých byly stanoveny podíly výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů vzhledem k celkové výrobě. Na podporu těchto zdrojů byly také stanoveny různé výhody, zejména možnost získání dotací, vyšší výkupní ceny za vyrobenou energii nebo tzv. zelené bonusy. V letech 2006 až 2010 výkupní ceny přesahovaly hranici 12Kč/kWh. V České republice začal obrovský nárůst podílu zejména velkých FVE, které se začaly stavět převážně na zemědělské půdě. Do pozadí se tak dostaly malé FVE umístěné na střechách domů. Na obrázku 3.1 je vidět obrovský nárůst instalovaného výkonu a počtu fotovoltaických elektráren během let 2009 a zejména 2010, na jehož konci došlo k zastavení připojování velkých výroben do sítě.



Obr. 3.1: Instalovaný výkon FVE k 1. březnu 2011. [6]

Na konci roku 2011 činil celkový instalovaný výkon ve FVE 1971MW, což představuje přibližně 10% z celkového instalovaného výkonu v elektrizační soustavě v ČR [7]. Tento výkon značně přesahuje odhad Národního akčního plánu přijatého v srpnu 2010, který počítal s rozvojem FVE tak, že v roce 2020 by měl instalovaný výkon ve FVE činit 1695MW [6,8]. V mé diplomové práci se budu dále zabývat převážně FVE připojovanými do sítě vn.

3.1 Princip činnosti FVE

Fotovoltaická elektrárna (FVE) pracuje na principu přeměny energie slunečního záření na energii elektrickou. K této přeměně dochází dopadáním fotonů slunečního záření na P-N přechod, kde se díky jejich energii vyrazejí elektrony z krystalické mřížky. Ty se stávají volnými a tvoří zárodek stejnosměrného elektrického proudu. Jednoduchým využitím tohoto jevu jsou fotodiody, které slouží k detekci světla. Jedná se o elektronické součástky s jedním P-N přechodem. Pro využití tohoto jevu k získání většího zdroje elektrické energie je zapotřebí daleko více P-N přechodů. Tím vznikají solární články skládající se z velkého množství fotodiód. Vhodným pospojováním solárních článků vzniká fotovoltaický panel. [9]

Jak bylo zmíněno, panely dodávají stejnosměrný proud a napětí. Před připojením do sítě je potřeba výstupní veličiny převést na střídavé. K tomuto účelu slouží střídače. Další částí FVE připojované do DS je transformátor. Nejčastěji se používají distribuční transformátory 0,4/22kV.

3.2 Fotovoltaické panely

Výkony dnešních fotovoltaických panelů se pohybují v rozmezí 100 – 173Wp/m² [09]. Watt peak (Wp) znamená špičkový výkon, který jsou panely schopny dodat při ideálních podmínkách. Ideálními podmínkami se v tomto případě rozumí světlo o intenzitě 1000W/m² dopadající kolmo na panel při teplotě 25°C. Z výše uvedených hodnot je zřejmé, že účinnost fotovoltaických panelů není příliš velká. Skutečné množství elektrické energie získané z panelů, závisí na technologii jejich výroby, intenzitě dopadajícího světla a na velikosti plochy panelu. Vyrábějí se různými technologiemi. Rozlišujeme tři základní druhy panelů (monokrystalické, amorfnní a polykrystalické).

3.2.1 Monokrystalické panely

Monokrystal je makroskopický krystal s velmi malým množstvím poruch krystalové struktury (např. diamant či křemen). Krystaly křemíku se vyrábí přibližně ve velikosti 10cm tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru 300mm. Ty se poté rozřežou na tenké plátky. Monokrystalické panely jsou ideální pro natáčeční systémy, jelikož vykazují největší výkon při přímé orientaci ke slunci. Jedná se o nejučinnější komerčně dostupné panely. Jejich účinnost se blíží 20%. Dále se vyznačují nejpomalejší degradací. [10, 11]



Obr. 3.2: Monokrystalický panel [10]

3.2.2 Polykrystalické panely

V případě polykrystalických panelů se jedná o pevnou látku skládající se z mnoha monokrystalických segmentů na sobě nezávisle orientovaných. Účinnost těchto panelů v průmyslové výrobě překročila 17%. Typické hodnoty se však pohybují v rozmezí 12 až 14%. Jejich výroba je v porovnání s monokrystalickými mnohem jednodušší. To znamená, že je tedy i levnější a rychlejší. Zároveň jsou méně citlivé na odklon od jihu než monokrystalické panely. Jedná se o nejrozšířenější panely na trhu, jelikož představují nejlepší poměr účinnost cena. [10, 11]



Obr. 3.3: Polykrystalický panel [10]

3.2.3 Tenkovrstvé panely

Základem tenkovrstvých panelů je amorfní látka, tj. materiál pevného skupenství s nepravidelnou krystalickou mřížkou. Tímto materiálem bývá sklo nebo fólie, na kterou je napařována křemíková vrstva. Účinnost těchto panelů je ve srovnání s předchozími horší. V mnohých případech bývá i pod 10%. Navíc v prvním roce života rychle klesá. Následně se tento pokles zpomalí na úroveň poklesu účinnosti krystalických panelů. Z tohoto důvodu se u těchto panelů udává tato tzv. stabilizovaná účinnost. Výrobní náklady těchto panelů jsou pod 1 americký dolar za Wp. Používají se například na plechových střeších, jelikož mají nejmenší teplotní koeficient výkonu (0,3%/K). Dále mají nejmenší závislost na vnějším osvětlení a na ročním období. V našich podmínkách se tenkovrstvé panely stále vyznačují nejlepší energetickou návratností. Ta se pohybuje kolem dvou let a méně. [10, 11]



Obr. 3.4: Tenkovrstvý panel [10]

3.3 Konstrukce pro panely

Pro instalaci fotovoltaických panelů slouží různé podoby nosných konstrukcí, které lze rozdělit do dvou velkých skupin. První skupinou jsou pevné konstrukce. Panely instalované na těchto nosných konstrukcích mají stále stejný sklon a jsou orientovány stále stejným směrem. V našich podmínkách se udává jako optimální sklon 32° [12]. Toto provedení se využívá především pro FVE na střeších domů, výrobních hal či skladů. Během mohutného budování velkých FVE na polích zejména v roce 2010 se tento typ konstrukcí objevoval i u většiny z nich. Důvod je prostý. Jedná se o jednoduché a hlavně levné řešení. Při návrhu

stačí určit optimální sklon, azimut a postavit konstrukce. Nevýhodou tohoto řešení je, že panely nebudou natočeny vůči slunci ideálně po celý den. Tento problém řeší druhá skupina nosných konstrukcí, a to otočné konstrukce. Jak název napovídá, tyto konstrukce umožňují otáčet panely za sluncem. Dražší otočné konstrukce umožňují měnit azimut i sklon panelů. Díky tomu je možnost přizpůsobit panely nejen denní době, ale i ročnímu období, neboť v našich zeměpisných šířkách je slunce nad obzorem v zimě daleko níže než v létě. Tím dojde ke zvýšení využití dopadajícího slunečního záření a tudíž i zvýšení energetického zisku. Pohyb panelů zajišťují elektromotory řízené počítačem. Jednou z možností řízení je sledování slunce pomocí senzorů, čímž lze získat neustálou ideální polohu panelů. V praxi však tento systém postihují problémy se znečištěním senzorů, které způsobí znepresnění vstupních údajů pro ovládání. Proto se lze také setkat s druhým způsobem řízení, kdy jsou v počítači nastaveny přesné vstupní údaje, kdy a jak má dojít ke změně polohy. Odpadá tak starost s čištěním snímacích senzorů. Je zřejmé, že čím přesněji jsou určena vstupní data, tím větší bude energetický zisk. Po optimalizaci vstupních dat tohoto způsobu řízení lze dosahovat stejného energetického zisku jako u řízení dle senzorů, které se bude dařit udržovat v čistotě.

3.4 Střídače

Hlavním úkolem střídače je převést stejnosměrné napětí dodávané panely na střídavé napětí s požadovanou kvalitou. To znamená sinusový průběh napětí s efektivní hodnotou 230V a frekvencí 50Hz. Střídač má i řadu dalších funkcí, jako například monitorování sítě a provozních údajů či ochranné funkce. Střídače mohou být buď transformátorové nebo beztransformátorové. Výhodou transformátorových střídačů je přítomnost galvanického oddělení, které znamená oddělení stejnosměrné a střídavé strany. Tím se zajistí maximální ochrana před poškozením. Tento typ střídačů je nutné použít u tenkovrstvých panelů, a to z důvodu negativních vedlejších vlivů (např.: polarizační efekt, svodové kapacitní proudy). Ve srovnání s beztransformátorovými střídači však mají o něco menší maximální účinnost. Tato účinnost se u současných střídačů pohybuje v rozmezí 90 až 98%.

Samotná vysoká hodnota maximální účinnosti však ještě nemusí znamenat vysoké energetické zisky. Těchto hodnot střídač dosáhne pouze při optimálních podmínkách, což znamená jmenovité stejnosměrné napětí a střední hodnota střídavého napětí. Z toho důvodu se v datových listech uvádí také evropská účinnost. Ta se měří při měnicím se zatížení střídače, konkrétně při 5, 10, 20, 30, 50 a 100% jmenovitého výkonu. Výsledná účinnost je pak průměrem těchto hodnot. Evropská účinnost má tedy větší vypovídací schopnost. Stále je však třeba brát v úvahu, že se i tato účinnost měří při optimálním stejnosměrném napětí, které

je ve skutečnosti ovlivněno měnící se teplotou. Pro množství získané energie je ve výsledku důležitá vysoká evropská účinnost v celém pracovním rozsahu střídače. [13]

Střídače by neměly být provozovány na svém maximálním výkonu. V ideálním případě by se na jeho vstup mělo přivést napětí 80 – 85% maximální hodnoty, kterou dokáže zpracovat [12]. Pracovní rozsah střídače je dán maximálním bodem výkonu (MPP) závislým na teplotě a intenzitě osvětlení. Rozsah MPP pak udává rozsah napětí, ve kterém by měl střídač optimálně pracovat. Kvalitní střídače jsou dnes vybaveny řídicí elektronikou, která vyhledává bod maximálního výkonu, tzv. MPP tracker. Tato elektronika, změnou vstupního odporu, posouvá pracovní bod střídače do optimální polohy podle vstupního napětí a proudu.

Z hlediska způsobu instalace střídačů můžeme rozlišit centrální, řetězcové a modulární zapojení. Centrální zapojení znamená, že celý instalovaný výkon je přiveden do jednoho či několika velkých střídačů. Používá se pro velké systémy (nad 100kW). Hlavní výhodou tohoto zapojení spočívá ve vysoké účinnosti přeměny energie, která se pohybuje na hranici 98%. Při výpadku střídače však hrozí velké finanční ztráty. U řetězového (stringového) zapojení střídačů je výkon rozdělen do více střídačů o menších výkonech. To umožňuje lepší sledování MPP a přináší možnost paralelní zálohy výpadků. Toto zapojení se uplatňuje u středních a velkých systémů. V případě modulového zapojení je každý panel připojen ke střídači samostatně. [14]

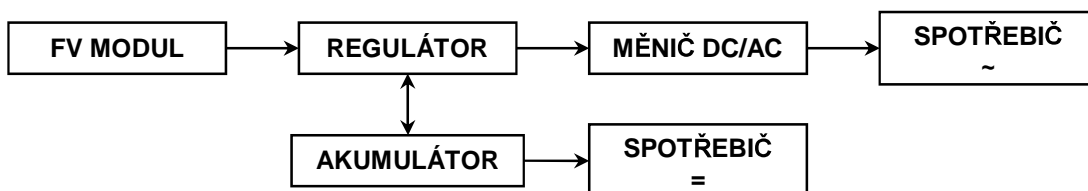
Pro zajištění maximální efektivnosti provozu je zapotřebí dostatečně věnovat pozornost výpočtu poměru panelů na střídač. Při jasných zimních dnech se ve vodičích do střídače může objevit vyšší proud, než je udáván v tabulkových hodnotách výrobce. Krátkodobé přetížení střídač většinou zvládne, ale při větší četnosti se výrazně snižuje jeho životnost.

Dnešní moderní střídače jsou vybaveny řadou funkcí pro správu sítě s ohledem na nové podmínky pro připojování zdrojů do DS, kterými se budu zabývat v pozdějších kapitolách. Příkladem těchto funkcí může být dálkově řízené omezení proudu při přetížení sítě, frekvenční regulace činného výkonu nebo stabilizace statického napětí podle jalového výkonu. Na základě této funkce jsou schopné regulovat jalový výkon dle různých režimů. Příkladem takových to střídačů mohou být centrální střídače SUNNY CENTRAL od společnosti SMA, jejichž ukázkový katalogový list je v příloze B.

3.5 Způsoby provozu FVE

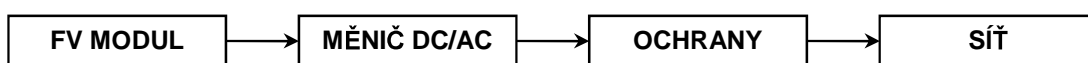
Fotovoltaické elektrárny lze provozovat třemi způsoby. První možností jsou autonomní systémy, také nazývané jako ostrovní (grid-off). Jedná se o fotovoltaický systém, který je nezávislý na rozvodné síti. Skládá se s fotovoltaických modulů, regulátoru, akumulátoru a

spotřebiče (obr. 3.5). Přebytečná elektrická energie se uchovává v akumulátorech pro období, kdy slunce nesvítí. Regulátor pak zajišťuje správné nabíjení a vybíjení akumulátoru. Tento systém se používá například k napájení zahradních svítidel či spotřebičů v oblastech bez elektrických přípojek.



Obr. 3.5: Blokové schéma systému grid-off. [14]

Druhou možností jsou fotovoltaické systémy pracující paralelně se sítí, označovány jako systémy grid-on. Zdrojem u tohoto systému je opět FV modul. Stejnoseměrné napětí je nejprve ve střídači přeměněno na střídavé napětí. Následně může být fotovoltaický systém připojen přes ochrany k síti (obr. 3.6). V případě připojování do DS obsahuje systém ještě blokový transformátor. Na tento systém jsou kladeny požadavky z hlediska bezpečnosti provozu sítě a kvality dodávané energie. Těmito požadavky se budu zabývat v dalších kapitolách.



Obr. 3.6: Blokové schéma systému grid-on. [14]

Třetí možností jsou hybridní systémy představující kombinaci obou předchozích.

4 Připojování zdrojů do distribuční soustavy

Připojování zdrojů do DS podléhá Pravidlům provozování distribučních soustav (PPDS), zejména pak příloha č.4 specifikující pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele DS. Tato pravidla vytvářejí samotní provozovatelé distribučních soustav (PDS) na základě vyhlášky č.401/2010 Sb., která mimo jiné popisuje obsahové náležitosti PPDS. Provozovatelé DS tato pravidla následně předkládají ke schválení Energetickému regulačnímu úřadu (ERÚ).

4.1 Pravidla provozování distribuční soustavy

Jak bylo zmíněno, jedná se o dokument zpracovaný samotným provozovatelem DS. Cílem je vypracovat a zveřejnit předpisy stanovující minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k DS a pro její užívání. Uživatelé DS v rámci PPDS jsou provozovatel přenosové soustavy (PPS), provozovatelé sousedních nebo lokálních distribučních soustav, výrobci elektrické energie a obchodníci s elektrickou energií. PPDS navazují na Pravidla provozování přenosové soustavy (PPPS) tak, aby společně zajistily průhledné podmínky pro rozvoj a spolehlivý provoz elektrizační soustavy ČR a dodávky elektrické energie v potřebné kvalitě. Účelem je zajistit, aby se provozovatel i každý uživatel DS spravedlivě podíleli na udržování sítě v dobrých provozních podmínkách, zabránění vzniku poruch nebo omezení jejich šíření dále do soustavy. [15]

4.2 Přihlašovací řízení

Pro přihlášení výroby je zapotřebí provozovateli DS včas předat žádost o připojení dle vyhlášky č.51/2006 Sb. Základní náležitosti této žádosti jsou uvedeny v příloze č.1 zmíněné vyhlášky a v PPDS. Dále je zapotřebí přiložit dotazník s technickými údaji o zařízení. Jeho vzor lze nalézt v příloze č.4 k PPDS. Lhůta pro rozhodnutí o připojení zdroje do napěťové hladiny vn je 60 dnů od podání úplné žádosti o připojení nebo ode dne předání studie připojitelnosti. Nejsou-li dány důvody stanovené energetickým zákonem pro které nelze zařízení žadatele připojit k distribuční soustavě, PDS předloží žadateli návrh smlouvy o připojení nebo návrh smlouvy o budoucím připojení výroby. Přílohou smlouvy jsou stanovené technické podmínky pro připojení výroby k DS. Nelze-li zařízení žadatele připojit z důvodů stanovených energetickým zákonem, PDS tuto skutečnost sdělí žadateli písemnou formou do 30-ti dnů od podání žádosti o připojení či předložení studie připojitelnosti. [16,17]

4.3 Studie připojitelnosti

Nutnost provádění studie připojitelnosti záleží na charakteru výroby a návrhu přípojného místa. U výroben s instalovaným výkonem do 30kW připojovaných do sítě nn se tato studie nevyžaduje. Studie připojitelnosti výrobní musí obsahovat technické posouzení možného připojení s ohledem na napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě, zatížitelnost jednotlivých prvků sítě a dodržení parametrů zpětných vlivů na DS. Posuzování připojitelnosti je nutné provádět postupy uvedenými v příloze č.4 k PPDS, konkrétně v části 10 a 11. Ve studii je nutné vycházet z podmínky dodržení účinníku v předávacím místě na úrovni $\cos \varphi = 1$. Vzhledem k místním podmínkám může PDS požadovat kontrolu pro jiné nastavení účinníku. [19]

Rozsah studie u zdrojů připojovaných do sítě vn je zpravidla dán stanicí s napájecím transformátorem sítě, vedením s posuzovaným zdrojem a jeho doporučeným přípojným bodem. Někdy je navíc potřeba zahrnout i další vedení s již provozovanými nebo plánovanými zdroji.

4.3.1 Projektová dokumentace

Požadovaná projektová dokumentace vychází z vyhlášky 499/2006 Sb. Obsahuje kompletní údaje týkající se problematiky vyvedení výkonu z výrobní. Mezi tyto údaje patří zejména parametry vedení (délka, typ a průřez) mezi výrobní a přípojným místem, parametry transformátorů a možné řešení připojení výrobní k DS. Dále se zde uvádějí parametry elektrických ochranných souvisejících s DS, návrh provedení fakturačního měření a jeho umístění a údaje k rozhraní dálkové komunikační trasy mezi PDS a zařízením žadatele o připojení.

4.4 Požadavky na zdroje připojované do sítě vn

Dle PPDS musí být výrobní schopna dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku 0,85 až 1 při dodávce jalového výkonu a 1 až 0,95 při odběru jalového výkonu, a to při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru 5% z jmenovitého napětí a při kmitočtu v rozmezí 48,5 až 50,5Hz. Tento základní požadovaný rozsah může být upraven PDS, dle potřeb v daném místě DS a typu připojovaného zdroje. Dále se zde uvádí, že všechny výrobní připojované do DS musí být schopné snižovat činný výkon. Tato změna musí probíhat automaticky v závislosti na kmitočtu sítě a podle poměrů v síti nebo podle povelů z řídicího dispečinku PDS nebo se automaticky odpojit od DS. V případě jalového výkonu způsob jeho řízení závisí vždy na konkrétním místě DS a je určován PDS. [19]

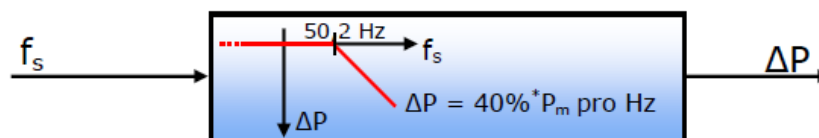
Na základě potřeb PDS a novely energetického zákona č.211/2011 Sb. vešla koncem roku 2011 v platnost nová PPDS. V mé diplomové práci se zabývám převážně parametry FVE. V této oblasti tato novela zavádí pro větší zdroje třístupňovou regulaci účinníku a povinnost zavést dispečerské řízení. Požadované hodnoty účinníku jsou nyní $\pm 0,95$; $\pm 0,97$; ± 1 , kde znaménko \pm představuje buď kapacitní, nebo induktivní účinník. Povinnost zavést dispečerské řízení se týká i dříve připojených výroben. Pro tyto případy novela energetického zákona v čl. II Přejícná ustanovení uvádí v odstavcích 14 a 15 následující:

14. Výrobce elektřiny je povinen vybavit výrobu elektřiny s instalovaným výkonem 2MW a více uvedenou do provozu před nabytím účinnosti tohoto zákona zařízením umožňujícím dispečerské řízení do 30. června 2012.

15. Výrobce elektřiny je povinen vybavit výrobu elektřiny s instalovaným výkonem od 100kW do 2MW uvedenou do provozu před nabytím účinnosti tohoto zákona zařízením umožňujícím dispečerské řízení do 30. června 2013. [6,18]

4.4.1 Přizpůsobení činného výkonu

Výrobní připojené do DS, které se při frekvenci nad 50,2Hz automaticky neodpojí, musí být schopné snižovat okamžitý činný výkon o 40% na Hz (obr. 4.1) podle vztahu 4-1



Obr. 4.1: Snižování činného výkonu OZE při nadfrekvenci. [19]

$$\Delta P = 20P_m \cdot \frac{50,2 - f_s}{50} \quad (4-1)$$

kde P_m je okamžitý dostupný výkon, ΔP je snížení výkonu a f_s je frekvence sítě.

V rozsahu $47,5\text{Hz} < f_s < 50,2\text{Hz}$ omezení není. Při $f_s \leq 47,5\text{Hz}$ a $f_s \geq 51,5\text{Hz}$, dochází k odpojení výroby od sítě.

Vzhledem k provozním podmínkám musí být výroba schopna provozu se sníženým činným výkonem. Energetický zákon opravňuje PDS ke změně činného výkonu například při stavech nouze nebo při předcházení stavu nouze, dále při ohrožení statické nebo dynamické stability či při údržbě nebo provádění stavebních prací. PDS v těchto případech může požadovat automaticky působící přechodové omezení dodávaného činného výkonu nebo odpojení výroby od sítě. PDS přitom nezasahuje do zařízení výroby, ale pouze zadává požadovanou hodnotu. U FVE se může jednat o požadavky na 100, 60, 30 a 0% instalovaného

výkonu. Reakce na požadavek PDS na snížení dodávky činného výkonu musí být neprodlená, maximálně do jedné minuty. [19]

4.4.2 Přizpůsobení jalového výkonu

Jak již bylo zmíněno, jalový výkon výroby musí být od instalovaného výkonu 100kVA říditelný v uvedeném rozsahu. Hodnotu účinníku v předávacím místě výroby s DS určuje PDS. Při dodávce činného výkonu zadává nastavení jalového výkonu PDS buď pevnou hodnotou, nebo dálkově nastavitelnou žádanou hodnotou vyžaduje-li to provoz sítě. Žádaná hodnota je buď: [19]

- pevná hodnota zadaného účinníku $\cos \varphi$
- hodnota účinníku $\cos \varphi = f(P)$
- zadaná hodnota jalového výkonu
- zadaná hodnota napětí
- charakteristika $Q(U)$

4.5 Metody kompenzace

Jedním z nejpoužívanějších způsobů snižování ztrát při přenosu elektrické energie je paralelní kompenzace. Kapacitní jalový výkon správně dimenzovaných kondenzátorů kompenzuje induktivní výkon. Naopak induktivní jalový výkon tlumivek kompenzuje kapacitní výkon. V takovém případě se často používá pojem dekompenzace jalového výkonu. Tím dochází ke snižování jalového výkonu odebíraného ze zdroje. Nejobvyklejšími metodami kompenzace jalového výkonu jsou individuální, skupinová a centrální kompenzace. V praxi se můžeme setkat i s kombinovanou kompenzací, což představuje kombinaci zmíněných variant.

4.5.1 Individuální kompenzace

Kompenzační zařízení je připojeno přímo na svorky spotřebiče, a nebo v jeho blízkosti. Tím se odlehčí celé vedení od zdroje až ke spotřebiči. Dosahuje se tak nejvyšších úspor. Hospodárnost kompenzace však závisí na využití spotřebiče. Proto se s tímto způsobem kompenzace setkáme u stále provozovaných zátěží s konstantním výkonem. Příkladem těchto zátěží jsou asynchronní motory, transformátory, zářivky a výbojky. [20]

4.5.2 Skupinová kompenzace

V tomto případě je kompenzační zařízení připojeno na přípojnice v rozvaděči pro skupinu spotřebičů. Příkladem je kompenzace na hlavních rozvaděcích v průmyslových závodech. V případě této metody kompenzace dojde k odlehčení úseku vedení od tohoto rozvaděče

ke zdroji. Vlivem nesoudobosti provozu spotřebičů vychází kompenzační výkon menší než při individuální kompenzaci každého spotřebiče. Zároveň je však nutná regulace kompenzačního výkonu. [20]

4.5.3 Centrální kompenzace

Centrální kompenzace je typická pro rozsáhlé systémy s volitelnou zátěží. Obvykle bývá připojena v hlavní rozvodně závodu na přípojnicích vstupní trafostanice. Díky nesoudobosti spotřebičů opět klesá potřebný kompenzační výkon, který je také nutný regulovat. [20]

4.6 Kompenzace u FVE

Fotovoltaické elektrárny větších výkonů, ve smyslu zdroj k nadřazené DS, mají spíše kapacitní charakter. Pro pochopení vzniku kapacitního jalového výkonu u FVE můžeme využít následující přehled jednotlivých prvků, ze kterých se FVE skládá:

- Střídače – záleží na výrobcí a typu, ale ve většině případů se jedná o kapacitní zátěž. Jedná se tedy o kladný příspěvek k celkovému kapacitnímu výkonu elektrárny.
- NN vedení ze střídače na transformátor – nabíjecí proud, pro udržování kabelů pod napětím, způsobuje kapacitní charakter této zátěže. Významně se prosazuje v případě necentrálních střídačů. Jedná se tedy o kladný příspěvek k celkovému kapacitnímu výkonu elektrárny.
- Transformátor – z pohledu jalového výkonu se jedná o statickou induktivní zátěž, to znamená záporný příspěvek k celkovému kapacitnímu výkonu elektrárny.
- Individuální kompenzace transformátoru – je instalovaný kondenzátor, tudíž kapacitní statická zátěž. Jedná se tedy o kladný příspěvek k celkovému kapacitnímu výkonu.
- VN vedení 22kV od transformátorů k připojovacímu bodu do DS – nabíjecí proud způsobuje kapacitní charakter této zátěže. Jedná se tedy o kladný příspěvek k celkovému kapacitnímu výkonu výroby.

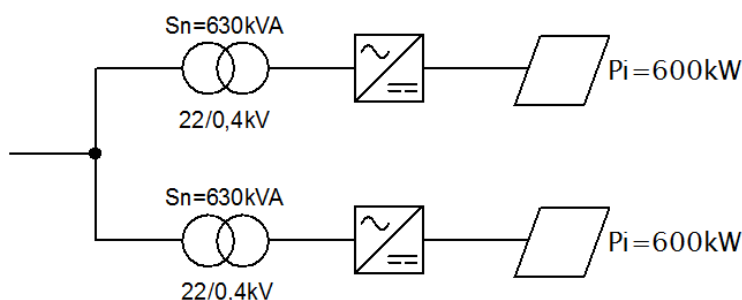
Je tedy zřejmé, že ve výrobně zásadně převládají kapacitní zátěže. Jedinou významnější induktivní zátěží jsou transformátory. I když se nabíjecí proudy kabelů a transformátorů pohybují jednotkách ampér, nelze je na hladině vn zanedbat. Při napětí 22kV každý 1A nabíjecího proudu znamená 38kVAr trojfázového jalového výkonu. [21]

5 Vlastní výpočet výkonových poměrů FVE

Jak jsem již zmínil, výkon dodávaný z FVE do místa připojení k DS musí být říditelný a mít požadovaný účinník. V následujících kapitolách mé diplomové práce se budu zabývat právě kompenzací jalového výkonu tak, aby bylo možno dosáhnout požadovaného účinníku v rámci třístupňové regulace při různé dodávce činného výkonu.

5.1 Popis situace

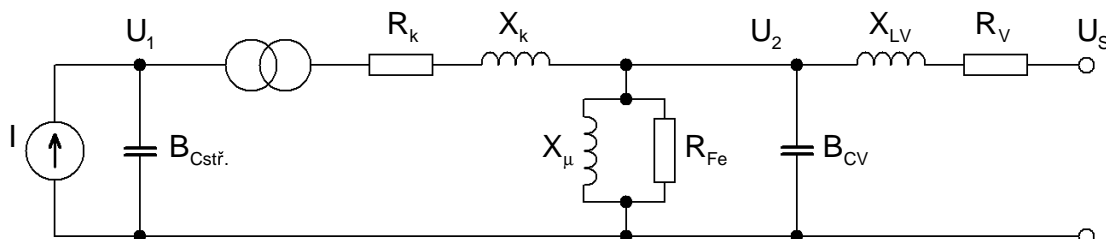
Konkrétní zadání podoby FVE připojené do DS jsem konzultoval s Ing. Žákem. Pro účely mé diplomové práce jsme zvolili zapojení FVE dle obrázku 5.1. Solární panely jsou pospojovány do dvou skupin o instalovaném výkonu 600kW. Každá skupina je přivedena do centrálního střídače, následně je připojena k distribučnímu transformátoru 22/0,4kV. Výkon z transformátorů je přiveden vn kabely do rozvodny, kde jsou oba bloky spojeny a FVE je připojena do DS. Parametry transformátorů a kabelů jsou uvedeny v příloze A.



Obr. 5.1: Zapojení řešené FVE.

5.2 Náhradní schéma FVE

Před samotnými výpočty jsem nejprve dle zadání nakreslil náhradní schéma (obr. 5.2). V tomto schématu jsem jednotlivé části FVE nahradil jejich parametry potřebnými k výpočtu. Po konzultaci s Ing. Žákem jsem zanedbal celé vedení nn mezi střídačem a transformátorem. Centrální střídač je tak připojen přímo k transformátoru. Vlastní spotřebu střídače jsem také zanedbal. Ta se mění dle aktuálního výkonu, ale nepřesáhne hodnotu 1500W (viz. příloha B). Dále předpokládám, že oba bloky jsou naprosto stejné.



Obr. 5.2: Náhradní schéma FVE.

Náhradní schéma tedy obsahuje proudový zdroj s paralelní kapacitou jako náhradu střídačů. Dále jsou v něm zobrazeny podélné a příčné parametry transformátorů a vn kabelů.

5.3 Postup výpočtu

Po konzultaci s Ing. Žákem jsem pro výpočty zvolil tabulkový editor MS Excel, který mi umožnil automatizovat veškeré výpočty. Soubor s výpočty je na příloženém CD. Nejprve jsem z katalogových údajů vypočítal náhradní parametry transformátorů a kabelů. Hodnoty těchto parametrů jsem přepočítal na stranu nízkého napětí, tj. 0,4kV. Jelikož se v katalogových listech střídačů neuvádí jejich kapacita pro výpočet do náhradního schématu, musel jsem si ji určit. Z grafu na obrázku 5.6 (str. 41) jsem odečetl, že v noci FVE dodává do sítě jalový výkon přibližně 30kVAr kapacitního charakteru. Dále je z daného grafu patrné, že při začátku dodávky činného výkonu skokově vzroste i dodávka kapacitního jalového výkonu. To je způsobeno zvýšením kapacity střídače. Po konzultaci s Ing. Žákem jsem jako výchozí bod, při nulové dodávce činného výkonu do sítě, zvolil kapacitní jalový výkon přibližně 35kVAr. Z tohoto výkonu jsem pak dopočetl přibližnou kapacitu střídače. V dalších kapitolách jsem čísloval pouze vztahy, na které se dále odkazují v textu.

5.3.1 Výpočet náhradních parametrů

Postup výpočtu náhradních parametrů transformátoru a kabelu je uveden v následujících rovnicích:

Výpočet náhradních parametrů transformátoru 22/0,4kV:

$$Z_k = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 0,06 \cdot \frac{400^2}{630000} = 0,015238 \Omega$$

$$R_k = \Delta P_k \cdot \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 = 6900 \cdot \left(\frac{400}{630000} \right)^2 = 0,002782 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{0,015238^2 - 0,002782^2} = 0,014982 \Omega$$

$$Y_p = \frac{i_{0\%}}{100} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} = 0,008 \cdot \frac{630000}{400^2} = 0,0315 \text{ S}$$

$$G_{Fe} = \frac{\Delta P_0}{U_n^2} = \frac{1650}{400^2} = 0,010313 \text{ S} \quad \rightarrow \quad R_{Fe} = \frac{1}{G_{Fe}} = \frac{1}{0,010313} = 96,965 \Omega$$

$$B_m = \sqrt{Y_p^2 - G_{Fe}^2} = \sqrt{0,0315^2 - 0,010313^2} = 0,029764 \text{ S} \quad \rightarrow \quad X_\mu = \frac{1}{B_m} = 33,598 \Omega$$

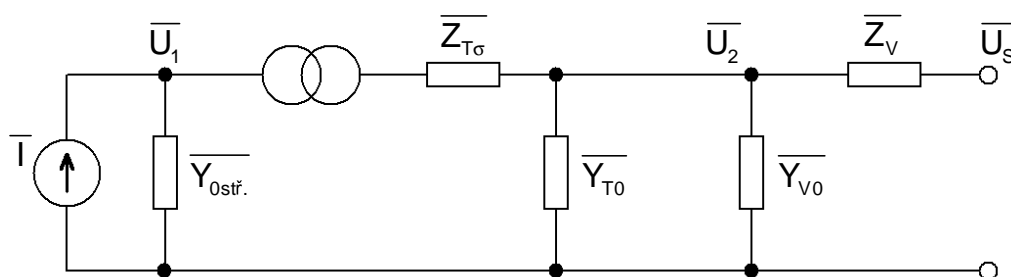
Výpočet náhradních parametrů vn kabelu:

$$R_V = R \cdot l \cdot \frac{1}{p^2} = 0,125 \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{55^2} = 4,132 \cdot 10^{-7} \Omega$$

$$X_{LV} = X_L \cdot l \cdot \frac{1}{p^2} = \omega \cdot L \cdot l \cdot \frac{1}{p^2} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,36 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{55^2} = 3,739 \cdot 10^{-7} \Omega$$

$$B_{CV} = B_C \cdot l \cdot p^2 = \omega \cdot C \cdot l \cdot p^2 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01 \cdot 55^2 = 2,851 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

Po tomto výpočtu parametrů prvků v náhradním schématu jsem pro další výpočty převedl parametry na komplexní impedance a admitance. Tomu odpovídá i upravené náhradní schéma na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Náhradní schéma s komplexními impedancemi a admitancemi.

$$\overline{Z}_{TG} = R_k + jX_k = 0,002782 + j0,014982 = 0,015239 \angle 79,48^\circ \Omega$$

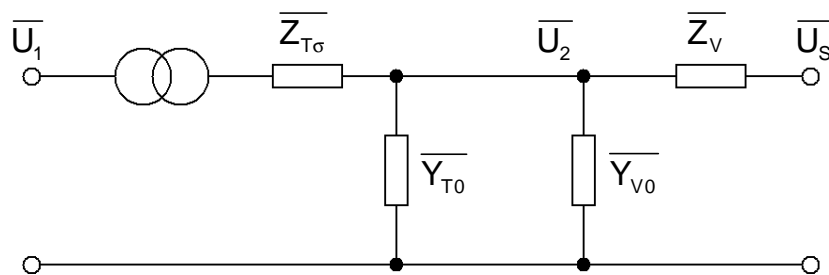
$$\overline{Y}_{T0} = G_{Fe} - jB_m = 0,010313 - j0,029764 = 0,0315 \angle -70,89^\circ \text{ S}$$

$$\overline{Z}_V = R_V + jX_{LV} = (4,132 + j3,739) \cdot 10^{-7} = 5,573 \cdot 10^{-7} \angle 42,14^\circ \Omega$$

$$\overline{Y}_{V0} = jB_{CV} = j2,851 \cdot 10^{-3} = 2,851 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ \text{ S}$$

5.3.2 Výpočet kapacity střídače

Jak jsem již zmínil, při určení kapacity střídače vycházím z grafu na obr. 5.6 (str. 41) a uvažuji noční provoz. Po konzultaci s Ing. Žákem jsem jako výchozí bod zvolil dodávku 35kVAr jalového kapacitního výkonu do sítě. Důvodem je zanedbání změny kapacity střídače při začátku dodávky činného výkonu do sítě. Vzhledem k nočnímu režimu, kdy střídač nedodává činný výkon do sítě, lze z náhradního schématu vyřadit proudový zdroj, který se nahradí rozpojenými svorkami. Stejným způsobem jsem nahradil i příčnou admitanci střídače, kterou dále vypočítám. Vlastní spotřebu střídače jsem zanedbal, jelikož v pohotovostním režimu se pohybuje v řádu desítek wattů (viz. příloha B). Výsledná podoba náhradního schématu je na obrázku 5.4



Obr. 5.4: Náhradní schéma pro výpočet kapacity střídače.

Ze známých parametrů v náhradním schématu jsem nejprve spočítal proud procházející podélnou impedancí kabelu a příčnými admitancemi kabelu a transformátoru.

$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{U}_s}{\bar{Z}_V + (\bar{Y}_{V0} + \bar{Y}_{T0})^{-1}}$$

Velikost síťového napětí je fázová a stejně jako parametry v náhradním schématu přepočítána na stranu nízkého napětí. Fázový úhel jsem zvolil 0° .

$$\bar{I}_0 = \frac{230,940108 \angle 0^\circ}{5,573 \cdot 10^{-7} \angle 42,14^\circ + (2,851 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ + 0,0315 \angle -70,89^\circ)^{-1}} = 6,656 \angle -69,03^\circ \text{ A}$$

Z tohoto proudu jsem dopočítal napětí na příčných admitancích (\bar{U}_2) a třífázový výkon vyvolaný proudem \bar{I}_0 :

$$\bar{U}_2 = \frac{\bar{I}_0}{\bar{Y}_{V0} + \bar{Y}_{T0}} = \frac{6,656 \angle -69,03^\circ}{2,851 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ + 0,0315 \angle -70,89^\circ}$$

$$\bar{U}_2 = 230,940104 + j1,678 \cdot 10^{-6} \approx 230,940104 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\bar{S}_0 = 3 \cdot \bar{U}_s \cdot \bar{I}_0^* = 3 \cdot 230,940108 \angle 0^\circ \cdot 6,656 \angle 69,03^\circ$$

$$\bar{S}_0 = 1650 + j4306,1 \text{ VA} \rightarrow \bar{S}_0 = P_0 + jQ_0$$

Reálná část vypočteného výkonu tvoří ztráty transformátoru naprázdno a zanedbatelný příspěvek činných ztrát na vedení. Imaginární část vypočteného výkonu představuje induktivní jalový výkon Q_0 odebíraný ze sítě. Jak jsem již zmínil, v nočním režimu FVE dodává do sítě zvolený kapacitní jalový výkon $Q_{0c} = -35 \text{ kVAr}$. Lze tedy snadno dopočítat kapacitní jalový výkon, který bude dán převážně kapacitou střídače. Z výsledného výkonu jsem pak spočítal proud admittance střídače a samotnou admittance střídače, ze které již nebyl problém určit přibližnou kapacitu střídače.

$$Q_C = Q_{0C} - Q_0 = -35000 - 4306,1 = -39306,1 \text{ kVAr}$$

$$\overline{I_{0stř.}} = \frac{-jQ_C}{3 \cdot \overline{U_2}^*} = \frac{39306,1 \angle 90^\circ}{3 \cdot 230,940104 \angle 0^\circ} = 56,733 \angle 90^\circ \text{ A}$$

$$\overline{Y_{0stř.}} = \frac{\overline{I_{0stř.}}}{\overline{U_2}} = \frac{56,733 \angle 90^\circ}{230,940104 \angle 0^\circ} = 0,245663 \angle 90^\circ \text{ S} \rightarrow B_{Cstř.} = 0,245663 \text{ S}$$

$$C_{stř.} = \frac{B_{Cstř.}}{\omega \cdot 10^{-6}} = \frac{0,245663}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 791,97 \text{ } \mu\text{F}$$

Nyní již známe všechny admitance a impedance v náhradním schématu na obr. 5.3, a tak již uvažují, že FVE dodává výkon do sítě. Jako další krok jsem vypočítal uzlová napětí.

5.3.3 Výpočet uzlových napětí

Pro řešení obvodu jsem zvolil metodu uzlových napětí. Jedná o uzly s napětím U_1 a U_2 (viz. obr. 5.3). Pro tyto uzly jsem následně sestavil rovnice dle I. Kirchhoffova zákona, ve kterých jsem proudy vyjádřil pomocí uzlových napětí a impedancí či admitancí v dané větvi. Soustava rovnic vypadá tedy takto:

$$\overline{I} - \overline{Y_{0stř.}} \cdot \overline{U_1} - \frac{\overline{U_1} - \overline{U_2}}{\overline{Z_{T\sigma}}} = 0 \quad (5-1)$$

$$\frac{\overline{U_1} - \overline{U_2}}{\overline{Z_{T\sigma}}} - \overline{Y_{T0}} \cdot \overline{U_2} - \overline{Y_{V0}} \cdot \overline{U_2} - \frac{\overline{U_2} - \overline{U_s}}{\overline{Z_V}} = 0 \quad (5-2)$$

Tyto rovnice jsem dále upravil do podoby:

$$\overline{U_1} \cdot \left(\overline{Y_{0stř.}} + \frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} \right) - \overline{U_2} \cdot \frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} = \overline{I}$$

$$\overline{U_1} \cdot \frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} - \overline{U_2} \cdot \left(\frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} + \overline{Y_{T0}} + \overline{Y_{V0}} + \frac{1}{\overline{Z_V}} \right) = -\frac{\overline{U_s}}{\overline{Z_V}}$$

Pro zjednodušení řešení této soustavy jsem si zavedl substituci, kterou jsem nahradil admitance v závorkách a pravou stranu druhé rovnice. Soustava a její řešení s touto substitucí vypadá následovně:

$$\overline{A} \cdot \overline{U_1} - \overline{B} \cdot \overline{U_2} = \overline{I} \quad (5-3)$$

$$\overline{B} \cdot \overline{U_1} - \overline{C} \cdot \overline{U_2} = \overline{D} \quad (5-4)$$

Z rovnice 5-4 jsem si vyjádřil napětí $\overline{U_1}$, které jsem následně dosadil do rovnice 5-3. Po úpravách pro napětí $\overline{U_1}$ a $\overline{U_2}$ platí následující vztahy.

$$\overline{U_1} = \frac{\overline{D} + \overline{C} \cdot \overline{U_2}}{\overline{B}} \quad (5-5)$$

$$\overline{U_2} = \frac{\overline{I} \cdot \overline{B} - \overline{A} \cdot \overline{D}}{\overline{A} \cdot \overline{C} - \overline{B}^2} \quad (5-6)$$

Výpočet substituce:

$$\overline{A} = \overline{Y_{0stř.}} + \frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} = 0,245663 \angle 90^\circ + \frac{1}{0,015239 \angle 79,48^\circ} = 65,383 \angle -79,44^\circ \text{ S} \quad (5-7)$$

$$\overline{B} = \frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} = \frac{1}{0,015239 \angle 79,48^\circ} = 65,625 \angle -79,48^\circ \text{ S} \quad (5-8)$$

$$\overline{C} = \frac{1}{\overline{Z_{T\sigma}}} + \overline{Y_{r0}} + \overline{Y_{v0}} + \frac{1}{\overline{Z_v}} \quad (5-9)$$

$$\overline{C} = 65,625 \angle -79,48^\circ + 0,0315 \angle -70,89^\circ + 2,851 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ + \frac{1}{5,573 \cdot 10^{-7} \angle 42,14^\circ}$$

$$\overline{C} = 1794553,804 \angle -42,14^\circ \text{ S}$$

$$\overline{D} = -\frac{\overline{U_s}}{\overline{Z_v}} = -\frac{230,940108 \angle 0^\circ}{5,573 \cdot 10^{-7} \angle 42,14^\circ} = 414422393,906 \angle 137,86^\circ \quad (5-10)$$

Výsledné hodnoty obou napětí závisí na velikosti proudu, který je dodáván střídačem do obvodu. Ten se mění s denní dobou a podle klimatických podmínek. Výpočet je tedy řešen pomocí Excelu, kde jsem nejprve zvolil několik hodnot dodávaných výkonů v kilowattech. Z výkonů jsem následně dopočítal proud, který je ve fázi se síťovým napětím. Pro maximální výkon FVE vypadá výpočet následovně:

$$I = \frac{P}{3 \cdot U_s} = \frac{1200000}{3 \cdot 230,940108} = 1732,051 \text{ A} \rightarrow \overline{I} = 1732,051 \angle 0^\circ \text{ A} \quad (5-11)$$

Dosazením proudů dle rovnice 5-11 a substituce do rovnic 5-5 a 5-6 jsem získal hodnoty napětí uvedené v tabulce č.1.

P [kW]	I [A]	U ₁ [V]	U ₂ [V]
0	0	231,793141-0,158997j	230,940125-2,186687E-005j
180	259,808	232,521268+3,747436j	230,940233+7,555370E-005j
360	519,615	233,249395+7,653871j	230,940341+1,729742E-004j
500	721,688	233,815716+10,692208j	230,940425+2,487458E-004j
600	866,025	234,220231+12,862449j	230,940485+3,028683E-004j
720	1039,230	234,705648+15,466739j	230,940556+3,678154E-004j
900	1299,038	235,433775+19,373173j	230,940664+4,652360E-004j
1200	1732,051	236,647320+25,883897j	230,940844+6,276036E-004j

Tab. č. 1: Výsledná uzlová napětí v závislosti na dodávaném výkonu.

Z výsledných hodnot v této tabulce je patrné, že napětí U_1 roste se zvyšujícím se dodávaným proudem. Hodnota napětí U_2 se proti tomu téměř nemění.

5.3.4 Výpočet větvových proudů a ztrát

Ze známých napětí jsem vypočítal proudy a ztrátové výkony v jednotlivých větvích v náhradním schématu pro všechny zvolené dodávané proudy. Vztahy pro tyto proudy jsou již použity v rovnicích 5-1 a 5-2. Při maximálním výkonu vycházejí tyto proudy následovně:

$$\overline{I_{0stř.}} = \overline{U_1} \cdot \overline{Y_{0stř.}} = (236,64732 + j25,883897) \cdot 0,245663 \angle 90^\circ$$

$$\overline{I_{0stř.}} = -6,358919 + j58,135519 = 58,482257 \angle 96,24^\circ \text{ A}$$

$$\overline{I_{T\sigma}} = \frac{\overline{U_1} - \overline{U_2}}{\overline{Z_{T\sigma}}} = \frac{(236,64732 + j25,883897) - (230,940844 + 6,276036 \cdot 10^{-4})}{0,015239 \angle 79,48^\circ}$$

$$\overline{I_{T\sigma}} = 1738,409526 - j58,135519 = 1739,381332 \angle -1,92^\circ \text{ A}$$

$$\overline{I_{TV0}} = \overline{I_{T0}} + \overline{I_{V0}} = \overline{U_2} \cdot (\overline{Y_{T0}} + \overline{Y_{V0}})$$

$$\overline{I_{V0}} = (230,940844 + j6,276036 \cdot 10^{-4}) \cdot (0,0315 \angle -90^\circ + 2,851 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ)$$

$$\overline{I_{V0}} = 2,381594 - j6,215331 = 6,656 \angle -69,03^\circ \text{ A}$$

$$\overline{I_V} = \frac{\overline{U_2} - \overline{U_s}}{\overline{Z_V}} = \frac{(230,940844 + 6,276036 \cdot 10^{-4}) - 230,940108 \angle 0^\circ}{5,573 \cdot 10^{-7} \angle 42,14^\circ}$$

$$\overline{I_V} = 1736,02793 - j51,920187 = 1736,804157 \angle -1,71^\circ \text{ A}$$

Výsledné hodnoty těchto větvových proudů pro ostatní zvolené dodávané proudy jsem počítal stejným postupem. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č.2. V příloze C jsou uvedeny ve složkovém tvaru komplexního čísla.

P [kW]	I [A]	I _{ostř.} [A]		I _{Tσ} [A]		I _{TV0} [A]		I _V [A]	
		abs.	úhel [°]	abs.	úhel [°]	abs.	úhel [°]	abs.	úhel [°]
0	0	56,943	89,96	56,943	-90,04	6,656	-69,03	50,785	-92,73
180	259,808	57,129	90,92	266,912	-12,36	6,656	-69,03	263,314	-11,15
360	519,615	57,332	91,88	524,634	-6,27	6,656	-69,03	521,622	-5,62
500	721,688	57,500	92,62	726,589	-4,53	6,656	-69,03	723,748	-4,06
600	866,025	57,626	93,14	871,088	-3,79	6,656	-69,03	868,322	-3,39
720	1039,230	57,784	93,77	1044,623	-3,16	6,656	-69,03	1041,919	-2,83
900	1299,038	58,033	94,70	1305,080	-2,54	6,656	-69,03	1302,439	-2,27
1200	1732,051	58,482	96,24	1739,381	-1,92	6,656	-69,03	1736,804	-1,71

Tab. č.2: Výsledné větvové proudy v závislosti na dodávaném výkonu.

Tyto proudy způsobují ztráty v daných větvích, které jsem spočítal dle vztahu 5-12. Jelikož se jedná proudy v jedné fázi, budou i takto vypočítané ztráty jednofázové.

$$\overline{\Delta S} = \overline{U} \cdot \overline{I}^* = \overline{Z} \cdot \overline{I} \cdot \overline{I}^* = \frac{\overline{I} \cdot \overline{I}^*}{\overline{Y}} = \overline{Z} \cdot I^2 = \frac{I^2}{\overline{Y}} \quad (5-12)$$

Dosažením impedancí či admitancí a příslušných proudů do vztahu 5-12 pro maximální výkon střídače 1200kW jsem získal následující hodnoty:

$$\overline{\Delta S}_{0stř.} = \frac{I_{0stř.}^2}{\overline{Y}_{0stř.}} = \frac{58,482^2}{0,245663 \angle 90^\circ} = -j13922,203267 \text{ VA}$$

$$\overline{\Delta S}_{T\sigma} = \overline{Z}_{T\sigma} \cdot I_{T\sigma}^2 = 0,015239 \angle 79,48^\circ \cdot 1739,381^2 = 8415,454646 + j45327,471581 \text{ VA}$$

$$\overline{\Delta S}_{TV0} = \frac{I_{TV0}^2}{\overline{Y}_{T0} + \overline{Y}_{V0}} = \frac{6,656^2}{0,0315 \angle -70,89^\circ + 2,851 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ}$$

$$\overline{\Delta S}_{TV0} = 550,003509 + j1435,375364 \text{ VA}$$

$$\overline{\Delta S}_V = \overline{Z}_V \cdot I_V^2 = 5,573 \cdot 10^{-7} \angle 42,148^\circ \cdot 1736,804^2 = 1,246483 + j1,127791 \text{ VA}$$

Výsledné hodnoty představují větvové ztráty na jedné fázi. Celkové třífázové ztráty jsou tedy součet těchto dílčích ztrát vynásobený třemi dle vztahu 5-13.

$$\overline{\Delta S} = 3 \cdot (\overline{\Delta S}_{0stř.} + \overline{\Delta S}_{T\sigma} + \overline{\Delta S}_{TV0} + \overline{\Delta S}_V) = 26900,113914 + j98525,314405 \text{ VA} \quad (5-13)$$

V tabulce č.3 jsou celkové třífázové ztráty při různém dodávaném výkonu. V příloze D jsou pak uvedeny fázové ztráty na jednotlivých prvcích náhradního schématu.

P [kW]	I [A]	$\Delta S_{\text{celk.3f}}$ [VA]
0	0	1677,061132-35145,186916j
180	259,808	2244,579812-32348,275149j
360	519,615	3947,135883-23461,835047j
500	721,688	6056,063349-12340,115229j
600	866,025	7982,824310-2140,648889j
720	1039,230	10757,360109+12579,629713j
900	1299,038	15865,028353+39734,654835j
1200	1732,051	26900,113914+98525,314405j

Tab. č.3: Celkové třífázové ztráty v závislosti na dodávaném výkonu.

5.3.5 Výpočet dodávaného výkonu

Jak jsem již zmínil, střídač dodává proud ve fázi s napětím v síti, tj. s účinníkem $\cos \varphi = 1$. Proto můžu říci, že činný výkon dodávaný ze střídače je rovný zdánlivému ($P_{\text{stř.}} = S_{\text{stř.}}$). Tento výkon je třífázový. Výsledný dodávaný výkon z FVE do sítě bude tedy rovný rozdílu výkonu dodávaného střídačem a celkových ztrát, které jsem spočítal dle vztahu 5-13.

$$\bar{S} = \bar{S}_{\text{stř.}} - \bar{\Delta S} = 1200000 - (26900,113914 + j98525,314405) \quad (5-14)$$

$$\bar{S} = 1173099,886086 - j98525,314405 \text{ VA} \rightarrow \bar{S} = 1173,1 - j98,525 \text{ kVA}$$

Zdánlivý výkon v komplexním tvaru můžeme rozložit na reálnou a imaginární část dle vztahu 5-15. Reálná část představuje činný výkon, imaginární část představuje jalový výkon.

$$\bar{S} = P + jQ \quad (5-15)$$

Při spotřebičové orientaci se jedná o velikost dodávaného činného (P) a jalového (Q) výkonu ze sítě do spotřebiče. Přičemž kladná hodnota představuje spotřebu činného a jalového induktivního výkonu. Naopak záporná hodnota představuje dodávku činného a jalového kapacitního výkonu ze spotřebiče do sítě. Výsledný výkon, který jsem spočítal podle vztahu 5-14 má však zdrojovou orientaci, to znamená opačná znaménka. V příloze č.4 k PPDS je doporučeno používat jednotně spotřebičovou orientaci, a tak jsem výsledný dodávaný výkon z FVE do sítě ze vztahu 5-14 převedl do spotřebičové orientace. To znamená obrácení znamének. Spočtený výkon pro maximální výkon FVE ve spotřebičové orientaci pak vypadá následovně:

$$\bar{S} = -1173,1 + j98,525 \text{ kVA}$$

Výsledkem tedy je, že při maximálním výkonu střídačů bude FVE dodávat do sítě činný výkon 1173,1kW a odebírat ze sítě jalový induktivní výkon 98,525kVAr. Činné ztráty v tomto případě budou dle vztahu 5-13 činit $\Delta P = 26,9 \text{ kW}$.

Dalším důležitým faktorem je, jaký účinník $\cos \varphi$ má dodávaný výkon. Ten je dán jako podíl činného a zdánlivého výkonu (rovnice 5-16).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (5-16)$$

Velikost zdánlivého výkonu S je dána velikostí fázoru komplexního výkonu ze vztahu 5-15.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1173,1^2 + 98,525^2} = 1177,23 \text{ kVA}$$

Výsledný účinník pro tento výkon tedy bude:

$$\cos \varphi = \frac{-1173,1}{1177,23} = -0,996492$$

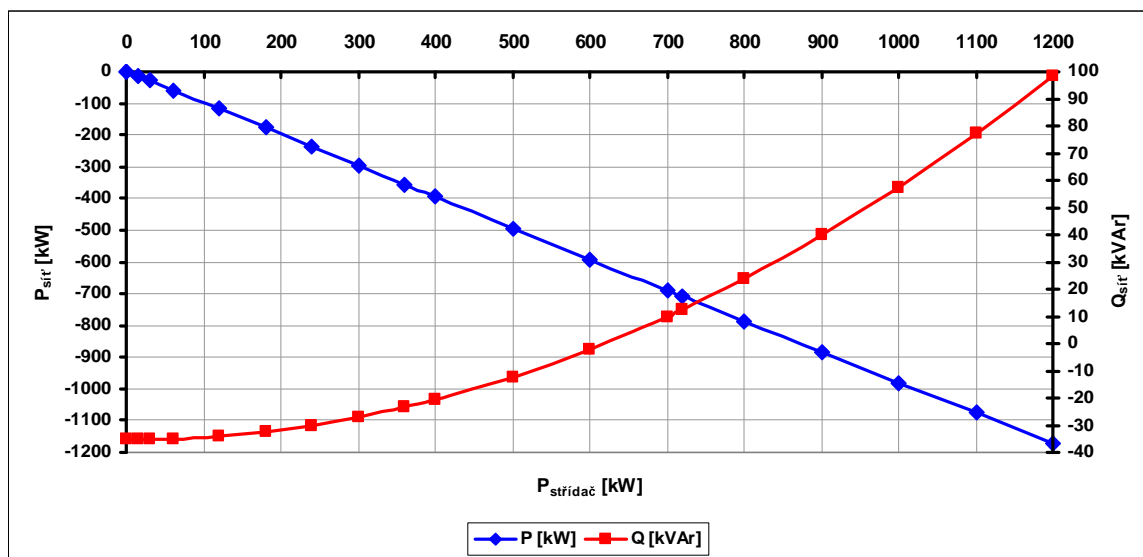
V tabulce č.4 jsou výsledky pro menší výkony dodávané střídači. V příloze E je tato tabulka s více hodnotami, ze kterých jsem vytvořil graf na obrázku 5.5.

P [kW]	I [A]	S [kVA]	S [kVA]	P [kW]	Q [kVAr]	cos φ	ΔP [kW]
0	0	1,677-35,145j	35,185	1,677	-35,145	0,047664	1,677
30	43,301	-28,307-35,102j	45,094	-28,307	-35,102	-0,627741	1,693
60	86,603	-58,259-34,889j	67,908	-58,260	-34,889	-0,857924	1,740
120	173,205	-118,071-33,957j	122,857	-118,071	-33,957	-0,961044	1,929
180	259,808	-177,755-32,348j	180,675	-177,755	-32,348	-0,983842	2,245
360	519,615	-356,053-23,462j	356,825	-356,053	-23,462	-0,997836	3,947
500	721,688	-493,944-12,340j	494,098	-493,944	-12,340	-0,999688	6,056
600	866,025	-592,017-2,141j	592,021	-592,017	-2,141	-0,999993	7,983
720	1039,230	-709,243+12,579j	709,354	-709,243	12,580	-0,999843	10,757
900	1299,038	-884,135+39,735j	885,027	-884,135	39,735	-0,998992	15,865
1200	1732,051	-1173,100+98,525j	1177,230	-1173,100	98,525	-0,996492	26,900

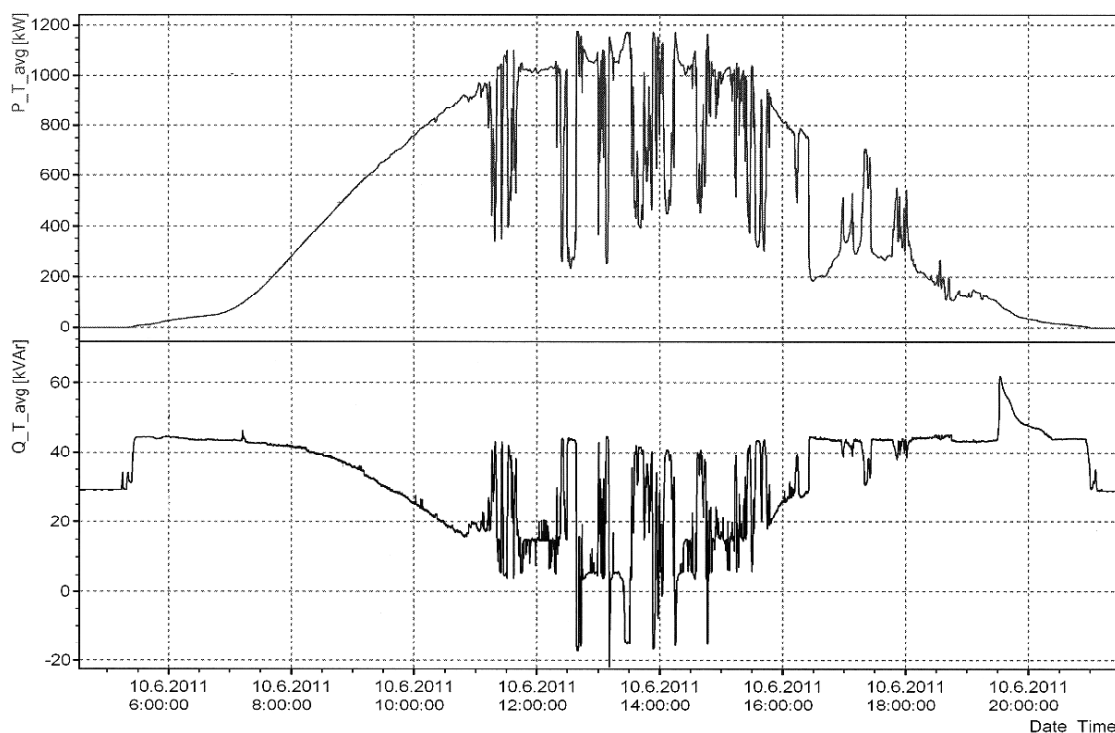
Tab. č.4: Výsledné dodávané výkony z FVE do sítě ve spotřebičové orientaci.

Z výsledků v tabulce č.4 a grafu na obrázku 5.5 je zřejmé, že při malých výkonech se FVE vůči síti chová jako zdroj jalové energie kapacitního charakteru. To je způsobeno převážně vnitřní kapacitou střídače. Dalším příspěvkem k tomuto kapacitnímu jalovému výkonu je nabíjecí výkon vn kabelu. S rostoucím výkonem se však zvyšuje podíl induktivního jalového výkonu, který přibližně při 600kW vyrovná kapacitní výkon. Při dalším zvyšování výkonu střídače pak zcela převládá induktivní jalový výkon. FVE se vůči síti pak chová jako

spotřebič jalového výkonu. Největší podíl na tomto výkonu má induktivní jalový výkon na podélné reaktanci transformátoru, tj. jalový výkon vytvářející rozptylový magnetický tok.



Obr. 5.5: Závislost dodávaného výkonu do sítě na výkonu střídače.



Obr. 5.6: Naměřené hodnoty z FVE během dne.

Získané průběhy lze částečně provnat s průběhy v grafech na obrázku 5.6, kde jsou naměřené hodnoty na skutečné FVE dne 12.4.2012. Tyto grafy jsem získal od Ing. Žáka. Horní graf znázorňuje okamžitý činný výkon dodávaný do sítě během dne. Je zde patrný vliv

proměnlivé oblačnosti. Spodní graf zobrazuje dodávaný kompenzační výkon pro kompenzaci na $\cos \varphi = 1$, který je nejprve induktivního charakteru a po té přechází do kapacitního charakteru. Zde jsou patrné změny potřeby kompenzačního výkonu při změnách činného výkonu vlivem proměnlivé oblačnosti. Odmyslím-li si změny oblačnosti, mohu říci, že si průběhy odpovídají. Rozdíl v jalové složce může být dán zvolením jiného transformátoru a skutečným chováním střídače, které nemuselo být ve výpočtech zcela zahrnuto.

5.3.6 Výpočet kompenzačních výkonů

Jak jsem se již zmínil v kapitole 4.4, dle novely energetického zákona č.211/2011 Sb. a pravidel PPDS, FVE musí být schopna dodávat výkon s účinnkem 0,95 – 0,97 – 1 pro odběr jalového výkonu a 1 – 0,97 – 0,95 pro dodávku jalového výkonu. Pro dosažení těchto hodnot účinnku je potřeba připojit kompenzační zařízení, které bude schopno dodat potřebný jalový výkon. Připojením kompenzačního zařízení dochází ke změně pouze jalové složky celkového výkonu. Z toho plyne, že činná složka bude stále stejná. Ze vztahu 5-16 tedy mohu vyjádřit zdánlivý výkon po kompenzaci, pro který platí:

$$S_k = \frac{P}{\cos \varphi_k} \quad (5-17)$$

kde $\cos \varphi_k$ je požadovaný účinník. Pro jalový výkon po kompenzaci pak platí:

$$Q_k = \sqrt{S_k^2 - P^2} \quad (5-18)$$

S ohledem na zachování znamének, kdy mínus znamená kapacitní jalový výkon a plus znamená induktivní jalový výkon, jsem potřebný kompenzační výkon $Q_{komp.}$ pro daný účinník počítal dle vztahu:

$$Q_{komp.} = Q_k - Q \quad (5-19)$$

kde Q_k je jalový výkon po kompenzaci spočtený dle vztahu 5-18 a Q je původní jalový výkon bez kompenzace.

Jako první jsem počítal potřebné kompenzační výkony pro kompenzaci na $\cos \varphi = 1$, to znamená úplné vykompenzování jalové složky celkového výkonu. Jednoduše mohu říci, že je třeba dodat kompenzační výkon o stejné velikosti, jako jalový výkon před kompenzací, akorát v opačném charakteru. Toto jsem si ověřil výpočty dle vztahů 5-17, 5-18 a 5-19.

$$S_{k1} = \frac{P}{1} = P$$

$$Q_{k1} = \sqrt{S_{k1}^2 - P^2} = \sqrt{P^2 - P^2} = 0$$

$$Q_{komp.1} = Q_{k1} - Q = 0 - Q = -Q$$

P [kW]	I [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S _k [kVA]	Q _k [kVAr]	Q _{komp.} [kVAr]
0	0	1,677	-35,145	1,677	0,000	35,145
180	259,808	-177,755	-32,348	-177,755	0,000	32,348
360	519,615	-356,053	-23,462	-356,053	0,000	23,462
500	721,688	-493,944	-12,340	-493,944	0,000	12,340
600	866,025	-592,017	-2,141	-592,017	0,000	2,141
720	1039,230	-709,243	12,580	-709,243	0,000	-12,580
900	1299,038	-884,135	39,735	-884,135	0,000	-39,735
1200	1732,051	-1173,100	98,525	-1173,100	0,000	-98,525

Tab. č.5 Výsledné kompenzační výkony pro $\cos \varphi = 1$.

Pro ostatní účinníky platí stejný postup. Jediný rozdíl je v tom, že zde po kompenzaci zůstane určitý jalový výkon. V případě odběru jalového výkonu ze sítě (kladný účinník) se bude jednat o induktivní jalový výkon a naopak v případě dodávky jalového výkonu do sítě (záporný účinník) se bude jednat o kapacitní jalový výkon. Při kompenzaci na účinník $\cos \varphi = 0,95$ pro noční režim a maximální dodávaný výkon pak platí:

$$S_{k(+0,95)} = \frac{P}{0,95} = \frac{1,677}{0,95} = 1,765 \text{ kVA}$$

$$Q_{k(+0,95)} = \sqrt{S_{k(+0,95)}^2 - P^2} = \sqrt{1,765^2 - 1,677^2} = 0,551 \text{ kVAr}$$

$$Q_{komp.(+0,95)} = Q_{k(+0,95)} - Q = 0,551 - (-35,145) = 35,696 \text{ kVAr}$$

$$S_{k(+0,95)} = \frac{P}{0,95} = \frac{-1173,1}{0,95} = -1234,842 \text{ kVA}$$

$$Q_{k(+0,95)} = \sqrt{S_{k(+0,95)}^2 - P^2} = \sqrt{1234,842^2 - 1173,1^2} = 385,579 \text{ kVAr}$$

$$Q_{komp.(+0,95)} = Q_{k(+0,95)} - Q = 385,579 - 98,525 = 287,054 \text{ kVAr}$$

Při nočním režimu musí kompenzační zařízení dodat 35,696kVAr induktivního jalového výkonu, aby bylo dosaženo účinníku $\cos \varphi = 0,95$. Po té bude FVE odebírat ze sítě induktivní jalový výkon 0,551kVAr. Při maximálním výkonu je při dané hodnotě účinníku požadován odběr induktivní jalového výkonu 385,579kVAr. Bez kompenzace FVE odebírá pouze 98,525kVAr. Proto je nutné dodat kompenzační výkon 287,054kVAr induktivního jalového

výkonu. Zároveň se jedná o maximální induktivní výkon, který bude muset kompenzační zařízení dodat. Při kompenzaci na $\cos \varphi = 0,97$ budou potřebné kompenzační výkony menší, neboť bude požadavek na odběr menšího induktivního jalového výkonu. V tabulkách č.6 a č.7 je přehled kompenzačních výkonů pro $\cos \varphi = 0,95$ a pro $\cos \varphi = 0,97$.

P [kW]	I [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S _k [kVA]	Q _k [kVAr]	Q _{komp.} [kVAr]
0	0	1,677	-35,145	1,765	0,551	35,696
180	259,808	-177,755	-32,348	-187,111	58,425	90,774
360	519,615	-356,053	-23,462	-374,792	117,029	140,491
500	721,688	-493,944	-12,340	-519,941	162,352	174,692
600	866,025	-592,017	-2,141	-623,176	194,587	196,727
720	1039,230	-709,243	12,580	-746,571	233,117	220,537
900	1299,038	-884,135	39,735	-930,668	290,601	250,866
1200	1732,051	-1173,100	98,525	-1234,842	385,579	287,054

Tab. č.6 Výsledné kompenzační výkony pro $\cos \varphi = 0,95$.

P [kW]	I [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S _k [kVA]	Q _k [kVAr]	Q _{komp.} [kVAr]
0	0	1,677	-35,145	1,729	0,420	35,565
180	259,808	-177,755	-32,348	-183,253	44,550	76,898
360	519,615	-356,053	-23,462	-367,065	89,235	112,697
500	721,688	-493,944	-12,340	-509,221	123,794	136,134
600	866,025	-592,017	-2,141	-610,327	148,373	150,514
720	1039,230	-709,243	12,580	-731,178	177,753	165,173
900	1299,038	-884,135	39,735	-911,479	221,585	181,850
1200	1732,051	-1173,100	98,525	-1209,381	294,007	195,481

Tab. č.7 Výsledné kompenzační výkony pro $\cos \varphi = 0,97$.

Jako další jsem spočítal kompenzační výkon pro dosažení kapacitních účinníků. I v tomto případě platí vztahy 5-17, 5-18 a 5-19. Pro zachování znamének na rozlišení induktivního a kapacitního jalového výkonu jsem upravil vztah 5-18. Jelikož nyní je požadavek na dodávku kapacitního jalového výkonu, musel jsem obrátit znaménko výsledného jalového výkonu po kompenzaci (Q_k). Pak tedy platí:

$$Q_k = -\sqrt{S_k^2 - P^2} \quad 5-18$$

Při kompenzaci na účinník $\cos \varphi = -0,95$ pro noční režim a maximální dodávaný výkon platí:

$$S_{k(-0,95)} = \frac{P}{-0,95} = \frac{1,677}{-0,95} = -1,765 \text{ kVA}$$

$$Q_{k(-0,95)} = -\sqrt{S_{k(-0,95)}^2 - P^2} = \sqrt{1,765^2 - 1,677^2} = -0,551 \text{ kVAr}$$

$$Q_{komp.(-0,95)} = Q_{k(-0,95)} - Q = -0,551 - (-35,145) = 34,594 \text{ kVAr}$$

$$S_{k(-0,95)} = \frac{P}{-0,95} = \frac{-1173,1}{-0,95} = 1234,842 \text{ kVA}$$

$$Q_{k(-0,95)} = -\sqrt{S_{k(-0,95)}^2 - P^2} = \sqrt{1234,842^2 - 1173,1^2} = -385,579 \text{ kVAr}$$

$$Q_{komp.(-0,95)} = Q_{k(-0,95)} - Q = -385,579 - 98,525 = -484,104 \text{ kVAr}$$

Z výsledků je patrné, že pro dosažení kapacitního účinníku $\cos \varphi = -0,95$ při nočním režimu je nutno dodat kompenzačním zařízením 34,594kVAr induktivního charakteru. Při maximálním dodávaném výkonu je pak zapotřebí kapacitní kompenzační výkon 484,104kVAr. V tabulkách č.8 a č.9 je přehled kompenzačních výkonů pro kapacitní účinníky $\cos \varphi = -0,95$ a $\cos \varphi = -0,97$.

P [kW]	I [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S _k [kVA]	Q _k [kVAr]	Q _{komp.} [kVAr]
0	0	1,677	-35,145	-1,765	-0,551	34,594
180	259,808	-177,755	-32,348	187,111	-58,425	-26,077
360	519,615	-356,053	-23,462	374,792	-117,029	-93,567
500	721,688	-493,944	-12,340	519,941	-162,352	-150,011
600	866,025	-592,017	-2,141	623,176	-194,587	-192,446
720	1039,230	-709,243	12,580	746,571	-233,117	-245,696
900	1299,038	-884,135	39,735	930,668	-290,601	-330,336
1200	1732,051	-1173,100	98,525	1234,842	-385,579	-484,105

Tab. č.8 Výsledné kompenzační výkony pro $\cos \varphi = -0,95$.

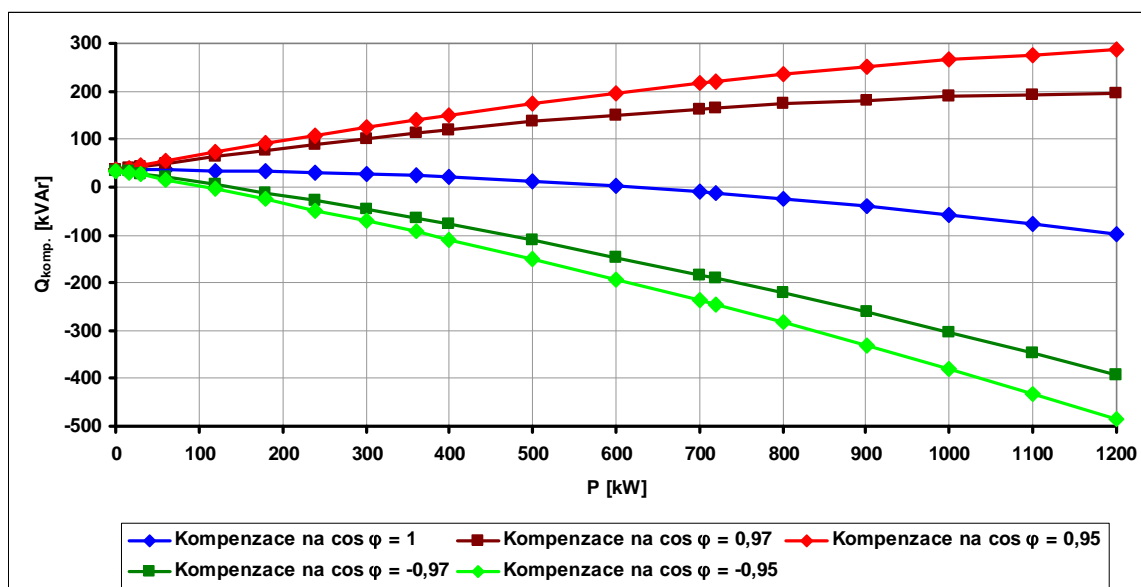
P [kW]	I [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S _k [kVA]	Q _k [kVAr]	Q _{komp.} [kVAr]
0	0	1,677	-35,145	-1,729	-0,420	34,725
180	259,808	-177,755	-32,348	183,253	-44,550	-12,201
360	519,615	-356,053	-23,462	367,065	-89,235	-65,773
500	721,688	-493,944	-12,340	509,221	-123,794	-111,454
600	866,025	-592,017	-2,141	610,327	-148,373	-146,233
720	1039,230	-709,243	12,580	731,178	-177,753	-190,333
900	1299,038	-884,135	39,735	911,479	-221,585	-261,320
1200	1732,051	-1173,100	98,525	1209,381	-294,007	-392,532

Tab. č.9 Výsledné kompenzační výkony pro $\cos \varphi = -0,97$.

Pro větší přehlednost jsou v tabulce č.10 uvedeny kompenzační výkony pro všechny požadované účinníky pohromadě. Celkový kompenzační rozsah je tedy 484,105kVAr kapacitního kompenzačního výkonu až 287,054kVAr induktivního dekompenzačního výkonu.

P [kW]	Q [kVAr]	Q _{komp.} [kVAr]				
		cos φ = 0,95	cos φ = 0,97	cos φ = 1	cos φ = -0,97	cos φ = -0,95
0	-35,145	35,696	35,565	35,145	34,725	34,594
60	-34,889	54,039	49,491	34,889	20,288	15,740
120	-33,957	72,765	63,549	33,957	4,366	-4,851
180	-32,348	90,774	76,898	32,348	-12,201	-26,077
360	-23,462	140,491	112,697	23,462	-65,773	-93,567
500	-12,340	174,492	136,134	12,340	-111,454	-150,011
600	-2,141	196,727	150,514	2,141	-146,233	-192,446
720	12,580	220,537	165,173	-12,580	-190,333	-245,096
900	39,735	250,866	181,850	-39,735	-261,320	-330,336
1200	98,525	287,054	195,481	-98,525	-392,532	-484,105

Tab. č.10 Celkový přehled kompenzačních výkonů.



Obr. 5.7: Závislost kompenzačního výkonu pro daný účinník na dodávaném výkonu.

5.4 Návrh způsobu kompenzace

Dnes existuje několik způsobů kompenzace jalového výkonu. Stále nejrozšířenějším způsobem je použití kompenzačních rozvaděčů, které obsahují kondenzátory v několika stupních. Tyto rozvaděče jsou doplněny o dekompenzační tlumivky. Dalším způsobem kompenzace je použití statických synchronních kompenzátorů jalového výkonu. Zástupcem

takového zařízení je například STATCOM od společnosti ABB či STELCOM od společnosti ELCOM, a.s. Obě tyto zařízení fungují na stejném principu. STATCOM je ale konstruován pro kompenzaci na vn, zatímco STELCOM je konstruován na nízké napětí.

Mé návrhy se zabývají pouze kompenzací na straně nízkého napětí. Důvodem je potřeba velké dynamiky regulace jalového výkonu u FVE, která při kompenzaci na straně vysokého napětí není příliš dostatečná. Jelikož FVE řešena v mé diplomové práci je rozdělena na dva stejné bloky, uvažuji pro každý blok stejné výkonové poměry. Pro každý blok tedy bude potřeba polovina celkového kompenzačního výkonu z tabulky č.10.

5.4.1 Kompenzace pomocí kondenzátorů a tlumivek

Jak jsem již zmínil, jedná se stále o nejpoužívanější způsob kompenzace. Kompenzační spolu s dekompenzačním rozvaděčem jsou připojeny paralelně ke střídačům. Jednotlivé stupně jsou pak připojovány stykači podle potřeby. Spínání je řízeno automaticky pomocí regulátoru jalového výkonu. Modernější kompenzační rozvaděče mohou jednotlivé stupně připojovat i bezkontaktně. To znamená pomocí výkonové elektroniky.

Při návrhu jsem vycházel z nabídky kompenzačních rozvaděčů a dekompenzačních tlumivek firmy KBH Energy, s.r.o. Ta nabízí několik řad kompenzačních rozvaděčů. Já jsem zvolil rozvaděče KBH RK CHR, které obsahují v sérii s kondenzátorem tlumivku tvořící rezonanční obvod naladěný na frekvenci 189Hz nebo 134Hz. Tento obvod pak účinně hradí nejčastěji se vyskytující harmonické frekvence. Tlumivky dále omezují přechodový jev vznikající při sepnutí stykače. Dále nabízí tlumivky ve výrobní řadě s výkony 2 až 60kVAr se ztrátami 72 až 900W. Při tom platí, že čím je výkon tlumivky větší, tím má menší ztráty na 1kVAr. V příloze F jsou katalogové listy kompenzačních rozvaděčů a dekompenzačních tlumivek, ze kterých jsem vybíral.

Z výsledků v tabulce č.10 je patrné, že při požadavku na jakýkoliv účinník při nočním režimu, tj. nulový výkon střídače, je potřeba vykompenzovat přibližně 35kVAr kapacitního jalového výkonu, tj. 17,5kVAr na jeden blok. Pro dosažení tohoto výkonu jsem zvolil tlumivky DEKOMP 5 a DEKOMP 12,5. Jedná se o tlumivky s výkonem 5kVAr a ztrátami dle výrobce 155W a výkonem 12,5kVAr při ztrátách 230W. V nočním režimu budou tedy celkové ztráty rovny součtu vlastní spotřeby a ztrát vznikajících na těchto dekompenzačních stupních.

$$\Delta P_{noc} = 1677 + 2 \cdot (155 + 230) = 2447 \text{ W}$$

Při běžném provozu bude maximálně zapotřebí přibližně 145kVAr induktivního výkonu na jeden blok. Dva stupně jsou již vybrány, zbývá tedy určit zbývající, kterými bude možno

dosáhnout zbylých 127,5kVAr. Jako další stupně jsem tedy zvolil 10 – 12,5 – 35 – 35 – 35. Celkově tedy bude použito 7 dekompenzačních stupňů na blok uvedených v tabulce č.11.

Typ tlumivky	$Q_{\text{komp.}}$ [kVAr]	Ztráty [W]	Ztráty [W/kVAr]
DEKOMP 5	5	155	31,00
DEKOMP 10	10	200	20,00
DEKOMP 12,5	12,5	230	18,40
DEKOMP 12,5	12,5	230	18,40
DEKOMP 35	35	530	15,14
DEKOMP 35	35	530	15,14
DEKOMP 35	35	530	15,14
	145	2405	16,59

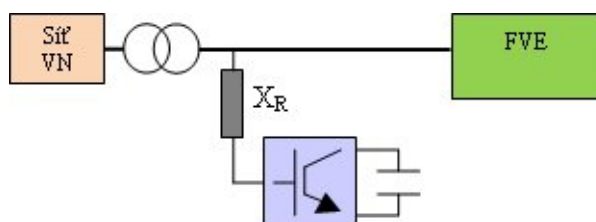
Tab. č.11 Přehled zvolených dekompenzačních stupňů.

V případě kompenzačního výkonu je zapotřebí maximálně 242kVAr kapacitního výkonu na každý blok. Z nabídky v příloze F jsem vybral kompenzační rozvaděč KBH RK CHR typu 242/11, který nabízí požadovaný výkon rozdělený do 11 stupňů. Výrobce u tohoto rozvaděče udává ztráty 1330W při maximálním kompenzačním výkonu. Tím vychází ztráty přibližně na 5,5W/kVAr dodávaného kompenzačního výkonu. Druhou variantou je zvolení dvou polovičních rozvaděčů, tj. 121/11. Tím by se získalo 22 stupňů s menším výkonem. Bylo by tak možné dosáhnout jemnější regulace. Ztrátový výkon této varianty by dle výrobce byl vyšší, tj. 1440W při maximálním kompenzačním výkonu. To znamená přibližně 5,95W/kVAr.

Jak jsem zmínil v úvodu této kapitoly, jednotlivé kompenzační a dekompenzační stupně by byly váhově spínány dle potřeby automatickým regulátorem jalového výkonu.

5.4.2 Kompenzace pomocí kompenzátoru STELCOM

Jedná se o zařízení, které se chová jako proudový zdroj, který dodává do sítě potřebnou velikost a charakter jalového proudu pro dosažení požadovaného účinníku. V principu je generování proudu zajištěno řízením napěťového zdroje připojeného přes indukčnost do sítě. Na obrázku 5.8 je znázorněn způsob připojení kompenzátoru k FVE.



Obr. 5.8: Připojení kompenzátoru k FVE. [22]

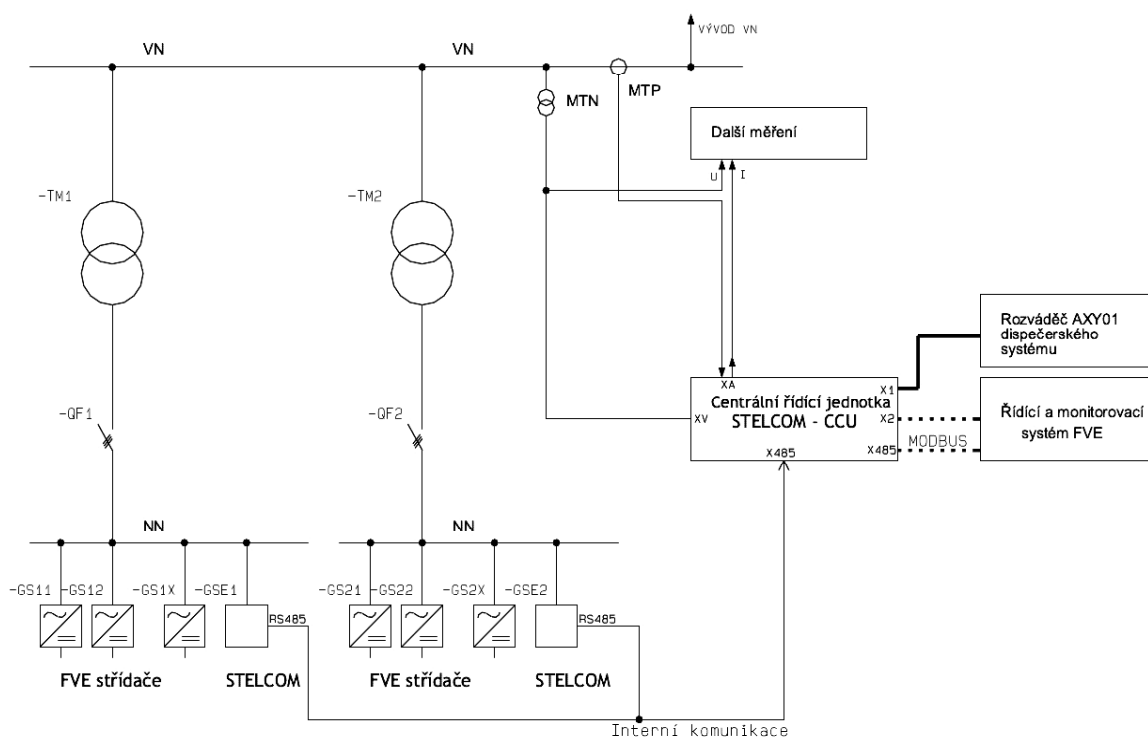
Samotný kompenzátor je tvořen měničem, trojfázovým napět'ovým střídačem z IGBT tranzistorů, kondenzátorem jako akumulátorem energie a tlumivkou X_R , která tvoří filtr pro zajištění potřebného sinusového průběhu proudu. Řízení tranzistorů měniče probíhá pulzně šířkovou modulací. Tranzistory jsou spínány tak, aby měnič kompenzátoru generoval takové napětí, které vyvolá požadovaný proud tekoucí přes vazební reaktanci X_R (tlumivka) do sítě. Měnič kompenzátoru pracuje synchronně se sítí, což zajišťují synchronizační obvody. Společnost ELCOM, a.s. dodává tyto kompenzátory ve výrobní řadě, která odpovídá typizované výkonové řadě distribučních transformátorů. [22]

V mé diplomové práci řeším FVE rozdělenou do dvou bloků, proto bude zapotřebí použít dva kompenzátory pro výkon transformátoru 630kVA. Z výrobní řady tomu odpovídá typ s označením 285-t630. Vybrané parametry tohoto kompenzátoru jsou uvedeny v tabulce č.12.

Výkon transformátoru do DS	630kVA
Napětí	3 x 400V
Proud	285A
Připojitelný výkon FVE	600kWp
Regulační rozsah $\cos \varphi$	0,95 kapacitní až 0,95 induktivní
Rychlost odezvy	20 - 60000ms (nastavitelné)
Maximální ztráty	7800W
Komunikační připojení	Ethernet, GSM, RS485 pro diagnostiku
Komunikační protokol	IEC 60870-5-104 nebo IEC 61850

Tab. č.12 Parametry kompenzátoru STELCOM 285-t630.

Měření výkonových poměrů pro regulaci probíhá na straně vysokého napětí, přičemž samotná kompenzace na straně nízkého napětí. Vzhledem k tomu, že musím použít dva kompenzátory, kde každý bude připojen na jedné větvi, potřebuji pro správnou kompenzaci zajistit jejich vzájemnou spolupráci. Proto musím na stranu vn ještě přidat centrální řídicí jednotku regulátoru s označením STELCOM-CCU. Do této jednotky se přivádí hodnoty z měřících transformátorů proudu a napětí. Po jejich vyhodnocení jsou přes komunikační linku vydávány povely pro řízení jalového výkonu samotným kompenzátorům. Způsob zapojení centrální řídicí jednotky a samotných kompenzátorů je zobrazeno na obrázku 5.9. Maximální ztráty takto navrženého systému kompenzace budou necelých 16kW při maximálním kompenzačním proudu. Tyto ztráty jsou úměrné kompenzačnímu proudu. Při nulovém kompenzačním proudu budou téměř zanedbatelné.



Obr. 5.9: Připojení kompenzátoru k FVE. [22]

Regulace tímto způsobem je plynulá a rychlá. Zařízení také umožňuje dálkovou komunikaci s dispečinkem PDS, což je nezbytné pro splnění požadavku na možnost dispečerského řízení FVE dle novely energetického zákona. Komunikace je obousměrná. Řídicí jednotka je tedy schopna nejen přijímat povely od PDS, ale také zpětně posílat informace o aktuálních regulačních možnostech FVE s ohledem na velikost vyráběného výkonu. Zvolené regulátory jsou určeny pro umístění do vnitřních prostor.

5.4.3 Regulace jalového výkonu samotným střídačem

V předchozích kapitolách jsem se zmínil, že dnešní moderní centrální střídače jsou samy schopny regulovat jalový výkon. Příkladem takového centrálního střídače, který by mohl být použit pro FVE v mé diplomové práci, je SUNNY CENTRAL 630HE spolu s monitorovacím systémem POWER REDUCER BOX od společnosti SMA. Zmíněný monitorovací systém zároveň umožňuje PDS na dálku omezit výkon FVE. Samotné střídače bohužel nezvládají všechny stavy, konkrétně noční režim a malý dodávaný výkon. Tyto stavy tedy musí být řešeny připojením dekompenzační tlumivky, která zajistí dekompenzaci kapacitního jalového výkonu, který při těchto stavech FVE dodává do DS. K tomu by se mohly použít tlumivky DEKOMP 5 a DEKOMP 12,5, které jsou již zmíněny v tabulce č.11.

Závěr

Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů (OZE) v posledních letech výrazně vstoupila do povědomí mnoha lidí. Vlády mnoha států stanovují procentuální podíl výroby elektrické energie z OZE na celkové skladbě výroby. Dle směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z OZE je pro ČR závazné v roce 2020 dosáhnout podílu vyrobené energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie ve výši 13%. V červenci 2010 vydalo Ministerstvo průmyslu a obchodu Národní akční plán České republiky pro energii z OZE. V tomto plánu je pro FVE odhadován celkový příspěvek instalovaného výkonu pro splnění cílů pro rok 2020 na hodnotu 1695MW.

Největším problémem elektrické energie vyrobené z OZE je její cena, která je vyšší než skutečná tržní cena. Největší rozdíl je zejména u FVE. Pro její podporu tedy musí být dotována. Tyto dotace v konečném zúčtování zaplatí každý spotřebitel, při platbě faktury za elektřinu. Vzhledem k velmi výhodným výkupním cenám této energie v letech 2009 až 2010 došlo k masové výstavbě velkých „fotovoltaických farem“. To přineslo řadu problémů, které vedly k nutnosti zastavit připojování dalších FVE od 1.1.2011. Vláda pak narychlo řešila změny legislativy. Jednou z těchto změn bylo schválení vyhlášky č. 330/2010 Sb., která mimo jiné stanovuje „srážkovou daň“ 26% na elektřinu z FVE připojených právě v letech 2009 a 2010. Cílem tohoto kroku je zamezit zvýšení ceny elektřiny o více než 5,5%. Osvobozeny zůstaly výroby s instalovaným výkonem do 30kWp.

Další změny legislativy upravují podmínky pro připojování nejen nových, ale i již dříve připojených FVE. Zásadní změnou je, že nově připojované výroby musí umožňovat dispečerské řízení. Již připojené FVE s instalovaným výkonem 2MWp a více musí být dovybaveny zařízením, které to umožní, do 30. června 2012. Majitelé FVE s instalovaným výkonem od 100kWp mají na dovybavení o rok více. S tím souvisí i nutnost podílet se na udržování stability sítě. Na základě pokynů z dispečinku PDS musí být FVE schopny změnit aktuální dodávaný činný výkon. Dále musí být schopna dodržovat účinník v předávacím místě nejen na hodnotě $\cos \varphi = 1$, ale i 0,95 a 0,97 pro odběr i dodávku jalového výkonu.

Jedním z bodů zadání mé diplomové práce bylo uvést základní vlastnosti provozu uzlu sítě. V elektrizační soustavě v ČR se lze setkat se všemi uvedenými způsoby uzemnění uzlu. To znamená síť s přímo a nepřímo uzemněným uzlem a s izolovaným uzlem. Každá z těchto sítí má své výhody i nevýhody. Z ekonomického hlediska mají výhodu sítě s přímo uzemněným uzlem, kde stačí izolaci dimenzovat na hodnotu fázového napětí. U sítí s izolovaným uzlem se izolace dimenzuje na hodnotu sdruženého napětí. V případě poruchy

v síti s přímo uzemněným uzlem musí dojít k okamžitému odpojení fází s poruchou, zatímco síť s izolovaným uzlem lze při poruše provozovat až do vyhledání poruchy. Uzel uzemněný přes tlumivky či odpor slouží ke kompenzování poruchového proudu či ke snížení jeho velikosti.

Dále jsem měl za úkol uvést způsoby kompenzace jalového výkonu a nabíjecího výkonu kabelů. Jalový výkon, vznikající na zátěžích induktivního charakteru, se kompenzuje pomocí samostatného kondenzátoru, či kondenzátorových rozvaděčů tvořených větším počtem kondenzátorů jako stupně. Ty jsou spínány dle potřeby regulátorem jalového výkonu. K vykompenzování nabíjecího výkonu, tedy kapacitní zátěže, se používají tlumivky. V tomto případě se často hovoří o dekompenzaci, proto se často setkáme i s pojmem dekompenzační tlumivka. Kompenzace se provádí buď přímo v místě spotřeby jalového výkonu (individuální kompenzace), a nebo poblíž místa spotřeby (skupinová a centrální kompenzace).

Závěrečnou částí mé diplomové práce je návrh kompenzace pro FVE. Podobu a instalovaný výkon řešené FVE jsem navrhl ve spolupráci s Ing. Žákem. Jedná se o výrobnu s instalovaným výkonem 1200kWp rozdělenou do dvou stejných bloků. Výrobnu je připojena do sítě vn na napěťovou hladinu 22kV. Pro tento případ jsem zvolil kompenzaci na straně nízkého napětí, kde je možno dosáhnout lepší dynamiky řízení jalového výkonu. Prvním cílem bylo vypočítání výkonových poměrů bez kompenzace. Výsledné hodnoty těchto výkonů jsem mohl přibližně porovnat s naměřenými hodnotami z podobné, již provozované, FVE. Po té jsem spočítal hodnoty potřebných kompenzačních a dekompenzačních výkonů pro dosažení výše zmíněných účinnů. Výsledný kompenzační rozsah činil 287,054kVAr induktivního a 484,105kVAr kapacitního jalového výkonu.

V mé diplomové práci jsem navrhl tři způsoby kompenzace jalového výkonu. Prvním způsobem je použití běžných kondenzátorových rozvaděčů a dekompenzačních tlumivek. Jedná se tedy o stupňovitou regulaci, při které budou nastávat okamžiky, kdy požadovaný účinník nebude přesně dodržen. Oproti ostatním variantám budou menší činné ztráty. Druhým způsobem je použití statického kompenzátoru STELCOM. Výhodou této možnosti je plynulá regulace jalového výkonu s nastavitelnou rychlostí reakce na změny. Kompenzátor také obsahuje zařízení ke komunikaci s dispečinkem PDS. Nevýhodou mohou vyšší pořizovací náklady a vyšší činné ztráty. Výrobce udává náklady na regulaci ve výši 3500Kč/kVAr. Jeden zvolený kompenzátor by tak přibližně vyšel na milion korun. Třetí možností je, že jalový výkon regulují samotné střídače a dekompenzační tlumivky, jelikož střídače nejsou schopny kompenzace při nulovém a malém dodávaném činném výkonu. Zároveň se zvýší činné ztráty střídače při dodávce proudu s jalovou složkou.

Použitá literatura

- [1] Studijní materiály z předmětu KEE/EE2
- [2] Diskuze o energetice a ropném zlomu. In: [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.euroekonom.cz/diskuse-energetika-prispevky.php?prispevek=15072011171134>
- [3] *PowerWiki* [online]. 2011 [cit. 2011-12-11]. Zemní spojení v trojfázových soustavách. Dostupné z WWW: <<https://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>>.
- [4] ČSN 33 3070 Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí
- [5] KOČÍ, Jan. *Návrh lokální úpravy sítě vn pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [6] Solární elektrárny 2011: Domácí instalace mají stále smůlu. *Nazeleno.cz* [online]. 30.3.2011 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/solarni-elektrarny-2011-domaci-instalace-maji-stale-smulu.aspx>
- [7] Regulace jalového výkonu u fotovoltaických elektráren. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 13.3.2012, 2012/3 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/regulace-jaloveho-vykonu-u-fotovoltaickych-elektraren.html>
- [8] Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. In: *Energetická legislativa*. červenec 2010. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument79564.html>
- [9] Fotovoltaické elektrárny - popis jak to funguje. *Fotovoltaické elektrárny - Nemakej.cz* [online]. [2009] [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>
- [10] <http://www.fotovoltssystem.cz/fotovoltaicke-elektrarny/fotovoltaicke-clanky-a-menice/>.
- [11] Fotovoltaika - jaká je nejlepší dostupná technologie?. In: *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 22.3.2010 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>

- [12] Zvyšování efektivnosti provozu fotovoltaických elektráren - teorie vs. praxe. In: *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 5.3.2012 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/8344-zvysovani-efektivnosti-provozu-fotovoltaickych-elektren-teorie-vs-praxe>
- [13] Účinnost fotovoltaických střídačů. In: *Účinnost fotovoltaických střídačů* [online]. 2010 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/8344-zvysovani-efektivnosti-provozu-fotovoltaickych-elektren-teorie-vs-praxe>
- [14] WOLF, Petr. *Komponenty a funkce FV systémů*. In: *Komponenty a funkce FV systémů* [online]. 15.4.2011 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_04_1104_3.pdf
- [15] Pravidla provozování distribučních soustav. In: *Energetická legislativa*. listopad 2011.
- [16] Vyhláška č.51/2006 Sb.o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů. In: *Energetická legislativa*. 2006.
- [17] Upozornění Energetického regulačního úřadu k přechodným ustanovením vyhlášky č. 81/2010Sb., kterou se mění vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. In: *Energetická legislativa*. 2010.
- [18] Zákon č.211/2011 Sb. (novela energetického zákona) – Zákon, kterým se mění zákon č.458/2000 Sb.
- [19] Pravidla provozování lokálních distribučních soustav – Příloha č. 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele lokální distribuční soustavy. In: *Energetická legislativa*. únor 2012.
- [20] Základy kompenzace. *KBH - Kompenzace jalového výkonu - KBH Energy s. r. o.* [online]. © 2007 - 2012 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.kbh.cz/kompenzace/zaklady-kompenzace>
- [21] Řízení účinníku a kompenzace jalového výkonu na FVE. *SOLARtechnika* [online]. 2011, č. 3 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.solartechnika.sk/solartechnika-12010/rizeni-uciniku-a-kompenzace-jaloveho-vykonu-na-fve.html>
- [22] ELCOM, a.s. *ELCOM, a.s.* [online]. © 2012 ELCOM, a.s. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.elcom.cz/aplikovana-elektronika/produkty/clanek/441-stelcom.html>

Příloha A

Parametry transformátoru 22/0,4kV

S_n [VA]	630000
U_{prim.} [V]	22000
U_{sek.} [V]	400
ΔP₀ [W]	1650
ΔP_k [W]	6900
u_k	6,00%
i₀	0,80%
převod p	55

parametry na straně nn	
Z_K [Ω]	0,015238
R_K [Ω]	0,002782
X_K [Ω]	0,014982
Y_p [S]	0,031500
G_{Fe} [S]	0,010313
B_m [S]	0,029764

parametry na straně vn	
Z_K [Ω]	46,095238
R_K [Ω]	8,414210
X_K [Ω]	45,320768
Y_p [S]	1,041E-05
G_{Fe} [S]	3,409E-06
B_m [S]	9,839E-06

Parametry kabelu 22-AXEKVCE

R [Ω/km]	0,125
L [mH/km]	0,36
C [μF/km]	0,3
I_{nab.} [A/km]	1,197
Q_c [kVAr/km]	45,616
l [km]	0,01

přepočteno na stranu nn	
R_V [Ω]	4,132E-07
X_{LV} [Ω]	3,739E-07
B_{CV} [S]	2,851E-03

přepočteno na stranu vn	
R_V [Ω]	1,250E-03
X_{LV} [Ω]	1,131E-03
B_{CV} [S]	9,425E-07

Příloha B

Katalogový list centrálních střídačů SUNNY CENTRAL od společnosti SMA



SUNNY CENTRAL 400HE / 500HE / 630HE



Výnosný

- Vynikající specifická cena
- Plný jmenovitý výkon až do 50 °C
- Zvýšení výkonu o 10 % v trvalém provozu v prostředí s teplotou do 25 °C
- Účinnost nad 98 %

Flexibilní

- Integrovaný DC hlavní rozvaděč pro přímé připojení zařízení Sunny String Monitor
- Flexibilní navrhování systému díky rozsahu vstupního napětí až do 1000 V

- Připojení až dvou externích DC hlavních rozvaděčů různé konfigurace systému

Spolehlivý

- Široká škála funkcí pro správu distribuční sítě
- Dokonalá kontrola činnosti všech FV stringů v terénu

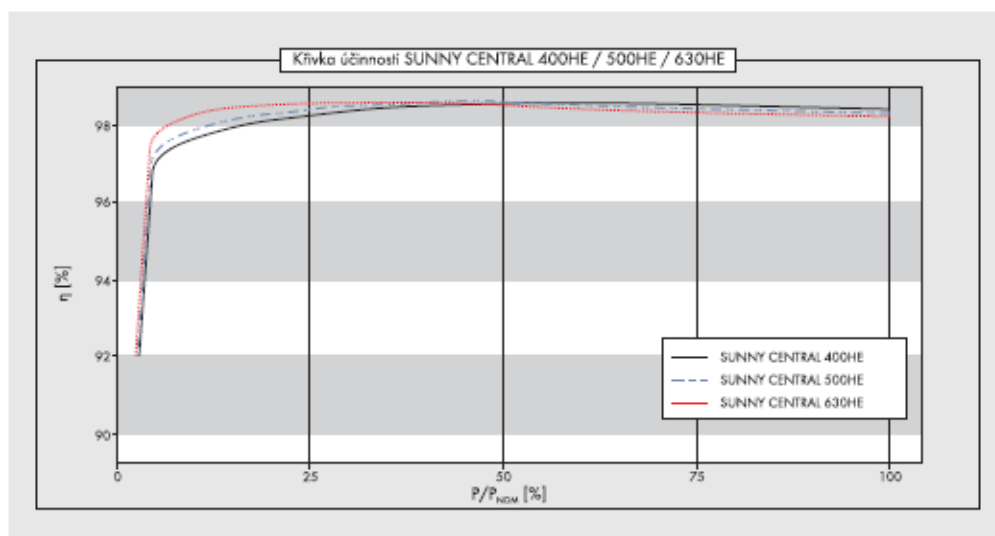
SUNNY CENTRAL 400HE / 500HE / 630HE

Ověřený vysoký výkon

Vysoká flexibilita při navrhování systému a minimální provozní náklady s ještě větším výkonem: osvědčená řada High Efficiency pro přímé připojení k vysokonapěťovému transformátoru byla opět zdokonalena a nyní je vybavena inteligentním řízením výkonu nové generace. Maximální výkon v trvalém provozu je ve srovnání s jmenovitým výkonem zvýšen o deset procent dokud okolní teplota nepřekročí 25 °C. Zařízení přitom nabízí rozsáhlou škálu funkcí pro správu distribuční sítě, včetně okamžitého obnovení připojení po výpadku napětí v síti.

SUNNY CENTRAL 400HE / 500HE / 630HE

Technické údaje	Sunny Central 400HE	Sunny Central 500HE	Sunny Central 630HE
Hodnoty vstupu			
Imenovitý DC výkon	408 kW	509 kW	642 kW
Max. DC výkon	450 kW ¹⁾	560 kW ¹⁾	705 kW ¹⁾
MPP rozsah napětí	450 V – 820 V ¹⁾	450 V – 820 V ¹⁾	500 V – 820 V ¹⁾
Max. povolené DC napětí	1000 V	1000 V	1000 V
Max. povolený DC proud	993 A	1242 A	1422 A
Počet jističů DC vstupů	(8 + 8) + 2 DCHV	(8 + 8) + 2 DCHV	(8 + 8) + 2 DCHV
Hodnoty výstupu			
Imenovitý AC výkon při 50 °C	400 kVA	500 kVA	630 kVA
Trvalý AC výkon při 25 °C	440 kVA	550 kVA	700 kVA
Imenovitě AC napětí ±10 %	270 V	270 V	315 V
Imenovitý AC proud	855 A	1070 A	1155 A
AC síťová frekvence 50 Hz	●	●	●
AC síťová frekvence 60 Hz	●	●	●
Účinník (cos φ)		0,9 induktivní ... 0,9 kapacitní	
Harmonické zkreslení síťového proudu	< 3 %	< 3 %	< 3 %
Příkon			
Vlastní spotřeba při provozu	< 1500 W ¹⁾	< 1500 W ¹⁾	< 1500 W ¹⁾
Vlastní spotřeba v pohotovostním režimu	< 100 W	< 100 W	< 100 W
Napětí externího pomocného zdroje	3 x 230 V, 50/60 Hz	3 x 230 V, 50/60 Hz	3 x 230 V, 50/60 Hz
Externí předřazené jističí pomocného zdroje	B 20 A, 3pól.	B 20 A, 3pól.	B 20 A, 3pól.
Rozměry a hmotnost			
Výška	2120 mm	2120 mm	2120 mm
Šířka	2800 mm	2800 mm	2800 mm
Hloubka	850 mm	850 mm	850 mm
Hmotnost	1900 kg	1900 kg	1900 kg
Účinnost ²⁾			
Maximální účinnost	98,6 %	98,6 %	98,6 %
Euro-Ela	98,4 %	98,4 %	98,4 %
Stupeň krytí a podmínky prostředí			
Stupeň krytí podle normy EN 60529	IP20	IP20	IP20
Povolené teploty okolí	-20 °C ... +50 °C	-20 °C ... +50 °C	-20 °C ... +50 °C
Relativní vlhkost vzduchu	15 % ... 95 %	15 % ... 95 %	15 % ... 95 %
Spotřeba čerstvého vzduchu	6200 m ³ /h	6200 m ³ /h	6200 m ³ /h
Max. nadmožná výška	1000 m	1000 m	1000 m

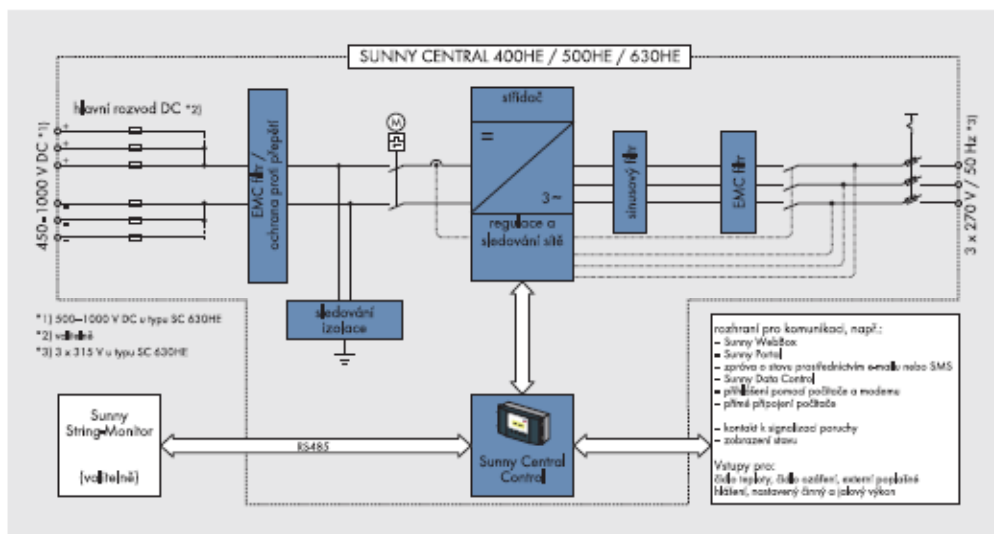


	Sunny Central 400HE	Sunny Central 500HE	Sunny Central 630HE
Vybavení			
Displej řádkový / grafický	●/–	●/–	●/–
Kontrola zemního spojení	●	●	●
Vytápění	●	●	●
Nouzový vypínač	●	●	●
Výkonový vypínač AC strany	pojistkový odpínač zátěže	pojistkový odpínač zátěže	pojistkový odpínač zátěže
Výkonový vypínač DC strany	odpínač zátěže s motorem	odpínač zátěže s motorem	odpínač zátěže s motorem
Sledování stavu svodičů přepětí AC / DC	●/●	●/●	●/●
Sledování stavu svodičů přepětí pomocného zdroje	●	●	●
Rozhraní SCC (Sunny Central Control)			
Komunikace (NET Piggy-Back, volitelně)	analogová, ISDN, Ethernet	analogová, ISDN, Ethernet	analogová, ISDN, Ethernet
Analogové vstupy	5 x A ₂ ²¹	5 x A ₂ ²¹	5 x A ₂ ²¹
Přepětíová ochrana pro analogové vstupy	○	○	○
Připojení pro přístroj Sunny String-Monitor (COM1)	RS485	RS485	RS485
Připojení pro počítací (COM3)	RS232	RS232	RS232
Beznapěťový kontakt (ext. hlášení poruch)	1	1	1
Normy			
EMC	EN 61000-6-2 EN 61000-6-4		
Shoda s CE	●	●	●
BDEW-MSRL / FGW / TR8H	●	●	●
RD 1633 / 2000	●	●	●
Amísts du 23/04/08	●	●	●
● Standardní vybavení ○ Volitelné vybavení – není součástí vybavení			
Typové označení	SC 400HE-11	SC 500HE-11	SC 630HE-11

HE: High Efficiency, střídač s vysokou účinností bez galvanického oddělení pro připojení k transformátoru vysokého napětí (s ohledem na specifikaci společnosti SMA pro daný transformátor)

- 1) Údaje platí pro hodnoty osvětlení pod STC
- 2) Stupeň účinnosti měřený bez vlastního napětí při U_{DC} = 500 V
- 3) 2 vstupy pro externí jmenovité hodnoty činného a jalového výkonu, 1 externí výstupní vstup, 1 židlo vyzařování, 1 pyrometr
- 4) Vlastní spotřeba při jmenovitém výkonu
- 5) U_{DC,max} při U_{AC,max} ±5 % a cos φ = 1
- 6) S přechodným dynamickým zálohováním distribuční sítě
- 7) Při f₅₀ = 60 Hz: 510 V - 820 V

Nepřehlédněte další dokumentaci: Pokyny pro přepravu Sunny Central a Průvodce instalací Sunny Central



ÚČINNÉ FUNKCE PRO SPRÁVU SÍTĚ



Dálkově řízené omezení proudu při přetížení sítě

Jako ochranu před jakýmkoliv krátkodobým přetížením sítě operátor nastaví nominální činný výkon, na který střídač přejde do 60 sekund. Jmenovitá hodnota se přenáší do střídačů prostřednictvím přijímače dálkového ovládní a omezovače SMA. Typicky bývají limitními hodnotami 100, 60, 30 nebo 0 procent jmenovitého výkonu.



Frekvenční regulace činného výkonu

Od frekvence 50,2 Hz střídač automaticky omezuje činný výkon napájení podle určené charakteristické křivky, a pomáhá tím stabilizovat frekvenci sítě.



Stabilizace statického napětí podle jalového výkonu

Střídače SMA se podílejí na stabilizaci napětí v síti dodávkou podílu jalového výkonu. Dostupné jsou tři režimy :



a) Hodnoty jalového výkonu napevno určeny provozovatelem distribuční sítě

Provozovatel distribuční sítě určí pevné hodnoty jalového výkonu nebo faktor změn účinnků $\cos(\varphi)_{\text{indukční}} = 0,90$ a $\cos(\varphi)_{\text{kapacitní}} = 0,90$.



b) Určení dynamické požadované hodnoty jalového výkonu provozovatelem distribuční sítě

Provozovatel distribuční sítě dynamicky určuje průběh všech změn hodnot účinnků $\cos(\varphi)_{\text{indukční}} = 0,90$ a $\cos(\varphi)_{\text{kapacitní}} = 0,90$. Přenosy se uskutečňují prostřednictvím komunikačního zařízení a vyhodnocení a zpracování zajišťuje SMA Power Reducer Box.



c) Regulace jalového výkonu podle charakteristické křivky

Jalový výkon resp. jeho změny se řídí určeným průběhem charakteristické křivky v závislosti na velikosti činného výkonu dodávaného do sítě nebo napětí v síti.



Přechodné dynamické zálohování distribuční sítě

Střídač napájí síť při krátkodobém výpadku – do okamžiku, kdy napětí v síti dosáhne určené hodnoty.

Příloha C

Přehled výsledných větvových proudů

$P_{\text{střídač}} [\text{kW}]$	$I_{\text{střídač}} [\text{A}]$	$I_{\text{ostř.}} [\text{A}]$	$I_{T\sigma} [\text{A}]$
0	0,000	3,905978E-002+56,943027j	-3,906018E-002-56,943027j
15	21,651	-4,091246E-002+56,957933j	21,691548-56,957932j
30	43,301	-0,120885+56,972839j	43,422154-56,972839j
60	86,603	-0,280829+57,002651j	86,883369-57,002650j
120	173,205	-0,600718+57,062276j	173,805798-57,062276j
180	259,808	-0,920607+57,121900j	260,728226-57,121899j
240	346,410	-1,240496+57,181525j	347,650657-57,181524j
300	433,013	-1,560385+57,241150j	434,573086-57,241149j
360	519,615	-1,880274+57,300774j	521,495516-57,300774j
400	577,350	-2,093533+57,340524j	579,443801-57,340523j
500	721,688	-2,626681+57,439898j	724,314517-57,439898j
600	866,025	-3,159830+57,539273j	869,185232-57,539273j
700	1010,363	-3,692978+57,638647j	1014,055948-57,638647j
720	1039,230	-3,799607+57,658522j	1043,030090-57,658521j
800	1154,701	-4,226126+57,738022j	1158,926663-57,738021j
900	1299,038	-4,759274+57,837396j	1303,797381-57,837396j
1000	1443,376	-5,292423+57,936770j	1448,668094-57,936770j
1100	1587,713	-5,825571+58,036145j	1593,538811-58,036145j
1200	1732,051	-6,358719+58,135519j	1738,409526-58,135519j

$P_{\text{střídač}} [\text{kW}]$	$I_{\text{střídač}} [\text{A}]$	$I_{T\nu 0} [\text{A}]$	$I_{\nu} [\text{A}]$
0	0,000	2,381569-6,215319j	-2,420631-50,727707j
15	21,651	2,381570-6,215319j	19,309977-50,742613j
30	43,301	2,381570-6,215319j	41,040582-50,757519j
60	86,603	2,381571-6,215319j	84,501797-50,787330j
120	173,205	2,381572-6,215320j	171,424224-50,846955j
180	259,808	2,381573-6,215321j	258,346652-50,906578j
240	346,410	2,381574-6,215321j	345,269081-50,966202j
300	433,013	2,381576-6,215322j	432,191509-51,025827j
360	519,615	2,381577-6,215322j	519,113938-51,085451j
400	577,350	2,381578-6,215323j	577,062222-51,125199j
500	721,688	2,381580-6,215324j	721,932937-51,224573j
600	866,025	2,381582-6,215325j	866,803649-51,323947j
700	1010,363	2,381584-6,215326j	1011,674363-51,423321j
720	1039,230	2,381584-6,215326j	1040,648505-51,443194j
800	1154,701	2,381586-6,215327j	1156,545076-51,522693j
900	1299,038	2,381588-6,215328j	1301,415791-51,622067j
1000	1443,376	2,381590-6,215329j	1446,286503-51,721441j
1100	1587,713	2,381592-6,215330j	1591,157217-51,820814j
1200	1732,051	2,381594-6,215331j	1736,027930-51,920187j

Příloha D

Přehled jednofázových větvových ztrát

$P_{\text{střídač}}$ [kW]	$I_{\text{střídač}}$ [A]	$\Delta S_{\text{ostř.}}$ [VA]	$\Delta S_{T\sigma}$ [VA]
0	0,000	-7,1054E-015-13199,009214j	9,019226+48,579516j
15	21,651	3,5527E-015-13205,921012j	10,332732+55,654343j
30	43,301	5,3290E-014-13212,886687j	14,273248+76,878822j
60	86,603	8,5265E-014-13226,979664j	30,035314+161,776743j
120	173,205	1,4211E-013-13255,812146j	93,083580+501,368436j
180	259,808	8,5265E-014-13285,506651j	198,164021+1067,354576j
240	346,410	-9,0949E-013-13316,063182j	345,276642+1859,735192j
300	433,013	8,5265E-013-13347,481741j	534,421438+2878,510262j
360	519,615	-1,2506E-012-13379,762326j	765,598415+4123,679808j
400	577,350	9,0949E-013-13401,761618j	943,067604+5079,567510j
500	721,688	7,9581E-013-13458,436014j	1468,469820+7909,498279j
600	866,025	-3,4106E-013-13517,504927j	2110,628076+11368,302506j
700	1010,363	-1,1369E-013-13578,968357j	2869,542389+15455,980284j
720	1039,230	1,0232E-012-13591,548383j	3035,335970+16348,980620j
800	1154,701	-1,0232E-012-13642,826303j	3745,212744+20172,531533j
900	1299,038	-2,2737E-013-13709,078770j	4737,639161+25517,956362j
1000	1443,376	-6,8212E-013-13777,725751j	5846,821596+31492,254533j
1100	1587,713	2,0464E-012-13848,767251j	7072,760110+38095,426376j
1200	1732,051	-9,0949E-013-13922,203267j	8415,454646+45327,471581j

$P_{\text{střídač}}$ [kW]	$I_{\text{střídač}}$ [A]	$\Delta S_{T\nu 0}$ [VA]	ΔS_V [VA]
0	0,000	550,000086+1435,366428j	1,065768E-003+9,642846E-004j
15	21,651	550,000128+1435,366540j	1,218053E-003+1,102068E-003j
30	43,301	550,000171+1435,366652j	1,760601E-003+1,592955E-003j
60	86,603	550,000257+1435,366875j	4,016490E-003+3,634035E-003j
120	173,205	550,000428+1435,367322j	1,321144E-002+1,195343E-002j
180	259,808	550,000599+1435,367768j	2,865061E-002+2,592246E-002j
240	346,410	550,000770+1435,368215j	5,033400E-002+4,554113E-002j
300	433,013	550,000942+1435,368662j	7,826163E-002+7,080945E-002j
360	519,615	550,001113+1435,369109j	0,112433+0,101727j
400	577,350	550,001227+1435,369407j	0,138684+0,125478j
500	721,688	550,001512+1435,370151j	0,216451+0,195840j
600	866,025	550,001797+1435,370896j	0,311563+0,281896j
700	1010,363	550,002083+1435,371640j	0,424020+0,383645j
720	1039,230	550,002140+1435,371789j	0,448593+0,405878j
800	1154,701	550,002368+1435,372385j	0,553823+0,501087j
900	1299,038	550,002653+1435,373130j	0,700970+0,634223j
1000	1443,376	550,002939+1435,373874j	0,865463+0,783052j
1100	1587,713	550,003224+1435,374619j	1,047300+0,947575j
1200	1732,051	550,003509+1435,375364j	1,246483+1,127791j

Příloha E

Přehled výsledných třífázových výkonů ve spotřebičové orientaci

Dodávka		Dodávka do sítě					Ztráty
P [kW]	I [A]	S [kVA]	S [kVA]	P [kW]	Q [kVAr]	cos φ	ΔP [kW]
0	0,000	1,677-35,145j	35,185	1,677	-35,145	0,047664	1,677
15	21,651	-13,319-35,145j	37,584	-13,319	-35,145	-0,354381	1,681
30	43,301	-28,307-35,102j	45,094	-28,307	-35,102	-0,627741	1,693
60	86,603	-58,260-34,889j	67,908	-58,260	-34,889	-0,857924	1,740
120	173,205	-118,071-33,957j	122,857	-118,071	-33,957	-0,961044	1,929
180	259,808	-177,755-32,348j	180,675	-177,755	-32,348	-0,983842	2,245
240	346,410	-237,314-30,063j	239,211	-237,314	-30,063	-0,992071	2,686
300	433,013	-296,746-27,101j	297,981	-296,746	-27,101	-0,995856	3,254
360	519,615	-356,053-23,462j	356,825	-356,053	-23,462	-0,997836	3,947
400	577,350	-395,520-20,660j	396,060	-395,520	-20,660	-0,998639	4,480
500	721,688	-493,944-12,340j	494,098	-493,944	-12,340	-0,999688	6,056
600	866,025	-592,017-2,141j	592,021	-592,017	-2,141	-0,999993	7,983
700	1010,363	-689,740+9,938j	689,812	-689,740	9,938	-0,999896	10,260
720	1039,230	-709,243+12,580j	709,354	-709,243	12,580	-0,999843	10,757
800	1154,701	-787,113+23,897j	787,475	-787,113	23,897	-0,999539	12,887
900	1299,038	-884,135+39,735j	885,027	-884,135	39,735	-0,998992	15,865
1000	1443,376	-980,807+57,452j	982,488	-980,807	57,452	-0,998289	19,193
1100	1587,713	-1077,129+77,049j	1079,881	-1077,129	77,049	-0,997451	22,871
1200	1732,051	-1173,100+98,525j	1177,230	-1173,100	98,525	-0,996492	26,900

Příloha F

Katalogové listy dekompenzačních tlumivek a kompenzačních rozvaděčů



dodavatel
pro výrobu
rozvaděčů



Dekompenzační tlumivky KBH

KBH Energy s.r.o., Na Spravedlnosti 1533, 530 02 PARDUBICE, CZECH REPUBLIC
Tel.: +420 777 730 001, Fax: +420 466 330 714, Email: kbh@kbh.cz, www.KBH.cz

Výrobní řady tlumivek DEKOMP

Jmenovité napětí 3x400/230V, 50 Hz					
Typ tlumivky	Kompenzační výkon [kVAR]	Indukčnost cívky [mH]	Kompenzovaná kapacita [µF]	Jmenovitý proud [A]	Ztráty tlumivky [W]
DEKOMP 2	2	763,9	39,8	2,9	72
DEKOMP 5	5	305,6	99,5	7,2	155
DEKOMP 10	10	152,8	198,9	14,4	200
DEKOMP 12,5	12,5	122,2	248,7	18	230
DEKOMP 15	15	101,9	298,3	21,6	350
DEKOMP 20	20	76,4	397,9	28,9	400
DEKOMP 25	25	61,1	497,5	36,1	450
DEKOMP 30	30	50,9	597,2	43,3	520
DEKOMP 35	35	43,7	695,6	50,5	530
DEKOMP 40	40	38,2	795,7	57,7	610
DEKOMP 45	45	34	894	64,9	660
DEKOMP 50	50	30,6	993,3	72,2	750
DEKOMP 55	55	27,8	1093,4	79,4	830
DEKOMP 60	60	25,5	1192	86,6	900

- Samozřejmě jsou provedeni pro různé výkony a napěťové hladiny dle přání zákazníka.
- Způsob připojení a rozměry lze přizpůsobit dle specifických požadavků.

Rozměry dekompenzačních tlumivek (mm)									
Typ tlumivky	Výkres	Připojení	A	B	C	D	E	F	Hmotnost (kg)
DEKOMP 2	1	SAK 4	250	210	132	112	170	25	21
DEKOMP 5	1	SAK 6	300	250	152	132	170	25	34
DEKOMP 10	1	SAK 6	330	270	168	148	170	30	62
DEKOMP 12,5	1	SAK 10	330	270	180	160	170	30	68
DEKOMP 15	1	SAK 10	330	270	190	170	170	30	75
DEKOMP 20	2	SAK 16	420	410	230	200	280	-	118
DEKOMP 25	2	SAK 16	420	420	240	210	280	-	126
DEKOMP 30	2	SAK 35	420	450	250	220	280	-	146
DEKOMP 35	2	SAK 35	420	450	260	230	280	-	160
DEKOMP 40	3	pas 20x5	480	480	270	240	320	50	202
DEKOMP 45	3	pas 20x5	480	480	270	240	320	50	224
DEKOMP 50	3	pas 20x5	540	515	270	240	360	50	238
DEKOMP 55	3	pas 20x5	540	515	282	240	360	50	245
DEKOMP 60	3	pas 20x5	540	515	282	252	360	50	254

- Bezpečnost provozu tlumivek je zajištěna samotnou konstrukcí tlumivky, tj. dostatečným dimenzováním vodičů a izolační stabilitou do 135 °C, dále pak integrovaným teplotním čidlem s vratným rozpínacím kontaktem při teplotách 110 až 140 °C (podle požadavku).
- Jištění dekompenzační tlumivky je třeba dimenzovat s ohledem na protékající proud – pomalými pojistkami s charakteristikou "gG/gL". Spínání se provádí klasickými motorovými stykači s nadproudovou ochranou, řízené spínání pak pomocí k tomuto účelu přizpůsobenému regulátoru.



dodavatel
pro výrobu
rozsadeců



Kompenzační rozsaděče KBH

KBH ENERGY s.r.o., Na Spravedlnosti 1533, 530 02 PARDUBICE, CZECH REPUBLIC
Tel.: +420 777 730 001, Fax: +420 466 330 714, Email: kbh@kbh.cz, www.kbh.cz

KBH RK CHR

Rosaděč je konstruován v oceloplechové stojící skřini s krytím IP 40 určený do sítě s vyšším podílem nelineárních zátěží (s výskytem harmonických frekvencí) a v případě nebezpečí vzniku rezonance kompenzační kapacity s indukčností zátěže. Dále jsou vhodné do vsude ta, kde je nutné omezit rušivé působení kompenzačních rozsadeců na rozvodnou soustavu.

V sérii s kondenzátorem je instalována tlumivka KBH VINDEK, která vytvoří rezonanční obvod naladěný na frekvenci 189 Hz (činitel ztlumení 7 %) nebo 134 Hz (činitel ztlumení 14 %). Tento obvod pak účinně hradí nejčastěji se vyskytující harmonické frekvence. Tlumivky současně omezují přechodový jev vznikající při sepnutí stykače a tak potlačují rušivé působení kompenzačního zařízení na síť.

Prívod je řešen shora na pojistkový odpínač do 315 A (výkony do 154 kvar) a zdola zprava či zleva pomocí přívodního pole, které může být vybaveno jističem nebo hlavními jističem.

Rosaděče KBH RK CHR jsou určeny pro instalaci ve vnitřním prostředí pro teploty okolí -5 až 40 °C do normálních prostor. Venkovní provedení na přání do teplot -25 °C.

Uvedené typy jsou základní pro rezonanční kmitočet 189 Hz, modifikace na 134 Hz podle požadavku odběrného místa.

Typ	Výkon kvar	Ztrátový výkon W	Rozměr (v/š/h) v mm	Hmotnost	Přívodní pole typ	Přívodní pole rozměr	Dimenzování přívodního vedení (A)
33/3	33 (3×11)	270	2000/600/600	250	Bez přívodního pole		68
55/5	55 (5×11)	400		280			113
77/7	77 (7×11)	490		310			159
99/9	99 (9×11)	590	2000/800/600	380			204
110/5	110 (5×22)	630	2000/800/600	360			227
121/11	121 (11×11)	720	2000/800/600	400			250
154/7	154 (7×22)	850		430			317
198/9	198 (9×22)	1070	2150/800/600	500	PP-400-6	2150/600/600	408
242/11	242 (11×22)	1330		700	PP-500-6		498
264/6	264 (6×44)	1450		720	PP-630-6		544
286/13	286 (13×22)	1550	2150/2×600/600	760			589
308/7	308 (7×44)	1665		780			634
330/15	330 (15×22)	1770		850	PP-800-6		680
352/8	352 (8×44)	1880		840			725
374/17	374 (17×22)	1990	2150/600+800/600	900			770
396/9	396 (9×44)	2100		940			816
418/19	418 (19×22)	2210		990	PP-1000-6		861
440/10	440 (10×44)	2365		1010			906
484/11	484 (11×44)	2580	2150/2×800/600	1190			997
528/12	528 (12×44)	2800		1280	PP-1250-6		1088
572/13	572 (13×44)	3020	2150/800+2×600/600	1390			1178
616/14	616 (14×44)	3240		1440	PP-1600-6		1269
660/15	660 (15×44)	3460	2150/2×800+600/600	1530			1360
704/16	704 (16×44)	3680	2150/3×800/600	1680		1453	

KBH RK / Katalogový list / 07.01.16 / CZ

KBH ENERGY s.r.o., Na Spravedlnosti 1533, 530 02 PARDUBICE, CZECH REPUBLIC
Tel.: +420 777 730 001, Fax: +420 466 330 714, Email: kbh@kbh.cz, www.kbh.cz



dodavatel
pro výrobu
rozsudčů



Dekompenzační tlumivky KBH

KBH Energy s.r.o., Na Spravedlnosti 1533, 530 02 PARDUBICE, CZECH REPUBLIC
Tel.: +420 777 730 001, Fax: +420 466 330 714, Email: kbh@kbh.cz, www.KBH.cz

Referenční fotografie řešení dekompenzace s tlumivkami DEKOMP

Detail kompenzační části s řídicím modulem



Pohled na dekompenzační pole 80 kvar



Dělené provedení s malou hloubkou rozvaděčů



- Dekompenzační automaticky spínaná aplikace je podobná běžné kondenzátorové kompenzaci. Spínání induktivních stupňů podle aktuální potřeby je zajištěno automatickým regulátorem jalového výkonu.
- Pro menší aplikace postačuje pevné připojení dekompenzační tlumivky do sítě, v aplikacích s větším instalovaným výkonem je třeba již brát v potaz ztráty dekompenzační tlumivky, které se pohybují v rozmezí 15-20 W/kvar instalovaného výkonu. Zde je výhodnější připínat tlumivky pouze v případě potřeby.

DEKOMP KBH / Katalogový list / 11.07.01 / CZ

KBH Energy s.r.o., Na Spravedlnosti 1533, 530 02 PARDUBICE, CZECH REPUBLIC
Tel.: +420 777 730 001, Fax: +420 466 330 714, Email: kbh@kbh.cz, www.KBH.cz