

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu při
zapojení větrné farmy do distribuční sítě**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr HRDINA**

Osobní číslo: **E16N0099P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektroenergetika**

Název tématu: **Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu při zapojení větrné farmy do distribuční sítě**

Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

Diplomová práce "Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu při zapojení větrné farmy do distribuční sítě" bude zaměřena na tyto body:

1. Uveďte základní informace, které se týkají nabíjecích kapacitních proudů kabelové sítě větrných elektráren.
2. Stanovte optimální účinník z pohledu přenosu elektrické energie, jak se může projevit vliv ztrát a změny napětí v předávacím místě.
3. Vysvětlete princip regulace napětí a jalového výkonu v distribuční síti v kontextu využití větrné farmy pro regulaci U a Q .
4. Pro konkrétní případovou studii proveďte návrh kompenzačního a dekompenzačního výkonu při připojení větrné farmy do distribuční sítě.
5. Zhodnoťte technické a ekonomické aspekty a přínosy připojení větrných farem do distribuční sítě.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- 1. Skripta k předmětu Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie, VEN.**
- 2. Elektroenergetika I, II.**
- 3. Internetové podklady.**
- 4. Dle uvážení a pokynů udá sám vedoucí nebo konzultant.**

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2018**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku dekompenzace nabíjecích kapacitních proudů vzniklých při připojení větrné farmy do distribuční sítě prostřednictvím kabelového vedení na napěťové hladině VN. Teoretická část se týká především výpočtů nabíjecích kapacitních proudů, činných ztrát vzniklých na vedení, možností dekompenzace nabíjecích kapacitních proudů, využití větrné farmy pro regulaci napětí a jalového výkonu a přenosem elektrické energie při optimální velikosti účinníku. V praktické části je řešena případová studie představující větrnou farmu připojenou do distribuční sítě za účelem omezení nabíjecích kapacitních proudů na kabelovém vedení a splnění požadovaného účinníku v předávacím místě. Výsledkem studie jsou provedené analýzy pro případ bez dekompenzace a pro případ s navrženou dekompenzační tlumivkou, a to jak s fixním výkonem, tak i s laditelným výkonem.

Klíčová slova

nabíjecí kapacitní proud, dekompenzace, připojení větrné farmy, kabelové vedení, dekompenzační tlumivka

Abstract

The diploma thesis focuses on the decompensation-problem of charging capacitive currents generated by wind farms connected to the distribution network through high-voltage power lines. The theoretical part refers primarily to calculations of capacitive charging currents, active losses incurred on power lines, the possibilities of decompensating charging capacitive currents, the utilization of wind farms for high voltage control and reactive power and the transmission of electrical energy at an optimum power factor.

The practical part includes a case study representing a wind farm connected to an electric distribution grid for the purpose of limiting charging capacitive currents on the power line and meet the required power factor in the transfer station. The results of the case study are two performed analyses. One without decompensation and one with a designed decompensation choke, both with fixed and tunable output power.

Key words

charging capacitive current, decompensation, wind farm connection, power lines, decompensation choke

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 18.5.2018

Petr Hrdina

Poděkování

Touto cestou bych rád vyjádřil poděkování doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a za cenné rady a připomínky. Rád bych také poděkoval konzultantovi Ing. Františku Žákovi za odborné rady, a především za čas, který mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval.

Obsah

Seznam symbolů a zkratek.....	10
Úvod	13
1 Nabíjecí kapacitní proud.....	14
1.1 Výpočet provozní kapacity pro nabíjecí kapacitní proud	14
1.1.1 Kapacita jednofázového kabelu s vlastním stíněním.....	15
1.1.2 Kapacita trojžilových kabelů se společným stíněním.....	16
1.2 Výpočet velikosti nabíjecího kapacitního proudu	18
1.3 Výpočet ztrát způsobených nabíjecím kapacitním proudem	19
1.4 Dekompenzování nabíjecího kapacitního proudu z důvodu zlepšení účinníku v síti	22
1.5 Dekompenzování nabíjecího kapacitního proudu z důvodu omezení činných ztrát.....	23
2 Regulace U a Q prostřednictvím farem větrných elektráren	29
2.1 Průběh napětí ve sledovaném uzlu v neregulované / regulované soustavě.....	31
2.2 Využití větrné farmy pro regulaci U a Q.....	32
2.2.1 Regulační rezerva dle typu P-Q diagramu větrné elektrárny.....	32
2.2.2 Způsob řízení jalového výkonu větrných elektráren	34
2.3 Automatická sekundární regulace napětí (ASRU)	35
2.3.1 Fyzikální princip automatické sekundární regulace napětí.....	35
2.4 Regulace U v pilotním uzlu zajištěná systémem ASRU za pomoci dodávaného Q z VTE.....	35
2.4.1 Regulace napětí při dostatečně velké regulační rezervě jalového výkonu od VTE.....	36
2.4.2 Regulace napětí při nedostatečně velké regulační rezervě jalového výkonu od VTE.....	37
3 Optimální účinník z pohledu přenosu elektrické energie.....	38
3.1 Nežádoucí vlivy při provozu se špatným účinníkem.....	38
3.2 Kompenzace a dekompenzace účinníku.....	39
3.3 Vliv ztrát na vedení	39
3.4 Změny napětí v předávacím místě.....	40
4 Případová studie	42
4.1 Náhradní schéma	43
4.2 Výpočet parametrů	44
4.3 Výpočet náhradního schématu bez uvažování dekompenzace.....	48

4.4	Výpočet náhradního schématu s uvažovanou dekompenzací	59
4.5	Vytvořený matematický model případové studie	70
5	Návrh dekompenzace	71
5.1	Analýza bez dekompenzační tlumivky	71
5.1.1	Účinnost v předávacím místě.....	71
5.1.2	Ztráty v závislosti na výkonu větrné farmy	72
5.1.3	Výkonové poměry v předávacím místě.....	73
5.1.4	Napětí v předávacím místě.....	73
5.1.5	Proud v předávacím místě.....	74
5.2	Analýza s fixní dekompenzační tlumivkou 1,6 MVar.....	74
5.2.1	Účinnost v předávacím místě.....	74
5.2.2	Ztráty v závislosti na výkonu větrné farmy	75
5.2.3	Výkonové poměry v předávacím místě.....	76
5.2.4	Napětí v předávacím místě.....	76
5.2.5	Proud v předávacím místě	77
5.3	Analýza s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem	77
5.3.1	Účinnost v předávacím místě.....	77
5.3.2	Ztráty v závislosti na výkonu větrné farmy	78
5.3.3	Výkonové poměry v předávacím místě.....	79
5.3.4	Napětí v předávacím místě.....	79
5.3.5	Proud v předávacím místě	80
6	Technické a ekonomické aspekty a přínos větrné energetiky v ČR.....	81
6.1	Větrná energetika z technického hlediska v ČR.....	81
6.2	Větrná energetika z pohledu ekonomické podpory v ČR.....	82
6.3	Přínos větrné energetiky v ČR.....	83
7	Závěr	84
	Seznam literatury a informačních zdrojů	86
	Přílohy.....	1
	Příloha A.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ bez dekompenzace	1
	Příloha A.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ bez dekompenzace	2

Příloha B.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 1,6 MVar	4
Příloha B.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 1,6 MVar	6
Příloha C.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 0,8 MVar	8
Příloha C.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 0,8 MVar	10
Příloha C.3 Grafické zobrazení sledovaných veličin pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 0,8 MVar	12
Příloha D.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem o výkonu v rozsahu 170 kVar - 1,7 MVar.....	13
Příloha D.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem o výkonu v rozsahu 170 kVar - 1,7 MVar.....	15

Seznam symbolů a zkratk

a_{ij}	Konstanta udávající citlivost změny U v uzlu vlivem změny Q
ASRU	Automatická sekundární regulace napětí
B_q	Susceptance naprázdno (S)
C_f	Fázová zemní kapacita ($\mu\text{F}/\text{km}$)
C'	Vzájemná kapacita mezi fázovými vodiči ($\mu\text{F}/\text{km}$)
C_p	Provozní kapacita ($\mu\text{F}/\text{km}$)
$\cos \varphi_{VTE-1}$	Zadaná hodnota účinníku VTE-1 (-)
$\cos \varphi_{VTE-(2-10)}$	Zadaná hodnota účinníku VTE-(2-10) (-)
$\cos \varphi_{PM}$	Účinník v předávacím místě (-)
\vec{D}	Velikost elektrické indukce (C/m^2)
\vec{E}	Velikost elektrické intenzity (V/m)
G_q	Konduktance naprázdno (S)
K	Vzdálenost dekompenzovaného vedení (m)
$I_0[\%]$	Proud naprázdno (%)
I_c	Velikost nabíjecího kapacitního proudu (A)
$I_{\check{C} VTE-1}$	Velikost dodávaného činného proudu z VTE-1 (A)
$I_{J VTE-1}$	Velikost dodávaného jalového proudu z VTE-1 (A)
$\overline{I_{PM}}$	Proud v předávacím místě (A)
$\overline{I_{VTE-1}}$	Velikost dodávaného zdánlivého proudu VTE-1 v komplexním tvaru (A)
$I_{\check{C} VTE-(2-10)}$	Velikost dodávaného činného proudu z VTE-(2-10) (A)
$I_{J VTE-(2-10)}$	Velikost dodávaného jalového proudu z VTE-(2-10) (A)

$\overline{I_{VTE-(2-10)}}$	Velikost dodávaného zdánlivého proudu VTE-(2-10) v komplexním tvaru (A)
I_p	Výpočtový proud (A)
$I_v(l)$	Dekompenzovaný proud protékající v první části vedení (A)
I_{LT}	Induktivní proud odebíraný dekompenzační tlumivkou (A)
P	Činné ztráty (W)
P_{PM}	Činný výkon v předávacím místě (W)
P_{VTE-1}	Dodávaný výkon větrnou elektrárnou VTE-1 (W)
$P_{VTE-(2-10)}$	Dodávaný výkon větrnou elektrárnou VTE-(2-10) (W)
P_p	Velikost přirozeného výkonu (W)
$P_{tl.}$	Ztráty v tlumivce (W)
R	Elektrický odpor (Ω)
R_k	Odpor nakrátko daného transformátoru (Ω)
$\overline{S_{PM}}$	Zdánlivý výkon v předávacím místě (VA)
t	Doba působení nabíjecího kapacitního proudu (s)
t_z	Doba plných ztrát (hod./rok)
Q	Elektrický náboj (C)
Q_{PM}	Jalová složka v předávacím místě (VAr)
$Q_{tl.}$	Velikost dekompenzačního výkonu tlumivky (VAr)
Q_c	Jalový výkon kapacitního charakteru (VAr)
U_f	Fázové napětí dané elektrizační sítě (V)
U_{35f}	Velikost fázového napětí z místa připojení VTE-1 (V)
$\overline{U_{PM}}$	Napětí v předávacím místě (V)
VTE	Větrné elektrárny

VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
X_k	Reaktance daného transformátoru (Ω)
$X_{tl.}$	Induktivní reaktance dekompenzační tlumivky (Ω)
Y_q	Admitance naprázdno (S)
ZVN	Zvlášť vysoké napětí
Z_K	Impedance nakrátko (Ω)
\bar{Z}	Impedance v komplexním tvaru (Ω)
Z_V	Vlnová impedance (Ω)
E	Permitivita (F/m)
ε_r	Relativní permitivita (-)
δ	Potenciálová konstanta pro fázovou zemní kapacitu (km/ μ F)
δ'	Potenciálová konstanta vzájemné kapacity mezi vodiči (km/ μ F)
ω	Úhlová frekvence (rad. s^{-1})
ΔP_k	Ztráty nakrátko vzniklé na transformátoru (W)
ΔU_i	Požadovaná změna velikosti napětí v regulovaném uzlu i
ΔQ_j	Velikost změny dodávaného jalového výkonu vyvolané v uzlu j

Úvod

Současný rozvoj v oblasti obnovitelných zdrojů s sebou přináší řadu negativních aspektů, jeden z těchto aspektů je způsoben připojováním větrných farem do distribuční soustavy prostřednictvím kabelového vedení. Vlivem vysoké kapacity kabelového vedení v době nižšího výkonu větrné farmy vzniká nabíjecí kapacitní proud, který navyšuje proudové zatížení a ztráty na vedení.

V této práci se budu nejprve věnovat problematice týkající se nabíjecích kapacitních proudů kabelové sítě, kde budu řešit výpočet velikosti nabíjecího kapacitního proudu, ztráty způsobené na kabelovém vedení a také, jakým způsobem lze nabíjecí kapacitní proud dekompenzovat za účelem omezení vzniklých ztrát nebo za účelem zlepšení účinníku v předávacím místě.

V následující části budu popisovat, jak lze využít výkon větrné farmy pro zajištění regulační rezervy, která je nutná pro regulaci udržující velikost napětí v daném tolerančním rozsahu v pilotním uzlu. Poté se budu zabývat nežádoucími vlivy při provozu se špatným účinníkem a optimální velikostí účinníku z pohledu přenosu elektrické energie.

V největší části této práce budu řešit případovou studii představující větrnou farmu připojenou prostřednictvím kabelového vedení do distribuční sítě, ve které je zapotřebí omezit nabíjecí kapacitní proud vedení a dodržet požadovaný účinník v předávacím místě. Pro zadanou studii tedy vytvořím matematický model, ve kterém navrhnu potřebný výkon dekompenzační tlumivky a následně provedu analýzu pro případ studie, ve kterém nebude uvažována dekompenzační tlumivka, bude dekompenzační tlumivka s fixním výkonem a pak pro dekompenzační tlumivku s laditelným výkonem.

Na závěr uvedu vývoj větrné energetiky z technické a ekonomické oblasti pro Českou republiku.

1 Nabíjecí kapacitní proud

Vzhledem k neustálému nárůstu podílu kabelového vedení v elektrizační soustavě se musí počítat se zvýšením ztrát elektrické energie, které je způsobené vlivem nabíjecích kapacitních proudů. Tato problematika je v energetice poměrně nová a momentálně se nejvíce týká severních států Evropy, kde kvůli snížení počtu poruch a klimatických vlivů dochází k postupné kabelizaci dlouhých úseků vedení na hladině vysokého napětí. Dále k nárůstu podílu kabelových vedení přispěla rychle se rozvíjející energetika OZE, kde připojených zdrojů do elektrizační soustavy stále přibývá. Je-li vyvedení výkonu z OZE do připojovacího místa distribuční soustavy provedeno kabelovým vedením, tak se velikost nabíjecího kapacitního proudu projeví v závislosti na délce. [1]

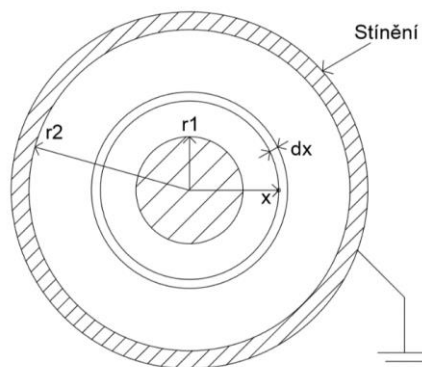
Hodnota provozní kapacity kabelového vedení je několikrát vyšší (cca 30–50krát), než u venkovního vedení. Tato vysoká hodnota provozní kapacity vyvolává proud kapacitního charakteru ve vedení, a to i v případě, je-li vedení v bezporuchovém stavu. Tento typ vzniklého proudu se označuje jako nabíjecí kapacitní proud vedení. Vysoká hodnota nabíjecího kapacitního proudu může vést k překompensování sítě vysokého napětí, které je více pravděpodobné v době, kdy odběr jalového výkonu s induktivním charakterem není tak vysoký. Tento stav může nastat například v době menšího zatížení nebo v době, kdy vedení bude ve stavu naprázdno. Nabíjecí kapacitní proud přispívá k celkovému proudovému zatížení vedení. Ztráty elektrické energie při přenosu, které jsou způsobené průchodem nabíjecího kapacitního proudu, jsou kvadraticky závislé na proudovém zatížení a lineárně závislé na rezistenci vedení. [1]

1.1 Výpočet provozní kapacity pro nabíjecí kapacitní proud

Pro výpočet hodnoty nabíjecího kapacitního proudu je nutné znát provozní kapacitu. Provozní kapacita udává celkovou kapacitu vedení, která zahrnuje vzájemnou kapacitu mezi fázovými vodiči a fázovou zemní kapacitu, která je tvořena mezi jednotlivými fázemi proti stínění. Podle typu zvoleného kabelu se ovlivní působení těchto dvou kapacit, které pak udávají celkovou provozní kapacitu. Při použití jednofázového či vícefázového kabelu s vlastním stíněním na každou fázi se provozní kapacita skládá pouze z fázové zemní kapacity. Jestliže je použit vícefázový kabel se společným stíněním, tak provozní kapacita zahrnuje vzájemnou kapacitu a fázovou zemní kapacitu. Na napěťových hladinách VN, VVN a ZVN se používají nejčastěji jednožilové kabely s vlastním stíněním. Vzdálenost mezi vodičem a jeho stíněním je poměrně malá, a proto

relativní permitivita daného dielektrika je větší než 1. Z tohoto důvodu má kabelové vedení mnohem větší provozní kapacitu než venkovní vedení, u kterého je relativní permitivita rovná 1. [2]

1.1.1 Kapacita jednofázového kabelu s vlastním stíněním



Obr. 1 Průřez jednofázového kabelu s vlastním stíněním [2]

Na obr. 1 je průřez jednofázového kabelu, kde kapacita je tvořena mezi povrchem vodiče a jeho kovovým stíněním. V tomto typu kabelu se projeví pouze fázová zemní kapacita, proto se rovná celkové provozní kapacitě. Po přivedení napětí se vytvoří v dielektriku elektrické pole, ve kterém je elektrická indukce dána velikostí intenzity elektrického pole a permitivity dielektrika podle vztahu (1.1). Teoretický postup výpočtu provozní kapacity jednofázového kabelu vychází z [2].

$$\vec{D} = \varepsilon * \vec{E} \quad (1.1)$$

Kde:

\vec{D} Velikost elektrické indukce (C/m²)

ε Permitivita (F/m)

\vec{E} Velikost elektrické intenzity (V/m)

Pro určení velikosti napětí mezi vodičem a stíněním je třeba znát intenzitu elektrického pole, kterou lze vypočítat za pomoci 3. Maxwellovy rovnice:

$$\oint_S \vec{D} * d\vec{S} = Q \quad (1.2)$$

Kde:

S Plocha povrchu vodiče (m²)

Q Elektrický náboj (C)

Jako uzavřená plocha je uvažován povrch vodiče o určité délce, povrch vodiče je $S=2\pi xl$, po integraci a dosazení tedy:

$$\vec{D} * 2\pi xl = Q \quad (1.3)$$

Kde:

x Vzdálenost od středu vodiče (m)

l Délka vodiče (m)

Po dosazení vztahu 1.3 do vztahu 1.1 se vyjádří intenzita elektrického pole, ze které je vidět závislost na velikosti náboje Q a uzavřené plochy $d\vec{S}$, jež náboj obklopuje.

$$\vec{E} = \frac{Q}{\epsilon 2\pi xl} \quad (1.4)$$

V následujícím kroku lze vypočítat velikost napětí jako rozdíl potenciálů v místě r_1 a r_2 , předpokládá se nulová hodnota potenciálu v místě r_2 :

$$U = \varphi_{r1} - \varphi_{r2} = \int_{r1}^{r2} \vec{E} dx = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \int_{r1}^{r2} \frac{1}{x} dx = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{r2}{r1} \quad (1.5)$$

Kde:

U Velikost napětí (V)

r_1 Poloměr průřezu vodiče (m)

r_2 Vzdálenost od středu vodiče k vnitřní straně stínění (m)

Provozní kapacita jednofázového kabelu:

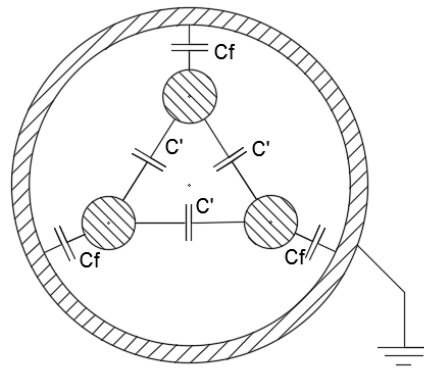
$$C_p = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r2}{r1}} \quad (1.6)$$

Kde:

C_p Provozní kapacita jednofázového kabelu (F)

1.1.2 Kapacita trojžilových kabelů se společným stíněním

U kabelového vedení, které má společné stínění pro všechny fáze, se provozní kapacita skládá z fázové zemní kapacity a ze vzájemné kapacity mezi fázovými vodiči. V této části jsem uvedl výrazy pro výpočet potenciálních konstant a pro určení jednotlivých kapacit vycházející z [2].



Obr. 2 Průřez třífázového kabelu s vlastním stíněním [2]

Výrazy pro určení potenciálních konstant:

$$\delta = \frac{1}{0,0242 \cdot \varepsilon_r} \cdot \text{Log} \frac{R^2 - b^2}{R \cdot r} \quad (1.7)$$

Kde:

- δ Potenciálová konstanta pro fázovou zemní kapacitu (km/ μF)
- ε_r Relativní permitivita (-)
- R Poloměr průřezu kabelu (m)
- b Vzdálenost vodiče od středu kabelu (m)
- r Poloměr průřezu vodiče (m)

$$\delta' = \frac{1}{0,0242 \cdot \varepsilon_r} \cdot \text{Log} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R}{b}\right)^2 + \left(\frac{b}{R}\right)^2}{3}} \quad (1.8)$$

Kde:

- δ' Potenciálová konstanta pro vzájemnou kapacitu mezi fázovými vodiči (km/ μF)

Výrazy pro výpočet jednotlivých kapacit:

$$C_p = \frac{1}{\delta - \delta'} \quad (1.9)$$

Kde:

- C_p Provozní kapacita ($\mu\text{F}/\text{km}$)

$$C_f = \frac{1}{\delta + 2 \cdot \delta'} \quad (1.10)$$

Kde:

- C_f fázovou zemní kapacitu ($\mu\text{F}/\text{km}$)

$$C' = \delta' \cdot C_p \cdot C_f \quad (1.11)$$

Kde:

- C' vzájemná kapacita mezi fázovými vodiči ($\mu\text{F}/\text{km}$)

1.2 Výpočet velikosti nabíjecího kapacitního proudu

Určení nabíjecího kapacitního proudu je důležité pro uvážení, je-li třeba danou soustavu dekompenzovat za pomoci dekompenzační tlumivky. Při nízkých hodnotách lze nabíjecí kapacitní proud zanedbat, jelikož napájecí a distribuční transformátory mají induktivní charakter, tak jejich odebírané induktivní proudy snižují hodnotu kapacitních proudů. Transformátory napomáhají ke snížení nabíjecích kapacitních proudů jenom na velmi krátkých vzdálenostech v závislosti na jejich výkonu (v řádech cca 100 m). V případě vysokých hodnot nabíjecích kapacitních proudů je třeba k jejich snížení použít dekompenzační tlumivku. Není-li nabíjecí kapacitní proud dekompenzován, jeho průchod zvyšuje elektrické ztráty a celkově přispívá k navýšení zatížení celého kabelového vedení. Ztráty způsobené na vedení jsou závislé lineárně na odporu a kvadraticky na procházejícím nabíjecím kapacitním proudem. Z toho vyplývá, že je neefektivnější omezit procházející nabíjecí kapacitní proud. Působení nabíjecího kapacitního proudu se začne projevovat zvláště na dlouhých vedeních, přičemž jeho snížení má vliv na ekonomičnost a účinnost přenosu. [1]

Maximální velikost nabíjecího kapacitního proudu jsem vyjádřil jako podíl fázového napětí dané soustavy k reaktanci s kapacitním charakterem, kde podle vztahu níže je zřejmé, že hlavní parametr ovlivňující velikost tohoto proudu je provozní kapacita, která je dána podle druhu kabelu. [4]

$$I_c = \frac{U_f}{X_c} = \omega C_p U_f L \quad (1.12)$$

Kde:

- I_c Velikost nabíjecího kapacitního proudu (A)
- U_f Fázové napětí dané elektrizační sítě (V)
- ω Úhlová frekvence ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)
- C_p Provozní kapacita (F/m)
- L Celková vzdálenost vedení (m)

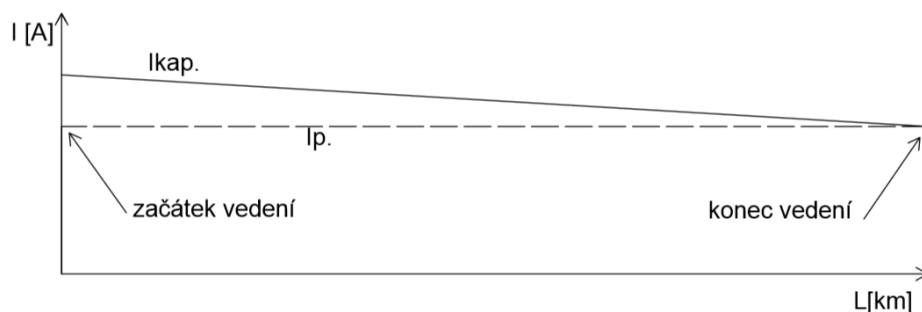
Nabíjecí výkon vedení pro trojfázové vedení bude:

$$Q_c = 3I_c U_f \quad (1.13)$$

Kde:

- Q_c Jalový výkon kapacitního charakteru (VAr)

Velikost nabíjecího kapacitního proudu se lineárně snižuje od začátku vedení až k jeho konci, kde na konci vedení by měla být velikost nabíjecího kapacitního proudu nulová. Snižující nabíjecí proud v závislosti na vzdálenosti je znázorněn na obr. 2. [3]



Obr. 3 Příspěvek nabíjecího kapacitního proudu (tj. $I_{kap.}$) k přenášenému proudu (tj. $I_p.$) na vedení v závislosti na vzdálenosti [3]

Vztah (1.14) pro výpočet velikosti nabíjecího kapacitního proudu lze formulovat jako funkci, podle které má nabíjecí proud rozdílnou velikost v závislosti na vzdálenosti od začátku vedení. [3]

$$I_c(l) = \omega C_p U_f (L - l) \quad (1.14)$$

Kde:

$I_c(l)$ Velikost nabíjecího kapacitního proudu ve vzdálenosti „ l “ od začátku vedení (A)

ω Úhlová frekvence ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)

C_p Provozní kapacita (F)

U_f Fázové napětí dané elektrizační sítě (V)

L Celková vzdálenost vedení (km)

l Úsek od začátku vedení (km)

1.3 Výpočet ztrát způsobených nabíjecím kapacitním proudem

Ztráty elektrické energie způsobené procházejícím nabíjecím kapacitním proudem lze odvodit ze základního vztahu pro Jouleovy ztráty, ze kterého vyplývá již zmiňovaná lineární závislost na odporu a kvadratická závislost na procházejícím nabíjecím kapacitním proudu. [1]

$$P = R \cdot I_c^2 \cdot t \quad (1.15)$$

Kde:

P Činné ztráty (W)

R Elektrický odpor (Ω)

I_c Nabíjecí kapacitní proud (A)

t Doba působení nabíjecího kapacitního proudu (s)

Při modifikaci vztahu (1.14) a vztahu pro Jouleovy ztráty jsem odvodil vztah (1.16), ze kterého vyplývají celkové činné ztráty způsobené procházejícím nabíjecím kapacitním proudem daným kabelovým vedením. [1]

$$P = \int_0^L R (\omega C_p U_f (L - l))^2 dl \quad (W; \Omega m^{-1}, \text{rad s}^{-1}, F, V, m, m) \quad (1.16)$$

Jestliže se upraví vztah (1.16), po vypočtení integrálu dostanu vztah (1.17) určující činné ztráty způsobené nabíjecím kapacitním proudem ve vodiči jedné fáze. [1]

$$P = R \cdot I_{cm}^2 \cdot \frac{L^3}{3} \quad (1.17)$$

Jednotlivé parametry jsou definovány takto:

P Činné ztráty na jedné fázi vlivem průchodu nabíjecího kapacitního proudu (W)

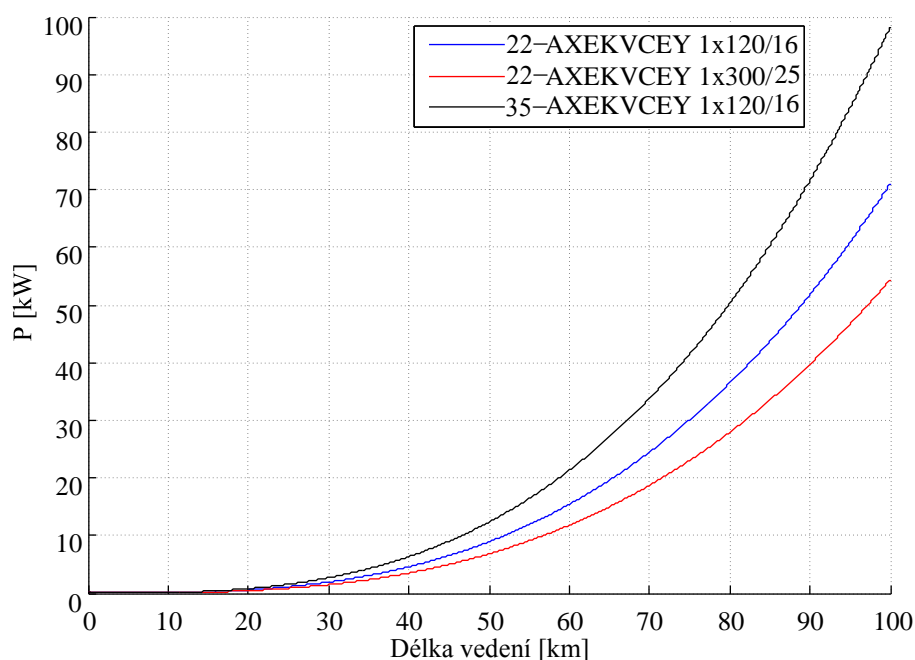
R Činný odpor vodiče (Ωm^{-1})

I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (Am^{-1})

L Délka vedení (m)

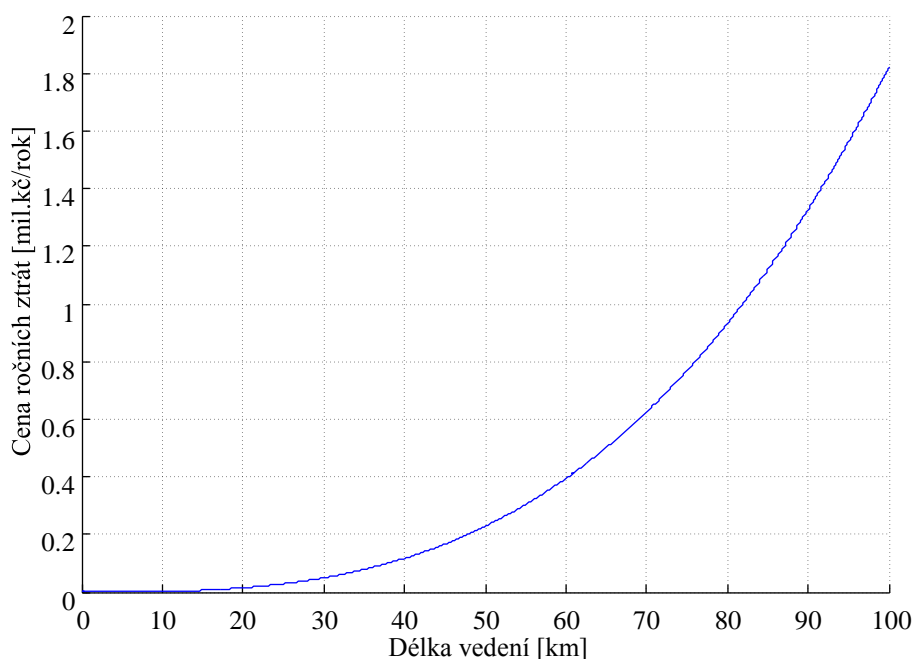
Pro názornost jsem graficky zobrazil (obr. 4) činné ztráty na jedné fázi kabelového vedení způsobené protékajícím nabíjecím kapacitním proudem, kde pro porovnání jsou zobrazeny průběhy kabelu typu 22-AXEKVCEY 1x120/16, 22-AXEKVCEY 1x130/25 a 35-AXEKVCEY 1x120/16. Jednotlivé typy kabelů mají rozdílné elektrické parametry, kde typ kabelu 22-AXEKVCEY 1x120/16 má hodnotu činného odporu 0,253 Ω/km a kapacitu 0,23 $\mu F/km$, 22-AXEKVCEY 1x130/25 má kvůli většímu průřezu menší hodnotu činného odporu 0,100 Ω/km , ale vyšší kapacitu 0,32 $\mu F/km$, poslední typ kabelu je 35-AXEKVCEY 1x120/16, má činný odpor 0,253 Ω/km a kapacitu 0,17 $\mu F/km$.

Činné ztráty způsobené procházejícím nabíjecím kapacitním proudem především závisí na délce vedení. Z obr. 4 je zřejmé, že dekompenzaci nabíjecího kapacitního proudu je výhodné řešit až pro dlouhé kabelové úseky, kde vzniklé činné ztráty budou výrazně snižovat účinnost přenosu elektrické energie.



Obr. 4 Zobrazené činné ztráty na jedné fázi kabelového vedení vyvolané procházejícím nabíjecím kapacitním proudem v závislosti na délce vedení pro různé typy kabelů

Pro zhodnocení ekonomičnosti přenosu elektrické energie je zapotřebí finančně ohodnotit činné ztráty vyvolané nabíjecím kapacitním proudem. Podle toho lze navrhnout vhodné řešení, které má vzniklé ztráty co nejefektivněji snížit.



Obr. 5 Finanční ztráta způsobená nabíjecím kapacitním proudem na 3fázovém kabelovém vedení typu 22-AXEKVCEY 1x120/16 v závislosti na délce daného vedení

Výpočet finanční ztráty jsem provedl pro typ kabelu 22-AXEKVCEY 1x120/16. Pro výpočet jsem použil aktuální cenu elektrické energie, která v ČR dosahuje 38,10 €/MWh

(tj. 976 Kč / MWh). Jak je vidět z obr. 5, pro vedení dlouhé 30 km cena ročních ztrát činí cca 50 000 Kč. Tato částka je však zanedbatelná oproti finanční ztrátě na vedení dlouhém 100 km, kde cena ročních ztrát převyšuje hodnotu 1 800 000 Kč. Je tedy zřejmé, že snížením velikosti procházejícího kapacitního proudu se docílí podstatné finanční úspory při přenosu elektrické energie.

1.4 Dekompenzování nabíjecího kapacitního proudu z důvodu zlepšení účinnosti v síti

Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu z důvodu zachování požadované hodnoty účinnosti $\cos \varphi$ v daném místě je především podstatná u dlouhých kabelových vedení, na kterých je vysoká hodnota nabíjecího kapacitního proudu. V případě, že je vedení nezatížené a odběr jalového výkonu nízký, je vlivem vyšší hodnoty nabíjecího kapacitního proudu možné, že dojde k překompenzování na jalový výkon s kapacitním charakterem. Hodnota účinnosti by se měla pohybovat v rozsahu 0,95 až 0,98. Při dekompenzaci nabíjecího kapacitního proudu se zlepší hodnota účinnosti, a tím se sníží činné ztráty způsobené na vedení. Pro zmenšení velikosti nabíjecího kapacitního proudu se do dané sítě připojuje paralelně třífázová dekompenzační tlumivka. Dekompenzační tlumivka tvoří induktivní zatížení v dané síti a odebírá jalový výkon s induktivním charakterem, kterým se dekompenzuje jalový výkon kapacitního charakteru. [1]

Výpočet velikosti činných ztrát vzniklých vlivem průtoku nabíjecího kapacitního proudu po použití „n“ dekompenzačních tlumivek je dán vztahem (1.18). [1]

$$P = R \cdot I_{cm}^2 \cdot \frac{L^3}{3(2 \cdot n)^2} \quad (1.18)$$

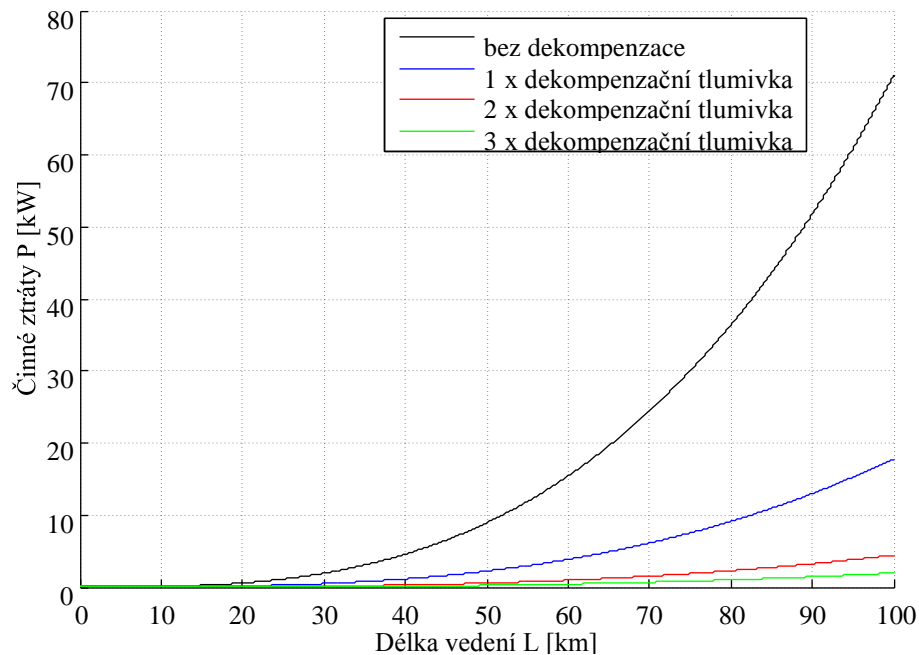
Kde jednotlivé parametry jsou:

- P Činné ztráty na jedné fázi, je-li vedení dekompenzováno při použití „n“ tlumivek (W)
- R Činný odpor vodiče (Ω/m)
- I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (A/m)
- L Délka vedení (m)
- n Množství použitých dekompenzačních tlumivek, minimálně $n = 1$

Jestliže se bude rovnat jalový výkon dekompenzační tlumivky jalovému výkonu nabíjecího kapacitního proudu, tak se nabíjecí kapacitní proud zmenší o jednu polovinu a tím dojde ke snížení činných ztrát na 25 % z původní hodnoty činných ztrát bez dekompenzace. K největší účinnosti dekompenzační tlumivky dojde, je-li tlumivka

umístěná přesně doprostřed daného úseku. V případě, že je potřeba jedna dekompenzační tlumivka ($n = 1$), její umístění bude v 50 % délky vedení. Jsou-li zapojeny dvě dekompenzační tlumivky, jalový výkon jedné tlumivky bude 50 % z celkového požadovaného jalového výkonu pro potřebnou dekompenzaci. Vedení se rozdělí na dva úseky ($n = 2$) a doprostřed těchto úseků se umístí tlumivky (tedy ve 25 % a v 75 % vedení). [1]

Na obr. 6 jsem zobrazil velikost činných ztrát v případě, je-li užitá jedna, dvě nebo tři dekompenzační tlumivky, a pro porovnání je zde vidět i nedekompenzované vedení.



Obr. 6 Zobrazení velikosti činných ztrát při dekompenzaci při použití „n“ dekompenzačních tlumivek na jedné fázi kabelového vedení (typ kabelu: 22-AXEKVCEY 1x120/16)

Modrá křivka představuje činné ztráty při použití jedné dekompenzační tlumivky, která zapříčinila největší snížení činných ztrát, a to o cca 75 % z hodnoty činných ztrát před dekompenzací. Červená křivka zobrazuje snížení činných ztrát o cca 95 % a zelená křivka o cca 97 %. Při instalování více dekompenzačních tlumivek není snížení činných ztrát tak výrazné. K nejvýraznějšímu snížení činných ztrát dojde při použití jedné či dvou dekompenzačních tlumivek.

1.5 Dekompenzování nabíjecího kapacitního proudu z důvodu omezení činných ztrát

V předešlé části jsem vysvětlil dekompenzaci nabíjecího kapacitního proudu za účelem udržení požadované hodnoty účinníku jak na počátku, tak i na konci vedení. Pro splnění

této podmínky je nejvhodnější umístit dekompenzační tlumivku doprostřed daného úseku. Pokud hlavním důvodem dekompenzace nebude udržení požadovaného účinníku, ale zvýšení ekonomického hlediska z pohledu provozování kabelového vedení, je potřeba co nejvhodněji zvolit umístění dekompenzační tlumivky a následně co nejlépe optimalizovat výkon tlumivky. Vzniklé činné ztráty se vypočítají z již uvedeného vztahu (1.18) a jak lze vidět na obr. 6, především u dlouhých vedení hodnota činných ztrát dosahuje vysokých hodnot. Velikost nabíjecího kapacitního proudu se omezí zapojením dekompenzační tlumivky v přijatelném místě vedení. To má vliv na snížení činných ztrát, zároveň, ale narostou ztráty vzniklé v dekompenzační tlumivce. Velikost přispívajících ztrát vzniklých v dekompenzační tlumivce se pohybuje okolo 1 % z odebíraného jmenovitého jalového výkonu. Pro určení velikosti celkových činných ztrát po dekompenzaci je důležité určit jak činné ztráty vzniklé na vedení, tak i činné ztráty vyvolané samotnou dekompenzační tlumivkou. Aby dekompenzace měla smysl z ekonomického a technického hlediska, celková velikost činných ztrát po dekompenzaci by měla vyjít menší ve srovnání s velikostí činných ztrát vzniklých na nedekompenzovaném vedení. [1]

Pro stanovení činných ztrát na kabelovém vedení, je-li připojena pouze jedna dekompenzační tlumivka, je nutné rozdělit vedení na dvě části. První část je úsek mezi začátkem vedení a místem, ve kterém je připojena dekompenzační tlumivka. V této části proud s induktivním charakterem odebíraný dekompenzační tlumivkou zapříčiní snížení velikosti nabíjecího kapacitního proudu. Z toho důvodu dochází k omezení činných ztrát. Druhá část je tvořená úsekem mezi místem, kde je připojena dekompenzační tlumivka, a koncem daného vedení. V této části není vedení dekompenzované, proto není omezen nabíjecí kapacitní proud. [1]

Velikost nedekompenzovaného nabíjecího kapacitního proudu je daná vztahem (1.19). [1]

$$I_c(l) = I_{cm} \cdot (L - l) \quad (1.19)$$

Kde jednotlivé parametry jsou:

$I_c(l)$ Nabíjecí kapacitní proud ve vzdálenosti „ l “ za připojenou tlumivkou

I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (A/m)

L Celková vzdálenost vedení (m)

l Délka, ve které je počítána I_c , minimální je od místa připojení tlumivky (m)

Dekompenzační tlumivka svým odebíraným induktivním proudem (I_{LT}) ovlivňuje velikost proudu (I_V), který protéká v první části vedení. [1]

$$I_V(l) = I_{cm} \cdot (L - l) - I_{LT} \quad (1.20)$$

Kde jednotlivé parametry jsou:

$I_V(l)$ Dekompenzovaný proud protékající v první části vedení (A)

I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (A/m)

L Celková vzdálenost vedení (m)

l Délka, ve které je počítána hodnota I_V , od začátku vedení po místo připojení tlumivky (m)

I_{LT} Induktivní proud odebíraný dekompenzační tlumivkou (A)

Výpočet velikosti činných ztrát vznikající v první části se bude odvíjet od níže uvedeného vztahu. [1]

$$P_1 = R \int_0^D (I_c(l) - I_{LT})^2 dl \quad (1.21)$$

Popis jednotlivých parametrů:

P_1 Velikost činných ztrát vzniklých v první části vedení (W)

R Činný odpor vodiče (Ω/m)

D Délka úseku od začátku vedení k bodu, ve kterém je připojena tlumivka (m)

$I_c(l)$ Velikost nabíjecího kapacitního proudu v první části vedení (A)

I_{LT} Induktivní proud odebíraný dekompenzační tlumivkou (A)

Pro určení velikosti induktivního proudu (I_{LT}) se bude počítat s násobitelem „K“, který vyjadřuje vzdálenost dekompenzovaného vedení, a s nabíjecím kapacitním proudem přepočteným na jeden metr. [1]

$$I_{LT} = I_{cm} \cdot K \quad (A; Am^{-1}, m) \quad (1.22)$$

Do již zmíněného vztahu (1.21) dosadím vztah pro výpočet $I_c(l)$ (1.19) a I_{LT} (1.22). Po dosazení výpočet činných ztrát v první části vedení je dán vztahem (1.23). [1]

$$P_1 = RI_{cm}^2 \int_0^D (L - l - K)^2 dl \quad (W; \Omega m^{-1}, Am^{-1}, m, m, m) \quad (1.23)$$

a po následující úpravě:

$$P_1 = RI_{cm}^2 (L^2D - LD^2 - 2KLD + KD^2 + K^2D + \frac{D^3}{3}) \quad (1.24)$$

Popis parametrů:

- P_1 Velikost činných ztrát vzniklých v první části vedení (W)
- R Činný odpor vodiče (Ω/m)
- I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (A/m)
- D Délka úseku od začátku vedení k bodu, ve kterém je připojena tlumivka (m)
- K Vzdálenost dekompenzovaného vedení (m)

V druhé části vedení nemá dekompenzační tlumivka vliv na snížení velikosti procházejícího nabíjecího kapacitního proudu, a proto budu vycházet ze vztahu (1.17). Pro tento výpočet se musí vztah ještě upravit tak, aby činné ztráty platily pro druhou část vedení. [1]

$$P_2 = R \cdot I_{cm}^2 \cdot \frac{(L-D)^3}{3} \quad (1.25)$$

Popis parametrů:

- P_2 Činné ztráty ve druhé části vedení vyvolané na jedné fázi (W)
- R Činný odpor vodiče (Ω/m)
- I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (A/m)
- L Celková vzdálenost vedení (m)
- D Délka úseku od začátku vedení k bodu, ve kterém je připojena tlumivka (m)

Sečtení činných ztrát vzniklých v první a druhé části vedení udává celkové činné ztráty v jedné fázi kabelového vedení. [1]

$$P = P_1 + P_2 \quad (W; W, W) \quad (1.26)$$

Vztah pro celkové činné ztráty po dosazení má tvar:

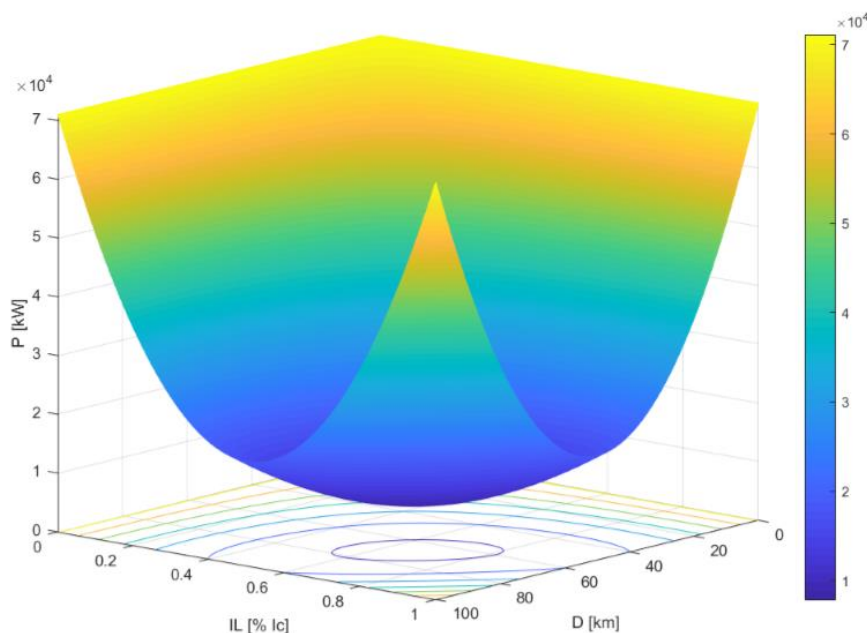
$$P = RI_{cm}^2 \left(L^2D - LD^2 - 2KLD + KD^2 + K^2D + \frac{D^3}{3} + \frac{(L-D)^3}{3} \right) \quad (1.27)$$

Popis jednotlivých parametrů:

- P Celkové činné ztráty v jedné fázi kabelového vedení (W)
- R Činný odpor vodiče (Ω/m)
- I_{cm} Nabíjecí kapacitní proud (A/m)
- L Celková vzdálenost vedení (m)

- D Délka úseku od začátku vedení k bodu, ve kterém je připojena tlumivka (m)
K Vzdálenost dekompenzovaného vedení (m)

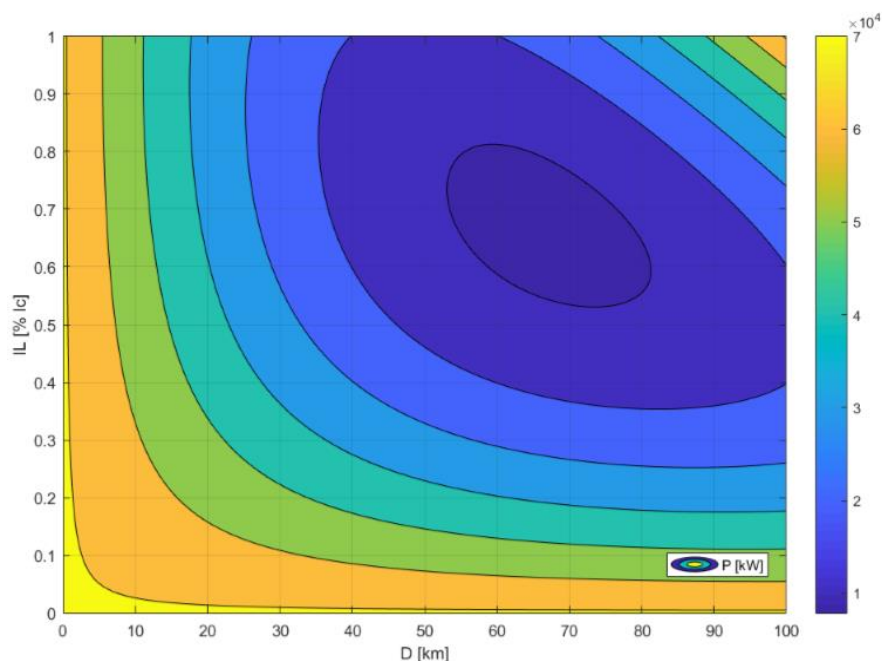
Pro grafické zobrazení činných ztrát způsobené v jedné fázi kabelového vedení jsem provedl výpočty, ze kterých vyplývá nejúčinnější umístění dekompenzační tlumivky, tak, aby ztráty vyvolané nabíjecím kapacitním proudem byly co nejnižší. Při výpočtu jsem uvažoval pouze s jednou instalovanou dekompenzační tlumivkou a pro kabel 22-AXEKVCEY 1x120/16.



Obr. 7a Činné ztráty vyvolané nabíjecím kapacitním proudem na jedné fázi kabelového vedení závislé na vzdálenosti zapojení dekompenzační tlumivky od začátku vedení [D] a na procentní velikosti odebíraného induktivního proudu dekompenzační tlumivkou [IL % I_c]

Na obr. 7a jsem zobrazil činné ztráty na kabelovém vedení způsobené nabíjecím kapacitním proudem. Velikost činných ztrát ovlivňuje místo, ve kterém dojde k připojení dekompenzační tlumivky, a velikost odebíraného induktivního proudu danou tlumivkou. Je-li nabíjecí kapacitní proud zcela dekompenzován induktivním proudem (tj. je-li na obrázku $IL=1$), nejmenší činné ztráty nastanou při připojení dekompenzační tlumivky přesně doprostřed vedení. V tomto případě se činné ztráty pohybují kolem 18 kW. Tato velikost činných ztrát není nejnižší, ke které může dojít. Nejvyšší účinnosti dekompenzační tlumivky tak, aby vlivem nabíjecího kapacitního proudu byly činné ztráty nejnižší, lze dosáhnout při umístění dekompenzační tlumivky v 66,7 % délky vedení od jeho začátku a při nastavení odebíraného induktivního proudu o velikosti 0,67násobku z velikosti nabíjecího kapacitního proudu. V tomto případě činné ztráty budou dosahovat

cca 7,9 kW, a dojde tedy ke snížení ztrát na cca 11 % z činných ztrát před dekompenzací. Tyto ztráty jsou značně nižší než ztráty vzniklé při úplném dekompenzování nabíjecího kapacitního proudu. Jednotlivé oblasti vyjadřující velikosti činných ztrát v závislosti na umístění dekompenzační tlumivky od začátku vedení a na procentní velikosti induktivního proudu jsou zobrazené lépe při pohledu shora, a to na obrázku č. 7b. [1]

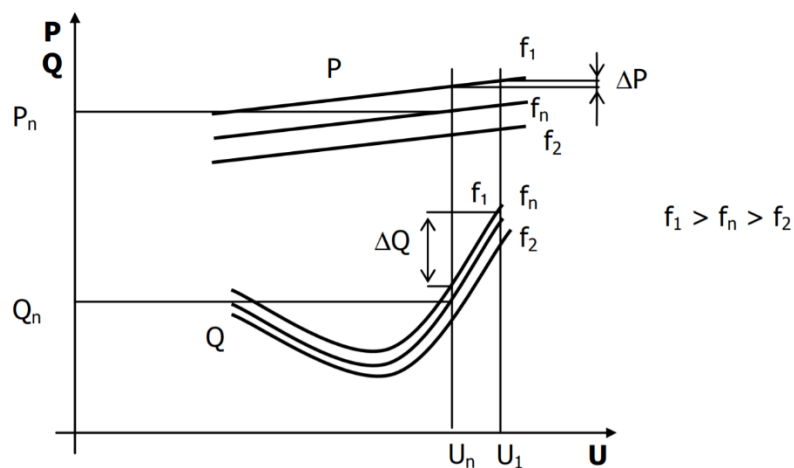


Obr. 7b Pohled shora zobrazující rozdílné oblasti činných ztrát způsobených procházejícím nabíjecím kapacitním proudem v jedné fázi kabelového vedení

Optimální volbou místa připojení dekompenzační tlumivky na vedení a požadovanou velikostí dekompenzování nabíjecího kapacitního proudu dojde ke snížení investičních nákladů na pořízení samotné dekompenzační tlumivky o určitém výkonu a ztrát vzniklých při jejím provozování.

2 Regulace U a Q prostřednictvím farem větrných elektráren

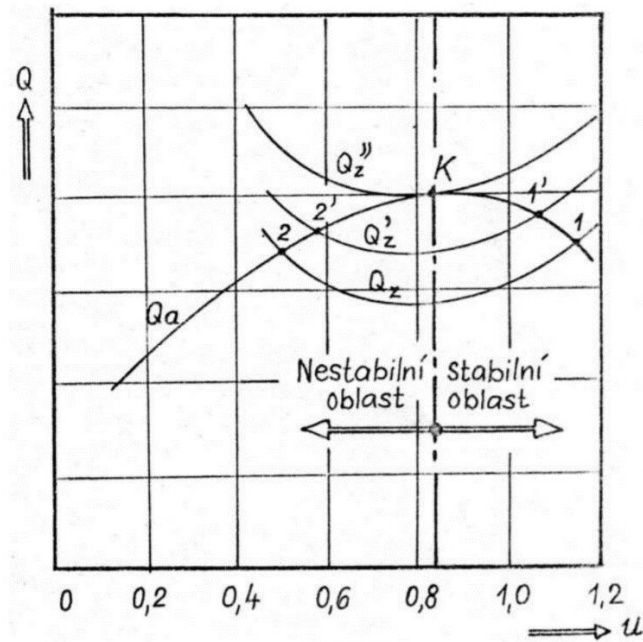
Hlavní funkcí elektrizační soustavy je zajistit spolehlivou a hospodárnou dodávku elektrické energie o určité kvalitě. Pro splnění těchto podmínek musí být v každém okamžiku udržována rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektrické energie, tedy výkonová bilance. Nedodržení výkonové bilance, a to změnou činných nebo jalových toků na straně odběratele či výroben, má vliv na změnu velikosti frekvence a napětí. Pro udržení výkonové bilance je realizována regulace, pro jejíž provedení je potřebná regulační energie, kterou obstarávají podpůrné služby obchodováním na vnitřním vyrovnávacím trhu. Pro udržení výkonové bilance činných výkonů je prováděna regulace frekvence a předávaných výkonů, kde frekvence je globální parametr, jelikož její změna v dané oblasti vyvolá změny v celé propojené soustavě, na rozdíl od udržování vyrovnávací bilance jalového výkonu, kde velikost napětí je lokálním parametrem. V tomto případě je regulace napětí a jalového výkonu prováděna v jednotlivých uzlech soustavy. Fyzikální vazba jednotlivých parametrů je zobrazena na obrázku č. 8. [5]



Obr. 8 Statická charakteristika zobrazující závislost $P = F(f)$ a $Q = F(U)$ [6]

Z obrázku č. 8 vyplývá silná závislost činného výkonu na změně frekvence a též závislost jalového výkonu na změně napětí. Charakteristiky činného výkonu mají mezi sebou větší rozestup a v tom případě změna frekvence vede ke značné změně hodnoty činného výkonu, na rozdíl od charakteristik jalového výkonu, které jsou blízko u sebe, a proto při změně frekvence dojde pouze k patrné změně jalového výkonu. Strmost charakteristiky pro jalový výkon způsobuje při malých změnách napětí velké změny hodnoty jalového výkonu. [5]

Na obrázku č. 9 jsou statické charakteristiky zatížení $Q_z = f(U)$ a zdrojů $Q_g = f(U)$, kde jejich průsečík v bodě 1 znázorňuje provozní rovnovážný stav dané elektrizační soustavy. V tomto bodě se elektrizační soustava nachází ve stabilní oblasti, a proto snížení napětí v elektrizační soustavě způsobí na straně zdrojů přebytek jalového výkonu, který zapříčiní opětovné navýšení hodnoty napětí tak, že dojde k obnovení rovnovážného stavu mezi spotřebou a výrobou jalového výkonu. Jestliže dojde k poklesu napětí až do bodu 2, elektrizační soustava se nachází v nestabilní oblasti a na straně zdrojů dojde k deficitu jalového výkonu, který přispívá k dalšímu snižování napětí. V tomto případě dojde k narušení statické stability. [5]



Obr. 9 Statické napěťové charakteristiky elektrizační soustavy [5]

Jalové zatížení v elektrizační soustavě znázorňují křivky Q_z . Jestliže dojde k nárůstu jalového zatížení, tak se změní statická charakteristika zátěže, která je značena jako Q_z' . Po této změně nastane nový rovnovážný stav v bodě 1', při kterém dojde k poklesu napětí. Vlivem zvýšení jalového výkonu na straně zátěže dojde ke ztrátě statické stability při překročení krajního provozního bodu „K“. V neregulované elektrizační soustavě při jakýchkoliv změnách jalového výkonu, a to na straně zdrojů či zatížení, je způsobena fluktuační napětí, která se nemusí nacházet v požadovaném tolerančním pásmu. Z důvodu potřeby udržet hladinu napětí v požadovaném pásmu je důležité napětí v uzlech soustavy regulovat. [5]

Pro udržení požadovaného napětí ve sledovaném uzlu u regulované soustavy musí být splněna výkonová bilance jalového výkonu, daná vztahem (2.1). [6]

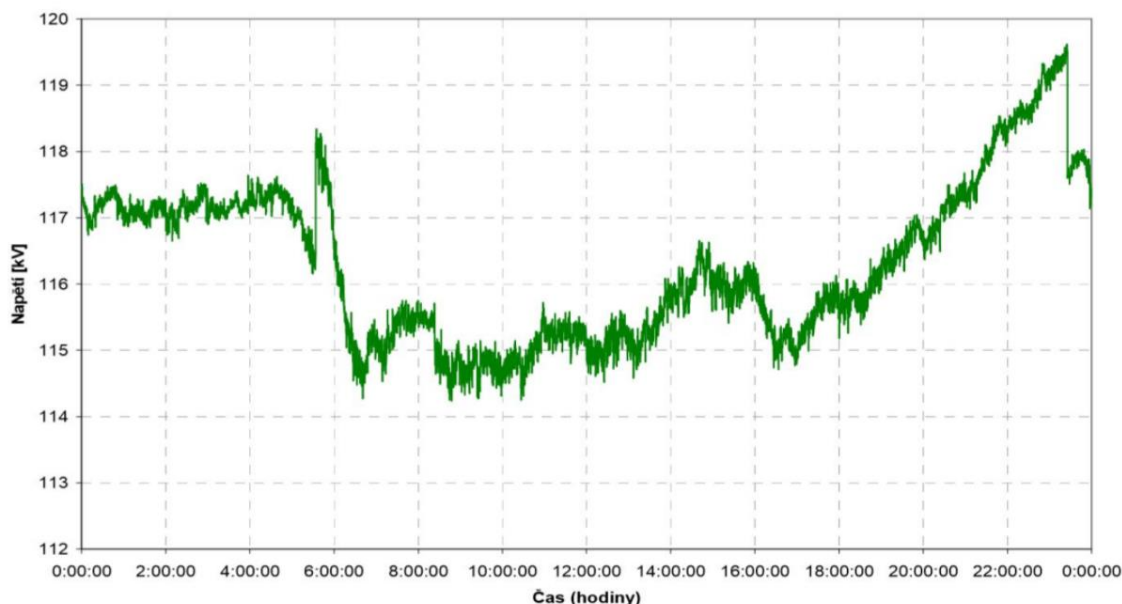
$$\sum Q_G + \sum Q_{KZ} + \sum Q_B = \sum Q_C + \Delta Q \quad (2.1)$$

Jednotlivé parametry jsou:

- $\sum Q_G$ Součet celkového vyrobeného jalového výkonu z elektráren (VAr)
- $\sum Q_{KZ}$ Součet celkového jalového výkonu kompenzačních zařízení (VAr)
- $\sum Q_B$ Součet celkového naakumulovaného jalového výkonu na vedení (VAr)
- $\sum Q_C$ Součet celkového jalového výkonu zátěže (VAr)
- ΔQ Součet celkových ztrát jalového výkonu v dané elektrizační soustavě (VAr)

2.1 Průběh napětí ve sledovaném uzlu v neregulované / regulované soustavě

Jestliže soustava bude neregulovaná, tedy bude mít jalový výkon konstantní, tak ve sledovaném uzlu dané elektrizační soustavy vznikne značná fluktuace napětí. Fluktuace napětí ve sledovaném uzlu je způsobena připojením nebo odpojením transformátorů, vedení, elektráren a také vzniklými poruchami. Na obrázku č. 10 je zobrazen průběh fluktuujícího napětí ve sledovaném uzlu v distribuční soustavě na napěťové hladině 110 kV. [6]



Obr. 10 Průběh napětí ve sledovaném uzlu v neregulované distribuční soustavě 110 kV [7]

Je-li velikost napětí regulována změnou dodávaného jalového výkonu ve sledovaném uzlu dané soustavy, v případě dostatečně velké regulační rezervy jalového výkonu bude hodnota napětí držena v požadovaném tolerančním rozsahu. Touto regulací se minimalizuje fluktuace napětí, jak lze vidět na obr. 11. [7]



Obr. 11 Průběh napětí ve sledovaném uzlu v regulované distribuční soustavě 110 kV [7]

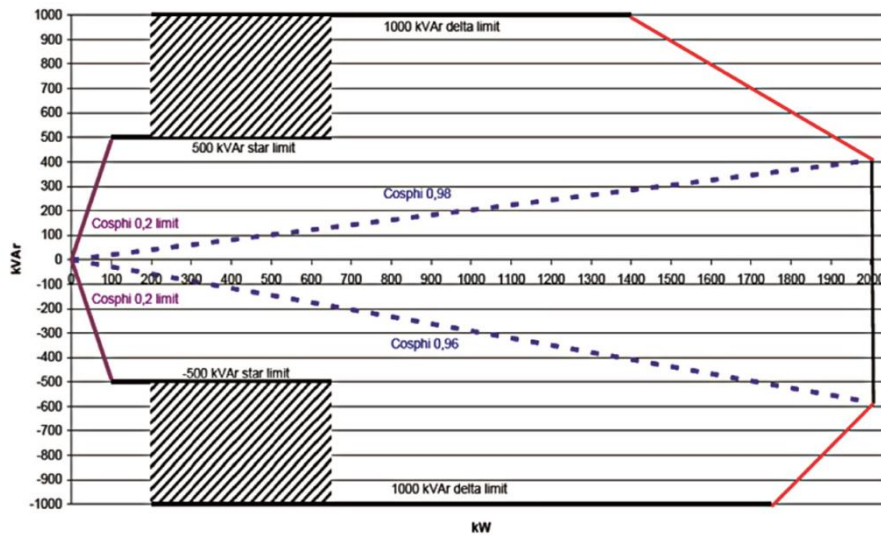
Pro zajištění požadované regulace musí být v elektrizační soustavě dostatečně velká regulační rezerva jalového výkonu. Potřebnou regulační rezervu jalového výkonu zajišťují především synchronní generátory, motory, kompenzátorové baterie, vedení VVN a synchronní kompenzátory. [7]

2.2 Využití větrné farmy pro regulaci U a Q

Provozovatel přenosové a distribuční soustavy pro co nejefektivnější optimalizaci technických ztrát a udržení napěťové stability využívá regulační rezervy jalového výkonu, kterou mu poskytují za určitých podmínek provozovatelé výroben. V oblasti regulace napětí a jalových výkonů dochází k rozvoji a efektivnímu využívání farem větrných elektráren, které mohou poskytovat provozovateli dané soustavy velké množství regulační rezervy jalového výkonu. Velikost jalového výkonu, kterou má větrná elektrárna k dispozici jako regulační rezervu, je daná P-Q diagramem. Tento diagram vyjadřuje závislost dodávaného nebo odebíraného jalového výkonu na činném výkonu a respektuje technická omezení. [8]

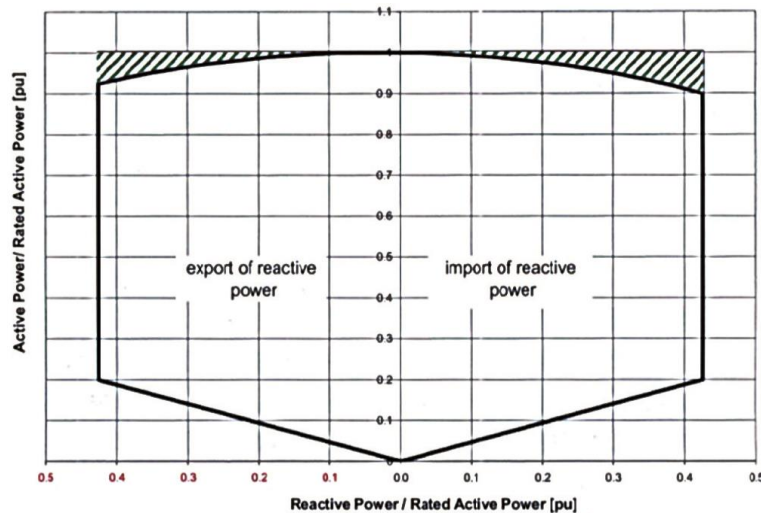
2.2.1 Regulační rezerva dle typu P-Q diagramu větrné elektrárny

P-Q diagram je dán výrobcem a liší se dle typu dané větrné elektrárny. Na tvar P-Q diagramu má vliv jak konstrukce stroje, tak i to, jakým způsobem je zvolený generátor připojen do elektrizační sítě. Pro porovnání rozdílnosti diagramů jsem použil typ větrné elektrárny Vestas V90 - 2MW a Enercon. [9]



Obr. 12 P-Q diagram pro typ větrné elektrárny Vestas V90 - 2MW [9]

Z diagramu pro stroj typu Vestas V90 - 2MW vyplývá značné omezení jalového výkonu při rozběhu. To je způsobené vlivem přímého připojení generátoru do elektrizační soustavy přes přepínač hvězda – trojúhelník. Tedy v době rozběhu je statorové vinutí generátoru zapojeno do hvězdy. [9]



Obr. 13 P-Q diagram pro typ větrné elektrárny Enercon [9]

V případě použití stroje Enercon k omezení jalového výkonu nedochází, jelikož připojení generátoru do elektrizační soustavy je za pomoci měniče. Větrné elektrárny, jak lze výše vidět, mají velkou regulační rezervu jalového výkonu, kterou lze poskytnout pro žádanou regulaci. Při provozování větrné elektrárny ve střední části diagramu je možné dosáhnout značné nezávislosti dodávaného nebo odebíraného jalového výkonu na výrobě činného výkonu. Při tomto provozním režimu je větrná elektrárna schopná dodávat potřebný jalový výkon pro uskutečnění regulace i v případě nízké výroby činného

výkonu. Při nepříznivých povětrnostních podmínkách je možné využít GE-systém wind free, který umožňuje omezenou dodávku jalového výkonu, a to i v případě, není-li větrná elektrárna v pohybu. [9]

2.2.2 Způsob řízení jalového výkonu větrných elektráren

Je-li v dané soustavě využíván jalový výkon dodávaný větrnou elektrárnou, nadřazený dispečink má možnost provést řízení na úrovni samotné větrné elektrárny, na úrovni farmy větrných elektráren nebo na úrovni pilotního uzlu soustavy. [9]

Na úrovni samotné větrné elektrárny:

Na této úrovni je technicky možné řízení při pevném účinníku, nastavitelném účinníku anebo povelováním jalového výkonu větrné elektrárny. V první možnosti nelze během provozu velikost účinníku měnit, jelikož je pevně nastavený od výrobce. U řízení s nastavitelným účinníkem lze velikost účinníku měnit v určitém rozsahu, a to místně nebo dálkově. V poslední možnosti řízení na této úrovni je možné měnit zadanou hodnotu jalového výkonu podle potřeby, a to místně nebo dálkově. [9]

Na úrovni farmy větrných elektráren:

Na této úrovni je možné řízení, kde bude pevně nastavená nebo proměnná hodnota účinníku celé větrné farmy. Další možností je řízení s pevně nastaveným nebo proměnným jalovým výkonem větrné farmy, nebo lze udržovat požadovanou hodnotu napětí v rozvodně, do které jsou jednotlivé větrné elektrárny připojeny. [9]

Na úrovni pilotního uzlu soustavy:

Řízení na této úrovni je potřeba provést u rozvoden, ve kterých lze měnit dodávku jalového výkonu dle regulované potřeby. Jedna z možností je udržování dodávaného jalového výkonu od farmy větrné elektrárny na konstantní hodnotě, a druhou, nejvíce efektivní možností řízení jalového výkonu ze všech uvedených je regulace napětí v pilotním uzlu dané soustavy. Při tomto typu řízení se využívá systém ASRU (tj. Automatická sekundární regulace napětí), který udržuje požadovanou hodnotu napětí v pilotním uzlu dané soustavy prostřednictvím změn dodávaného jalového výkonu poskytnutého z farmy větrné elektrárny. [9]

2.3 Automatická sekundární regulace napětí (ASRU)

System ASRU je využíván jako dispečerský nástroj pro efektivní řízení jalových toků, které napomáhá ke zvýšení stabilizace napětí v pilotních uzlech regulované soustavy, a to jak v přenosových, tak i v distribučních soustavách. Tento systém disponuje zpětnou vazbou z regulované soustavy, a proto vyhodnocené změny jalového výkonu jsou koordinované s aktuálním požadavkem. Při použití systému ASRU dochází v dané soustavě ke zlepšení napěťové stability, hospodárného přenosu a kvality dodávané energie. [10]

2.3.1 Fyzikální princip automatické sekundární regulace napětí

System ASRU udržuje požadovanou hodnotu napětí v pilotním uzlu prostřednictvím změn dodávaného jalového výkonu. V regulovaném pilotním uzlu dojde ke stabilizaci požadovaného napětí, jestliže v tom samém uzlu bude vyrovnána výkonová bilance jalového výkonu, proto je třeba přizpůsobit dodávaný jalový výkon dle aktuální spotřeby jalového výkonu. Princip regulace systému ASRU vyjadřuje vztah (2.2). [10]

$$\Delta U_i = a_{ij} \cdot \Delta Q_j \quad (2.2)$$

Kde jednotlivé parametry představují:

- ΔU_i Požadovaná změna velikosti napětí v regulovaném uzlu i (kV)
- a_{ij} Konstanta udávající citlivost, která vyjadřuje, jak se změní velikost napětí v uzlu i vlivem změny dodávaného jalového výkonu z uzlu j (MVar/kV)
- ΔQ_j Velikost změny dodávaného jalového výkonu vyvolané v uzlu j (MVar)

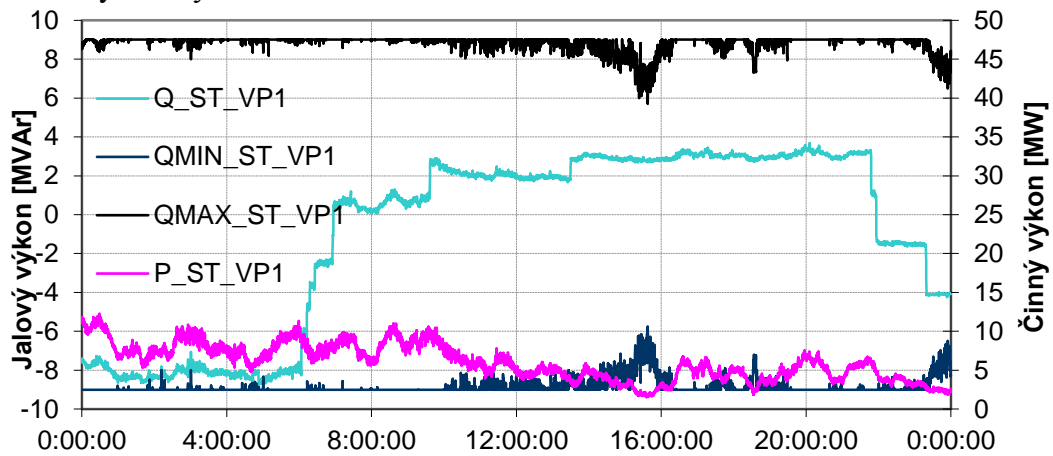
System ASRU pro plnění své funkce potřebu je dostatečně velkou regulační rezervu jalového výkonu.

2.4 Regulace U v pilotním uzlu zajištěná systémem ASRU za pomoci dodávaného Q z VTE

V této části diplomové práce jsem použil provozní data poskytnutá z nejmenované větrné elektrárny, ze kterých jsem vytvořil grafické výstupy pro snadnější znázornění průběhu regulace napětí v pilotním uzlu regulované soustavy pomocí řízené dodávky jalového výkonu z regulační rezervy poskytnuté právě touto větrnou elektrárnou. Tato větrná elektrárna je připojena do rozvodny 110 kV, která tvoří pilotní uzel dané soustavy. V tomto pilotním uzlu probíhá řízení jalového toku systémem ASRU tak, aby byla udržena zadaná hodnota napětí 117,5 kV v tolerančním rozsahu $\pm 0,5$ kV.

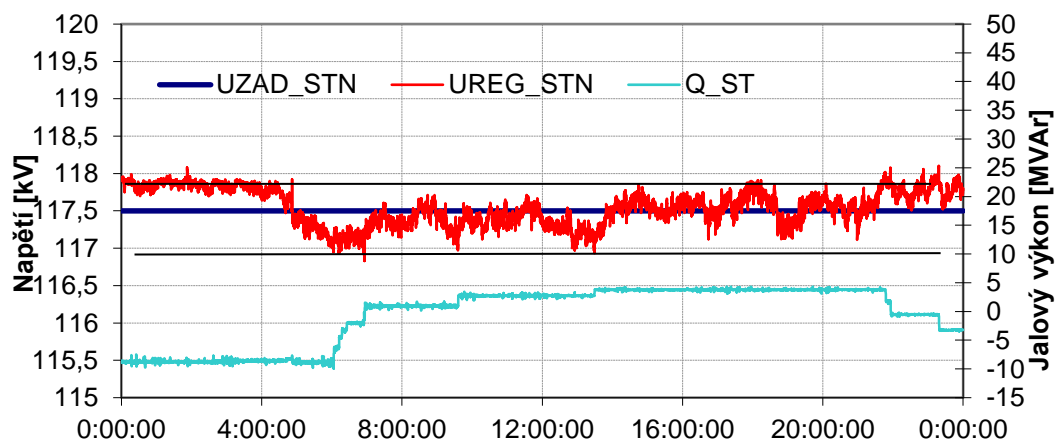
2.4.1 Regulace napětí při dostatečně velké regulační rezervě jalového výkonu od VTE

Na prvním obrázku je zobrazená oblast regulační rezervy jalového výkonu, kterou poskytuje připojená větrná elektrárna. Oblast regulační rezervy je vymezena mezi horní černou křivkou a spodní tmavě modrou křivkou. Světle modrá křivka představuje velikost využívaného jalového výkonu pro požadovanou regulaci tak, aby byla udržena hodnota napětí v tolerančním pásmu. Fialová křivka udává velikost dodávaného činného výkonu do soustavy v daný čas.



Obr. 14 Oblast regulační rezervy jalového výkonu poskytující VTE

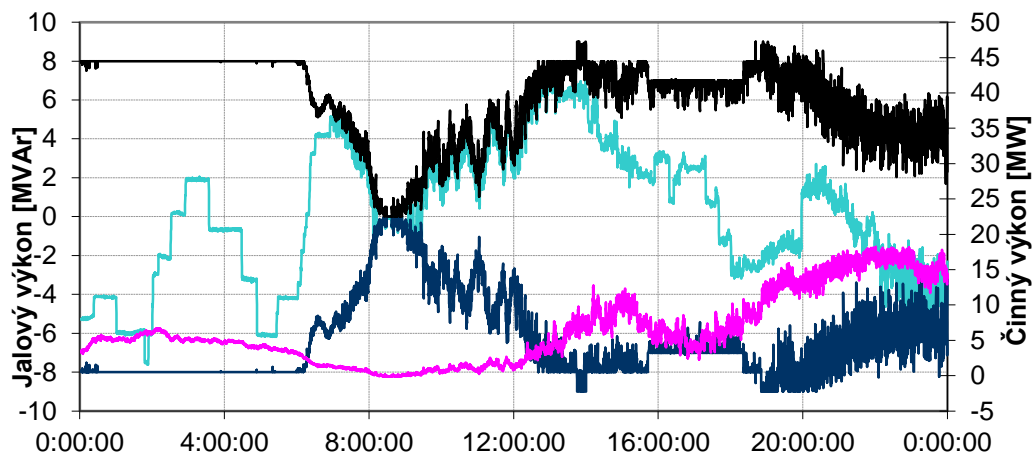
Na druhém obrázku je zobrazen průběh regulovaného napětí v daný čas (tj. červená křivka). Tmavě modrá čára označuje zadané napětí 117,5 kV a černé slabé čáry vymezují dovolenou odchylku napětí od zadané hodnoty. Dá se předpokládat, že v průběhu celého dne byly dobré povětrnostní podmínky, jelikož VTE po celý den poskytovala dostatek regulační rezervy jalového výkonu pro potřebnou regulaci a jak je vidět z druhého obrázku, během dne nedošlo k výraznému překročení napětí z toleranční oblasti. Světle modrá křivka představuje hodnotu odebíraného jalového výkonu pro regulaci napětí v daný čas.



Obr. 15 Průběh regulovaného napětí v pilotním uzlu soustavy

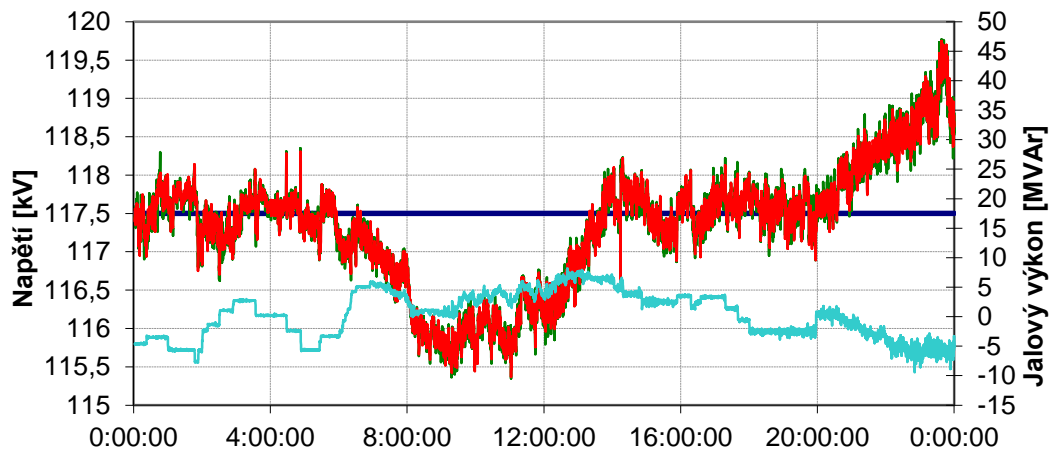
2.4.2 Regulace napětí při nedostatečně velké regulační rezervě jalového výkonu od VTE

Zde jsem uvedl příklad průběhu regulace, při které VTE nebyla schopná poskytnout dostatečně velkou regulační rezervu jalového výkonu. Na obrázku č. 16 lze vidět zúžení oblasti regulační rezervy jalového výkonu v čase cca od 6:00 do 13:00, během této doby nebyla schopná VTE dodávat požadovaný jalový výkon pro potřebnou regulaci tak, aby byla hodnota napětí udržena v toleranční oblasti. Horní oblast regulační rezervy opět vyznačuje černá křivka a spodní tmavě modrá, světle modrá křivka představuje využívaný jalový výkon pro regulaci v daný čas a fialová křivka označuje dodávaný činný výkon.



Obr. 16 Oblast regulační rezervy jalového výkonu poskytující VTE

Na obrázku č. 17 uvedeném níže lze vidět průběh napětí v pilotním uzlu regulované soustavy, které nebylo uregulováno tak, aby se jeho hodnota nenacházela mimo dovolenou toleranční mez. Udržení hodnoty napětí v toleranční mezi nebylo možné z důvodu nedostatečné regulační rezervy jalového výkonu pro požadovanou regulaci. V čase, kdy došlo ke zúžení oblasti regulační rezervy, došlo k výkyvu průběhu napětí z dovolené toleranční meze.



Obr. 17 Průběh regulovaného napětí v pilotním uzlu soustavy

3 Optimální účinník z pohledu přenosu elektrické energie

Jedním z parametrů určujících efektivnost přenosu elektrické energie je velikost účinníku, který je definován poměrem činného a zdánlivého výkonu (tj. $\cos \varphi = P/S$). Přenášený zdánlivý výkon je závislý na velikosti činného, jalového a v případě, jsou-li uvažovány vyšší harmonické, tak i deformačního výkonu. Plno prvků v elektrizační soustavě způsobuje odběr jalového výkonu, který má buď induktivní (např. točivé stroje, transformátory, venkovní vedení), nebo kapacitní charakter (např. kondenzátory, kabelová vedení). [12]

Pro snížení ztrát, které vznikají při přenosu elektrické energie na vedení, je důležité vzniklý nadbytečný jalový výkon co nejefektivněji omezit a udržovat účinník na požadované hodnotě v daném místě. Z hlediska omezení vzniklých ztrát na vedení by bylo nejefektivnější usilovat o velikost účinníku přibližně 1. V sítích VN a 110 kV podle podmínek PDS je nutné, aby byl v předávacím místě dodržen účinník v rozsahu mezi 0,95 induktivní až 0,95 kapacitní, a to při jakékoliv velikosti dodávaného činného výkonu od připojené výroby. Při nedodržení $\cos \varphi$ v požadovaném rozsahu jsou udělovány sankce, které jsou výrazně vyšší, dojde-li k překompenzování daného místa. [12] [11]

3.1 Nežádoucí vlivy při provozu se špatným účinníkem

Jestliže není v provozované elektrizační soustavě dodržena požadovaná velikost účinníku, dochází k nežádoucímu navýšení velikosti přenášeného zdánlivého výkonu, který má za následek:

- a) **Zhoršení chodu generátoru** – Při odběru jalového výkonu s induktivním charakterem dochází ke snížení buzení generátoru a z důvodu potřeby udržet buzení je nutné navýšení budícího proudu v rotoru. To má za následek zvětšení zkratového proudu v případě vzniku poruchy a dále dojde k navýšení tepelných ztrát v budiči a rotoru. Jestliže jalový výkon má kapacitní charakter, může dojít k překompenzování dané sítě, které vede k výraznému odbuzení generátoru. V tomto případě hrozí výpadek stroje ze synchronizmu a poté nárůst napětí ve sledovaném místě nad maximální dovolenou hodnotu. [14]
- b) **Zvýšení Joulelových ztrát** – Tyto ztráty jsou závislé na rezistenci prvků v elektrizační soustavě, a především na druhé mocnině přenášeného zdánlivého proudu. [14]

- c) **Zvýšení úbytku napětí v elektrizační soustavě** – Navýšení úbytku napětí je zapříčiněné zhoršením účinníku, který způsobí nárůst zdánlivého proudu s určitým fázovým posuvem φ . Velikost úbytku je dána vztahem $\Delta U = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi$. [14]
- d) **Zhoršení zkratových poměrů v elektrizační soustavě** – Zvýšené buzení generátoru vede k nárůstu nesymetrické stejnosměrné složky a nárazového zkratového proudu. Vlivem působení těchto parametrů dochází k nepříznivé změně namáhání a vypínacích podmínek vypínačů. [14]
- e) **Snížení účinnosti přenosu elektrické energie** – Z hlediska účinnosti by bylo neoptimálnější přenášet zdánlivý výkon rovnající se činnému výkonu. Aby byla však zachována správná funkce určitých zařízení, je nutné přenášet i část jalové složky výkonu. Je potřeba udržovat velikost účinníku na požadované hodnotě, jelikož při jeho zhoršení dochází ke zvýšení zdánlivého výkonu a tím se snižuje účinnost přenosu. [14]

3.2 Kompenzace a dekompenzace účinníku

Rozdíl v termínech kompenzace a dekompenzace je v charakteru dodávaného jalového výkonu či proudu v místě elektrizační soustavy, kde se touto regulací dosahuje požadovaná velikost účinníku. Při kompenzaci probíhá dodávání jalového výkonu s kapacitním charakterem, kterým se snižuje velikost induktivního jalového výkonu v dané části elektrizační soustavy. Dekompenzace má funkci opačnou, a to takovou, že dodává jalový výkon s induktivním charakterem, který má snižovat kapacitní jalový výkon v určité části elektrizační soustavy. Tímto způsobem jsou upravovány výkonové poměry, které vedou ke zlepšení přenosu elektrické energie, a to v části od zdroje až k místu, do kterého jsou připojena kompenzační či dekompenzační zařízení. Zařízení určené pro kompenzaci či dekompenzaci se připojuje paralelně k místu, ve kterém je požadovaná úprava účinníku. Jako kompenzační zařízení se využívají například kondenzátory nebo synchronní kompenzátory a pro dekompenzaci jsou používány dekompenzační tlumivky. [13]

3.3 Vliv ztrát na vedení

Ztráty vzniklé při přenosu elektrické energie se odvíjí od velikosti průřezu a materiálu vodiče daného vedení a mají vliv na snížení životnosti a také na zvýšení provozních nákladů vedení. Pro optimální volbu průřezu je tedy nutné provést dimenzované vedení

podle hospodárného průřezu vodiče, při kterém by měly být zajištěné nejnižší celkové investiční a provozní náklady. Výpočet hospodárného průřezu dle vztahu (3.1). [15]

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{t_z} \quad (3.1)$$

Kde:

- S Hospodárný průřez vodiče (mm²)
- k Součinitel závislý na izolaci a materiálu vodiče (-)
- I_p Výpočtový proud (A)
- t_z Doba plných ztrát (hod./rok)

Podle normy ČSN 34 16 10, která se zabývá hospodárným průřezem vodiče, se velikost součinitele „k“ pohybuje pro měděný vodič v rozsahu od 0,0053 do 0,007 a hliníkový vodič v rozsahu od 0,009 do 0,0168. Výpočet hospodárného průřezu se počítá, je-li plánovaná životnost vedení delší než 10 let a doba plných ztrát vyšší než 10000 hod./rok. [15]

3.4 Změny napětí v předávacím místě

V předávacím místě dochází ke změnám napětí, které jsou způsobené dle charakteru přenášeného výkonu na vedení, přes které je zprostředkovávána dodávka elektrické energie z výroben. Pro určení charakteru přenosu je třeba nejprve určit přirozený výkon vedení, který bude vedením přenášen, bude-li vedení zatížené vlnovou impedancí. Tato vlnová impedance (tj. Z_v) patří mezi sekundární parametry vedení a je dána vztahem (3.2).

$$Z_v = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (\Omega; \Omega, H, S, F) \quad (3.2)$$

V případě uvažovaného bezztrátového vedení je zanedbaná velikost „R“ a „G“ a vztah je ve tvaru:

$$Z_v = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega; H, F) \quad (3.3)$$

Velikost přirozeného výkonu vedení (tj. P_p) je dána vztahem (8), při této velikosti přenášeného výkonu bude docházet na vedení pouze ke ztrátám způsobeným rezistencí vedení. Bude-li velikost přenášeného výkonu nižší než velikost přirozeného výkonu, tak bude probíhat přenos s kapacitním charakterem a v předávacím místě dojde vlivem

Ferrantiho jevu k nárůstu napětí. V opačném případě, ve kterém přenášený výkon je vyšší než přirozený výkon, bude probíhat přenos s induktivním charakterem a dojde ke zvýšení úbytku napětí na vedení vlivem působení reaktance.

$$P_P = \frac{U_S^2}{Z_V} \quad (W; V, \Omega) \quad (3.4)$$

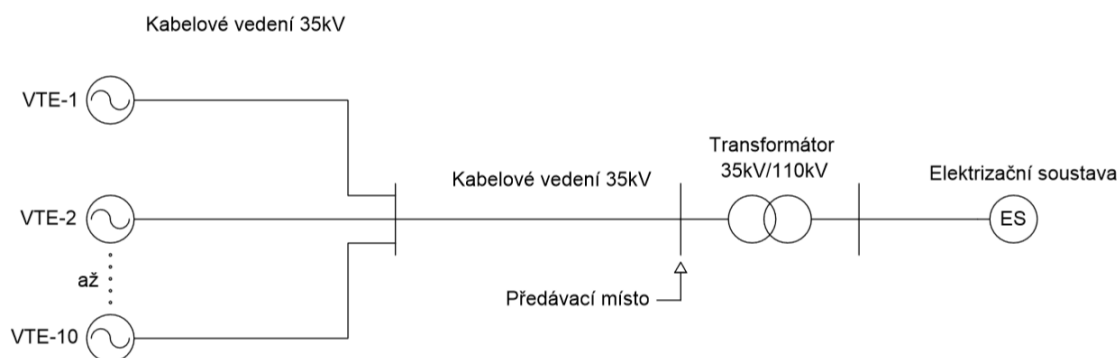
Kde:

U_S Velikost sdruženého napětí, na kterém je dané vedení provozované

Výrobny svojí činností při normálním provozním stavu nesmí zapříčinit zvýšení napětí v předávacím místě víc než 3 % v síti nn a 2 % v síti vn oproti napětí, které by v daném místě bylo bez jejich připojení. Z tohoto důvodu je především u dlouhých vedení třeba omezit navýšení velikosti napětí v předávacím místě, které je způsobené Ferrantiho jevem při přenosu výkonu s kapacitním charakterem. To je možné provést paralelním připojením dekompenzační tlumivky v předávacím místě. [11]

4 Případová studie

Za účelem vypracování případové studie v mé diplomové práci bylo vytvořeno zadání, ve kterém se budu zabývat dekompenzací nabíjecích kapacitních proudů vzniklých na kabelovém vedení a způsobem, jakým lze ovlivnit velikost účinníku v předávacím místě. Zadání bylo sestaveno na základě reálných dat a poznatků konzultantem, který se mimo jiné věnuje této problematice. V této studii budu řešit připojení větrné farmy o celkovém výkonu 25 MW do elektrizační soustavy. Tato větrná farma obsahuje deset samostatných větrných elektráren s jmenovitým výkonem 2,5 MW. Do společného místa větrné farmy jsou připojené všechny samostatné větrné elektrárny, které však jsou od společného místa rozdílně vzdálené. Ze všech větrných elektráren je výkon přenášen na napěťové hladině 35 kV, a to kabelovým vedením, pro které musím určit efektivní průřez, a to s ohledem na ekonomičnost provozování a na vzniklé nabíjecí kapacitní proudy. Nejdále umístěná větrná elektrárna je 7,5 km, a to s označením VTE-1, součet vzdáleností všech zbylých větrných elektráren je celkem 7,5 km. Dále je větrná farma od jejího společného místa připojena kabelovým vedením k transformátoru. Délka tohoto kabelového vedení provozovaného na napěťové hladině 35 kV je 10 km. Celkový výkon větrné farmy je tedy vyvedený do elektrizační soustavy přes transformátor, který upravuje napěťovou hladinu z 35 kV na 110 kV. Na obr. 18 jsem znázornil situační schéma této studie.

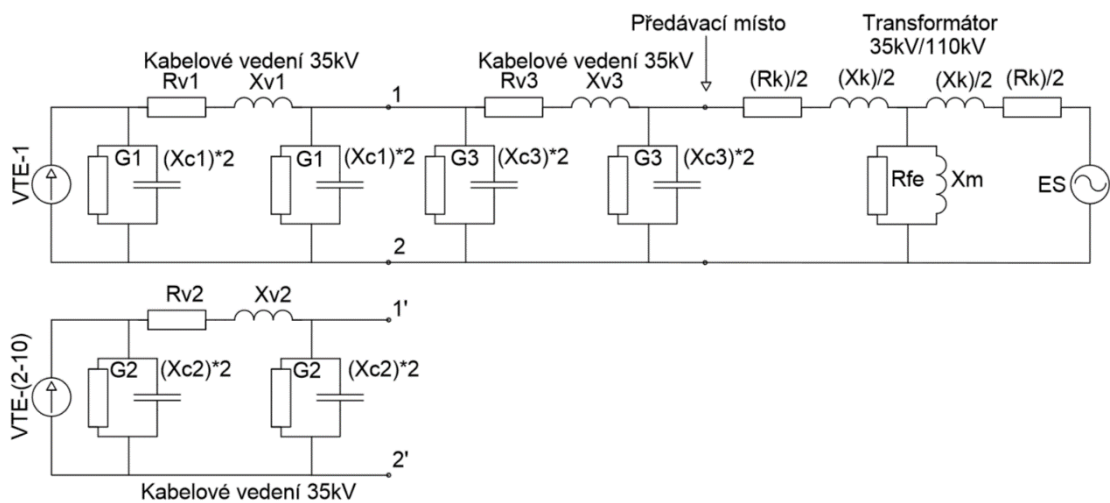


Obr. 18 Situační schéma případové studie

Předávací místo zvolené konzultantem je umístěné před transformátorem 35 kV / 110 kV, a právě v tomto místě provedu výpočet velikosti nabíjecího kapacitního proudu, napětí, zdánlivého výkonu, činného výkonu, jalového výkonu a účinníku. Pro určení těchto parametrů vytvořím matematický model zadané studie, podle kterého budu navrhovat dekompenzační tlumivku, která by měla co nejefektivněji omezovat nabíjecí kapacitní proudy a přispět k dosažení požadovaného účinníku v předávacím místě.

4.1 Náhradní schéma

Pro výpočet zadané studie jsem nejdříve vytvořil náhradní schéma, které lze vidět na obr. 19. Jednotlivá kabelová vedení jsem nahradil Π -článkem a transformátor T-článkem. Ve schématu se nachází dva proudové zdroje představující větrné elektrárny a jeden napěťový zdroj, který znázorňuje elektrizační soustavu. Jako proudový zdroj označený VTE-1 jsem zvolil nejvzdálenější větrnou elektrárnu, z důvodu určení vlivu samostatné větrné elektrárny na zjišťované parametry. Druhý proudový zdroj, který je označen VTE-(2-10), představuje zbylých devět větrných elektráren. Pro větší přehlednost náhradního schématu jsem nezakresloval paralelní propojení proudových zdrojů a kabelových vedení vedených do společného místa větrné farmy, ale vyznačil jsem body, ve kterých jsou tyto části obvodů spojeny. Část obvodu s proudovým zdrojem VTE-(2-10) je tedy paralelně připojena k části obvodu s VTE-1 ve vyznačených místech, a to v bodě 1 s bodem 1', to samé platí pro body 2 a 2'. Postup výpočtu jsem nejdříve popisoval pro případ studie bez dekompenzace a následně s dekompenzací. V případě popisu s dekompenzací je dekompenzační tlumivka připojena v předávacím místě.



Obr. 19 Náhradní schéma studie

Pro zjednodušení výpočtu jsem uvažoval s lineárními prvky a vzhledem k výskytu více zdrojů v daném obvodu jsem prováděl výpočet za pomoci metody superpozice. Při užití metody superpozice jsem mohl řešit obvod pro každý zdroj zvlášť a až poté algebraicky sečíst proudy v jednotlivých větvích. Při výpočtu jednoho zdroje musely být nahrazeny ostatní zdroje jejich ideálními vnitřními odpory, tedy proudové zdroje byly odpojeny a napěťový zdroj byl zkratován. Velikost proudu poskytující proudovým zdrojem jsem odvodil z jeho nastavené velikosti dodávaného výkonu, kde nastavitelný rozsah je možný

od 0 % do 100 % jmenovitého výkonu. Pro zjednodušení výpočtu nastavená procentuální velikost dodávaného výkonu platí pro všechny proudové zdroje totožně.

4.2 Výpočet parametrů

Pro výpočet impedancí jsem nejdříve musel určit parametry jednotlivých částí náhradního schématu. U kabelového vedení jsem zvolil nejpoužívanější typ kabelu 35-AXEKVCEY a při volbě průřezu jsem zohlednil investiční i provozní náklady. Náhradní schéma pro kabelové vedení jsem použil ve tvaru Π -článku, ve kterém jsem zanedbával svod, který je na hladině VN zanedbatelný. Pro zadanou studii mi byl konzultantem doporučen transformátor s výkonem 40 MW.

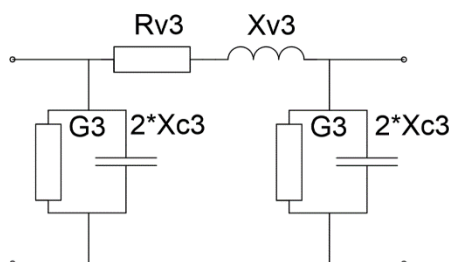
Kabelové vedení č.3 (35kV):

Toto 10 km dlouhé Kabelové vedení č. 3 je nejvíce proudově zatížené, jelikož zajišťuje přenos elektrické energie mezi větrnou farmou a transformátorem. Typ kabelu je uvažován 35-AXEKVCEY a definitivní hodnotu průřezu jsem zvolil až po kompletním výpočtu, kdy jsem vytvořil matematický model zadané studie a mohl jsem zjistit, jaká volba průřezu bude optimální z hlediska činných ztrát. Velikost průřezu jsem tedy zvolil 300 mm², tabulkové hodnoty pro vybraný kabel jsem uvedl v tab. 1.

Tab.1 Parametry pro 35-AXEKVCEY 1x300 mm²

R_{p3}	0,100	(Ω /km)
C_{p3}	0,24	(μ F/km)
L_{p3}	0,56	(mH/km)

Náhradní schéma tohoto vedení jsem uvedl na obr. 20 a níže i postup výpočtu parametrů pro tuto část obvodu.



Obr. 20 Náhradní schéma ve tvaru Π -článku pro kabelové vedení č. 3

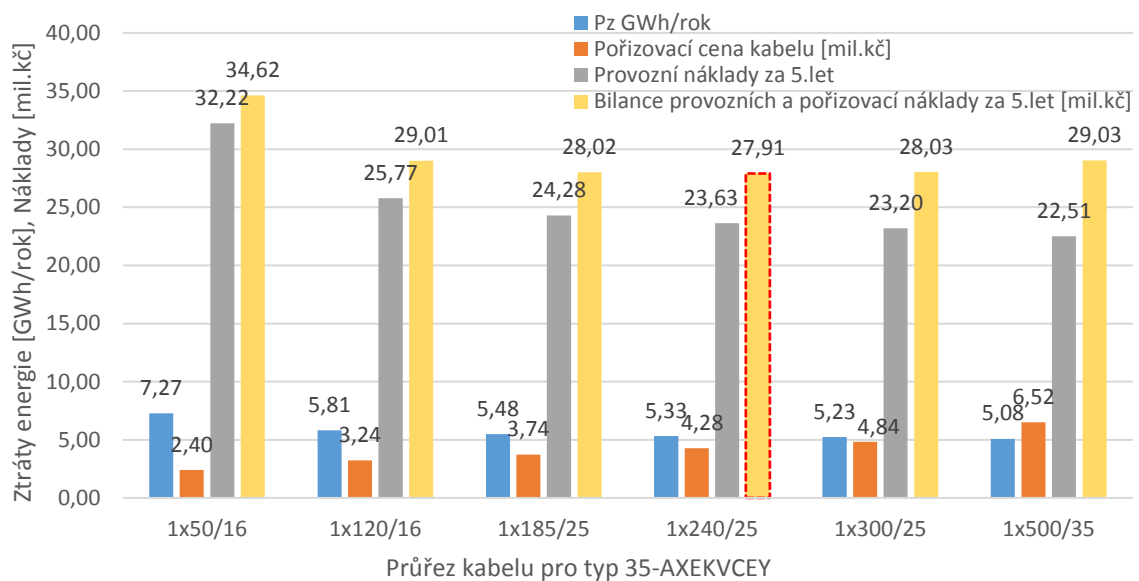
$$R_{v3} = R_{p3} \cdot l_3 = 0,1 \cdot 10 = 1 \Omega \quad (4.1)$$

$$X_{v3} = 2\pi \cdot f \cdot L_{p3} \cdot l_3 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,56 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1,75 \Omega \quad (4.2)$$

$$X_{c3} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_{p3} \cdot l_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,24 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 1\,326,291\Omega \quad (4.3)$$

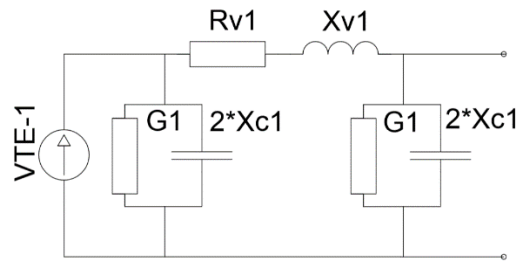
Kabelové vedení č. 1 a č. 2 (35kV):

Kabelová vedení číslo 1 a 2 v náhradním schématu představují veškerá vedení přenášející dodávaný výkon od jednotlivých VTE do místa, ke kterému jsou připojeny. Kabelové vedení č. 1 představuje vedení od nejvzdálenější VTE, vzdálenost vedení je tedy 7,5 km. Zatímco kabelové vedení č. 2 představuje součet všech vedení od zbylých devíti VTE, vzdálenost činí 7,5 km. Na obr. 21 jsem zobrazil ekonomičnost pro různé velikosti průřezů.



Obr. 21 Porovnání provozních a pořizovacích nákladů pro různé průřezy

Abych mohl určit neekonomičtější průřez kabelu, musel jsem opět až po vytvořeném matematickém modelu provést analýzu, ve které jsem porovnával kabely o rozdílných průřezích, a to v jejich počáteční investici a provozních nákladech, přičemž jsem zanedbal náklady na výkopové a instalační práce, jelikož jejich velikost vycházela téměř podobně. Velikost průřezu jsem zvolil 1x240 mm², jelikož v období 5 let vychází neekonomičtější. Pro kabelové vedení č. 1 jsem níže uvedl obr. 22 a postup výpočtu parametrů.



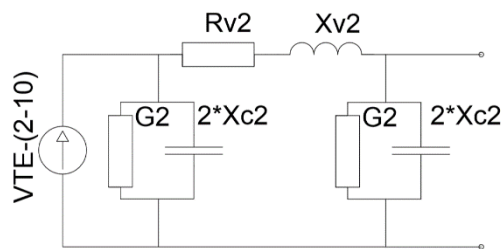
Obr. 22 Náhradní schéma ve tvaru Π-čláčku pro kabelové vedení č. 1

$$R_{v1} = R_{p1} \cdot l_1 = 0,125 \cdot 7,5 = 0,93 \, \Omega \quad (4.4)$$

$$X_{v1} = 2\pi \cdot f \cdot L_{p1} \cdot l_1 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,58 \cdot 10^{-3} \cdot 7,5 = 1,36 \, \Omega \quad (4.5)$$

$$X_{c1} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_{p3} \cdot l_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,22 \cdot 10^{-6} \cdot 7,5} = 1\,929,15 \, \Omega \quad (4.6)$$

U kabelového vedení č. 2, jelikož představuje devět paralelních vedení, je zapotřebí podélné prvky vynásobit počtem paralelních vedení a příčné prvky vydělit počtem paralelních vedení. Náhradní schéma i s výpočtem je uvedené níže.



Obr. 23 Náhradní schéma ve tvaru Π-čláčku pro kabelové vedení č. 2

$$R_{v2} = \frac{R_{p2} \cdot l_2}{9} = \frac{0,125 \cdot 7,5}{9} = 0,104 \, \Omega \quad (4.7)$$

$$X_{v2} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L_{p2} \cdot l_2}{9} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 0,58 \cdot 10^{-3} \cdot 7,5}{9} = 0,15 \, \Omega \quad (4.8)$$

$$X_{c2} = \frac{9}{2\pi \cdot f \cdot C_{p2} \cdot l_2} = \frac{9}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,22 \cdot 10^{-6} \cdot 7,5} = 17\,362,35 \, \Omega \quad (4.9)$$

Transformátor 35 kV / 110 kV:

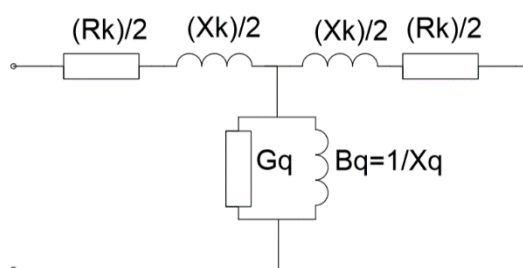
Výkon transformátoru byl stanoven konzultantem 40 MVA, další potřebné údaje pro výpočet náhradního schématu transformátoru jsem uvedl v tab. 2.

Tab. 2 Parametry transformátoru 40 MW

Parametr	Velikost	Jednotky
S_n	40	MVA
U_n	35	kV

ΔP_0	72	kW
ΔP_K	270	kW
u_K	9	%
i_0	1,8	%

Níže jsem uvedl náhradní schéma transformátoru i s výpočtem jeho parametrů.



Obr. 24 Náhradní schéma transformátoru

Výpočet admittance naprázdno:

$$Y_q = \frac{I_0[\%]}{100} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} = \frac{1,8}{100} \cdot \frac{40 \cdot 10^6}{(35\,000)^2} = 0,000\,588\text{ S} \quad (4.10)$$

Kde:

$I_0[\%]$ Proud naprázdno (%)

S_n Zdánlivý výkon transformátoru (VA)

U_n Jmenovité napětí, pro které jsou hodnoty počítány (V)

Výpočet konduktance naprázdno:

$$G_q = \frac{\Delta P_0}{U_n^2} = \frac{72\,000}{35\,000^2} = 0,000\,058\text{ S} \quad (4.11)$$

Kde:

ΔP_0 Ztráty naprázdno vzniklé na transformátoru (W)

Výpočet susceptance naprázdno:

$$B_q = \sqrt{Y_q^2 - G_q^2} = \sqrt{0,000\,588^2 - 0,000\,058^2} = 0,000\,584\text{ S} \quad (4.12)$$

Výpočet impedance nakrátko:

$$Z_K = \frac{u_K[\%]}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{9}{100} \cdot \frac{35\,000^2}{40 \cdot 10^6} = 2,75\ \Omega \quad (4.13)$$

Kde:

$u_K[\%]$ Napětí nakrátko (%)

Výpočet odporu nakrátko daného transformátoru:

$$R_k = \left(\frac{U_n^2}{S_n} \right) \cdot \Delta P_k = \left(\frac{35\,000^2}{40 \cdot 10^6} \right) \cdot 270 \cdot 10^3 = 0,206\ \Omega \quad (4.14)$$

Kde:

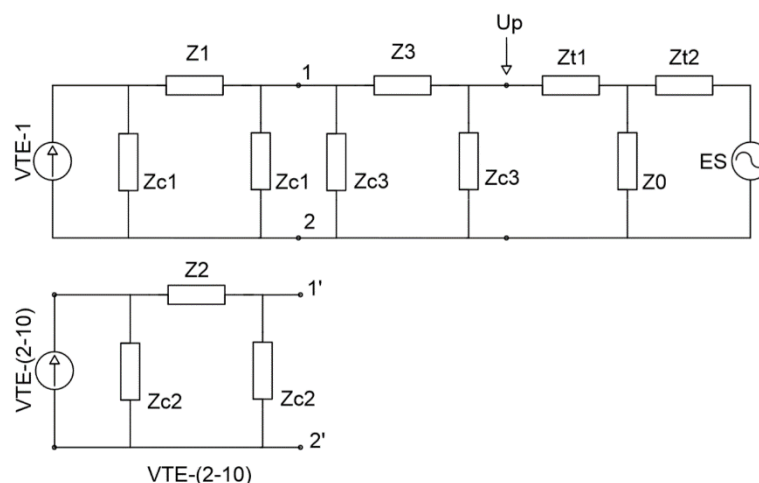
ΔP_k Ztráty nakrátko vzniklé na transformátoru (W)

Výpočet reaktance daného transformátoru:

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{2,75^2 - 0,206^2} = 2,74 \Omega \quad (4.15)$$

4.3 Výpočet náhradního schématu bez uvažování dekompenzace

Průběh výpočtu jsem uvedl jak pro případ bez dekompenzace, tak i s dekompenzací, nejdříve jsem popisoval první variantu. K řešení náhradního schématu jsem použil symbolicko-komplexní metodu, bylo tedy nutné pro další postup určit dílčí impedance z vypočtených parametrů jednotlivých částí obvodu. Uvedl jsem zde fyzikální vztahy s dosazenými výsledky v komplexně sdruženém tvaru. Náhradní schéma s nahrazenými impedancemi jsem zobrazil na obr. 25.



Obr. 25 Náhradní schéma zadané studie s nahrazenými impedancemi pro případ bez dekompenzační tlumivky

$$\bar{Z}_1 = R_{v1} + jX_{v1} = 0,93 + 1,36j (\Omega) \quad (4.16)$$

$$\bar{Z}_{c1} = -jX_{c1} \cdot 2 = -3\,858,30j (\Omega) \quad (4.17)$$

$$\bar{Z}_2 = R_{v2} + jX_{v2} = 0,10 + 0,15j (\Omega) \quad (4.18)$$

$$\bar{Z}_{c2} = -jX_{c2} \cdot 2 = -34\,724,71j (\Omega) \quad (4.19)$$

$$\bar{Z}_3 = R_{v3} + jX_{v3} = 1 + 1,75j (\Omega) \quad (4.20)$$

$$\bar{Z}_{c3} = -jX_{c3} \cdot 2 = -2\,652,58j (\Omega) \quad (4.21)$$

$$\overline{Z_{T1}} = \overline{Z_{T2}} = \frac{R_K}{2} + j \frac{X_K}{2} = 0,10 + 1,37j \ (\Omega) \quad (4.22)$$

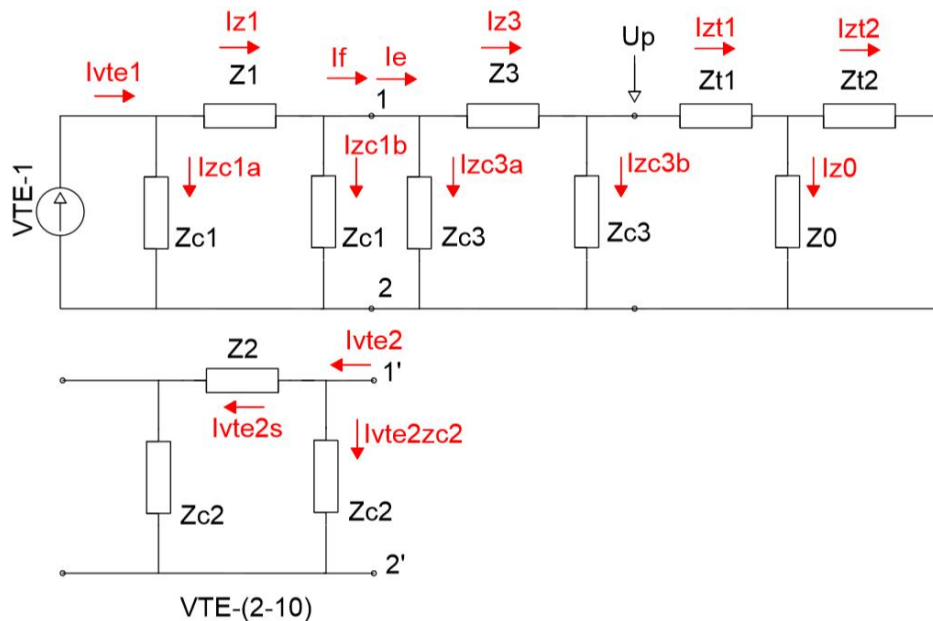
$$\overline{R_{Fe}} = G_q = 0,000\ 058 \ (\Omega) \quad (4.24)$$

$$\overline{X_\mu} = B_q = j0,000\ 584 \ (\Omega) \quad (4.25)$$

$$\overline{Z_0} = \overline{R_{Fe}} // \overline{X_\mu} = 1 + 1,75j \ (\Omega) \quad (4.26)$$

Náhradní schéma s proudovým zdrojem VTE-1 bez uvažované dekompenzace:

Při řešení náhradního schématu zadané studie jsem uplatnil metodu superpozice, jelikož navržené schéma obsahuje více zdrojů. Za pomoci této metody jsem mohl řešit obvod pro každý zdroj samostatně. Při řešení obvodu s proudovým zdrojem VTE-1 jsem tedy musel nahradit ostatní zdroje jejich vnitřními odpory, a proto je v řešeném obvodu proudový zdroj VTE-(2-10) odpojen a napěťový zdroj představující elektrizační soustavu zkratován. Náhradní schéma pro řešení s proudovým zdrojem VTE-1 jsem uvedl na obr. 26, ve kterém jsou vyznačené směry proudů v jednotlivých větvích.



Obr. 26 Náhradní schéma s proudovým zdrojem VTE-1

Velikost proudu, kterou dodává proudový zdroj VTE-1, se odvíjí od velikosti vyráběného činného výkonu danou větrnou elektrárnou. Pro vysvětlení postupu počítané studie uvedené níže jsem uvažoval se 100% dodávaným činným výkonem a s nastavenou hodnotou účinníku u všech VTE tak, aby v předávacím místě byla velikost účinníku 0,97 induktivní. Nastavení účinníku u všech VTE je tedy 0,97 induktivních.

Velikost dodávaného činného proudu z VTE-1:

$$I_{\check{c} \text{ VTE-1}} = \frac{P_{\text{VTE-1}}}{3 \cdot U_{35f}} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{3 \cdot \left(\frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)} = 41,23 \text{ A} \quad (4.27)$$

Kde:

$P_{\text{VTE-1}}$ Dodávaný výkon větrnou elektrárnou VTE-1 (W)
 U_{35f} Velikost fázového napětí z místa připojení VTE-1 (V)

Velikost dodávaného jalového proudu z VTE-1:

$$I_{\text{J VTE-1}} = \sqrt{\left(\frac{I_{\check{c} \text{ VTE-1}}}{\cos\varphi_{\text{VTE-1}}}\right)^2 - I_{\check{c} \text{ VTE-1}}^2} = \sqrt{\left(\frac{41,23}{0,97}\right)^2 - 41,23^2} = 10,33 \text{ A} \quad (4.28)$$

Kde:

$\cos\varphi_{\text{VTE-1}}$ Zadaná hodnota účinníku VTE-1 (-)

Velikost dodávaného zdánlivého proudu VTE-1 uvedená ve složkovém tvaru je tedy:

$$\overline{I_{\text{VTE-1}}} = I_{\check{c} \text{ VTE-1}} + jI_{\text{J VTE-1}} = 41,241 + 10,34j \quad (4.29)$$

Hodnoty proudů v jednotlivých větvích náhradního schématu jsem určil za pomoci transfigurace obvodu a následného využití děliče proudu při zpětné transfiguraci. Níže jsem uvedl fyzikální vztahy postupu transfigurace s dosazenými výsledky ve složkovém tvaru.

$$\overline{Z_A} = \overline{Z_0} + \overline{Z_{T2}} = 0,10 + 1,37j \text{ } (\Omega) \quad (4.30)$$

$$\overline{Z_B} = \overline{Z_A} + \overline{Z_{T1}} = 0,21 + 2,75j \text{ } (\Omega) \quad (4.31)$$

$$\overline{Z_C} = \overline{Z_B} // \overline{Z_{C3}} = 0,21 + 2,74j \text{ } (\Omega) \quad (4.32)$$

$$\overline{Z_D} = \overline{Z_C} + \overline{Z_3} = 1,21 + 4,50j \text{ } (\Omega) \quad (4.33)$$

$$\overline{Z_E} = \overline{Z_D} // \overline{Z_{C3}} = 1,21 + 4,56j \text{ } (\Omega) \quad (4.34)$$

$$\overline{Z_{\text{VTE}(2-10)S}} = \overline{Z_2} + \overline{Z_{C2}} = 0,10 - 34\,724,56j \text{ } (\Omega) \quad (4.35)$$

$$\overline{Z_{\text{VTE}(2-10)P}} = \overline{Z_{\text{VTE}(2-10)S}} // \overline{Z_{C2}} = 0,03 - 17\,362,32ij \text{ } (\Omega) \quad (4.36)$$

$$\overline{Z_F} = \overline{Z_E} // \overline{Z_{\text{VTE}(2-10)P}} = 1,21 + 4,51j \text{ } (\Omega) \quad (4.37)$$

$$\overline{Z_G} = \overline{Z_F} // \overline{Z_{C1}} = 1,21 + 4,52j \text{ } (\Omega) \quad (4.38)$$

$$\overline{Z}_H = \overline{Z}_G + \overline{Z}_1 = 2,15 + 5,88j \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4.39)$$

Zde jsem uvedl postup, při kterém jsem postupně rozdělval dodávaný proud z větrné elektrárny do jednotlivých větví.

$$\overline{I}_{Z1} = \overline{I}_{VTE-1} \cdot \frac{\overline{Z}_{C1}}{\overline{Z}_H + \overline{Z}_{C1}} = 41,31 + 10,33j \text{ (A)} \quad (4.40)$$

$$\overline{I}_{ZC1A} = \overline{I}_{VTE-1} \cdot \frac{\overline{Z}_H}{\overline{Z}_{C1} + \overline{Z}_H} = -0,07 + 0,01j \text{ (A)} \quad (4.41)$$

$$\overline{I}_F = \overline{I}_{Z1} \cdot \frac{\overline{Z}_{C1}}{\overline{Z}_F + \overline{Z}_{C1}} = 41,36 + 10,33j \text{ (A)} \quad (4.42)$$

$$\overline{I}_{ZC1B} = \overline{I}_{Z1} \cdot \frac{\overline{Z}_F}{\overline{Z}_{C1} + \overline{Z}_F} = -0,05 + 0,001j \text{ (A)} \quad (4.43)$$

$$\overline{I}_{VTE2} = \overline{I}_F \cdot \frac{\overline{Z}_E}{\overline{Z}_{VTE(2-10)P} + \overline{Z}_E} = -0,01 + 0,0002j \text{ (A)} \quad (4.44)$$

$$\overline{I}_{VTE2S} = \overline{I}_{VTE2} \cdot \frac{\overline{Z}_{C2}}{\overline{Z}_{VTE(2-10)S} + \overline{Z}_{C2}} = -0,006 + 0,0001j \text{ (A)} \quad (4.45)$$

$$\overline{I}_{VTE2SZC2} = \overline{I}_{VTE2} \cdot \frac{\overline{Z}_{VTE(2-10)S}}{\overline{Z}_{C2} + \overline{Z}_{VTE(2-10)S}} = -0,006 + 0,0001j \text{ (A)} \quad (4.46)$$

$$\overline{I}_E = \overline{I}_F \cdot \frac{\overline{Z}_{VTE(2-10)P}}{\overline{Z}_E + \overline{Z}_{VTE(2-10)P}} = 41,37 + 10,33j \text{ (A)} \quad (4.47)$$

$$\overline{I}_{ZC3A} = \overline{I}_E \cdot \frac{\overline{Z}_D}{\overline{Z}_{C3} + \overline{Z}_D} = -0,08 + 0,001j \text{ (A)} \quad (4.48)$$

$$\overline{I}_{Z3} = \overline{I}_E \cdot \frac{\overline{Z}_{C3}}{\overline{Z}_D + \overline{Z}_{C3}} = 41,45 + 10,33j \text{ (A)} \quad (4.49)$$

$$\overline{I}_{ZC3B} = \overline{I}_{Z3} \cdot \frac{\overline{Z}_B}{\overline{Z}_{C3} + \overline{Z}_B} = -0,04 - 0,007j \text{ (A)} \quad (4.50)$$

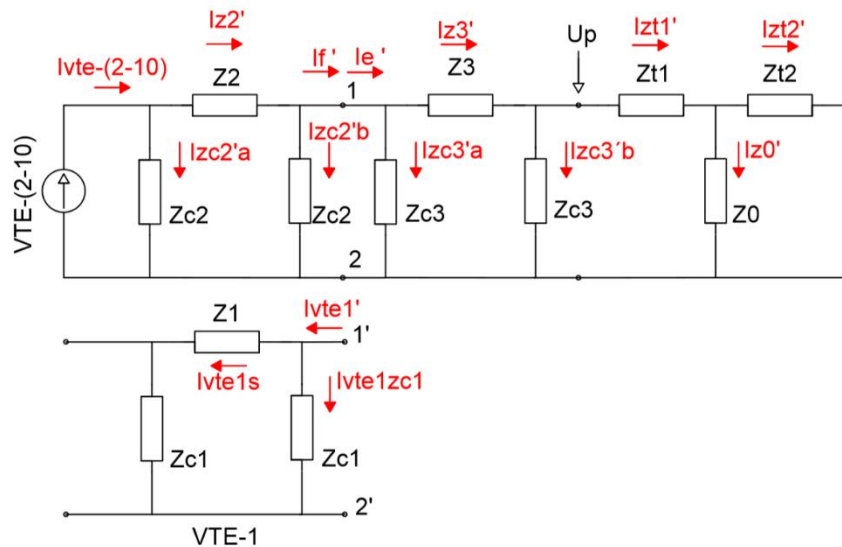
$$\overline{I}_{ZT1} = \overline{I}_{Z3} \cdot \frac{\overline{Z}_{C3}}{\overline{Z}_B + \overline{Z}_{C3}} = 41,39 + 10,31j \text{ (A)} \quad (4.51)$$

$$\overline{I}_{ZT2} = \overline{I}_{ZT1} \cdot \frac{\overline{Z}_0}{\overline{Z}_{T2} + \overline{Z}_0} = 41,35 + 10,31j \text{ (A)} \quad (4.52)$$

$$\overline{I}_{Z0} = \overline{I}_{ZT1} \cdot \frac{\overline{Z}_{T2}}{\overline{Z}_0 + \overline{Z}_{T2}} = 0,03 + 0,01j \text{ (A)} \quad (4.53)$$

Náhradní schéma s proudovým zdrojem VTE-(2-10) bez uvažované dekompenzace:

Obvod pro proudový zdroj VTE-(2-10) jsem řešil obdobně jako pro proudový zdroj VTE-1, až na úpravu v náhradním schématu, při které jsem připojil proudový zdroj VTE-(2-10) a odpojil VTE-1. Upravené náhradní schéma je na obr. 26.



Obr. 27 Náhradní schéma s proudovým zdrojem VTE-(2-10)

Pro výpočet dodávaného proudu zdrojem VTE-(2-10) platí stejné podmínky jako pro zdroj VTE-1.

Velikost dodávaného činného proudu z VTE-(2-10):

$$I_{\check{c} \text{ VTE-(2-10)}} = \frac{P_{\text{VTE-(2-10)}}}{3 \cdot U_{35f}} = \frac{22,5 \cdot 10^6}{3 \cdot \left(\frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)} = 371,15 \text{ A} \quad (4.54)$$

Kde:

$P_{\text{VTE-(2-10)}}$ Dodávaný výkon větrnou elektrárnou VTE-(2-10) (W)
 U_{35f} Velikost fázového napětí z místa připojení VTE-1 (V)

Velikost dodávaného jalového proudu z VTE-(2-10):

$$I_{\text{J VTE-(2-10)}} = \sqrt{\left(\frac{I_{\check{c} \text{ VTE-(2-10)}}}{\cos \varphi_{\text{VTE-(2-10)}}}\right)^2 - I_{\check{c} \text{ VTE-(2-10)}}^2} \quad (4.55)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{371,15}{0,97}\right)^2 - 371,15^2} = 93,02 \text{ A}$$

Kde:

$\cos \varphi_{\text{VTE-(2-10)}}$ Zadaná hodnota účinníku VTE-(2-10) (-)

Velikost dodávaného zdánlivého proudu VTE-(2-10) uvedená ve složkovém tvaru je tedy:

$$\overline{I_{VTE-(2-10)}} = I_{\check{C} VTE-(2-10)} + jI_{j VTE-(2-10)} = 371,15 + 93,02j \quad (4.56)$$

Transfigurace obvodu s proudovým zdrojem VTE-(2-10) od zdroje VTE-1 bude rozdílná až za impedancí $\overline{Z_E}$, proto jsem uváděl vztahy i s výsledky až po této části.

$$\overline{Z'_A} = \overline{Z_A} \quad (\Omega) \quad (4.57)$$

$$\overline{Z'_B} = \overline{Z_B} \quad (\Omega) \quad (4.58)$$

$$\overline{Z'_C} = \overline{Z_C} \quad (\Omega) \quad (4.59)$$

$$\overline{Z'_D} = \overline{Z_D} \quad (\Omega) \quad (4.60)$$

$$\overline{Z'_E} = \overline{Z_E} \quad (\Omega) \quad (4.61)$$

$$\overline{Z'_{VTE-1S}} = \overline{Z_1} + \overline{Z_{C1}} = 0,94 - 3\,856,94j \quad (\Omega) \quad (4.62)$$

$$\overline{Z'_{VTE-1P}} = \overline{Z_{VTE-1S}} / \overline{Z_{C2}} = 0,23 - 1\,928,81j \quad (\Omega) \quad (4.63)$$

$$\overline{Z'_F} = \overline{Z_E} / \overline{Z_{VTE(2-10)P}} = 1,22 + 4,52j \quad (\Omega) \quad (4.64)$$

$$\overline{Z'_G} = \overline{Z_F} / \overline{Z_{C1}} = 1,22 + 4,52j \quad (\Omega) \quad (4.65)$$

$$\overline{Z'_H} = \overline{Z_G} + \overline{Z_1} = 1,32 + 4,67j \quad (\Omega) \quad (4.66)$$

Výpočet rozdělení proudu $\overline{I_{VTE-(2-10)}}$ v jednotlivých větvích při zpětné transfiguraci jsem popsal níže.

$$\overline{I'_{Z2}} = \overline{I_{VTE-(2-10)}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C2}}}{\overline{Z'_H} + \overline{Z'_{C2}}} = 371,21 + 93,02j \quad (\text{A}) \quad (4.67)$$

$$\overline{I'_{ZC2A}} = \overline{I_{VTE-(2-10)}} \cdot \frac{\overline{Z'_H}}{\overline{Z'_{C2}} + \overline{Z'_H}} = -0,05 + 0,002j \quad (\text{A}) \quad (4.68)$$

$$\overline{I'_F} = \overline{I'_{Z2}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C2}}}{\overline{Z'_F} + \overline{Z'_{C2}}} = 371,26 + 93,02j \quad (\text{A}) \quad (4.69)$$

$$\overline{I'_{ZC2B}} = \overline{I'_{Z2}} \cdot \frac{\overline{Z'_F}}{\overline{Z'_{C2}} + \overline{Z'_F}} = -0,05 + 0,0009j \quad (\text{A}) \quad (4.70)$$

$$\overline{I'_{VTE1}} = \overline{I'_F} \cdot \frac{\overline{Z'_E}}{\overline{Z'_{VTE-1P}} + \overline{Z'_E}} = -0,93 + 0,02j \text{ (A)} \quad (4.71)$$

$$\overline{I'_{VTE1S}} = \overline{I'_{VTE1}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C1}}}{\overline{Z'_{VTE-1S}} + \overline{Z'_{C1}}} = -0,46 + 0,008j \text{ (A)} \quad (4.72)$$

$$\overline{I'_{VTE1ZC1}} = \overline{I'_{VTE1}} \cdot \frac{\overline{Z'_{VTE-1S}}}{\overline{Z'_{C1}} + \overline{Z'_{VTE-1S}}} = -0,46 + 0,008j \text{ (A)} \quad (4.73)$$

$$\overline{I'_E} = \overline{I'_F} \cdot \frac{\overline{Z'_{VTE-1P}}}{\overline{Z'_E} + \overline{Z'_{VTE-1P}}} = 372,19 + 93,00j \text{ (A)} \quad (4.74)$$

$$\overline{I'_{ZC3A}} = \overline{I'_E} \cdot \frac{\overline{Z'_D}}{\overline{Z'_{C3}} + \overline{Z'_D}} = -0,68 + 0,012j \text{ (A)} \quad (4.75)$$

$$\overline{I'_{Z3}} = \overline{I'_E} \cdot \frac{\overline{Z'_{C3}}}{\overline{Z'_D} + \overline{Z'_{C3}}} = 372,86 + 92,99j \text{ (A)} \quad (4.76)$$

$$\overline{I'_{ZC3B}} = \overline{I'_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z'_B}}{\overline{Z'_{C3}} + \overline{Z'_B}} = -0,39 - 0,067j \text{ (A)} \quad (4.77)$$

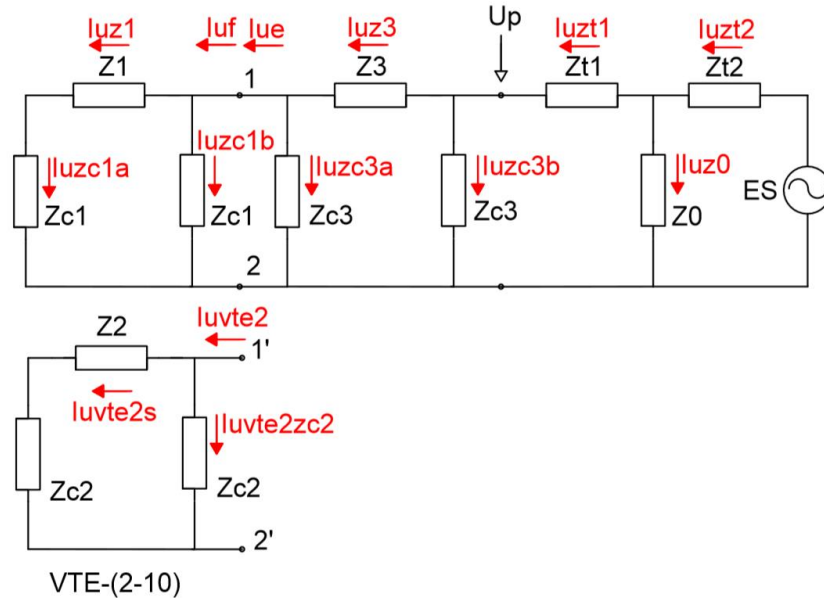
$$\overline{I'_{ZT1}} = \overline{I'_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C3}}}{\overline{Z'_B} + \overline{Z'_{C3}}} = 372,33 + 92,89j \text{ (A)} \quad (4.78)$$

$$\overline{I'_{ZT2}} = \overline{I'_{ZT1}} \cdot \frac{\overline{Z'_0}}{\overline{Z'_{T2}} + \overline{Z'_0}} = 372,03 + 92,81j \text{ (A)} \quad (4.79)$$

$$\overline{I'_{Z0}} = \overline{I'_{ZT1}} \cdot \frac{\overline{Z'_{T2}}}{\overline{Z'_0} + \overline{Z'_{T2}}} = 0,30 + 0,08j \text{ (A)} \quad (4.80)$$

Náhradní schéma s napětovým zdrojem ES bez uvažované dekompenzace:

V této části výpočtu jsem řešil obvod, který je připojen na napětový zdroj představující elektrizační soustavu 110 kV, ostatní zdroje jsou odpojeny.



Obr. 28 Náhradní schéma s napětovým zdrojem ES

Nejprve jsem musel provést transfiguraci obvodu, abych mohl určit zdánlivý proud dodávaný z napětového zdroje.

$$\overline{Z_{UA}} = \overline{Z_1} + \overline{Z_{C1}} = 0,94 - 3\,856,94j \text{ } (\Omega) \quad (4.81)$$

$$\overline{Z_{UB}} = \overline{Z_{UA}} // \overline{Z_{C1}} = 0,23 - 1\,928,81j \text{ } (\Omega) \quad (4.82)$$

$$\overline{Z_{UVTE2S}} = \overline{Z_2} + \overline{Z_{C2}} = 0,10 - 34\,724,56j \text{ } (\Omega) \quad (4.83)$$

$$\overline{Z_{UVTE2P}} = \overline{Z_{UVTE2S}} // \overline{Z_{C2}} = 0,03 - 17\,362,32j \text{ } (\Omega) \quad (4.84)$$

$$\overline{Z_{UC}} = \overline{Z_{UB}} // \overline{Z_{UVTE2P}} = 0,19 - 1\,735,96j \text{ } (\Omega) \quad (4.85)$$

$$\overline{Z_{UD}} = \overline{Z_{UC}} // \overline{Z_{C3}} = 0,07 - 1\,049,27j \text{ } (\Omega) \quad (4.86)$$

$$\overline{Z_{UE}} = \overline{Z_{UD}} + \overline{Z_3} = 1,07 - 1\,047,51j \text{ } (\Omega) \quad (4.87)$$

$$\overline{Z_{UF}} = \overline{Z_{UE}} // \overline{Z_{C3}} = 0,55 - 750,96j \text{ } (\Omega) \quad (4.88)$$

$$\overline{Z_{UG}} = \overline{Z_{UF}} + \overline{Z_{T1}} = 0,65 - 749,58j \text{ } (\Omega) \quad (4.89)$$

$$\overline{Z_{UH}} = \overline{Z_{UG}} // \overline{Z_0} = 106,09 - 1\,326,16j \text{ } (\Omega) \quad (4.90)$$

$$\overline{Z_{UK}} = \overline{Z_{UH}} + \overline{Z_{T2}} = 106,19 - 1324,78j \text{ } (\Omega) \quad (4.91)$$

Napětí elektrizační soustavy je 110 kV, z tohoto důvodu jsem musel před samotným výpočtem zdánlivého proudu nejdříve přepočíst velikost napětí 110 kV na napěťovou hladinu 35 kV.

$$U_{35kV} = U_{110kV} \cdot \frac{1}{\frac{U_1}{U_2}} = 110 \cdot \frac{35}{110} = 35kV \quad (4.92)$$

Kde:

U_1 Napěťová hladina, z které se převádí hodnota napětí (V)

U_2 Napěťová hladina, na kterou se převádí hodnota napětí (V)

Poté jsem určil velikost dodávaného zdánlivého proudu z napěťového zdroje a následně při zpětné transfiguraci i velikosti proudů v jednotlivých větvích.

$$U_{35kVf} = \frac{U_{35kV}}{\sqrt{3}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 20,207kV \quad (4.93)$$

$$\overline{I_{uzt2}} = \frac{U_{35kVf}}{\overline{Z_{UK}}} = \frac{20\,207}{106,19 - 1324,78j} = 1,21 + 15,16j \text{ } (A) \quad (4.94)$$

$$\overline{I_{uzt1}} = \overline{I_{uzt2}} \cdot \frac{\overline{Z_0}}{\overline{Z_{UG}} + \overline{Z_0}} = 0,028 + 26,99j \text{ } (A) \quad (4.95)$$

$$\overline{I_{uz0}} = \overline{I_{uzt2}} \cdot \frac{\overline{Z_{UG}}}{\overline{Z_0} + \overline{Z_{UG}}} = 1,19 - 11,83j \text{ } (A) \quad (4.96)$$

$$\overline{I_{uz3}} = \overline{I_{uzt1}} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z_{UE}} + \overline{Z_{C3}}} = 0,026 + 19,35j \text{ } (A) \quad (4.97)$$

$$\overline{I_{uzc3b}} = \overline{I_{uzt1}} \cdot \frac{\overline{Z_{UE}}}{\overline{Z_{C3}} + \overline{Z_{UE}}} = 0,0023 + 7,64j \text{ } (A) \quad (4.98)$$

$$\overline{I_{uc}} = \overline{I_{uz3}} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z_{UC}} + \overline{Z_{C3}}} = 0,016 + 11,69j \text{ } (A) \quad (4.99)$$

$$\overline{I_{uzc3a}} = \overline{I_{uz3}} \cdot \frac{\overline{Z_{UC}}}{\overline{Z_{C3}} + \overline{Z_{UC}}} = 0,0096 + 7,65j \text{ } (A) \quad (4.100)$$

$$\overline{I_{uvte2}} = \overline{I_{uc}} \cdot \frac{\overline{Z_{UB}}}{\overline{Z_{UVTE2P}} + \overline{Z_{UB}}} = 0,0015 + 1,17j \text{ } (A) \quad (4.101)$$

$$\overline{I_{uvte2s}} = \overline{I_{uvte2}} \cdot \frac{\overline{Z_{C2}}}{\overline{Z_{UVTE2S}} + \overline{Z_{C2}}} = 0,0007 + 0,58j \text{ (A)} \quad (4.102)$$

$$\overline{I_{uvte2zc2}} = \overline{I_{uvte2}} \cdot \frac{\overline{Z_{UVTE2S}}}{\overline{Z_{C2}} + \overline{Z_{UVTE2S}}} = 0,0007 + 0,58j \text{ (A)} \quad (4.103)$$

$$\overline{I_{ub}} = \overline{I_{uc}} \cdot \frac{\overline{Z_{UVTE2P}}}{\overline{Z_{UB}} + \overline{Z_{UVTE2P}}} = 0,01 + 10,52j \text{ (A)} \quad (4.104)$$

$$\overline{I_{uzc1b}} = \overline{I_{ub}} \cdot \frac{\overline{Z_{UA}}}{\overline{Z_{C1}} + \overline{Z_{UA}}} = 0,0066 + 5,26j \text{ (A)} \quad (4.105)$$

$$\overline{I_{uz1}} = \overline{I_{ub}} \cdot \frac{\overline{Z_{C1}}}{\overline{Z_{UA}} + \overline{Z_{C1}}} = 0,008 + 5,26j \text{ (A)} \quad (4.106)$$

Výsledná velikost proudů:

Výsledná velikost proudu v určité části náhradního schématu je daná algebraickým sčítáním či odčítáním proudů, které přes tuto část prochází. Sčítání nebo odčítání dílčích proudů v dané větvi závisí na jejich orientaci, kterou jsem znázornil v tabulce č. 3. Pod touto tabulkou jsem uvedl i postup výpočtů výsledných proudů, se kterými bylo dále počítáno.

Tab. 3 Vyznačená orientace (kladná/záporná) jednotlivých proudů

Celkový proud	Od zdroje VTE-1	Od zdroje VTE-(2-10)	Od zdroje ES
I_{z1}	+	-	-
I_{zc1a}	+	+	+
I_{zc1b}	+	+	+
I_{zf}	+	+	-
I_{z2}	-	+	-
I_{zc2a}	+	+	+
I_{zc2b}	+	+	+
I_{ze}	+	+	-
I_{z3}	+	+	-
I_{zc3a}	+	+	+
I_{zc3b}	+	+	+
I_{zt1}	+	+	-
I_{zt2}	+	+	-
I_{z0}	+	+	+

$$I_{zc3b} = \overline{I_{ZC3B}} + \overline{I'_{ZC3B}} + \overline{I_{uzc3b}} = -0,44 + 7,56j \text{ (A)} \quad (4.107)$$

$$I_{z1} = \overline{I_{Z1}} - \overline{I'_{VTE1S}} - \overline{I_{uz1}} = 41,77 + 5,06j \text{ (A)} \quad (4.108)$$

$$I_{z2} = \overline{I'_{Z2}} - \overline{I_{VTE2S}} - \overline{I_{uvte2s}} = 371,21 + 92,43j \text{ (A)} \quad (4.109)$$

$$I_{c_{z3}} = \overline{I_{z3}} + \overline{I'_{z3}} - \overline{I_{uz3}} = 414,29 + 83,97j \text{ (A)} \quad (4.110)$$

$$I_{c_{zt1}} = \overline{I_{zT1}} + \overline{I'_{zT1}} - \overline{I_{uzt1}} = 414,72 + 76,4j \text{ (A)} \quad (4.111)$$

Výpočet parametrů v předávacím místě:

Ve zvoleném předávacím místě jsem určil podle následujících vztahů výkonové poměry, proud, napětí a velikost účinníku.

Napětí v předávacím místě:

$$\overline{U_{PM}} = \overline{I_{zc3b}} / \overline{Y_{c3}} = 20\,066,7 + 1\,154,77j \text{ (V)} \quad (4.112)$$

Kde:

$$\overline{Y_{c3}} \quad \text{Admittance vypočtená ze } \overline{Z_{c2}} \text{ (S)}$$

Proud v předávacím místě:

$$\overline{I_{PM}} = \overline{I_{c_{zt1}}} = 414,72 + 76,4j \text{ (A)} \quad (4.113)$$

Činná složka proudu v předávacím místě:

$$I_{PM\check{c}} = \text{Re}\{\overline{I_{PM}}\} = 421,7 \text{ (A)} \quad (4.114)$$

Jalová složka proudu v předávacím místě:

$$I_{PMj} = \text{Im}\{\overline{I_{PM}}\} = 76,4 \text{ (A)} \quad (4.115)$$

Zdánlivý výkon v předávacím místě:

$$\overline{S_{PM}} = 3 \cdot \overline{U_{PM}} \cdot \overline{I_{PM}} = 24\,701\,580,67 + 6\,036\,307,78j \text{ (VA)} \quad (4.116)$$

Činný výkon v předávacím místě:

$$P_{PM} = \text{Re}\{\overline{S_{PM}}\} = 24\,701\,580,67 \text{ (W)} \quad (4.117)$$

Jalová složka v předávacím místě:

$$Q_{PM} = \text{Im}\{\overline{S_{PM}}\} = 6\,036\,307,79 \text{ (VAr)} \quad (4.118)$$

Účinník v předávacím místě:

$$\cos \varphi_{PM} = \overline{P_{PM}} / \overline{S_{PM}} = 0,97 \text{ (-)} \quad (4.119)$$

Třífázové činné ztráty:

Vzniklé činné ztráty způsobené přenosem elektrické energie jsem počítal pro úsek mezi jednotlivými VTE a předávacím místem, tedy na vedení č. 1, vedení č. 2 a vedení č. 3.

Nejprve jsem uvedl vztahy výpočtů absolutních hodnot proudů z komplexního tvaru, které jsou potřebné k určení ztrát.

$$I_{c_{z1A}} = \sqrt{\operatorname{Re}\{\overline{I_{c_{z1}}}\}^2 + \operatorname{Im}\{\overline{I_{c_{z1}}}\}^2} = 42,07 \text{ A} \quad (4.120)$$

$$I_{c_{z2A}} = \sqrt{\operatorname{Re}\{\overline{I_{c_{z2}}}\}^2 + \operatorname{Im}\{\overline{I_{c_{z2}}}\}^2} = 382,55 \text{ A} \quad (4.121)$$

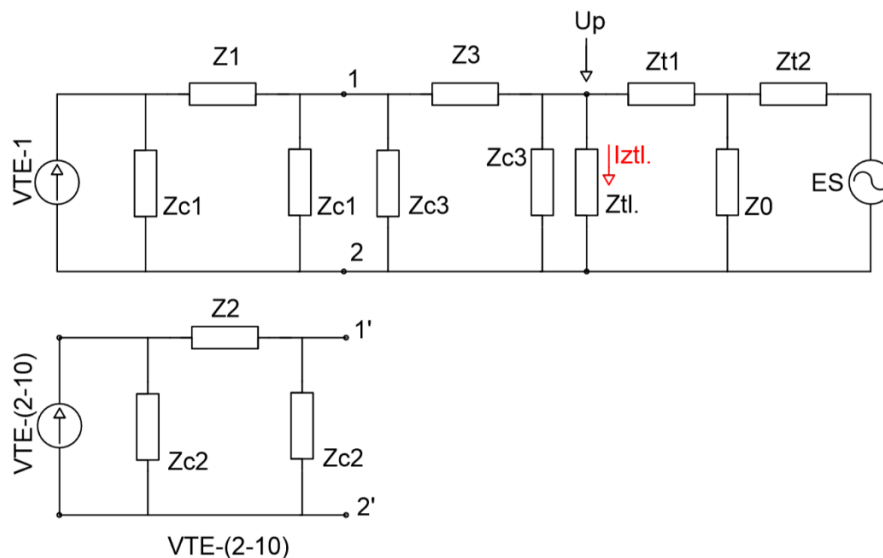
$$I_{c_{z3A}} = \sqrt{\operatorname{Re}\{\overline{I_{c_{z3}}}\}^2 + \operatorname{Im}\{\overline{I_{c_{z3}}}\}^2} = 422,71 \text{ A} \quad (4.122)$$

Poté jsem třífázové činné ztráty určil ze vztahu níže.

$$P_Z = 3 \cdot (R_{V1} \cdot I_{c_{z1A}}^2 + R_{V2} \cdot I_{c_{z2A}}^2 + R_{V3} \cdot I_{c_{z3A}}^2) = 586\,761 \text{ W} \quad (4.123)$$

4.4 Výpočet náhradního schématu s uvažovanou dekompenzací

V této části jsem výpočet provedl pro případ, ve kterém je v předávacím místě paralelně připojená dekompenzační tlumivka. Náhradní schéma zadané studie je doplněno o impedanci „ Z_{tl} .“ představující dekompenzační tlumivku, přes kterou prochází proud „ I_{Ztl} .“. Upravené náhradní schéma jsem znázornil na obr. 29.



Obr. 29 Náhradní schéma zadané studie s nahrazenými impedancemi pro případ s dekompenzační tlumivkou

Velikosti impedancí uvedených na obr. 29 jsou totožné jako pro řešený případ bez dekompenzace. Z tohoto důvodu budu uvádět pouze výpočet impedance znázorňující dekompenzační tlumivku. Velikost výkonu dané tlumivky jsem musel určit až po vytvoření matematického modelu pro případ bez dekompenzace, ze kterého jsem zjistil velikost potřebného dekompenzačního výkonu. Pro účel vysvětlení postupu výpočtu jsem uvedl téměř 100 % požadovaného dekompenzačního výkonu, a to 1,6 MVar. Ztráty

vzniklé v dekompenzační tlumivce jsem uvažoval 0,8 % z celkového navrhnutého dekompenzačního výkonu. Impedance uvažované tlumivky je tvořena z paralelně zapojeného rezistoru a induktivní reaktance. Výpočet parametru dané tlumivky jsem uvedl níže.

Výpočet induktivní reaktance dekompenzační tlumivky:

$$X_{tl.} = \frac{U_{35kV}^2}{Q_{tl.}} = 765,625 (\Omega) \quad (4.124)$$

Kde:

$Q_{tl.}$ Velikost dekompenzačního výkonu tlumivky (VAr)

Výpočet vzniklých ztrát v tlumivce:

$$P_{tl.} = Q_{tl.} \cdot \frac{0,8}{100} = 12\,800 (W) \quad (4.125)$$

Výpočet rezistence představující ztráty vzniklých ztrát v tlumivce:

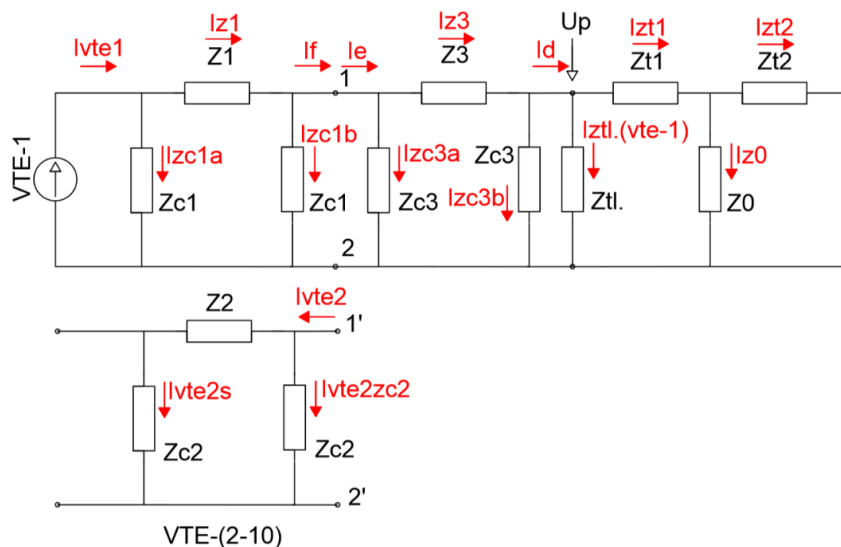
$$R_{tl.} = \frac{U_{35kV}^2}{P_{tl.}} = 95\,703,13 (\Omega) \quad (4.126)$$

Výpočet induktivní reaktance dané tlumivky v komplexně sdruženém tvaru:

$$\overline{Z}_{tl.} = X_{tl.} // R_{tl.} = 6,12 + 765,58j (\Omega) \quad (4.127)$$

Náhradní schéma s proudovým zdrojem VTE-1 a s uvažovanou dekompenzací:

Postup výpočtu je obdobný jako pro obvod bez uvažované dekompenzace, z tohoto důvodu jsem v této části uvedl rovnou řešené náhradní schéma (tj. obr. 30) a následně postup k určení velikosti proudů v jednotlivých větvích.



Obr. 30 Náhradní schéma s dekompenzační tlumivkou pro proudový zdroj VTE-1

Transfigurace obvodu:

$$\overline{Z}_A = \overline{Z}_0 // \overline{Z}_{T2} = 0,10 + 1,37j \text{ } (\Omega) \quad (4.128)$$

$$\overline{Z}_B = \overline{Z}_A + \overline{Z}_{T1} = 0,21 + 2,75j \text{ } (\Omega) \quad (4.129)$$

$$\overline{Z}_{DT} = \overline{Z}_B // \overline{Z}_{t1} = 0,21 + 2,74j \text{ } (\Omega) \quad (4.130)$$

$$\overline{Z}_C = \overline{Z}_B // \overline{Z}_{C3} = 0,21 + 2,74j \text{ } (\Omega) \quad (4.131)$$

$$\overline{Z}_D = \overline{Z}_C + \overline{Z}_3 = 1,21 + 4,50j \text{ } (\Omega) \quad (4.132)$$

$$\overline{Z}_E = \overline{Z}_D // \overline{Z}_{C3} = 1,21 + 4,51j \text{ } (\Omega) \quad (4.133)$$

$$\overline{Z}_{VTE(2-10)S} = \overline{Z}_2 + \overline{Z}_{c2} = 0,10 - 34\,724,56j \text{ } (\Omega) \quad (4.134)$$

$$\overline{Z}_{VTE(2-10)P} = \overline{Z}_{VTE(2-10)S} // \overline{Z}_{c2} = 0,03 - 17\,362,32j \text{ } (\Omega) \quad (4.135)$$

$$\overline{Z}_F = \overline{Z}_E // \overline{Z}_{VTE(2-10)P} = 1,21 + 4,51j \text{ } (\Omega) \quad (4.136)$$

$$\overline{Z}_G = \overline{Z}_F // \overline{Z}_{C1} = 1,21 + 4,51j \text{ } (\Omega) \quad (4.137)$$

$$\overline{Z}_H = \overline{Z}_G + \overline{Z}_1 = 2,15 + 5,88j \text{ } (\Omega) \quad (4.138)$$

Velikost dodávaného zdánlivého proudu z proudového zdroje VTE-1 je od případu bez dekompenzace rozdílná v nastavení účinníku u jednotlivých VTE za účelem dodržení požadovaného účinníku o velikosti 0,97. Aby byl dodržen účinník v předávacím místě, musel jsem změnit u všech VTE na velikost 0,98.

$$I_{\check{C} VTE-1} = \frac{P_{VTE-1}}{3 \cdot U_{35f}} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{3 \cdot \left(\frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)} = 41,23 \text{ A} \quad (4.139)$$

Kde:

P_{VTE-1} Dodávaný výkon větrnou elektrárnou VTE-1 (W)

U_{35f} Velikost fázového napětí z místa připojení VTE-1 (V)

Velikost dodávaného jalového proudu z VTE-1:

$$I_{J VTE-1} = \sqrt{\left(\frac{I_{\check{C} VTE-1}}{\cos\varphi_{VTE-1}}\right)^2 - I_{\check{C} VTE-1}^2} = \sqrt{\left(\frac{41,23}{0,98}\right)^2 - 41,23^2} = 8,37 \text{ A} \quad (4.140)$$

Kde:

$\cos\varphi_{VTE-1}$ Zadaná hodnota účinníku VTE-1 (-)

Velikost dodávaného zdánlivého proudu VTE-1 uvedená ve složkovém tvaru je tedy:

$$\overline{I_{VTE-1}} = I_{\check{C}VTE-1} + jI_{jVTE-1} = 41,24 + 8,37j \quad (4.141)$$

Rozdělení proudů při zpětné transfiguraci obvodu:

$$\overline{I_{Z1}} = \overline{I_{VTE-1}} \cdot \frac{\overline{Z_{C1}}}{\overline{Z_H} + \overline{Z_{C1}}} = 41,3 + 8,36j \text{ (A)} \quad (4.142)$$

$$\overline{I_{ZC1A}} = \overline{I_{VTE-1}} \cdot \frac{\overline{Z_H}}{\overline{Z_{C1}} + \overline{Z_H}} = -0,068 + 0,01j \text{ (A)} \quad (4.143)$$

$$\overline{I_F} = \overline{I_{Z1}} \cdot \frac{\overline{Z_{C1}}}{\overline{Z_F} + \overline{Z_{C1}}} = 41,36 + 8,36j \text{ (A)} \quad (4.144)$$

$$\overline{I_{ZC1B}} = \overline{I_{Z1}} \cdot \frac{\overline{Z_F}}{\overline{Z_{C1}} + \overline{Z_F}} = -0,051 + 0,003j \text{ (A)} \quad (4.145)$$

$$\overline{I_{VTE2}} = \overline{I_F} \cdot \frac{\overline{Z_E}}{\overline{Z_{VTE(2-10)P}} + \overline{Z_E}} = -0,01 + 0,0007j \text{ (A)} \quad (4.146)$$

$$\overline{I_{VTE2S}} = \overline{I_{VTE2}} \cdot \frac{\overline{Z_{C2}}}{\overline{Z_{VTE(2-10)S}} + \overline{Z_{C2}}} = -0,006 + 0,0004j \text{ (A)} \quad (4.147)$$

$$\overline{I_{VTE2SZC2}} = \overline{I_{VTE2}} \cdot \frac{\overline{Z_{VTE(2-10)S}}}{\overline{Z_{C2}} + \overline{Z_{VTE(2-10)S}}} = -0,006 + 0,0004j \text{ (A)} \quad (4.148)$$

$$\overline{I_E} = \overline{I_F} \cdot \frac{\overline{Z_{VTE(2-10)P}}}{\overline{Z_E} + \overline{Z_{VTE(2-10)P}}} = 41,37 + 8,36j \text{ (A)} \quad (4.149)$$

$$\overline{I_{ZC3A}} = \overline{I_E} \cdot \frac{\overline{Z_D}}{\overline{Z_{C3}} + \overline{Z_D}} = -0,07 + 0,005j \text{ (A)} \quad (4.150)$$

$$\overline{I_{Z3}} = \overline{I_E} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z_D} + \overline{Z_{C3}}} = 41,44 + 8,35j \text{ (A)} \quad (4.151)$$

$$\overline{I_{ZC3B}} = \overline{I_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z_{DT}}}{\overline{Z_{C3}} + \overline{Z_{DT}}} = -0,04 - 0,005j \text{ (A)} \quad (4.152)$$

$$\overline{I_d} = \overline{I_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z_{DT}} + \overline{Z_{C3}}} = 41,49 + 8,36j \text{ (A)} \quad (4.153)$$

$$\overline{I_{Ztl.(vte-1)}} = \overline{I_d} \cdot \frac{\overline{Z_B}}{\overline{Z_{tl.}} + \overline{Z_B}} = 0,15 + 0,02j \text{ (A)} \quad (4.154)$$

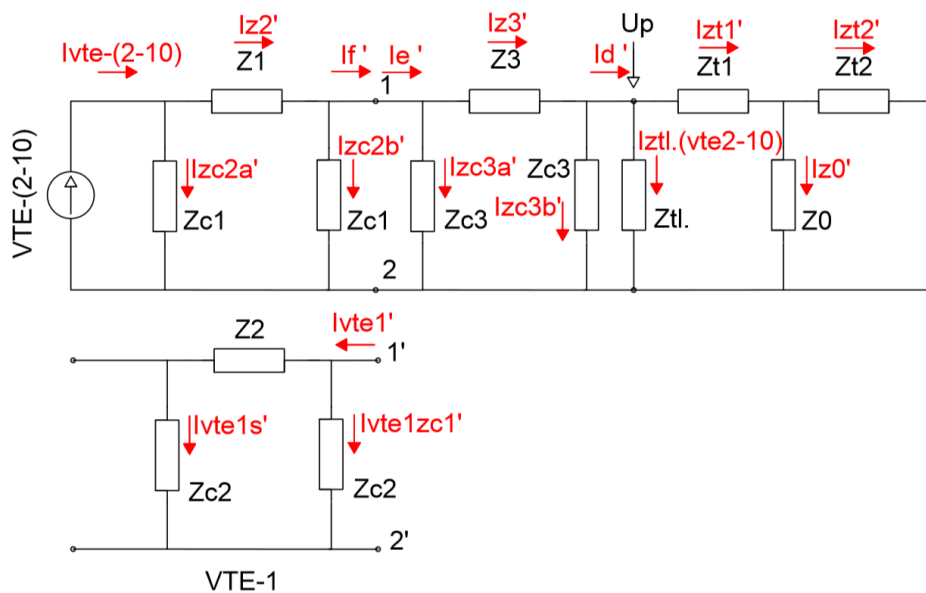
$$\overline{I}_{ZT1} = \overline{I}_d \cdot \frac{\overline{Z}_{tl.}}{\overline{Z}_B + \overline{Z}_{tl.}} = 41,34 + 8,34j \text{ (A)} \quad (4.155)$$

$$\overline{I}_{ZT2} = \overline{I}_{ZT1} \cdot \frac{\overline{Z}_0}{\overline{Z}_{T2} + \overline{Z}_0} = 41,3 + 8,33j \text{ (A)} \quad (4.156)$$

$$\overline{I}_{Z0} = \overline{I}_{ZT1} \cdot \frac{\overline{Z}_{T2}}{\overline{Z}_0 + \overline{Z}_{T2}} = 0,03 + 0,008j \text{ (A)} \quad (4.157)$$

Náhradní schéma s proudovým zdrojem VTE-(2-10) a s uvažovanou dekompenzací:

Obvod se zahrnutou dekompenzací s proudovým zdrojem VTE-(2-10) se řeší analogicky s již popsaným případem bez uvažované dekompenzace. Zde jsem uvedl postup transfigurace a určení velikostí proudů v dané části obvodu.



Obr. 31 Náhradní schéma s dekompenzační tlumivkou pro proudový zdroj VTE-(2-10)

Transfigurace obvodu:

$$\overline{Z}'_A = \overline{Z}_A \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4.158)$$

$$\overline{Z}'_B = \overline{Z}_B \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4.159)$$

$$\overline{Z}'_{DT} = \overline{Z}_{DT} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4.160)$$

$$\overline{Z}'_C = \overline{Z}_C \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4.161)$$

$$\overline{Z}'_D = \overline{Z}_D \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4.162)$$

$$\overline{Z}'_E = \overline{Z}_E \ (\Omega) \quad (4.163)$$

$$\overline{Z}'_{VTE-1S} = \overline{Z}_1 + \overline{Z}_{C1} = 0,94 - 3\,856,94j \ (\Omega) \quad (4.164)$$

$$\overline{Z}'_{VTE-1P} = \overline{Z}'_{VTE-1S} / \overline{Z}_{C1} = 0,23 - 1\,928,81j \ (\Omega) \quad (4.165)$$

$$\overline{Z}'_F = \overline{Z}'_E / \overline{Z}'_{VTE-1P} = 1,22 + 4,52j \ (\Omega) \quad (4.166)$$

$$\overline{Z}'_G = \overline{Z}'_F / \overline{Z}_{C1} = 1,22 + 4,52j \ (\Omega) \quad (4.167)$$

$$\overline{Z}'_H = \overline{Z}'_G + \overline{Z}_1 = 1,32 + 4,67j \ (\Omega) \quad (4.168)$$

Výpočet dodávaného činného proudu z VTE-(2-10):

$$I_{\check{C} VTE-(2-10)} = \frac{P_{VTE-(2-10)}}{3 \cdot U_{35f}} = \frac{22,5 \cdot 10^6}{3 \cdot \left(\frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)} = 371,15A \quad (4.169)$$

Kde:

$P_{VTE-(2-10)}$ Dodávaný výkon větrnou elektrárnou VTE-(2-10) (W)

U_{35f} Velikost fázového napětí z místa připojení VTE-1 (V)

Velikost dodávaného jalového proudu z VTE-(2-10):

$$I_{J VTE-(2-10)} = \sqrt{\left(\frac{I_{\check{C} VTE-(2-10)}}{\cos\varphi_{VTE-(2-10)}}\right)^2 - I_{\check{C} VTE-(2-10)}^2} \quad (4.170)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{371,15}{0,98}\right)^2 - 371,15^2} = 75,36 \text{ A}$$

Kde:

$\cos\varphi_{VTE-(2-10)}$ Zadaná hodnota účinníku VTE-(2-10) (-)

Velikost dodávaného zdánlivého proudu VTE-(2-10) uvedená ve složkovém tvaru je tedy:

$$\overline{I}_{VTE-(2-10)} = I_{\check{C} VTE-(2-10)} + jI_{J VTE-(2-10)} = 371,15 + 75,36j \ (\text{A}) \quad (4.171)$$

Rozdělení proudů při zpětné transfiguraci:

$$\overline{I}'_{Z2} = \overline{I}_{VTE-(2-10)} \cdot \frac{\overline{Z}'_{C2}}{\overline{Z}'_H + \overline{Z}'_{C2}} = 371,21 + 75,36j \ (\text{A}) \quad (4.172)$$

$$\overline{I'_{ZC2A}} = \overline{I'_{VTE-(2-10)}} \cdot \frac{\overline{Z'_H}}{\overline{Z'_{C2}} + \overline{Z'_H}} = -0,053 + 0,004j \text{ (A)} \quad (4.173)$$

$$\overline{I'_F} = \overline{I'_{Z2}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C2}}}{\overline{Z'_F} + \overline{Z'_{C2}}} = 371,25 + 75,36j \text{ (A)} \quad (4.174)$$

$$\overline{I'_{ZC2B}} = \overline{I'_{Z2}} \cdot \frac{\overline{Z'_F}}{\overline{Z'_{C2}} + \overline{Z'_F}} - 0,05 + 0,003j \text{ (A)} \quad (4.175)$$

$$\overline{I'_{VTE1}} = \overline{I'_F} \cdot \frac{\overline{Z'_E}}{\overline{Z'_{VTE-1P}} + \overline{Z'_E}} = -0,92 + 0,06j \text{ (A)} \quad (4.176)$$

$$\overline{I'_{VTE1S}} = \overline{I'_{VTE1}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C1}}}{\overline{Z'_{VTE-1S}} + \overline{Z'_{C1}}} = -0,46 + 0,03j \text{ (A)} \quad (4.177)$$

$$\overline{I'_{VTE1ZC1}} = \overline{I'_{VTE1}} \cdot \frac{\overline{Z'_{VTE-1S}}}{\overline{Z'_{C1}} + \overline{Z'_{VTE-1S}}} = -0,46 + 0,03j \text{ (A)} \quad (4.178)$$

$$\overline{I'_E} = \overline{I'_F} \cdot \frac{\overline{Z'_{VTE-1P}}}{\overline{Z'_E} + \overline{Z'_{VTE-1P}}} = 372,17 + 75,3j \text{ (A)} \quad (4.179)$$

$$\overline{I'_{ZC3A}} = \overline{I'_E} \cdot \frac{\overline{Z'_D}}{\overline{Z'_{C3}} + \overline{Z'_D}} = -0,67 + 0,04j \text{ (A)} \quad (4.180)$$

$$\overline{I'_{Z3}} = \overline{I'_E} \cdot \frac{\overline{Z'_{C3}}}{\overline{Z'_D} + \overline{Z'_{C3}}} = 372,84 + 75,26j \text{ (A)} \quad (4.181)$$

$$\overline{I'_{ZC3B}} = \overline{I'_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z'_B}}{\overline{Z'_{C3}} + \overline{Z'_B}} = -0,39 - 0,05j \text{ (A)} \quad (4.182)$$

$$\overline{I'_d} = \overline{I'_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z'_{DT}} + \overline{Z_{C3}}} = 373,23 + 75,31j \text{ (A)} \quad (4.183)$$

$$\overline{I'_{Ztl.(vte2-10)}} = \overline{I'_d} \cdot \frac{\overline{Z_B}}{\overline{Z_{tl.}} + \overline{Z_B}} = 1,35 + 0,18j \text{ (A)} \quad (4.184)$$

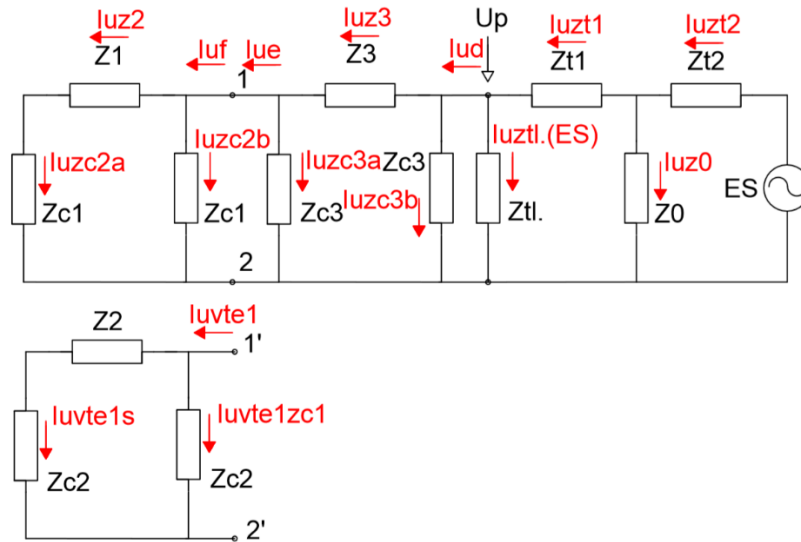
$$\overline{I'_{ZT1}} = \overline{I'_{Z3}} \cdot \frac{\overline{Z'_{C3}}}{\overline{Z'_B} + \overline{Z'_{C3}}} = 371,88 + 75,13j \text{ (A)} \quad (4.185)$$

$$\overline{I'_{ZT2}} = \overline{I'_{ZT1}} \cdot \frac{\overline{Z'_0}}{\overline{Z'_{T2}} + \overline{Z'_0}} = 371,58 + 75,06j \text{ (A)} \quad (4.186)$$

$$\overline{I'_{Z0}} = \overline{I'_{ZT1}} \cdot \frac{\overline{Z'_{T2}}}{\overline{Z'_0} + \overline{Z'_{T2}}} = 0,3 + 0,07j \text{ (A)} \quad (4.187)$$

Náhradní schéma s napětovým zdrojem ES a s uvažovanou dekompenzací:

Postup výpočtu pro obvod s dekompenzační tlumivkou připojený k napětovému zdroji, ve kterém jsem určoval rozdělení proudů v jednotlivých částech, je uveden níže. Směry procházejících proudů jsem graficky zobrazil na obr. 32.



Obr. 32 Náhradní schéma s dekompenzační tlumivkou pro napětový zdroj ES

Transfigurace obvodu:

$$\overline{Z_{UA}} = \overline{Z_1} + \overline{Z_{C1}} = 0,94 - 3\,856,94j \text{ } (\Omega) \quad (4.188)$$

$$\overline{Z_{UB}} = \overline{Z_{UA}} // \overline{Z_{C1}} = 0,23 - 1\,928,81j \text{ } (\Omega) \quad (4.189)$$

$$\overline{Z_{UVTE2S}} = \overline{Z_2} + \overline{Z_{C2}} = 0,10 - 34\,724,56j \text{ } (\Omega) \quad (4.190)$$

$$\overline{Z_{UVTE2P}} = \overline{Z_{UVTE2S}} // \overline{Z_{C2}} = 0,03 - 17\,362,32j \text{ } (\Omega) \quad (4.191)$$

$$\overline{Z_{UC}} = \overline{Z_{UB}} // \overline{Z_{UVTE2P}} = 0,19 - 1\,735,96j \text{ } (\Omega) \quad (4.192)$$

$$\overline{Z_{UD}} = \overline{Z_{UC}} // \overline{Z_{C3}} = 0,07 - 1\,049,27j \text{ } (\Omega) \quad (4.193)$$

$$\overline{Z_{UE}} = \overline{Z_{UD}} + \overline{Z_3} = 1,07 - 1\,047,51j \text{ } (\Omega) \quad (4.194)$$

$$\overline{Z_{UF}} = \overline{Z_{UE}} // \overline{Z_{C3}} = 0,55 - 750,96j \text{ } (\Omega) \quad (4.195)$$

$$\overline{Z_{UDT}} = \overline{Z_{UF}} // \overline{Z_{tl.}} = 14\,622,06 - 32\,652,38j \text{ } (\Omega) \quad (4.196)$$

$$\overline{Z_{UG}} = \overline{Z_{UDT}} + \overline{Z_{T1}} = 14\,622,16 - 32\,651j \text{ } (\Omega) \quad (4.197)$$

$$\overline{Z_{UH}} = \overline{Z_{UG}} // \overline{Z_0} = 220,93 + 1\,760,22j \text{ } (\Omega) \quad (4.198)$$

$$\overline{Z_{UK}} = \overline{Z_{UH}} + \overline{Z_{T2}} = 221,04 + 1\,761,6j \text{ } (\Omega) \quad (4.199)$$

Po transformaci celého obvodu jsem mohl určit velikost dodávaného zdánlivého proudu z napěťového zdroje a poté určit proudy v jednotlivých větvích.

$$U_{35kVf} = \frac{U_{35kV}}{\sqrt{3}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 20,207kV \quad (4.200)$$

$$\overline{I_{uzt2}} = \frac{U_{35kVf}}{\overline{Z_{UK}}} = \frac{20\,207}{221,04 + 1\,761,6j} = 1,42 - 11,29j \text{ } (A) \quad (4.201)$$

$$\overline{I_{uzt1}} = \overline{I_{uzt2}} \cdot \frac{\overline{Z_0}}{\overline{Z_{UG}} + \overline{Z_0}} = 0,23 + 0,52j \text{ } (A) \quad (4.202)$$

$$\overline{I_{uz0}} = \overline{I_{uzt2}} \cdot \frac{\overline{Z_{UG}}}{\overline{Z_0} + \overline{Z_{UG}}} = 1,19 - 11,81j \text{ } (A) \quad (4.203)$$

$$\overline{I_{ud}} = \overline{I_{uzt1}} \cdot \frac{\overline{Z_{tl.}}}{\overline{Z_F} + \overline{Z_{tl.}}} = 0,02 + 26,89j \text{ } (A) \quad (4.204)$$

$$\overline{I_{uztl.(ES)}} = \overline{I_{uzt1}} \cdot \frac{\overline{Z_F}}{\overline{Z_{tl.}} + \overline{Z_F}} = 0,21 - 26,37j \text{ } (A) \quad (4.205)$$

$$\overline{I_{uz3}} = \overline{I_{ud}} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z_{UE}} + \overline{Z_{C3}}} = 0,02 + 19,28j \text{ } (A) \quad (4.206)$$

$$\overline{I_{uzc3b}} = \overline{I_{ud}} \cdot \frac{\overline{Z_{UE}}}{\overline{Z_{C3}} + \overline{Z_{UE}}} = 0,000\,4 + 7,61j \text{ } (A) \quad (4.207)$$

$$\overline{I_{uc}} = \overline{I_{uz3}} \cdot \frac{\overline{Z_{C3}}}{\overline{Z_{UC}} + \overline{Z_{C3}}} = 0,01 + 11,65j \text{ } (A) \quad (4.208)$$

$$\overline{I_{uzc3a}} = \overline{I_{uz3}} \cdot \frac{\overline{Z_{UC}}}{\overline{Z_{C3}} + \overline{Z_{UC}}} = 0,008 + 7,63j \text{ } (A) \quad (4.209)$$

$$\overline{I_{uvte2}} = \overline{I_{uc}} \cdot \frac{\overline{Z_{UB}}}{\overline{Z_{UVTE2P}} + \overline{Z_{UB}}} = 0,001 + 1,16j \text{ } (A) \quad (4.210)$$

$$\overline{I_{uvte2s}} = \overline{I_{uvte2}} \cdot \frac{\overline{Z_{C2}}}{\overline{Z_{UVTE2S}} + \overline{Z_{C2}}} = 0,0006 + 0,58j \text{ } (A) \quad (4.211)$$

$$\overline{I_{uvte2zc2}} = \overline{I_{uvte2}} \cdot \frac{\overline{Z_{UVTE2S}}}{\overline{Z_{C2}} + \overline{Z_{UVTE2S}}} = 0,00059 + 0,58j \text{ } (A) \quad (4.212)$$

$$\overline{I_{ub}} = \overline{I_{uc}} \cdot \frac{\overline{Z_{UVTE2P}}}{\overline{Z_{UB}} + \overline{Z_{UVTE2P}}} = 0,012 + 10,49j \text{ (A)} \quad (4.213)$$

$$\overline{I_{uzc1b}} = \overline{I_{ub}} \cdot \frac{\overline{Z_{UA}}}{\overline{Z_{C1}} + \overline{Z_{UA}}} = 0,005 + 5,24j \text{ (A)} \quad (4.214)$$

$$\overline{I_{uz1}} = \overline{I_{ub}} \cdot \frac{\overline{Z_{C1}}}{\overline{Z_{UA}} + \overline{Z_{C1}}} = 0,007 + 5,24j \text{ (A)} \quad (4.215)$$

Výsledná velikost proudů:

Výsledný proud v dané větvi schématu je dán algebraickým sečtením či odečtením dílčích proudů dodávaných od jednotlivých zdrojů. Pro přehlednost jsem v tab. 4 uvedl orientace proudů pro jednotlivé větve a následně uvedl výpočet výsledných proudů, které byly potřeba pro další výpočet.

Tab. 4 Vyznačená orientace (kladná/záporná) jednotlivých proudů

Celkový proud	Od zdroje VTE-1	Od zdroje VTE-(2-10)	Od zdroje ES
I_{z1}	+	-	-
I_{zc1a}	+	+	+
I_{zc1b}	+	+	+
I_{zf}	+	+	-
I_{z2}	-	+	-
I_{zc2a}	+	+	+
I_{zc2b}	+	+	+
I_{ze}	+	+	-
I_{z3}	+	+	-
I_{zc3a}	+	+	+
I_{zc3b}	+	+	+
I_{tl}	+	+	+
I_{zt1}	+	+	-
I_{zt2}	+	+	-
I_{z0}	+	+	+

$$I_{zc3b} = \overline{I_{zc3b}} + \overline{I'_{zc3b}} + \overline{I_{uzc3b}} = -0,44 + 7,56j \text{ (A)} \quad (4.216)$$

$$I_{z1} = \overline{I_{z1}} - \overline{I'_{VTE1S}} - \overline{I_{uz1}} = 41,75 + 3,1j \text{ (A)} \quad (4.217)$$

$$I_{z2} = \overline{I'_{z2}} - \overline{I_{VTE2S}} - \overline{I_{uvte2s}} = 371,21 + 74,78j \text{ (A)} \quad (4.218)$$

$$I_{z3} = \overline{I_{z3}} + \overline{I'_{z3}} - \overline{I_{uz3}} = 414,26 + 64,34j \text{ (A)} \quad (4.219)$$

$$I_{zt1} = \overline{I_{zt1}} + \overline{I'_{zt1}} - \overline{I_{uzt1}} = 412,98 + 82,95j \text{ (A)} \quad (4.220)$$

Výpočet parametrů v předávacím místě:

Vztahy požadovaných parametrů v předávacím místě jsem uvedl níže.

Napětí v předávacím místě:

$$\overline{U}_{PM} = \overline{I}_{c_{z3b}} / \overline{Y}_{c3} = 20\,048,35 + j1\,151,36 \text{ (V)} \quad (4.221)$$

Kde:

$$\overline{Y}_{c3} \quad \text{Admittance vypočtená z } \overline{Z}_{c2} \text{ (S)}$$

Proud v předávacím místě:

$$\overline{I}_{PM} = \overline{I}_{c_{z1}} = 412,98 + j82,95 \text{ (A)} \quad (4.222)$$

Činná složka proudu v předávacím místě:

$$I_{PM\check{c}} = \text{Re}\{\overline{I}_{PM}\} = 421 \text{ (A)} \quad (4.223)$$

Jalová složka proudu v předávacím místě:

$$I_{PMj} = \text{Im}\{\overline{I}_{PM}\} = 82,95 \text{ (A)} \quad (4.224)$$

Zdánlivý výkon v předávacím místě:

$$\overline{S}_{PM} = 3 \cdot \overline{U}_{PM} \cdot \overline{I}_{PM} = 24\,552\,433 + j6\,415\,728 \text{ (VA)} \quad (4.225)$$

Činný výkon v předávacím místě:

$$P_{PM} = \text{Re}\{\overline{S}_{PM}\} = 24\,552\,433 \text{ (W)} \quad (4.226)$$

Jalová složka v předávacím místě:

$$Q_{PM} = \text{Im}\{\overline{S}_{PM}\} = 6\,415\,728 \text{ (VAr)} \quad (4.227)$$

Účinník v předávacím místě:

$$\cos \varphi_{PM} = \overline{P}_{PM} / \overline{S}_{PM} = 0,97 \text{ (-)} \quad (4.228)$$

Třífázové činné ztráty:

Nejprve jsem uvedl vztahy výpočtů absolutních hodnot proudů z komplexního tvaru, které jsou potřebné k určení ztrát.

$$I_{c_{z1A}} = \sqrt{\text{Re}\{\overline{I}_{c_{z1}}\}^2 + \text{Im}\{\overline{I}_{c_{z1}}\}^2} = 41,87 \text{ A} \quad (4.229)$$

$$I_{c_{z2A}} = \sqrt{\text{Re}\{\overline{I}_{c_{z2}}\}^2 + \text{Im}\{\overline{I}_{c_{z2}}\}^2} = 378,67 \text{ A} \quad (4.230)$$

$$I_{c_{z3A}} = \sqrt{\text{Re}\{\overline{I}_{c_{z3}}\}^2 + \text{Im}\{\overline{I}_{c_{z3}}\}^2} = 419,23 \text{ A} \quad (4.231)$$

Vzniklé třífázové činné ztráty na všech vedeních v zadané studii jsem spočetl podle vztahu níže.

$$P_Z = 3 \cdot (R_{V1} \cdot I_{Cz1A}^2 + R_{V2} \cdot I_{Cz2A}^2 + R_{V3} \cdot I_{Cz3A}^2) = 589\,642\text{W} \quad (4.232)$$

4.5 Vytvořený matematický model případové studie

Pro zadanou studii jsem vytvořil matematický model s naprogramovanými makry v tabulkovém procesoru Microsoft Excel 2017, ve kterém jsou obsaženy podle uvedeného postupu výše veškeré výpočty a mezivýpočty vedoucí k získání požadovaných dat. Obsažená makra jsem vytvořil za pomoci programovacího jazyku Visual Basic for Applications, který umožňuje zautomatizování veškerých výpočtů dle nastavení. Matematický model zadané studie slouží podle nastavených vstupních parametrů k získání požadovaných výsledných hodnot a jejich grafických výstupů v závislosti na procentuálním výkonu VTE. V tomto modelu lze měnit jakýkoliv parametr obsažený v náhradním schématu, je tedy možné určit vliv jednotlivých parametrů na sledované parametry v dané studii.

Parametry kabelu od VTE				Parametry kabelu pro vedení 3			
Rp	0,125	[ohm/km]		Rp	0,1	[ohm/km]	
Cp	2,20E-07	[F/km]		Cp	2,40E-07	[F/km]	
Lp	5,80E-04	[H/km]		Lp	5,60E-04	[H/km]	

Parametry vedení VTE1				Parametry vedení od spojení VTE k Trans.				Parametry transformátoru 35kV/110kV				Elektrizační soustava			
Délka	7,5	km		Délka	10	km		Sn	4,00E+07	VA	Yq	5,88E-04	Un	35000	kV
R1	0,9375	ohm		R3	1	ohm		Un	3,50E+04	V	Gq	5,88E-05	dPk	7,20E+04	W
XL1	1,967E+00	ohm		XL3	1,759291886	ohm		dPk	2,20E+05	W	Rfe	1,70E+04	uk	9,00E+00	%
XC1	1,929E+03	ohm		XC3	1,33E+03	ohm		io	1,80E+00	%	Xq=Xm	1709,96	Zk	2,76E+00	
Z1	0,9375+1,36659280431156i			Z3	1+1,75929188601028i			Rk	2,07E-01		Xk	2,74849	ZT1=ZT2	0,103359375+1,37424355746156i	
ZC1	-3858,30165071261i			ZC3	-2652,58238486492i			Z0	170,1388888888889+1692,86057007724i		comRfe	17013,88888888889	comXm	1709,96017179519i	

Parametry vedení od VTE(2-10)				Proud dodávaný VTE1		Výkon VTE v procentech	
Délka	7,5	km		PVTE1	2,50E+06		100
R2	0,104166667			Us	35000	IVTE1j	1,30459
XL2	0,151843645			UF	20207,3		
XC2	17362,35743			cos fi	0,9995		
Z2	104166666666667+0,15184364492350i			Ivte1č	41,2393		
ZC2	-94724,7148564135i			Ivte1j	1,30459		

Proud dodávaný VTE(2-10)			
PVTE(2-10)	2,25E+07		371,339
Us	35000	IVTE2-10j	11,7413
UF	20207,3		
cos fi	0,9995		
Ivte(2-10)č	371,154		
Ivte(2-10)j	11,7413		
IVTE(2-10)	371,153744479045+11,7413153985381i		

Obr. 33 Vizualizace části matematického modelu sloužící k nastavení vstupních parametrů

Pro provedení výpočtů matematického modelu s nastavenými vstupními parametry slouží vytvořené tlačítko s názvem „provést výpočet“, které spustí naprogramovaná makra provádějící změnu výkonu větrné farmy od 0 % do 100 % a při tom dochází k zaznamenávání požadovaných parametrů pro každou změnu výkonu.

5 Návrh dekompenzace

Pro návrh velikosti výkonu dekompenzační tlumivky jsem nejdříve musel analyzovat data pro případ bez uvažované dekompenzace, ze kterých lze určit při nulovém dodávaném výkonu z VTE velikost nabíjecího výkonu kabelového vedení, a tedy i nabíjecí kapacitní proud. Ze zjištěné velikosti nabíjecího výkonu vyplývá potřebná dekompenzace jalového výkonu kapacitního charakteru, která pro zadanou studii činí 1 640 591 VAr. V zadané studii jsem analyzoval možné řešení navrhnuté dekompenzační tlumivky jak s fixním výkonem, tak i s laditelným výkonem. Navrhnuté řešení s dekompenzační tlumivkou by mělo zlepšit dosažení požadovaného účinníku v předávacím místě a omezit nabíjecí kapacitní proud na kabelovém vedení při nízkém dodávaném výkonu z VTE oproti případu bez dekompenzace.

V této kapitole jsem uvedl grafické výstupy sledovaných parametrů z analyzovaných dat pro případ bez dekompenzace, s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem a následně pro dekompenzační tlumivku s laditelným výkonem. Jako požadovaný účinník v předávacím místě jsem při analýzách uvažoval krajní meze dané PDS, tedy -0,95, 1 a 0,95. V příloze jsem uvedl pro každou řešenou analýzu číselná data sledovaných veličin, ze kterých byly vytvořeny grafické výstupy.

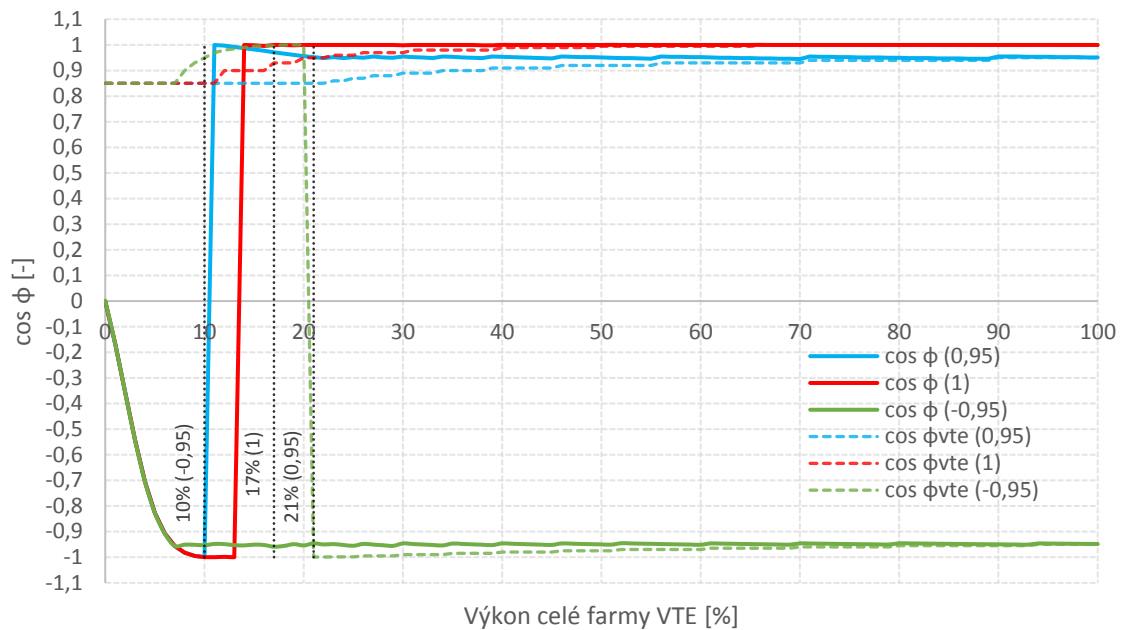
5.1 Analýza bez dekompenzační tlumivky

V analyzovaném případě dané studie, ve kterém se nenachází dekompenzační zařízení, je možné řídit velikost účinníku v předávacím místě prostřednictvím vhodného nastavování účinníku na straně samotných větrných elektráren. V rámci studie jsem uvažoval možný regulační rozsah velikosti účinníku u větrných elektráren v rozmezí $\pm 0,85$. Níže jsem pro případ bez dekompenzace graficky zobrazil průběhy sledovaných parametrů, které se mění v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren.

5.1.1 Účinník v předávacím místě

Z obr. 34 je možné zjistit, při kolika procentech výkonu větrné elektrárny je možné dosáhnout požadovaného účinníku v předávacím místě bez užití dekompenzačního zařízení. Průběh velikosti účinníků v předávacím místě představují celé čáry a průběh nastaveného účinníku na straně větrných elektráren znázorňují čerchované čáry. V tomto případě je možné požadavek na účinník 0,95 splnit až od 21 % výkonu větrných elektráren, požadavek na účinník 1 lze dosáhnout při 17 % výkonu a účinník -0,95 už od 10 % dodávaného výkonu z větrných elektráren. Neschopnost dosažení požadovaného účinníku

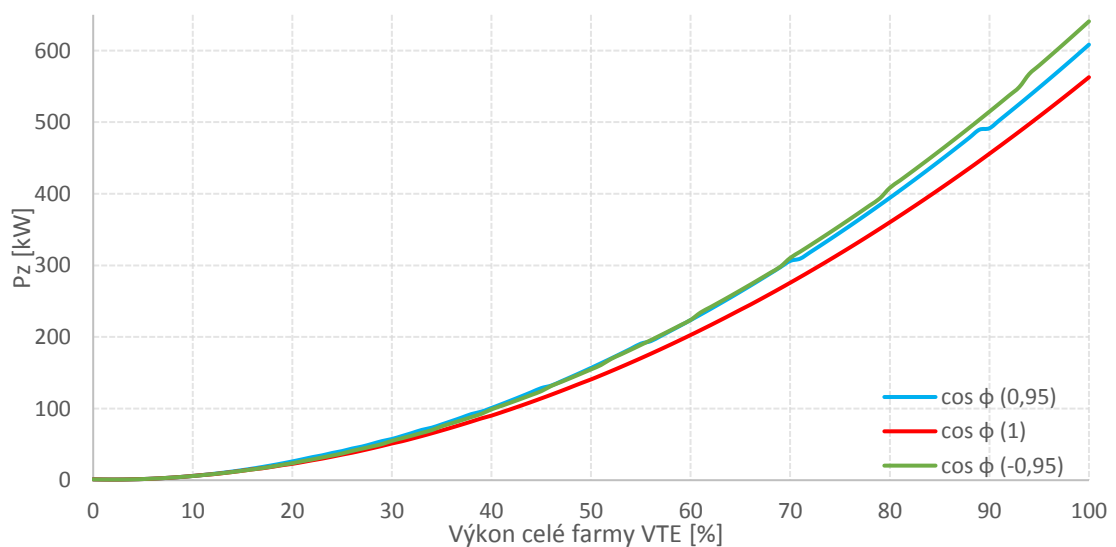
při nižším dodávaném výkonu jalového výkonu je způsobená vlivem působení nedekompenzovaného nabíjecího výkonu vedení.



Obr. 34 Závislost velikosti účinníku v předávacím místě na procentním výkonu větrných elektráren

5.1.2 Ztráty v závislosti na výkonu větrné farmy

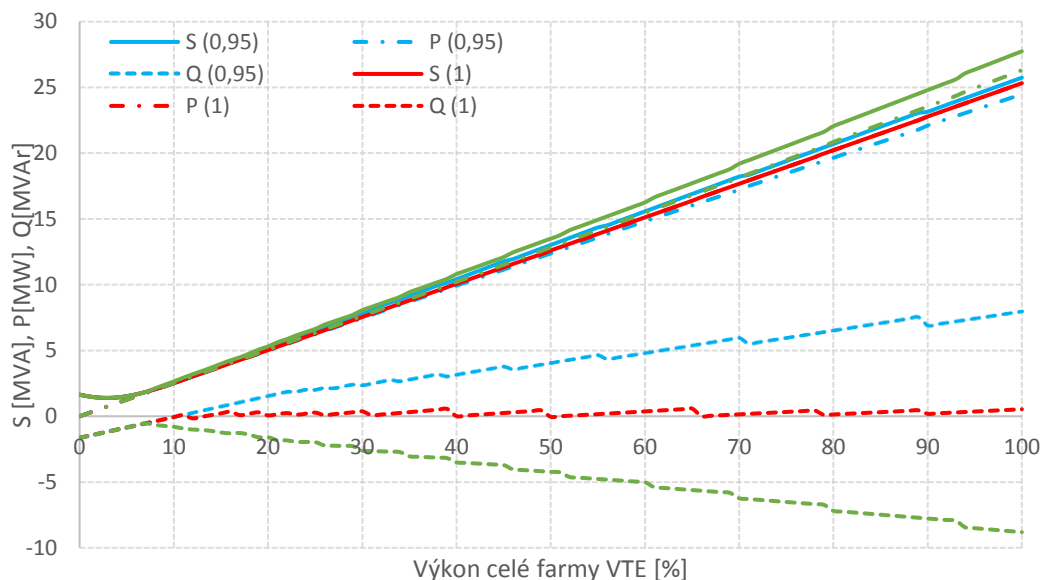
Ztráty vyvolané na kabelovém vedení od větrných elektráren až k předávacímu místu rostou kvadraticky v závislosti na dodávaném procentním výkonu VTE. Nejvyšší ztráty budou při požadavku na účinník -0,95, z důvodu vysoké kapacity kabelového vedení.



Obr. 35 Závislost ztrát na procentním výkonu větrných elektráren

5.1.3 Výkonové poměry v předávacím místě

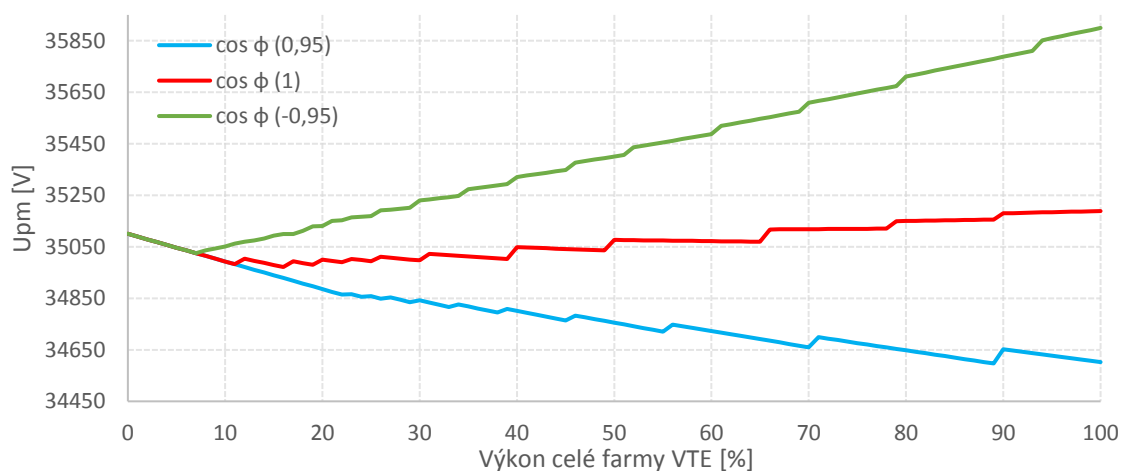
V této části jsem uvedl výkonové poměry pro analyzované velikosti účinníků v předávacím místě. Při nulovém dodávaném výkonu je zde vidět velikost nabíjecího kapacitního výkonu o velikosti 1 640 591 VAr.



Obr. 36 Výkonové poměry v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.1.4 Napětí v předávacím místě

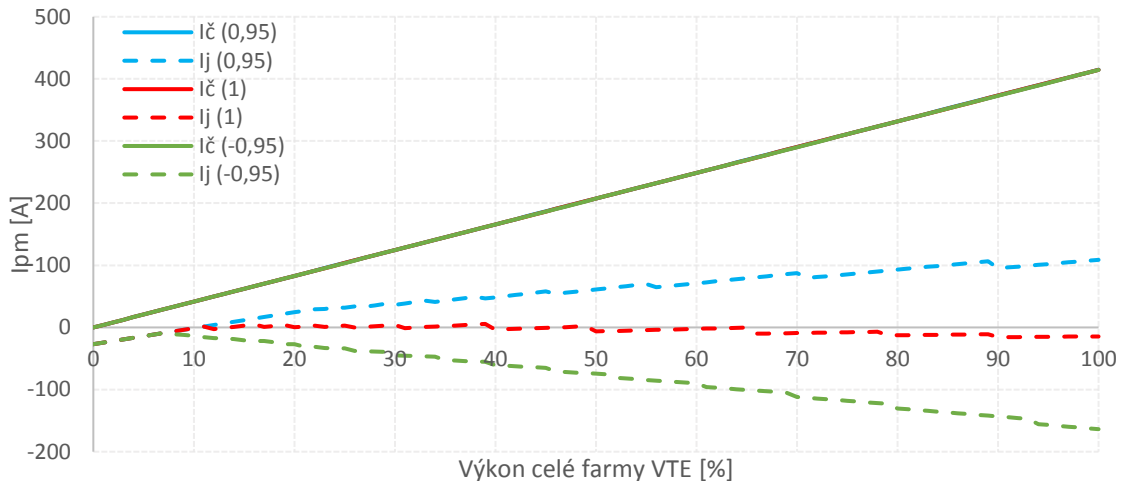
Při nulovém výkonu větrné farmy se v předávacím místě projevuje Ferrantiho jev, při kterém nabíjecí kapacitní proud procházející kabelovým vedením způsobuje navýšení velikosti napětí. V tomto případě navýšená velikost napětí v předávacím místě dosahovala 35 100 V.



Obr. 37 Změna napětí v předávacím místě v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.1.5 Proud v předávacím místě

Následující obrázek zobrazuje činnou i jalovou složku procházejícího proudu v předávacím místě pro daný požadovaný účinník. Také znázorňuje velikost nabíjecího kapacitního proudu při nulovém výkonu větrné farmy, která dosahuje hodnoty 27 A, a zároveň lze zpozorovat snížení nabíjecího kapacitního proudu s narůstajícím výkonem větrné farmy.



Obr. 38 Změna proudu v předávacím místě v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.2 Analýza s fixní dekompenzační tlumivkou 1,6 MVar

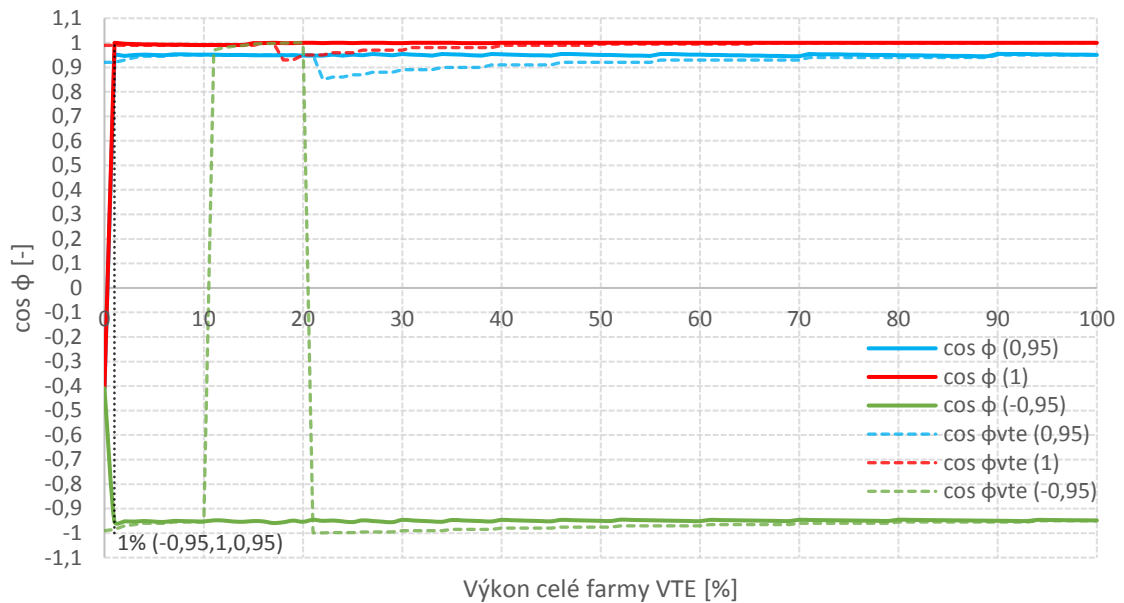
Při této analýze bylo v předávacím místě uvažované možné připojení dekompenzační tlumivky s fixním výkonem 1,6 MVar. V tomto případě je možné řízení velikosti účiníku v předávacím místě provádět prostřednictvím změny účiníku, se kterým pracují větrné elektrárny, a to v dovoleném regulačním rozsahu. Pro dosažení požadovaného účiníku v předávacím místě je v době nižšího výkonu možné připojit dekompenzační tlumivku, která svým výkonem dekompenzuje nabíjecí výkon vedení, a tím umožní dosáhnout požadovaného účiníku v širším výkonovém rozsahu větrné farmy. Níže jsem uvedl grafické výstupy z matematického modelu pro tuto analýzu.

V příloze jsem pro porovnání uvedl grafické zobrazení sledovaných parametrů v předávacím místě při použití fixní dekompenzační tlumivky s polovičním výkonem, tedy 0,8 MVar.

5.2.1 Účinník v předávacím místě

Vlivem připojené dekompenzační tlumivky při nižších výkonech větrné farmy došlo k dekompenzování nabíjecího výkonu vedení, které, jak lze sledovat na obr. 39, umožnilo dosáhnout všech analyzovaných požadovaných účiníků v předávacím místě od 1 %

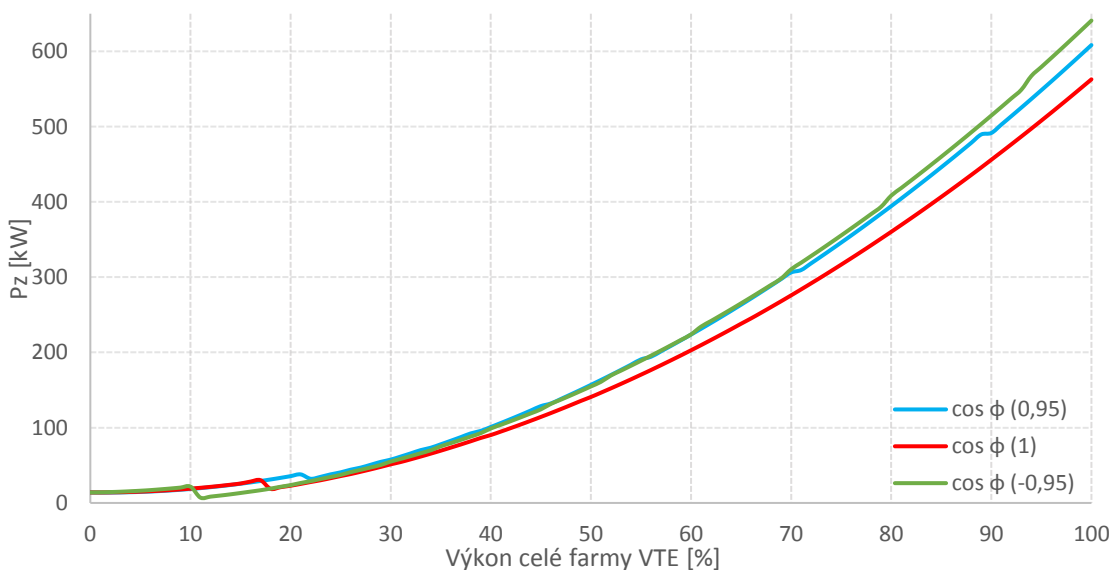
výkonu větrné farmy. Od určitého výkonu větrné farmy, při kterém lze dosáhnout požadovaného účinníku pouze vlivem regulace účinníku na straně větrných elektráren, tak dochází k odpojení fixní dekompenzační tlumivky.



Obr. 39 Závislost velikosti účinníku v předávacím místě na procentním výkonu větrných elektráren

5.2.2 Ztráty v závislosti na výkonu větrné farmy

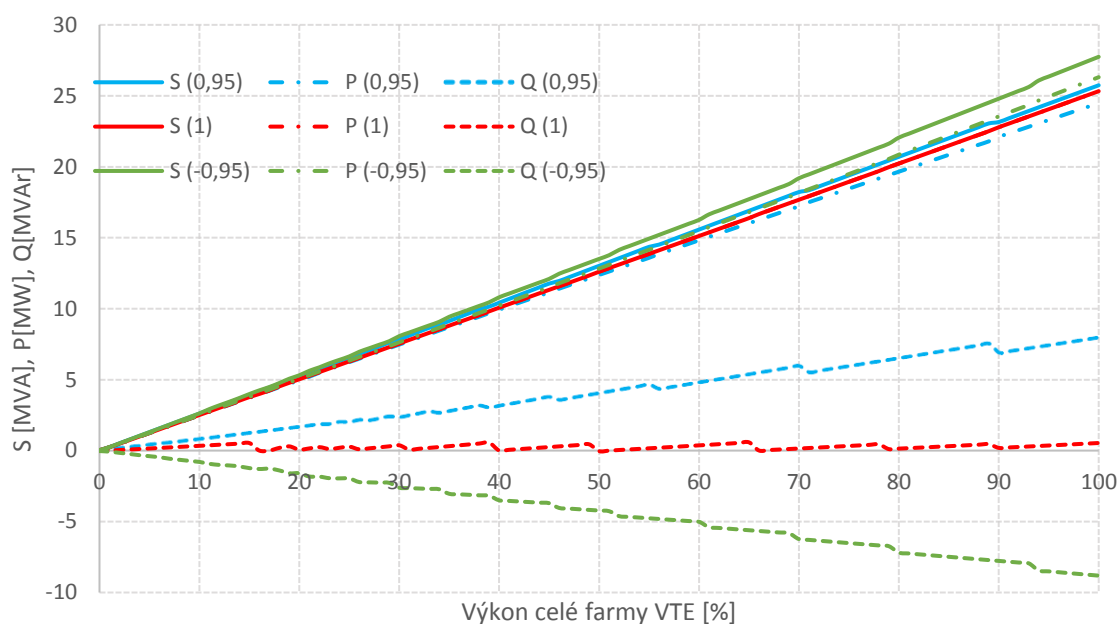
V případě s fixní dekompenzační tlumivkou jsem graficky uvedl celkové ztráty, které zahrnují ztráty vyvolané na kabelovém vedení od jednotlivých větrných elektráren až k předávacímu místu a ztráty vzniklé na dekompenzační tlumivce. Na obrázku níže lze vidět pro vybraný požadovaný účinník navýšení celkových ztrát vlivem dekompenzační tlumivky v době s nižším výkonem větrné farmy a následně pokles při jejím odpojení.



Obr. 40 Závislost ztrát na procentním výkonu větrných elektráren

5.2.3 Výkonové poměry v předávacím místě

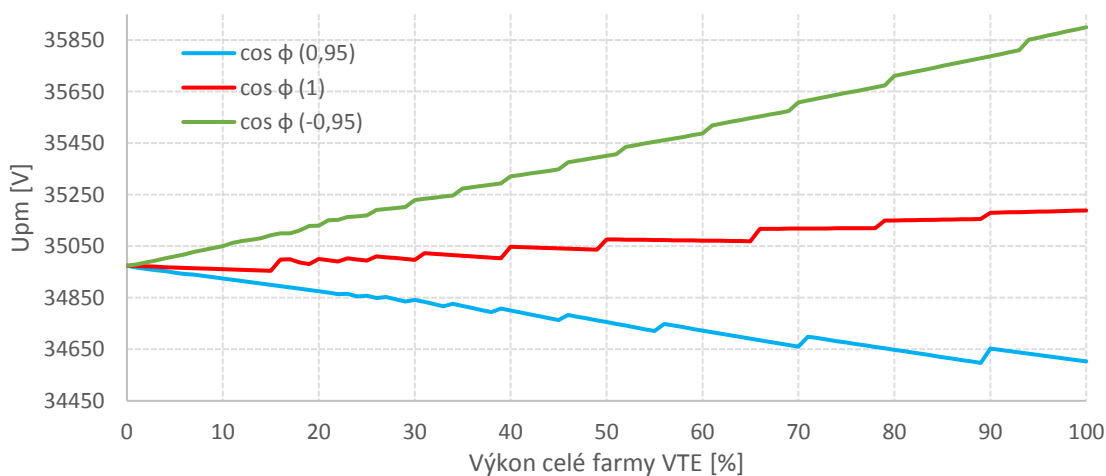
Analýza výkonových poměrů v předávacím místě ukazuje, že vlivem užití dekompenzační tlumivky došlo k dekompenzaci nabíjecího výkonu vedení o velikost 1,6 MVA_r oproti srovnání s analýzou, při které nebyla uvažována dekompenzace. Na obr. 41 je zobrazená závislost činného, jalového a zdánlivého výkonu na procentuálním výkonu větrné farmy.



Obr. 41 Výkonové poměry v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.2.4 Napětí v předávacím místě

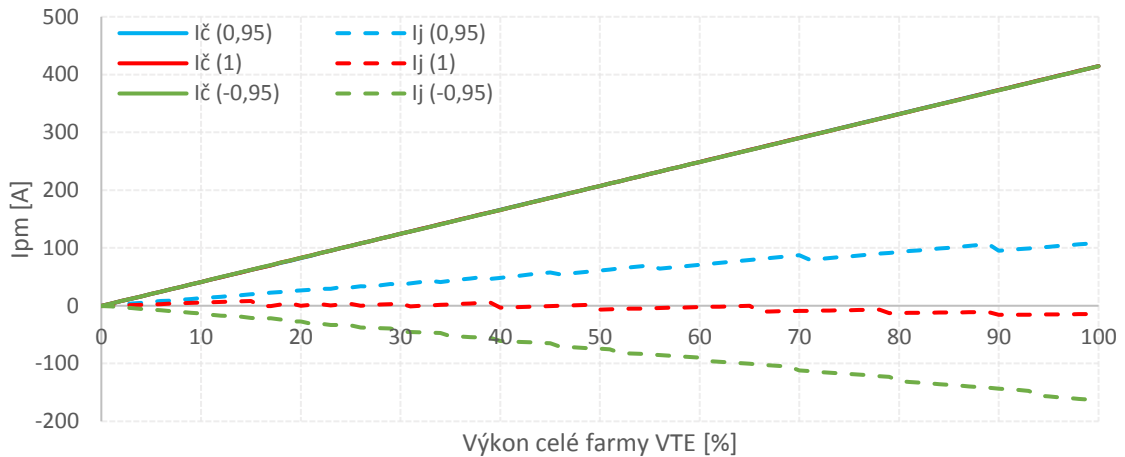
Zde jsem zobrazil změnu velikosti napětí v předávacím místě v závislosti na výkonu větrné farmy. Dekompenzace nabíjecího výkonu vedení měla při nižším dodávaném výkonu z větrné farmy vliv na snížení Ferrantioho jevu.



Obr. 42 Změna napětí v předávacím místě v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.2.5 Proud v předávacím místě

Uvedl jsem zde obr. 43, ve kterém jsou průběhy činného a jalového proudu závislé na výkonu větrné farmy. Vlivem fixní dekompenzační tlumivky došlo omezení nabíjecího kapacitního proudu při nulovém výkonu větrné farmy až na velikost 0,51 A. Dále při zvyšování výkonu větrné farmy zaleží na požadovaném účinníku v předávacím místě, jestli bude proud kapacitního nebo induktivního charakteru.



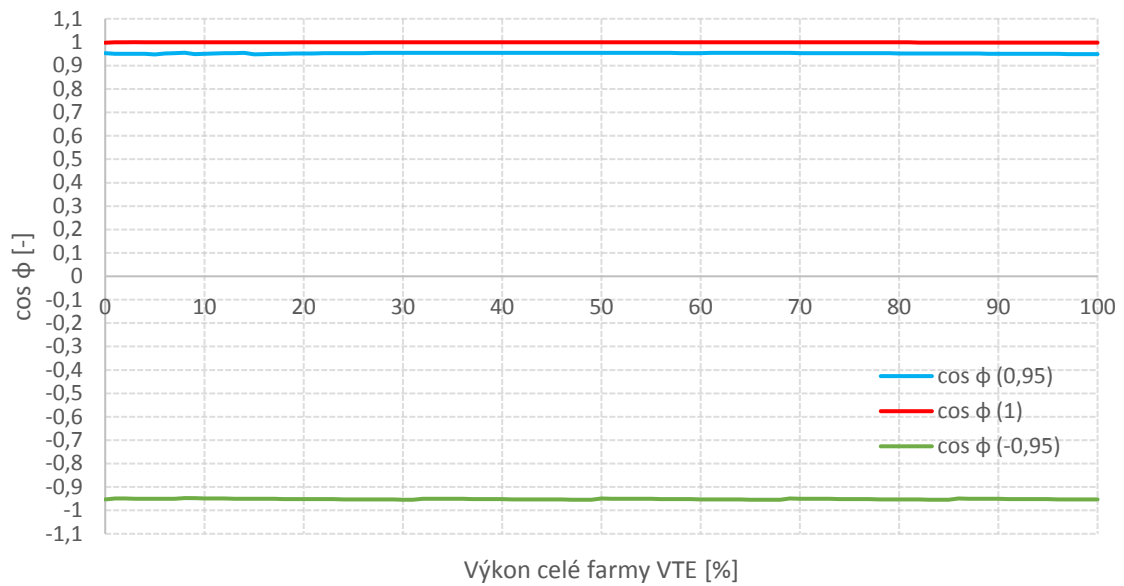
Obr. 43 Změna proudu v předávacím místě v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.3 Analýza s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem

Při této analýze byla navržena dekompenzační tlumivka s laditelným výkonem 1,7 MVar, výkon této tlumivky lze regulovat v rozsahu od 10 % do 100 % jejího jmenovitého výkonu. Rychlost změny, při které tato tlumivka dosáhne z 10 % na 100 % svého jmenovitého výkonu, se pohybuje kolem 3 minut. V tomto případě je regulace účinníku prováděna pouze prostřednictvím změn výkonu dekompenzační tlumivky, která je připojena v předávacím místě v celém výkonovém rozsahu větrné farmy. Účinník, se kterým pracují větrné elektrárny, má pevně nastavenou hodnotu podle požadované hodnoty účinníku v předávacím místě.

5.3.1 Účinník v předávacím místě

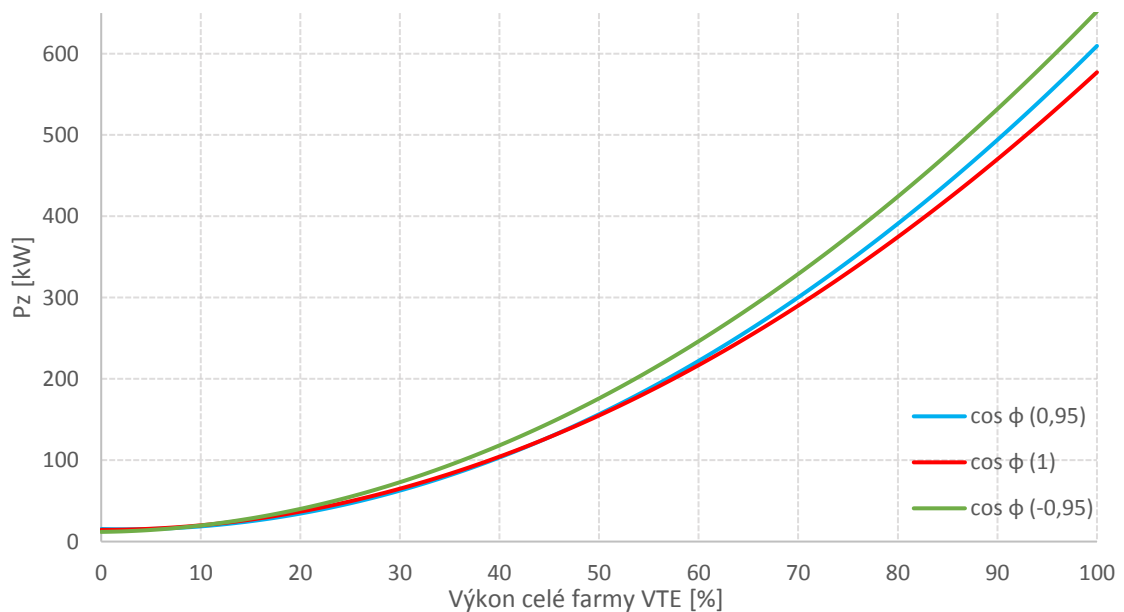
Dekompenzační tlumivka s laditelným výkonem umožňuje dosáhnout požadovaného účinníku v předávacím místě v celém výkonovém rozsahu větrné farmy. Uvedl jsem zde grafické zobrazení, ve kterém lze pozorovat stálost hodnot požadovaného účinníku v předávacím místě při změnách výkonu větrné farmy.



Obr. 44 Závislost velikosti účinníku v předávacím místě na procentním výkonu větrných elektráren

5.3.2 Ztráty v závislosti na výkonu větrné farmy

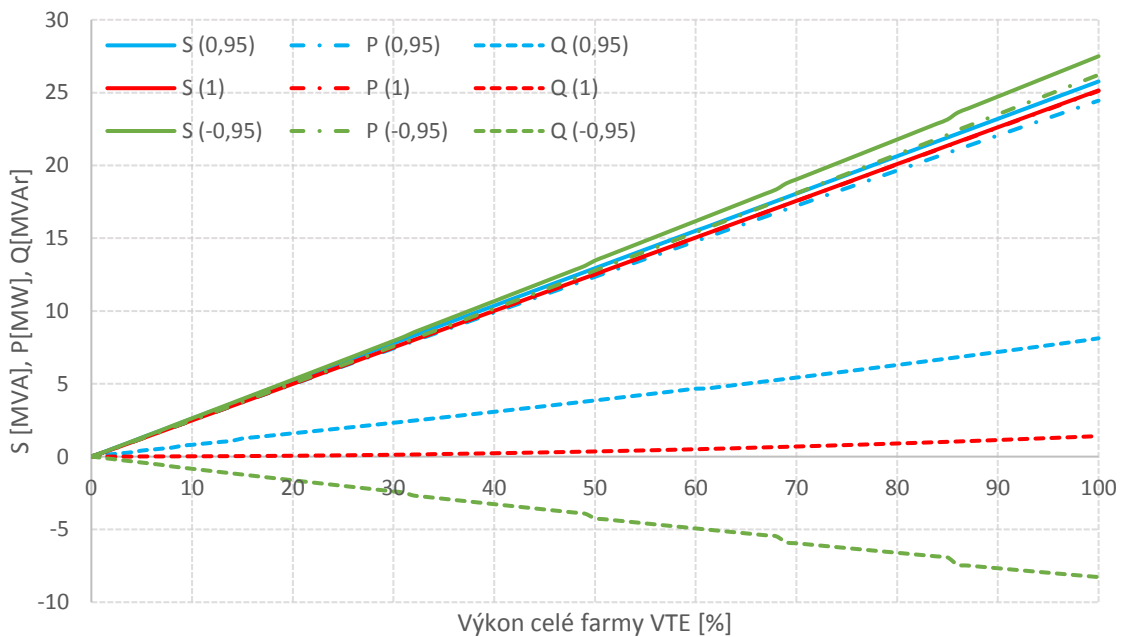
Níže jsem graficky uvedl celkové ztráty, které představují ztráty způsobené na kabelových vedeních od všech větrných elektráren až k předávacímu místu, a ztráty samotné tlumivky. Vlivem příspěvku ztrát od tlumivky, která je trvale připojena, dochází k patrnému navýšení celkových ztrát oproti předešlým analýzám bez dekompenzace nebo s fixní dekompenzační tlumivkou.



Obr. 45 Závislost ztrát na procentním výkonu větrných elektráren

5.3.3 Výkonové poměry v předávacím místě

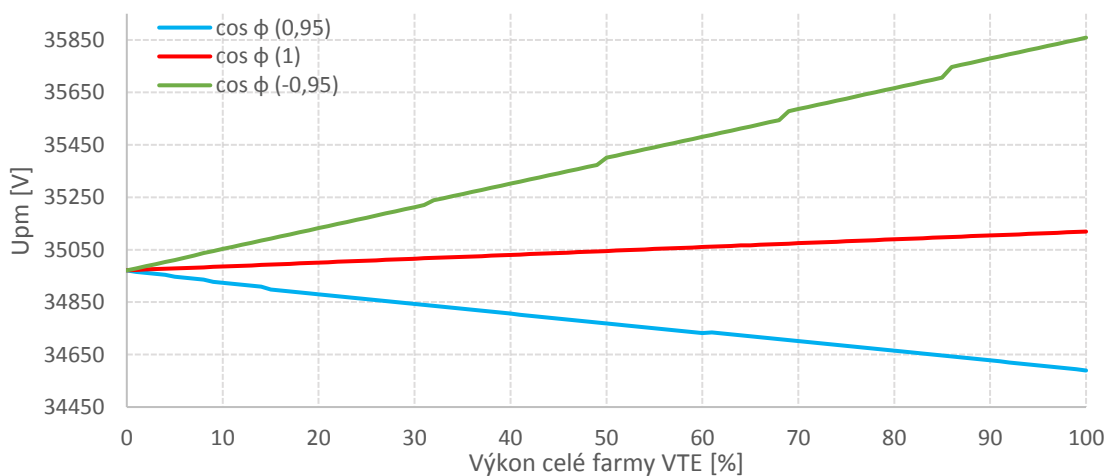
Na obr. 46 jsem graficky uvedl výkonové poměry v závislosti na výkonu větrné farmy, vlivem působení dekompenzační tlumivky došlo k požadované dekompenzaci nabíjecího výkonu kabelového vedení. Laditelná dekompenzační tlumivka zajišťuje plynulejší změny analyzovaných hodnot v porovnání s fixní dekompenzační tlumivkou.



Obr. 46 Výkonové poměry v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.3.4 Napětí v předávacím místě

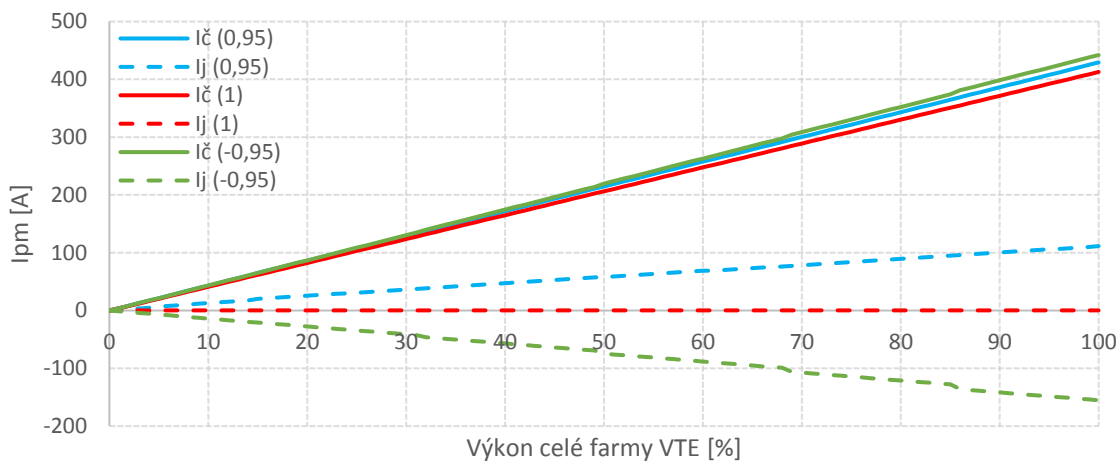
Pro analyzované velikosti účinníku v předávacím místě jsem uvedl průběh změn napětí na velikosti výkonu větrné farmy. Jelikož byl dekompenzován nabíjecí výkon vedení, došlo při nižším výkonu větrné farmy k omezení Ferrantiho jevu.



Obr. 47 Změna napětí v předávacím místě v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

5.3.5 Proud v předávacím místě

V tomto případě došlo k dekompenzaci nabíjecího kapacitního proudu při nulovém výkonu větrné elektrárny na hodnotu 0,01 A. Uvedl jsem grafické zobrazení, ve kterém jsou průběhy činných a jalových proudů pro požadovaný účinník v závislosti na procentuálním výkonu větrné farmy.



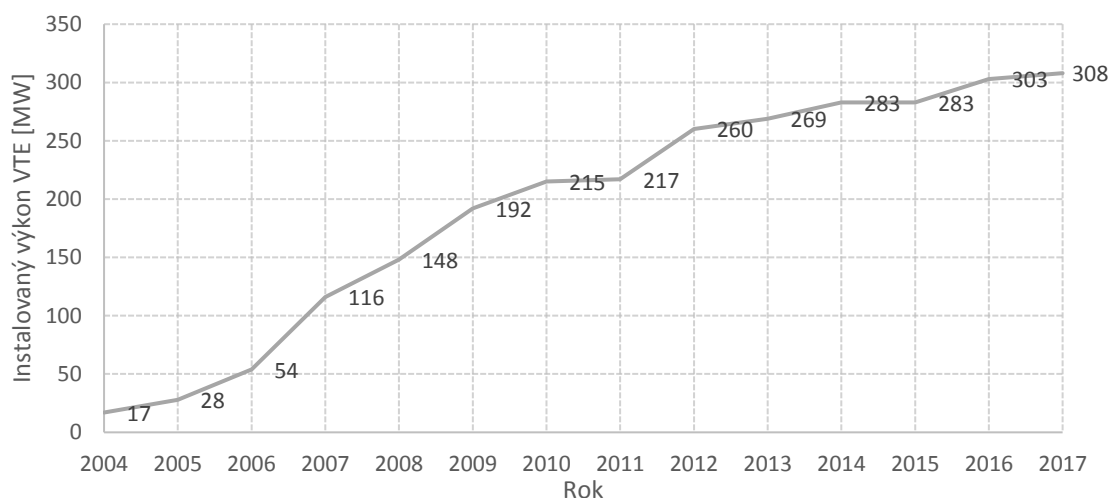
Obr. 48 Změna proudu v předávacím místě v závislosti na procentním výkonu větrných elektráren

6 Technické a ekonomické aspekty a přínos větrné energetiky v ČR

6.1 Větrná energetika z technického hlediska v ČR

Výroba elektrické energie z větrných farem s sebou nese řadu negativních vlivů na elektrizační soustavu, které jsou zapříčiněny jak způsobem připojení větrné farmy do elektrizační soustavy, tak i nepravidelností a špatnou predikcí vyráběné elektrické energie. Vlivem připojení větrné farmy do elektrizační soustavy může tedy docházet k přetěžování soustavy, kolísání napětí, zhoršení kvality dodávané elektrické energie (např. vyšší harmonické, flicker, rušení signálu HDO), zvýšení zkratových poměrů a v případě poruch nebo velkých nárazových větrů mohou mít velké větrné farmy výrazný vliv i na ohrožení stability elektrizační soustavy.

S rozvojem větrné energetiky dochází k postupným optimalizacím, které vedou ke značnému omezení negativních vlivů, a je tedy možné efektivněji využít větrné farmy k výrobě elektrické energie či regulaci. Na obr. 49 lze vidět navyšující se celkový instalovaný výkon větrných elektráren v České republice v časovém horizontu 2004 až 2017. [16]



Obr. 49 Vývoj rostoucího instalovaného výkonu VTE v České republice [16]

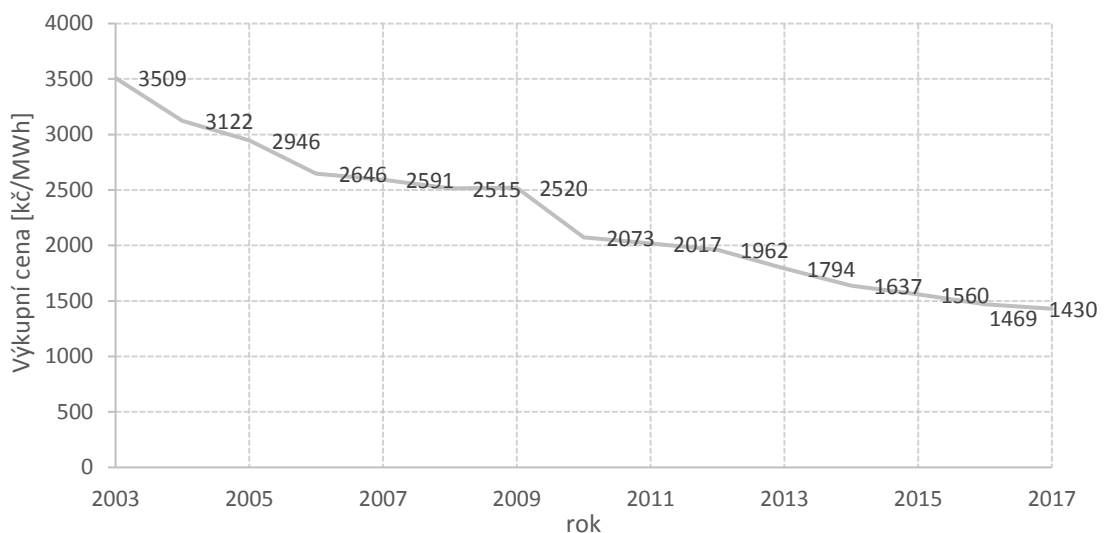
Přestože došlo k výraznému nárůstu instalovaného výkonu v České republice, připojené větrné elektrárny se podílely pouze z 0,9 % na celkovém vyrobeném množství elektrické energie v ČR v roce 2017. V evropských státech s lepšími povětrnostními podmínkami větrná energetika zaujímá významnější podíl v celkovém množství vyrobené elektrické energie, a to například v Dánsku 43 %, v Portugalsku 24,2 % a v Německu 18 %. [17] [18]

Z celkového instalovaného výkonu větrné farmy lze odhadnout možné množství vyrobené elektrické energie během jednoho roku, a to podle koeficientu ročního využití výkonu. Tento koeficient ročního využití výkonu závisí na geografickém umístění dané větrné farmy a na výkonové charakteristice dle typu větrné elektrárny, průměrná hodnota pro ČR se pohybuje kolem 20 %.

6.2 Větrná energetika z pohledu ekonomické podpory v ČR

K rozvoji větrné energetiky v České republice napomohlo v roce 2005 schválení zákona č. 180/2005 pojednávajícího o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie, který garantuje rentabilní výkupní ceny energie z obnovitelných zdrojů po dobu 20 let. Energetický regulační úřad stanovuje velikost výkupních cen a zelených bonusů pro každý rok s tím, že nesmí dojít k poklesu cen oproti předešlému roku o 5 %, tímto způsobem je garantovaná návratnost investice do obnovitelného zdroje. [20]

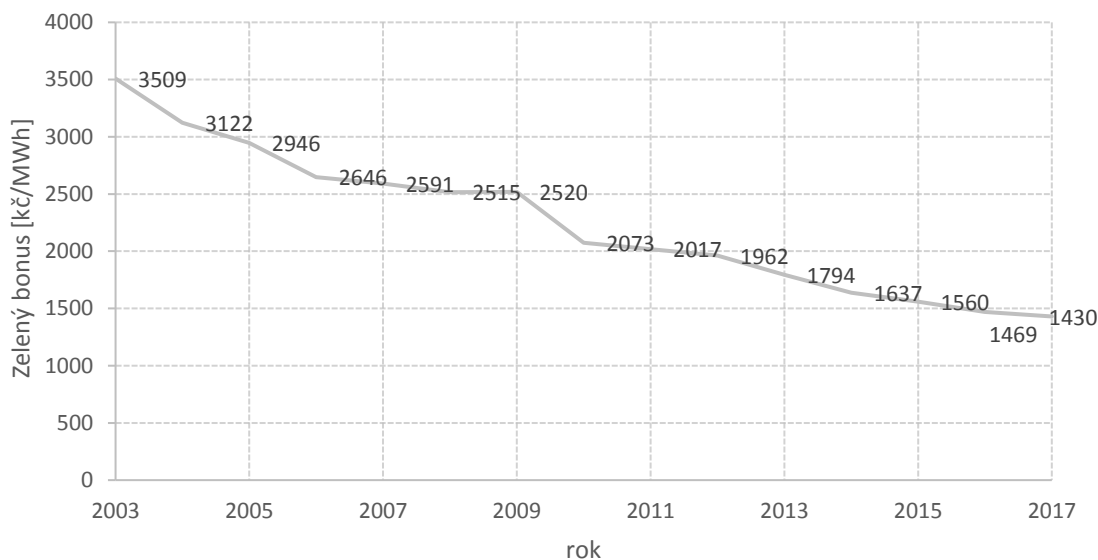
V případě výkupních cen má výrobce OZE zajištěný odkup celého dodávaného výkonu od provozovatele distribuční nebo přenosové soustavy, a to za cenu stanovenou energetickým regulačním úřadem. Vyúčtování probíhá na základě naměřených hodnot v předávacím místě. Vývoj výkupních cen pro větrné elektrárny dle cenového rozhodnutí energetického regulačního úřadu jsem uvedl na obr. 50. [20]



Obr. 50 Vývoj výkupních cen pro VTE od roku 2003 do roku 2017 [19]

Uvedené výkupní ceny jsou energetickým regulačním úřadem stanoveny jako minimální možné, které výrobce elektrické energie obdrží od provozovatele distribuční soustavy po dodávce elektrické energie do předávacího místa. [20]

Při zvolení finanční podpory formou zelených bonusů je výrobce povinen najít si sám svého odběratele vyrobené elektrické energie za dohodnutou cenu. Poté je výrobci vyplácen zelený bonus za veškerou vyrobenou energii, a to od státní akciové společnosti OTE, a. s. Vývoj ceny zeleného bonusu pro větrné elektrárny jsem uvedl na obr. 51. [20]



Obr. 51 Vývoj cen zeleného bonusu pro VTE od roku 2003 do roku 2017 [19]

Z obr. 50 a 51 je zřejmá klesající finanční podpora větrné energetiky za vyrobenou elektrickou energii určenou ke spotřebě. Je tedy nutné pro zajištění finanční návratnosti zvýšit roční využití výkonu větrné farmy.

6.3 Přínos větrné energetiky v ČR

Větrné elektrárny mají minimální dopad na životní prostředí ve srovnání s neobnovitelnými zdroji. Jejich výrobou nedochází k produkci žádných škodlivých plynů či emisí a nedochází tedy ke zhoršení skleníkového efektu. V České republice větrné elektrárny vlivem špatných povětrnostních podmínek a malého instalovaného výkonu nepřispívají k výraznému posílení dodávaného množství elektrické energie do elektrizační soustavy.

Pro efektivnější využití větrných elektráren lze jejich výkon využít jako regulační rezervu pro systém ASRU, který slouží jako regulační nástroj pro zlepšení napěťových stavů dané soustavy a pro omezení ztrát vyvolané přenášeným jalovým tokem, regulační rezerva je však proměnná a limitovaná povětrnostními podmínkami.

7 Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku týkající se nabíjecích kapacitních proudů, vzniklých při připojení větrné farmy do distribuční sítě prostřednictvím kabelového vedení na napěťové hladině VN. Cílem praktické části byl návrh výkonu dekompenzační tlumivky pro zadanou případovou studii, při kterém by mělo dojít k omezení velikosti nabíjecích kapacitních proudů a ke splnění požadavku na účinník v předávacím místě daným provozovatelem distribuční sítě.

Vlivem působení nabíjecích kapacitních proudů vzniklých především na dlouhých kabelových vedeních dochází k nárůstu proudového zatížení, které vede ke zvýšení ztrát na vedení, a také může docházet k překompenzování dané sítě. Omezení velikosti nabíjecího kapacitního proudu lze dosáhnout pomocí dekompenzační tlumivky. Dekompenzaci nabíjecího kapacitního proudu je možné provést za účelem dodržení požadovaného účinníku, přičemž v případě požití jedné dekompenzační tlumivky se musí její výkon rovnat nabíjecímu výkonu vedení a pro zajištění nejnižších ztrát je neefektivnější připojit danou tlumivku doprostřed vedení, při této dekompenzaci dojde ke snížení ztrát o 75 %. V případě dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu za účelem dosažení nejnižších možných ztrát bez ohledu na účinník je nutné optimalizovat výkon dekompenzační tlumivky v závislosti na jejím místě připojení. Při této dekompenzaci je možné omezení ztrát až o 89 %, a to v případě, že dekompenzační tlumivka je připojena v 66,7 % délky vedení od jeho začátku a při nastavení odebíraného induktivního proudu o velikosti 0,67násobku z velikosti nabíjecího kapacitního proudu.

Z hlediska regulace napětí a jalového výkonu lze využít větrnou farmu pro poskytnutí regulační rezervy jalového výkonu, která je potřebná pro zajištění požadované regulace systémem ASRU tak, aby byla udržena velikost napětí v tolerančním rozsahu v pilotním uzlu dané soustavy. Pro zajištění dostatečné regulační rezervy poskytující větrnou farmou k udržení napětí v tolerančním rozsahu je zapotřebí příznivých povětrnostních podmínek.

Při řešení optimálního účinníku z pohledu přenosu elektrické energie je pro zajištění nejnižších ztrát zapotřebí, aby se velikost účinníku rovnala co nejvíce 1, a byl tedy přenášen pouze činný výkon. Jelikož je nutné pro zajištění správné funkce řady spotřebičů přenášet také jalový výkon, tak jsou stanoveny v předávacím místě mezní podmínky udávající dovolený rozsah, a to od velikosti účinníku 0,95 induktivního charakteru do -0,95 kapacitního charakteru.

V praktické části jsem řešil pro zadanou případovou studii návrh dekompenzačního výkonu při připojení větrné farmy do distribuční soustavy. Vytvořil jsem pro zadanou studii matematický model, ve kterém lze provést analýzy a grafické zobrazení sledovaných parametrů v závislosti na nastaveném účinníku, se kterým pracují jednotlivé větrné elektrárny, a dále na procentuálním dodávaném výkonu větrné farmy. V matematickém modelu lze potřebný dekompenzační výkon zjistit v případě nastavení nulového výkonu větrné farmy, při kterém bude vedení procházet pouze nabíjecí kapacitní proud určující velikost nabíjecího výkonu kabelového vedení. Pro zadanou studii nabíjecí výkon kabelového vedení dosahuje 1 640 591 VAr a velikost nabíjecího kapacitního proudu dosahuje 27 A.

Pro zadanou studii jsem zpracoval analýzy, při kterých jsem uvažoval případ bez dekompenzační tlumivky, s fixní dekompenzační tlumivkou a následně případ s laditelnou dekompenzační tlumivkou. V analýze bez uvažované dekompenzace nabíjecí kapacitní proud při nulovém výkonu větrné farmy dosahoval velikosti 27 A a splnění požadovaného účinníku v předávacím místě bylo možné až od určitého výkonu větrné farmy. V předávacím místě při požadovaném účinníku o velikosti 0,95 induktivního charakteru bylo možné dosáhnout až od 21 % výkonu větrné farmy. Vzhledem k tomu, že větrné elektrárny pracují během celého roku průměrně cca při 20 % svého výkonu, by nebylo možné splnit po většinu času požadavek na účinník v předávacím místě bez užití dekompenzační tlumivky. V případě užití dekompenzační tlumivky s fixním výkonem byl navrhnutý dekompenzační výkon o velikosti 1,6 MVar. Vlivem této dekompenzační tlumivky došlo k omezení nabíjecího kapacitního proudu při nulovém výkonu větrné farmy až na velikost 0,51 A a dosažení požadovaného účinníku v předávacím místě bylo možné už od 1 % výkonu větrné farmy. Další analýza byla provedena pro dekompenzační tlumivku s laditelným výkonem, která měla regulační rozsah navrhnutý od 170 kVAr do 1,7 MVar. V tomto případě došlo k omezení nabíjecího kapacitního proudu při nulovém výkonu na hodnotu 0,01 A. V předávacím místě bylo možné dosáhnout požadovaného účinníku v celém výkonovém rozsahu větrné farmy.

Z výsledků studie je evidentní vliv dekompenzační tlumivky vedoucí ke zlepšení dosažení požadovaného účinníku a k omezení nabíjecích kapacitních proudů. Při volbě mezi dvěma analyzovanými tlumivkami je z ekonomického hlediska výhodnější zvolit dekompenzační tlumivku s fixním výkonem, jelikož při stejné velikosti výkonu bude cena této tlumivky o 1/3 nižší ve srovnání s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ŽÁK, František. Analýza způsobů uzemnění uzlu sítí VN a jejich vliv na provoz a chránění sítí VN. Plzeň, 2014. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [2] NĚMEČEK, František. Přenos a rozvod elektrické energie. Praha: ČVUT, 1988. ISBN 8070330694
- [3] FRANTIŠEK, Žák. Nové pohledy na eliminaci přetoků jalové energie v distribučních sítích [přednáška]. In: odbornecasopisy.cz [online]. [cit.11.01.2018]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2017/Energie_pro_budoucnost_XX_Amper2017/_04-EGE_p%C5%99etoky_%C5%BD%C3%A1k.pdf
- [4] BENEŠOVÁ, Zdeňka a LEDVINOVÁ, Marcela. Základy elektrických obvodů v příkladech. 2. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. 146s.
- [5] MERTLOVÁ, Jiřina a NOHÁČOVÁ, Lucie. Elektrické stanice a vedení. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [6] HABRYCH, Richard. Systém regulace napětí a jalového výkonu v DS. Plzeň, 2014. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [7] HABRYCH, Richard. Systém regulace napětí a jalového výkonu v DS. Plzeň, 2014. Autoreferát. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [8] HABRYCH, Richard. Řízení jalového výkonu synchronního generátoru. Energetika. 2015,3, 146-152.
- [9] HABRYCH, Richard. Řízení jalového výkonu větrných elektráren. Energetika. 2013,XII, 688-693.
- [10] HABRYCH, Richard. Automatická sekundární regulace napětí. Energetika. 2015, V, 264-271.
- [11] Energetický regulační úřad. [online]. ERÚ: 2016 [cit. 17.5.2018]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/2041318/CEZ_P%C5%99%C3%A1Dloha+%C4%8D.+4.pdf/7b16c2c8-47c8-4dcf-91a2-9a89d56e2bd9

- [12] TESAŘOVÁ, Miloslava. Průmyslová elektroenergetika. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000. ISBN 80-7082-703-3.
- [13] KORENC, Vladimír a BŮBELA, Tomáš. Problematika regulace jalového výkonu u fotovoltaických elektráren. In: elcom.cz [online]. [cit.11.02.2018]. Dostupné z: <http://www.elcom.cz/cz/ke-stazeni/energeticke-systemy/powersystems-cz/vylepseni-kvality-elektriny/problematika-regulace-jaloveho-vykonu-u-fotovoltaickychelekraren/stahnout>
- [14] MOLNÁR, Miloš. Zlepšení účinníku v energetice a návrh vhodných kompenzačních prostředků. In: elcom.cz [online]. [cit.12.02.2018]. Dostupné z: http://www.emcos.cz/files/files/1478173666_zlepseni-uciniku-mm-2001.pdf
- [15] HEŘMAN, Josef. Příručka silnoproudé elektrotechniky. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
- [16] Česká společnost pro větrnou energii. Aktuální instalace VTE v České republice [online]. ČSVE: ©2017 [cit.18.3.2018]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>
- [17] OEnergetice.cz. Česká republika – obnovitelné zdroje. [online]. ©2018 [cit.20.3.2018]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/statistiky/ceska-republika-obnovitelne-zdroje-energie/>
- [18] Oze.tzb-info.cz. Inventúra větrné energetiky v Evropě a ve světě v roce 2017. [online]. ©2018 [cit.23.3.2018]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/17248-inventura-vetrne-energetiky-v-evrope-a-ve-svete-v-roce-2017>
- [19] Česká společnost pro větrnou energii. Cenová rozhodnutí pro VTE vydaná energetickým regulačním úřadem v letech 2005-2016 [online]. ČSVE: ©2017 [cit.19.3.2018]. Dostupné z: <http://csve.cz/clanky/cenova-rozhodnuti-pro-vte-vydana-energetickym-regulacnim-uradem-v-letech-2005-2016/350>
- [20] Zákon č.180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů)

Přílohy

Příloha A.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ bez dekompenzace

Výkon (%)	Pz (0,95)	Pz (1)	Pz (0,-95)	S (0,95)	P (0,95)	Q (0,95)	S (1)	P (1)	Q (1)	S (-0,95)	P (-0,95)	Q (-0,95)
0,0	1,2	1,2	1,2	1,6	0,0	-1,6	1,6	0,0	-1,6	1,6	0,0	-1,6
1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	0,3	-1,5	1,5	0,3	-1,5	1,5	0,3	-1,5
2,0	0,9	0,9	0,9	1,4	0,5	-1,3	1,4	0,5	-1,3	1,4	0,5	-1,3
3,0	1,0	1,0	1,0	1,4	0,8	-1,2	1,4	0,8	-1,2	1,4	0,8	-1,2
4,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,0	-1,0	1,4	1,0	-1,0	1,4	1,0	-1,0
5,0	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	-0,9	1,5	1,3	-0,9	1,5	1,3	-0,9
6,0	2,2	2,2	2,2	1,7	1,5	-0,7	1,7	1,5	-0,7	1,7	1,5	-0,7
7,0	2,9	2,9	2,9	1,8	1,8	-0,5	1,8	1,8	-0,5	1,8	1,8	-0,5
8,0	3,7	3,7	3,7	2,0	2,0	-0,4	2,0	2,0	-0,4	2,1	2,0	-0,7
9,0	4,7	4,7	4,7	2,3	2,3	-0,2	2,3	2,3	-0,2	2,4	2,3	-0,7
10,0	5,9	5,9	5,8	2,5	2,5	-0,1	2,5	2,5	-0,1	2,6	2,5	-0,8
11,0	7,3	7,3	7,1	2,8	2,8	0,1	2,8	2,8	0,1	2,9	2,8	-0,9
12,0	8,7	8,3	8,4	3,0	3,0	0,2	3,0	3,0	-0,2	3,2	3,0	-1,0
13,0	10,4	9,8	9,9	3,3	3,3	0,4	3,3	3,3	0,0	3,4	3,3	-1,0
14,0	12,2	11,5	11,5	3,6	3,5	0,6	3,5	3,5	0,1	3,7	3,5	-1,1
15,0	14,1	13,2	13,2	3,8	3,8	0,7	3,8	3,8	0,2	4,0	3,8	-1,2
16,0	16,2	15,1	15,1	4,1	4,0	0,9	4,0	4,0	0,3	4,2	4,0	-1,3
17,0	18,5	16,7	16,9	4,4	4,3	1,0	4,3	4,3	0,1	4,5	4,3	-1,3
18,0	20,9	18,8	19,1	4,7	4,5	1,2	4,5	4,5	0,2	4,8	4,6	-1,4
19,0	23,5	21,0	21,5	4,9	4,7	1,4	4,8	4,8	0,3	5,1	4,8	-1,6
20,0	26,2	22,9	23,7	5,2	5,0	1,5	5,0	5,0	0,1	5,3	5,1	-1,6
21,0	29,1	25,3	26,5	5,5	5,2	1,7	5,3	5,3	0,2	5,6	5,3	-1,8
22,0	32,1	27,8	29,0	5,8	5,5	1,8	5,5	5,5	0,2	5,9	5,6	-1,8
23,0	34,7	30,2	31,8	6,0	5,7	1,9	5,8	5,8	0,1	6,1	5,8	-1,9
24,0	38,0	32,9	34,5	6,3	6,0	2,0	6,0	6,0	0,2	6,4	6,1	-2,0
25,0	40,7	35,7	37,3	6,5	6,2	2,0	6,3	6,3	0,3	6,6	6,3	-2,0
26,0	44,2	38,4	40,9	6,8	6,5	2,1	6,5	6,5	0,1	7,0	6,6	-2,2
27,0	47,0	41,4	44,0	7,1	6,7	2,1	6,8	6,8	0,2	7,2	6,9	-2,2
28,0	50,7	44,6	47,1	7,3	7,0	2,3	7,0	7,0	0,2	7,5	7,1	-2,3
29,0	54,6	47,9	50,4	7,6	7,2	2,4	7,3	7,3	0,3	7,7	7,4	-2,3
30,0	57,5	51,3	55,0	7,8	7,5	2,3	7,5	7,5	0,4	8,1	7,6	-2,6
31,0	61,6	54,4	58,5	8,1	7,7	2,5	7,8	7,8	0,1	8,3	7,9	-2,6
32,0	65,8	58,0	62,2	8,4	8,0	2,6	8,0	8,0	0,1	8,6	8,1	-2,7
33,0	70,2	61,7	66,0	8,7	8,2	2,7	8,3	8,3	0,2	8,8	8,4	-2,7
34,0	73,4	65,5	70,0	8,9	8,5	2,6	8,6	8,5	0,3	9,1	8,7	-2,7
35,0	77,9	69,4	75,3	9,1	8,7	2,8	8,8	8,8	0,3	9,4	8,9	-3,0
36,0	82,6	73,5	79,5	9,4	8,9	2,9	9,1	9,0	0,4	9,7	9,2	-3,1
37,0	87,4	77,7	83,8	9,7	9,2	3,0	9,3	9,3	0,4	9,9	9,4	-3,1
38,0	92,4	82,0	88,2	10,0	9,4	3,2	9,6	9,5	0,5	10,2	9,7	-3,1
39,0	95,8	86,4	92,8	10,2	9,7	3,0	9,8	9,8	0,6	10,4	10,0	-3,2
40,0	100,9	90,2	98,9	10,4	9,9	3,1	10,1	10,1	0,0	10,8	10,2	-3,5
41,0	106,2	94,8	103,8	10,7	10,2	3,3	10,3	10,3	0,1	11,1	10,5	-3,5
42,0	111,6	99,5	108,8	11,0	10,4	3,4	10,6	10,6	0,1	11,3	10,7	-3,6
43,0	117,1	104,3	113,8	11,2	10,7	3,5	10,8	10,8	0,2	11,6	11,0	-3,6
44,0	122,8	109,2	119,0	11,5	10,9	3,6	11,1	11,1	0,2	11,8	11,3	-3,7
45,0	128,6	114,3	124,3	11,8	11,1	3,8	11,3	11,3	0,2	12,1	11,5	-3,7
46,0	132,2	119,4	131,6	12,0	11,4	3,6	11,6	11,6	0,3	12,5	11,8	-4,0
47,0	138,1	124,7	137,2	12,2	11,7	3,7	11,8	11,8	0,3	12,7	12,0	-4,1
48,0	144,2	130,1	143,0	12,5	11,9	3,8	12,1	12,1	0,4	13,0	12,3	-4,1
49,0	150,5	135,6	148,8	12,8	12,1	3,9	12,3	12,3	0,4	13,2	12,6	-4,2
50,0	156,8	140,8	154,8	13,0	12,4	4,0	12,6	12,6	0,0	13,5	12,8	-4,2
51,0	163,3	146,5	160,9	13,3	12,6	4,2	12,9	12,9	0,0	13,8	13,1	-4,3
52,0	170,0	152,3	169,3	13,6	12,9	4,3	13,1	13,1	0,0	14,1	13,4	-4,6
53,0	176,8	158,2	175,7	13,8	13,1	4,4	13,4	13,4	0,1	14,4	13,6	-4,7

54,0	183,7	164,2	182,3	14,1	13,3	4,5	13,6	13,6	0,1	14,7	13,9	-4,7
55,0	190,7	170,4	188,9	14,4	13,6	4,6	13,9	13,9	0,2	14,9	14,2	-4,8
56,0	194,3	176,6	195,7	14,5	13,9	4,3	14,1	14,1	0,2	15,2	14,4	-4,8
57,0	201,4	183,0	202,5	14,8	14,1	4,4	14,4	14,4	0,2	15,5	14,7	-4,9
58,0	208,7	189,5	209,5	15,0	14,3	4,6	14,6	14,6	0,3	15,7	14,9	-4,9
59,0	216,1	196,1	216,7	15,3	14,6	4,7	14,9	14,9	0,3	16,0	15,2	-5,0
60,0	223,7	202,8	223,9	15,6	14,8	4,8	15,1	15,1	0,4	16,3	15,5	-5,0
61,0	231,3	209,6	234,2	15,8	15,1	4,9	15,4	15,4	0,4	16,6	15,7	-5,4
62,0	239,1	216,6	241,8	16,1	15,3	5,0	15,6	15,6	0,5	16,9	16,0	-5,5
63,0	247,1	223,6	249,5	16,4	15,5	5,1	15,9	15,9	0,5	17,2	16,3	-5,5
64,0	255,1	230,8	257,3	16,6	15,8	5,3	16,1	16,1	0,5	17,4	16,5	-5,6
65,0	263,3	238,1	265,2	16,9	16,0	5,4	16,4	16,4	0,6	17,7	16,8	-5,6
66,0	271,7	245,2	273,2	17,2	16,3	5,5	16,7	16,7	0,0	18,0	17,1	-5,7
67,0	280,1	252,7	281,4	17,4	16,5	5,6	16,9	16,9	0,0	18,2	17,3	-5,7
68,0	288,7	260,3	289,7	17,7	16,7	5,7	17,2	17,2	0,1	18,5	17,6	-5,8
69,0	297,4	268,0	298,1	18,0	17,0	5,8	17,4	17,4	0,1	18,8	17,9	-5,8
70,0	306,3	275,8	310,4	18,2	17,2	6,0	17,7	17,7	0,1	19,2	18,2	-6,2
71,0	309,4	283,7	319,2	18,3	17,5	5,5	17,9	17,9	0,2	19,5	18,4	-6,3
72,0	318,4	291,8	328,1	18,6	17,7	5,6	18,2	18,2	0,2	19,7	18,7	-6,3
73,0	327,4	299,9	337,1	18,9	18,0	5,7	18,4	18,4	0,3	20,0	19,0	-6,4
74,0	336,6	308,2	346,2	19,1	18,2	5,8	18,7	18,7	0,3	20,3	19,2	-6,5
75,0	345,9	316,6	355,4	19,4	18,5	5,9	18,9	18,9	0,3	20,5	19,5	-6,5
76,0	355,3	325,1	364,8	19,7	18,7	6,1	19,2	19,2	0,4	20,8	19,8	-6,6
77,0	364,9	333,7	374,3	19,9	18,9	6,2	19,4	19,4	0,4	21,1	20,0	-6,6
78,0	374,6	342,4	383,9	20,2	19,2	6,3	19,7	19,7	0,4	21,4	20,3	-6,7
79,0	384,4	351,3	393,6	20,4	19,4	6,4	20,0	20,0	0,1	21,6	20,6	-6,7
80,0	394,3	360,2	408,3	20,7	19,7	6,5	20,2	20,2	0,1	22,1	20,9	-7,2
81,0	404,4	369,3	418,4	21,0	19,9	6,6	20,5	20,5	0,2	22,3	21,1	-7,2
82,0	414,6	378,4	428,6	21,2	20,1	6,7	20,7	20,7	0,2	22,6	21,4	-7,3
83,0	424,9	387,7	438,9	21,5	20,4	6,8	21,0	21,0	0,2	22,9	21,7	-7,4
84,0	435,4	397,1	449,4	21,7	20,6	7,0	21,2	21,2	0,3	23,2	21,9	-7,4
85,0	446,0	406,6	460,0	22,0	20,8	7,1	21,5	21,5	0,3	23,4	22,2	-7,5
86,0	456,7	416,2	470,7	22,3	21,1	7,2	21,7	21,7	0,3	23,7	22,5	-7,5
87,0	467,5	426,0	481,5	22,5	21,3	7,3	22,0	22,0	0,4	24,0	22,7	-7,6
88,0	478,5	435,8	492,4	22,8	21,6	7,4	22,3	22,2	0,4	24,2	23,0	-7,7
89,0	489,6	445,8	503,5	23,1	21,8	7,5	22,5	22,5	0,5	24,5	23,3	-7,7
90,0	491,5	456,0	514,7	23,2	22,1	6,9	22,8	22,8	0,2	24,8	23,5	-7,8
91,0	502,6	466,1	526,0	23,4	22,3	7,0	23,0	23,0	0,2	25,1	23,8	-7,8
92,0	513,9	476,4	537,5	23,7	22,6	7,1	23,3	23,3	0,3	25,3	24,1	-7,9
93,0	525,3	486,8	549,0	23,9	22,8	7,2	23,5	23,5	0,3	25,6	24,4	-7,9
94,0	536,8	497,4	567,3	24,2	23,1	7,3	23,8	23,8	0,3	26,1	24,7	-8,4
95,0	548,4	508,0	579,3	24,4	23,3	7,4	24,1	24,1	0,4	26,4	24,9	-8,5
96,0	560,1	518,7	591,3	24,7	23,5	7,5	24,3	24,3	0,4	26,6	25,2	-8,6
97,0	572,0	529,6	603,5	25,0	23,8	7,6	24,6	24,6	0,4	26,9	25,5	-8,6
98,0	584,0	540,5	615,8	25,2	24,0	7,7	24,8	24,8	0,5	27,2	25,8	-8,7
99,0	596,1	551,6	628,3	25,5	24,2	7,9	25,1	25,1	0,5	27,5	26,0	-8,8
100,0	608,3	562,8	640,8	25,7	24,5	8,0	25,3	25,3	0,5	27,7	26,3	-8,8

Příloha A.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ bez dekompenzace

Cos ϕ (0,95)	Cos ϕ (1)	Cos ϕ (-0,95)	Upm (0,95)	Upm (1)	Upm (-0,95)	I \check{c} (0,95)	I j (0,95)	I \check{c} (1)	I j (1)	I \check{c} (-0,95)	I j (-0,95)
0,0	0,0	0,0	35100,1	35100,1	35100,1	0,0	-27,0	0,0	-27,0	0,0	-27,0
-0,2	-0,2	0,2	35089,4	35089,4	35089,4	4,1	-24,4	4,1	-24,4	4,1	-24,4
-0,4	-0,4	0,4	35078,7	35078,7	35078,7	8,3	-21,9	8,3	-21,9	8,3	-21,9
-0,5	-0,5	0,5	35067,9	35067,9	35067,9	12,4	-19,3	12,4	-19,3	12,4	-19,3
-0,7	-0,7	0,7	35057,2	35057,2	35057,2	16,6	-16,7	16,6	-16,7	16,6	-16,7
-0,8	-0,8	0,8	35046,5	35046,5	35046,5	20,7	-14,2	20,7	-14,2	20,7	-14,2
-0,9	-0,9	0,9	35035,8	35035,8	35035,8	24,9	-11,6	24,9	-11,6	24,9	-11,6
-1,0	-1,0	1,0	35025,1	35025,1	35025,1	29,0	-9,0	29,0	-9,0	29,0	-9,0

-1,0	-1,0	1,0	35014,3	35014,3	35035,7	33,2	-6,5	33,2	-6,5	33,2	-11,0
-1,0	-1,0	1,0	35003,6	35003,6	35043,5	37,3	-3,9	37,3	-3,9	37,3	-12,3
-1,0	-1,0	1,0	34992,9	34992,9	35050,3	41,5	-1,3	41,5	-1,3	41,5	-13,4
1,0	-1,0	1,0	34982,2	34982,2	35062,3	45,6	1,2	45,6	1,2	45,6	-15,6
1,0	-1,0	1,0	34971,5	35003,5	35070,1	49,8	3,8	49,8	-3,0	49,7	-16,9
1,0	-1,0	1,0	34960,8	34995,5	35074,8	53,9	6,4	53,9	-0,9	53,9	-17,6
1,0	1,0	-1,0	34950,0	34987,4	35081,9	58,1	8,9	58,1	1,1	58,0	-18,8
1,0	1,0	-1,0	34939,3	34979,4	35093,0	62,2	11,5	62,2	3,1	62,2	-20,8
1,0	1,0	-1,0	34928,6	34971,4	35099,7	66,4	14,0	66,4	5,1	66,3	-21,9
1,0	1,0	-1,0	34917,9	34993,2	35099,7	70,5	16,6	70,5	0,8	70,5	-21,6
1,0	1,0	-1,0	34907,2	34986,9	35111,4	74,7	19,2	74,6	2,4	74,6	-23,7
1,0	1,0	-1,0	34896,5	34980,6	35128,8	78,8	21,7	78,8	4,0	78,7	-27,1
1,0	1,0	-1,0	34885,7	35000,6	35130,3	83,0	24,3	82,9	0,2	82,9	-27,1
1,0	1,0	-1,0	34875,0	34995,6	35150,3	87,1	26,9	87,1	1,5	87,0	-31,0
0,9	1,0	-1,0	34864,3	34990,6	35152,7	91,3	29,4	91,2	2,9	91,2	-31,2
1,0	1,0	-1,0	34865,6	35002,4	35163,5	95,4	29,5	95,4	0,7	95,3	-33,1
0,9	1,0	-1,0	34855,4	34998,2	35166,3	99,6	31,9	99,5	1,9	99,5	-33,4
1,0	1,0	-1,0	34858,3	34994,0	35169,1	103,7	31,6	103,7	3,1	103,6	-33,7
0,9	1,0	-1,0	34848,6	35010,8	35190,8	107,8	34,0	107,8	-0,1	107,8	-37,9
1,0	1,0	-1,0	34853,3	35007,3	35194,3	112,0	33,3	112,0	0,9	111,9	-38,4
1,0	1,0	-1,0	34844,2	35003,9	35197,8	116,1	35,5	116,1	2,0	116,1	-38,8
0,9	1,0	-1,0	34835,1	35000,5	35201,3	120,3	37,8	120,2	3,0	120,2	-39,2
1,0	1,0	-1,0	34842,1	34997,0	35229,7	124,4	36,6	124,4	4,0	124,3	-44,9
1,0	1,0	-1,0	34833,5	35022,7	35234,0	128,6	38,7	128,5	-1,0	128,5	-45,5
1,0	1,0	-1,0	34824,9	35020,2	35238,3	132,7	40,8	132,7	-0,2	132,6	-46,1
0,9	1,0	-1,0	34816,4	35017,7	35242,6	136,9	42,9	136,8	0,6	136,8	-46,7
1,0	1,0	-1,0	34826,5	35015,2	35247,0	141,0	41,1	141,0	1,5	140,9	-47,3
1,0	1,0	-1,0	34818,5	35012,7	35273,9	145,2	43,1	145,1	2,3	145,1	-52,6
1,0	1,0	-1,0	34810,4	35010,2	35278,8	149,3	45,1	149,3	3,1	149,2	-53,3
0,9	1,0	-1,0	34802,4	35007,7	35283,8	153,5	47,1	153,4	4,0	153,3	-54,1
0,9	1,0	-1,0	34794,3	35005,2	35288,8	157,6	49,1	157,6	4,8	157,5	-54,8
1,0	1,0	-1,0	34808,4	35002,7	35293,7	161,8	46,5	161,7	5,6	161,6	-55,5
1,0	1,0	-1,0	34800,9	35048,0	35320,7	165,9	48,4	165,8	-3,6	165,8	-60,9
1,0	1,0	-1,0	34793,4	35046,7	35326,2	170,1	50,3	170,0	-3,0	169,9	-61,7
1,0	1,0	-1,0	34786,0	35045,4	35331,7	174,2	52,1	174,1	-2,4	174,1	-62,6
0,9	1,0	-1,0	34778,5	35044,1	35337,2	178,4	54,0	178,3	-1,8	178,2	-63,4
0,9	1,0	-1,0	34771,0	35042,8	35342,7	182,5	55,9	182,4	-1,2	182,4	-64,3
0,9	1,0	-1,0	34763,5	35041,5	35348,3	186,7	57,8	186,6	-0,6	186,5	-65,1
1,0	1,0	-1,0	34782,9	35040,2	35376,3	190,8	54,0	190,7	0,0	190,6	-70,7
1,0	1,0	-1,0	34776,0	35038,9	35382,3	194,9	55,8	194,9	0,5	194,8	-71,6
1,0	1,0	-1,0	34769,1	35037,6	35388,3	199,1	57,5	199,0	1,1	198,9	-72,6
1,0	1,0	-1,0	34762,2	35036,3	35394,3	203,2	59,3	203,2	1,7	203,1	-73,5
1,0	1,0	-1,0	34755,3	35076,5	35400,3	207,4	61,1	207,3	-6,4	207,2	-74,5
0,9	1,0	-1,0	34748,4	35076,1	35406,3	211,5	62,8	211,5	-6,0	211,4	-75,4
0,9	1,0	-1,0	34741,5	35075,6	35435,7	215,7	64,6	215,6	-5,6	215,5	-81,3
0,9	1,0	-1,0	34734,6	35075,1	35442,1	219,8	66,3	219,7	-5,2	219,7	-82,3
0,9	1,0	-1,0	34727,7	35074,6	35448,6	224,0	68,1	223,9	-4,8	223,8	-83,4
0,9	1,0	-1,0	34720,9	35074,2	35455,0	228,1	69,9	228,0	-4,4	227,9	-84,4
1,0	1,0	-1,0	34748,0	35073,7	35461,5	232,3	64,5	232,2	-4,0	232,1	-85,5
1,0	1,0	-1,0	34741,7	35073,2	35467,9	236,4	66,1	236,3	-3,6	236,2	-86,5
1,0	1,0	-1,0	34735,4	35072,8	35474,4	240,6	67,8	240,5	-3,2	240,4	-87,6
1,0	1,0	-1,0	34729,1	35072,3	35480,8	244,7	69,4	244,6	-2,7	244,5	-88,6
1,0	1,0	-1,0	34722,8	35071,8	35487,3	248,9	71,0	248,8	-2,3	248,7	-89,6
1,0	1,0	-1,0	34716,5	35071,3	35519,2	253,0	72,7	252,9	-1,9	252,8	-96,0
1,0	1,0	-1,0	34710,2	35070,9	35526,0	257,2	74,3	257,1	-1,5	256,9	-97,2
0,9	1,0	-1,0	34703,9	35070,4	35532,9	261,3	75,9	261,2	-1,1	261,1	-98,3
0,9	1,0	-1,0	34697,7	35069,9	35539,8	265,5	77,6	265,4	-0,7	265,2	-99,4
0,9	1,0	-1,0	34691,4	35069,5	35546,7	269,6	79,2	269,5	-0,3	269,4	-100,6
0,9	1,0	-1,0	34685,1	35117,2	35553,5	273,8	80,8	273,6	-10,0	273,5	-101,7
0,9	1,0	-1,0	34678,8	35117,5	35560,4	277,9	82,5	277,8	-9,7	277,7	-102,8

0,9	1,0	-1,0	34672,5	35117,7	35567,3	282,1	84,1	281,9	-9,5	281,8	-104,0
0,9	1,0	-1,0	34666,2	35118,0	35574,1	286,2	85,7	286,1	-9,2	286,0	-105,1
0,9	1,0	-1,0	34659,9	35118,2	35608,5	290,3	87,4	290,2	-9,0	290,1	-112,0
1,0	1,0	-1,0	34698,8	35118,5	35615,8	294,5	79,5	294,4	-8,7	294,2	-113,2
1,0	1,0	-1,0	34693,2	35118,8	35623,0	298,6	81,0	298,5	-8,5	298,4	-114,4
1,0	1,0	-1,0	34687,5	35119,0	35630,3	302,8	82,5	302,7	-8,2	302,5	-115,6
1,0	1,0	-1,0	34681,9	35119,3	35637,5	306,9	84,0	306,8	-7,9	306,7	-116,9
1,0	1,0	-1,0	34676,2	35119,5	35644,8	311,1	85,5	311,0	-7,7	310,8	-118,1
1,0	1,0	-1,0	34670,6	35119,8	35652,1	315,2	87,0	315,1	-7,4	315,0	-119,3
1,0	1,0	-1,0	34664,9	35120,1	35659,3	319,4	88,5	319,3	-7,2	319,1	-120,5
1,0	1,0	-1,0	34659,3	35120,3	35666,6	323,5	90,0	323,4	-6,9	323,3	-121,7
0,9	1,0	-1,0	34653,6	35149,5	35673,9	327,7	91,5	327,5	-12,7	327,4	-122,9
0,9	1,0	-1,0	34648,0	35150,2	35711,0	331,8	93,0	331,7	-12,6	331,5	-130,4
0,9	1,0	-1,0	34642,3	35150,8	35718,6	336,0	94,5	335,8	-12,4	335,7	-131,7
0,9	1,0	-1,0	34636,7	35151,4	35726,3	340,1	96,0	340,0	-12,2	339,8	-133,0
0,9	1,0	-1,0	34631,0	35152,0	35733,9	344,3	97,5	344,1	-12,0	344,0	-134,3
0,9	1,0	-1,0	34625,4	35152,7	35741,5	348,4	99,0	348,3	-11,8	348,1	-135,6
0,9	1,0	-1,0	34619,7	35153,3	35749,2	352,6	100,5	352,4	-11,7	352,3	-136,9
0,9	1,0	-1,0	34614,1	35153,9	35756,8	356,7	102,0	356,6	-11,5	356,4	-138,2
0,9	1,0	-1,0	34608,4	35154,6	35764,4	360,9	103,5	360,7	-11,3	360,5	-139,5
0,9	1,0	-1,0	34602,8	35155,2	35772,1	365,0	105,0	364,9	-11,1	364,7	-140,8
0,9	1,0	-1,0	34597,1	35155,8	35779,7	369,2	106,5	369,0	-10,9	368,8	-142,1
1,0	1,0	-1,0	34652,3	35179,7	35787,3	373,3	95,2	373,1	-15,7	373,0	-143,4
1,0	1,0	-1,0	34647,3	35180,6	35795,0	377,4	96,6	377,3	-15,5	377,1	-144,6
1,0	1,0	-1,0	34642,4	35181,5	35802,6	381,6	97,9	381,4	-15,4	381,3	-145,9
1,0	1,0	-1,0	34637,4	35182,4	35810,3	385,7	99,3	385,6	-15,3	385,4	-147,2
1,0	1,0	-1,0	34632,4	35183,3	35851,5	389,9	100,6	389,7	-15,1	389,6	-155,6
1,0	1,0	-1,0	34627,4	35184,2	35859,5	394,0	102,0	393,9	-15,0	393,7	-156,9
1,0	1,0	-1,0	34622,5	35185,0	35867,4	398,2	103,3	398,0	-14,9	397,8	-158,3
1,0	1,0	-1,0	34617,5	35185,9	35875,4	402,3	104,7	402,2	-14,8	402,0	-159,7
1,0	1,0	-1,0	34612,5	35186,8	35883,4	406,5	106,1	406,3	-14,6	406,1	-161,1
1,0	1,0	-1,0	34607,5	35187,7	35891,4	410,6	107,4	410,5	-14,5	410,3	-162,4
1,0	1,0	-1,0	34602,6	35188,6	35899,4	414,8	108,8	414,6	-14,4	414,4	-163,8

Příloha B.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 1,6 MVA_r

Výkon (%)	Pz (0,95)	Pz (1)	Pz (0,-95)	S (0,95)	P (0,95)	Q (0,95)	S (1)	P (1)	Q (1)	S (-0,95)	P (-0,95)	Q (-0,95)
0	14,0	14,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	13,8	14,0	14,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	-0,1
2	13,8	14,1	14,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	-0,2
3	14,0	14,3	14,9	0,8	0,7	0,2	0,7	0,7	0,1	0,8	0,7	-0,2
4	14,3	14,6	15,5	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	-0,3
5	14,7	15,1	16,2	1,3	1,2	0,4	1,2	1,2	0,1	1,3	1,2	-0,4
6	15,2	15,6	17,1	1,6	1,5	0,5	1,5	1,5	0,2	1,6	1,5	-0,5
7	15,9	16,3	18,1	1,8	1,7	0,5	1,8	1,7	0,2	1,8	1,7	-0,6
8	16,6	17,1	19,2	2,1	2,0	0,6	2,0	2,0	0,3	2,1	2,0	-0,6
9	17,5	18,0	20,4	2,3	2,2	0,7	2,3	2,2	0,3	2,4	2,2	-0,7
10	18,6	19,0	21,7	2,6	2,5	0,8	2,5	2,5	0,3	2,6	2,5	-0,8
11	19,7	20,1	7,1	2,9	2,7	0,9	2,8	2,7	0,4	2,9	2,8	-0,9
12	21,0	21,4	8,4	3,1	3,0	1,0	3,0	3,0	0,4	3,2	3,0	-1,0
13	22,4	22,8	9,9	3,4	3,2	1,1	3,3	3,2	0,5	3,4	3,3	-1,0
14	23,9	24,2	11,5	3,7	3,5	1,1	3,5	3,5	0,5	3,7	3,5	-1,1
15	25,5	25,8	13,2	3,9	3,7	1,2	3,8	3,7	0,5	4,0	3,8	-1,2
16	27,3	28,4	15,1	4,2	4,0	1,3	4,0	4,0	0,0	4,2	4,0	-1,3
17	29,2	30,3	16,9	4,4	4,2	1,4	4,2	4,2	0,0	4,5	4,3	-1,3
18	31,2	18,8	19,1	4,7	4,5	1,5	4,5	4,5	0,2	4,8	4,6	-1,4
19	33,3	21,0	21,5	5,0	4,7	1,6	4,8	4,8	0,3	5,1	4,8	-1,6
20	35,6	22,9	23,7	5,2	5,0	1,7	5,0	5,0	0,1	5,3	5,1	-1,6

21	38,0	25,3	26,5	5,5	5,2	1,7	5,3	5,3	0,2	5,6	5,3	-1,8
22	32,1	27,8	29,0	5,8	5,5	1,8	5,5	5,5	0,2	5,9	5,6	-1,8
23	34,7	30,2	31,8	6,0	5,7	1,9	5,8	5,8	0,1	6,1	5,8	-1,9
24	38,0	32,9	34,5	6,3	6,0	2,0	6,0	6,0	0,2	6,4	6,1	-2,0
25	40,7	35,7	37,3	6,5	6,2	2,0	6,3	6,3	0,3	6,6	6,3	-2,0
26	44,2	38,4	40,9	6,8	6,5	2,1	6,5	6,5	0,1	7,0	6,6	-2,2
27	47,0	41,4	44,0	7,1	6,7	2,1	6,8	6,8	0,2	7,2	6,9	-2,2
28	50,7	44,6	47,1	7,3	7,0	2,3	7,0	7,0	0,2	7,5	7,1	-2,3
29	54,6	47,9	50,4	7,6	7,2	2,4	7,3	7,3	0,3	7,7	7,4	-2,3
30	57,5	51,3	55,0	7,8	7,5	2,3	7,5	7,5	0,4	8,1	7,6	-2,6
31	61,6	54,4	58,5	8,1	7,7	2,5	7,8	7,8	0,1	8,3	7,9	-2,6
32	65,8	58,0	62,2	8,4	8,0	2,6	8,0	8,0	0,1	8,6	8,1	-2,7
33	70,2	61,7	66,0	8,7	8,2	2,7	8,3	8,3	0,2	8,8	8,4	-2,7
34	73,4	65,5	70,0	8,9	8,5	2,6	8,6	8,5	0,3	9,1	8,7	-2,7
35	77,9	69,4	75,3	9,1	8,7	2,8	8,8	8,8	0,3	9,4	8,9	-3,0
36	82,6	73,5	79,5	9,4	8,9	2,9	9,1	9,0	0,4	9,7	9,2	-3,1
37	87,4	77,7	83,8	9,7	9,2	3,0	9,3	9,3	0,4	9,9	9,4	-3,1
38	92,4	82,0	88,2	10,0	9,4	3,2	9,6	9,5	0,5	10,2	9,7	-3,1
39	95,8	86,4	92,8	10,2	9,7	3,0	9,8	9,8	0,6	10,4	10,0	-3,2
40	100,9	90,2	98,9	10,4	9,9	3,1	10,1	10,1	0,0	10,8	10,2	-3,5
41	106,2	94,8	103,8	10,7	10,2	3,3	10,3	10,3	0,1	11,1	10,5	-3,5
42	111,6	99,5	108,8	11,0	10,4	3,4	10,6	10,6	0,1	11,3	10,7	-3,6
43	117,1	104,3	113,8	11,2	10,7	3,5	10,8	10,8	0,2	11,6	11,0	-3,6
44	122,8	109,2	119,0	11,5	10,9	3,6	11,1	11,1	0,2	11,8	11,3	-3,7
45	128,6	114,3	124,3	11,8	11,1	3,8	11,3	11,3	0,2	12,1	11,5	-3,7
46	132,2	119,4	131,6	12,0	11,4	3,6	11,6	11,6	0,3	12,5	11,8	-4,0
47	138,1	124,7	137,2	12,2	11,7	3,7	11,8	11,8	0,3	12,7	12,0	-4,1
48	144,2	130,1	143,0	12,5	11,9	3,8	12,1	12,1	0,4	13,0	12,3	-4,1
49	150,5	135,6	148,8	12,8	12,1	3,9	12,3	12,3	0,4	13,2	12,6	-4,2
50	156,8	140,8	154,8	13,0	12,4	4,0	12,6	12,6	0,0	13,5	12,8	-4,2
51	163,3	146,5	160,9	13,3	12,6	4,2	12,9	12,9	0,0	13,8	13,1	-4,3
52	170,0	152,3	169,3	13,6	12,9	4,3	13,1	13,1	0,0	14,1	13,4	-4,6
53	176,8	158,2	175,7	13,8	13,1	4,4	13,4	13,4	0,1	14,4	13,6	-4,7
54	183,7	164,2	182,3	14,1	13,3	4,5	13,6	13,6	0,1	14,7	13,9	-4,7
55	190,7	170,4	188,9	14,4	13,6	4,6	13,9	13,9	0,2	14,9	14,2	-4,8
56	194,3	176,6	195,7	14,5	13,9	4,3	14,1	14,1	0,2	15,2	14,4	-4,8
57	201,4	183,0	202,5	14,8	14,1	4,4	14,4	14,4	0,2	15,5	14,7	-4,9
58	208,7	189,5	209,5	15,0	14,3	4,6	14,6	14,6	0,3	15,7	14,9	-4,9
59	216,1	196,1	216,7	15,3	14,6	4,7	14,9	14,9	0,3	16,0	15,2	-5,0
60	223,7	202,8	223,9	15,6	14,8	4,8	15,1	15,1	0,4	16,3	15,5	-5,0
61	231,3	209,6	234,2	15,8	15,1	4,9	15,4	15,4	0,4	16,6	15,7	-5,4
62	239,1	216,6	241,8	16,1	15,3	5,0	15,6	15,6	0,5	16,9	16,0	-5,5
63	247,1	223,6	249,5	16,4	15,5	5,1	15,9	15,9	0,5	17,2	16,3	-5,5
64	255,1	230,8	257,3	16,6	15,8	5,3	16,1	16,1	0,5	17,4	16,5	-5,6
65	263,3	238,1	265,2	16,9	16,0	5,4	16,4	16,4	0,6	17,7	16,8	-5,6
66	271,7	245,2	273,2	17,2	16,3	5,5	16,7	16,7	0,0	18,0	17,1	-5,7
67	280,1	252,7	281,4	17,4	16,5	5,6	16,9	16,9	0,0	18,2	17,3	-5,7
68	288,7	260,3	289,7	17,7	16,7	5,7	17,2	17,2	0,1	18,5	17,6	-5,8
69	297,4	268,0	298,1	18,0	17,0	5,8	17,4	17,4	0,1	18,8	17,9	-5,8
70	306,3	275,8	310,4	18,2	17,2	6,0	17,7	17,7	0,1	19,2	18,2	-6,2
71	309,4	283,7	319,2	18,3	17,5	5,5	17,9	17,9	0,2	19,5	18,4	-6,3
72	318,4	291,8	328,1	18,6	17,7	5,6	18,2	18,2	0,2	19,7	18,7	-6,3
73	327,4	299,9	337,1	18,9	18,0	5,7	18,4	18,4	0,3	20,0	19,0	-6,4
74	336,6	308,2	346,2	19,1	18,2	5,8	18,7	18,7	0,3	20,3	19,2	-6,5
75	345,9	316,6	355,4	19,4	18,5	5,9	18,9	18,9	0,3	20,5	19,5	-6,5
76	355,3	325,1	364,8	19,7	18,7	6,1	19,2	19,2	0,4	20,8	19,8	-6,6
77	364,9	333,7	374,3	19,9	18,9	6,2	19,4	19,4	0,4	21,1	20,0	-6,6
78	374,6	342,4	383,9	20,2	19,2	6,3	19,7	19,7	0,4	21,4	20,3	-6,7
79	384,4	351,3	393,6	20,4	19,4	6,4	20,0	20,0	0,1	21,6	20,6	-6,7
80	394,3	360,2	408,3	20,7	19,7	6,5	20,2	20,2	0,1	22,1	20,9	-7,2

81	404,4	369,3	418,4	21,0	19,9	6,6	20,5	20,5	0,2	22,3	21,1	-7,2
82	414,6	378,4	428,6	21,2	20,1	6,7	20,7	20,7	0,2	22,6	21,4	-7,3
83	424,9	387,7	438,9	21,5	20,4	6,8	21,0	21,0	0,2	22,9	21,7	-7,4
84	435,4	397,1	449,4	21,7	20,6	7,0	21,2	21,2	0,3	23,2	21,9	-7,4
85	446,0	406,6	460,0	22,0	20,8	7,1	21,5	21,5	0,3	23,4	22,2	-7,5
86	456,7	416,2	470,7	22,3	21,1	7,2	21,7	21,7	0,3	23,7	22,5	-7,5
87	467,5	426,0	481,5	22,5	21,3	7,3	22,0	22,0	0,4	24,0	22,7	-7,6
88	478,5	435,8	492,4	22,8	21,6	7,4	22,3	22,2	0,4	24,2	23,0	-7,7
89	489,6	445,8	503,5	23,1	21,8	7,5	22,5	22,5	0,5	24,5	23,3	-7,7
90	491,5	456,0	514,7	23,2	22,1	6,9	22,8	22,8	0,2	24,8	23,5	-7,8
91	502,6	466,1	526,0	23,4	22,3	7,0	23,0	23,0	0,2	25,1	23,8	-7,8
92	513,9	476,4	537,5	23,7	22,6	7,1	23,3	23,3	0,3	25,3	24,1	-7,9
93	525,3	486,8	549,0	23,9	22,8	7,2	23,5	23,5	0,3	25,6	24,4	-7,9
94	536,8	497,4	567,3	24,2	23,1	7,3	23,8	23,8	0,3	26,1	24,7	-8,4
95	548,4	508,0	579,3	24,4	23,3	7,4	24,1	24,1	0,4	26,4	24,9	-8,5
96	560,1	518,7	591,3	24,7	23,5	7,5	24,3	24,3	0,4	26,6	25,2	-8,6
97	572,0	529,6	603,5	25,0	23,8	7,6	24,6	24,6	0,4	26,9	25,5	-8,6
98	584,0	540,5	615,8	25,2	24,0	7,7	24,8	24,8	0,5	27,2	25,8	-8,7
99	596,1	551,6	628,3	25,5	24,2	7,9	25,1	25,1	0,5	27,5	26,0	-8,8
100	608,3	562,8	640,8	25,7	24,5	8,0	25,3	25,3	0,5	27,7	26,3	-8,8

Příloha B.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 1,6 MVar

Cos ϕ (0,95)	Cos ϕ (1)	Cos ϕ (-0,95)	Upm (0,95)	Upm (1)	Upm (-0,95)	I \checkmark (0,95)	Ij (0,95)	I \checkmark (1)	Ij (1)	I \checkmark (-0,95)	Ij (-0,95)
-0,4	-0,4	0,4	34974,1	34974,1	34974,1	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5
1,0	1,0	-1,0	34967,2	34972,7	34979,0	3,9	1,2	3,9	0,1	3,9	-1,2
0,9	1,0	-1,0	34961,5	34971,4	34986,9	8,0	2,7	8,0	0,7	8,0	-2,6
1,0	1,0	-1,0	34957,1	34970,1	34994,6	12,2	4,0	12,2	1,2	12,2	-3,9
1,0	1,0	-1,0	34952,8	34968,8	35003,0	16,3	5,2	16,3	1,8	16,3	-5,4
1,0	1,0	-1,0	34947,5	34967,5	35010,2	20,4	6,6	20,4	2,4	20,4	-6,6
0,9	1,0	-1,0	34942,2	34966,2	35017,4	24,6	8,0	24,6	3,0	24,5	-7,8
1,0	1,0	-1,0	34939,3	34964,9	35027,3	28,7	9,0	28,7	3,6	28,7	-9,5
1,0	1,0	-1,0	34934,4	34963,6	35034,9	32,8	10,3	32,8	4,2	32,8	-10,8
1,0	1,0	-1,0	34929,4	34962,3	35042,5	37,0	11,7	37,0	4,7	36,9	-12,1
1,0	1,0	-1,0	34924,4	34961,0	35050,1	41,1	13,0	41,1	5,3	41,1	-13,4
1,0	1,0	-1,0	34919,5	34959,7	35062,3	45,2	14,4	45,2	5,9	45,6	-15,6
1,0	1,0	-1,0	34914,5	34958,4	35070,1	49,4	15,7	49,4	6,5	49,7	-16,9
1,0	1,0	-1,0	34909,5	34957,1	35074,8	53,5	17,1	53,5	7,1	53,9	-17,6
0,9	1,0	-1,0	34904,6	34955,8	35081,9	57,6	18,4	57,6	7,7	58,0	-18,8
0,9	1,0	-1,0	34899,6	34954,5	35093,0	61,8	19,8	61,7	8,3	62,2	-20,8
0,9	1,0	-1,0	34894,7	34998,0	35099,7	65,9	21,1	65,9	-0,6	66,3	-21,9
0,9	1,0	-1,0	34889,7	34999,5	35099,7	70,0	22,5	70,0	-0,6	70,5	-21,6
0,9	1,0	-1,0	34884,7	34986,9	35111,4	74,2	23,9	74,6	2,4	74,6	-23,7
0,9	1,0	-1,0	34879,8	34980,6	35128,8	78,3	25,2	78,8	4,0	78,7	-27,1
0,9	1,0	-1,0	34874,8	35000,6	35130,3	82,4	26,6	82,9	0,2	82,9	-27,1
0,9	1,0	-1,0	34869,8	34995,6	35150,3	86,6	27,9	87,1	1,5	87,0	-31,0
0,9	1,0	-1,0	34864,3	34990,6	35152,7	91,3	29,4	91,2	2,9	91,2	-31,2
1,0	1,0	-1,0	34865,6	35002,4	35163,5	95,4	29,5	95,4	0,7	95,3	-33,1
0,9	1,0	-1,0	34855,4	34998,2	35166,3	99,6	31,9	99,5	1,9	99,5	-33,4
1,0	1,0	-1,0	34858,3	34994,0	35169,1	103,7	31,6	103,7	3,1	103,6	-33,7
0,9	1,0	-1,0	34848,6	35010,8	35190,8	107,8	34,0	107,8	-0,1	107,8	-37,9
1,0	1,0	-1,0	34853,3	35007,3	35194,3	112,0	33,3	112,0	0,9	111,9	-38,4
1,0	1,0	-1,0	34844,2	35003,9	35197,8	116,1	35,5	116,1	2,0	116,1	-38,8
0,9	1,0	-1,0	34835,1	35000,5	35201,3	120,3	37,8	120,2	3,0	120,2	-39,2
1,0	1,0	-1,0	34842,1	34997,0	35229,7	124,4	36,6	124,4	4,0	124,3	-44,9
1,0	1,0	-1,0	34833,5	35022,7	35234,0	128,6	38,7	128,5	-1,0	128,5	-45,5
1,0	1,0	-1,0	34824,9	35020,2	35238,3	132,7	40,8	132,7	-0,2	132,6	-46,1
0,9	1,0	-1,0	34816,4	35017,7	35242,6	136,9	42,9	136,8	0,6	136,8	-46,7

1,0	1,0	-1,0	34826,5	35015,2	35247,0	141,0	41,1	141,0	1,5	140,9	-47,3
1,0	1,0	-1,0	34818,5	35012,7	35273,9	145,2	43,1	145,1	2,3	145,1	-52,6
1,0	1,0	-1,0	34810,4	35010,2	35278,8	149,3	45,1	149,3	3,1	149,2	-53,3
0,9	1,0	-1,0	34802,4	35007,7	35283,8	153,5	47,1	153,4	4,0	153,3	-54,1
0,9	1,0	-1,0	34794,3	35005,2	35288,8	157,6	49,1	157,6	4,8	157,5	-54,8
1,0	1,0	-1,0	34808,4	35002,7	35293,7	161,8	46,5	161,7	5,6	161,6	-55,5
1,0	1,0	-1,0	34800,9	35048,0	35320,7	165,9	48,4	165,8	-3,6	165,8	-60,9
1,0	1,0	-1,0	34793,4	35046,7	35326,2	170,1	50,3	170,0	-3,0	169,9	-61,7
1,0	1,0	-1,0	34786,0	35045,4	35331,7	174,2	52,1	174,1	-2,4	174,1	-62,6
0,9	1,0	-1,0	34778,5	35044,1	35337,2	178,4	54,0	178,3	-1,8	178,2	-63,4
0,9	1,0	-1,0	34771,0	35042,8	35342,7	182,5	55,9	182,4	-1,2	182,4	-64,3
0,9	1,0	-1,0	34763,5	35041,5	35348,3	186,7	57,8	186,6	-0,6	186,5	-65,1
1,0	1,0	-1,0	34782,9	35040,2	35376,3	190,8	54,0	190,7	0,0	190,6	-70,7
1,0	1,0	-1,0	34776,0	35038,9	35382,3	194,9	55,8	194,9	0,5	194,8	-71,6
1,0	1,0	-1,0	34769,1	35037,6	35388,3	199,1	57,5	199,0	1,1	198,9	-72,6
1,0	1,0	-1,0	34762,2	35036,3	35394,3	203,2	59,3	203,2	1,7	203,1	-73,5
1,0	1,0	-1,0	34755,3	35076,5	35400,3	207,4	61,1	207,3	-6,4	207,2	-74,5
0,9	1,0	-1,0	34748,4	35076,1	35406,3	211,5	62,8	211,5	-6,0	211,4	-75,4
0,9	1,0	-1,0	34741,5	35075,6	35435,7	215,7	64,6	215,6	-5,6	215,5	-81,3
0,9	1,0	-1,0	34734,6	35075,1	35442,1	219,8	66,3	219,7	-5,2	219,7	-82,3
0,9	1,0	-1,0	34727,7	35074,6	35448,6	224,0	68,1	223,9	-4,8	223,8	-83,4
0,9	1,0	-1,0	34720,9	35074,2	35455,0	228,1	69,9	228,0	-4,4	227,9	-84,4
1,0	1,0	-1,0	34748,0	35073,7	35461,5	232,3	64,5	232,2	-4,0	232,1	-85,5
1,0	1,0	-1,0	34741,7	35073,2	35467,9	236,4	66,1	236,3	-3,6	236,2	-86,5
1,0	1,0	-1,0	34735,4	35072,8	35474,4	240,6	67,8	240,5	-3,2	240,4	-87,6
1,0	1,0	-1,0	34729,1	35072,3	35480,8	244,7	69,4	244,6	-2,7	244,5	-88,6
1,0	1,0	-1,0	34722,8	35071,8	35487,3	248,9	71,0	248,8	-2,3	248,7	-89,6
1,0	1,0	-1,0	34716,5	35071,3	35519,2	253,0	72,7	252,9	-1,9	252,8	-96,0
1,0	1,0	-1,0	34710,2	35070,9	35526,0	257,2	74,3	257,1	-1,5	256,9	-97,2
0,9	1,0	-1,0	34703,9	35070,4	35532,9	261,3	75,9	261,2	-1,1	261,1	-98,3
0,9	1,0	-1,0	34697,7	35069,9	35539,8	265,5	77,6	265,4	-0,7	265,2	-99,4
0,9	1,0	-1,0	34691,4	35069,5	35546,7	269,6	79,2	269,5	-0,3	269,4	-100,6
0,9	1,0	-1,0	34685,1	35117,2	35553,5	273,8	80,8	273,6	-10,0	273,5	-101,7
0,9	1,0	-1,0	34678,8	35117,5	35560,4	277,9	82,5	277,8	-9,7	277,7	-102,8
0,9	1,0	-1,0	34672,5	35117,7	35567,3	282,1	84,1	281,9	-9,5	281,8	-104,0
0,9	1,0	-1,0	34666,2	35118,0	35574,1	286,2	85,7	286,1	-9,2	286,0	-105,1
0,9	1,0	-1,0	34659,9	35118,2	35608,5	290,3	87,4	290,2	-9,0	290,1	-112,0
1,0	1,0	-1,0	34698,8	35118,5	35615,8	294,5	79,5	294,4	-8,7	294,2	-113,2
1,0	1,0	-1,0	34693,2	35118,8	35623,0	298,6	81,0	298,5	-8,5	298,4	-114,4
1,0	1,0	-1,0	34687,5	35119,0	35630,3	302,8	82,5	302,7	-8,2	302,5	-115,6
1,0	1,0	-1,0	34681,9	35119,3	35637,5	306,9	84,0	306,8	-7,9	306,7	-116,9
1,0	1,0	-1,0	34676,2	35119,5	35644,8	311,1	85,5	311,0	-7,7	310,8	-118,1
1,0	1,0	-1,0	34670,6	35119,8	35652,1	315,2	87,0	315,1	-7,4	315,0	-119,3
1,0	1,0	-1,0	34664,9	35120,1	35659,3	319,4	88,5	319,3	-7,2	319,1	-120,5
1,0	1,0	-1,0	34659,3	35120,3	35666,6	323,5	90,0	323,4	-6,9	323,3	-121,7
0,9	1,0	-1,0	34653,6	35149,5	35673,9	327,7	91,5	327,5	-12,7	327,4	-122,9
0,9	1,0	-1,0	34648,0	35150,2	35711,0	331,8	93,0	331,7	-12,6	331,5	-130,4
0,9	1,0	-1,0	34642,3	35150,8	35718,6	336,0	94,5	335,8	-12,4	335,7	-131,7
0,9	1,0	-1,0	34636,7	35151,4	35726,3	340,1	96,0	340,0	-12,2	339,8	-133,0
0,9	1,0	-1,0	34631,0	35152,0	35733,9	344,3	97,5	344,1	-12,0	344,0	-134,3
0,9	1,0	-1,0	34625,4	35152,7	35741,5	348,4	99,0	348,3	-11,8	348,1	-135,6
0,9	1,0	-1,0	34619,7	35153,3	35749,2	352,6	100,5	352,4	-11,7	352,3	-136,9
0,9	1,0	-1,0	34614,1	35153,9	35756,8	356,7	102,0	356,6	-11,5	356,4	-138,2
0,9	1,0	-1,0	34608,4	35154,6	35764,4	360,9	103,5	360,7	-11,3	360,5	-139,5
0,9	1,0	-1,0	34602,8	35155,2	35772,1	365,0	105,0	364,9	-11,1	364,7	-140,8
0,9	1,0	-1,0	34597,1	35155,8	35779,7	369,2	106,5	369,0	-10,9	368,8	-142,1
1,0	1,0	-1,0	34652,3	35179,7	35787,3	373,3	95,2	373,1	-15,7	373,0	-143,4
1,0	1,0	-1,0	34647,3	35180,6	35795,0	377,4	96,6	377,3	-15,5	377,1	-144,6
1,0	1,0	-1,0	34642,4	35181,5	35802,6	381,6	97,9	381,4	-15,4	381,3	-145,9
1,0	1,0	-1,0	34637,4	35182,4	35810,3	385,7	99,3	385,6	-15,3	385,4	-147,2

1,0	1,0	-1,0	34632,4	35183,3	35851,5	389,9	100,6	389,7	-15,1	389,6	-155,6
1,0	1,0	-1,0	34627,4	35184,2	35859,5	394,0	102,0	393,9	-15,0	393,7	-156,9
1,0	1,0	-1,0	34622,5	35185,0	35867,4	398,2	103,3	398,0	-14,9	397,8	-158,3
1,0	1,0	-1,0	34617,5	35185,9	35875,4	402,3	104,7	402,2	-14,8	402,0	-159,7
1,0	1,0	-1,0	34612,5	35186,8	35883,4	406,5	106,1	406,3	-14,6	406,1	-161,1
1,0	1,0	-1,0	34607,5	35187,7	35891,4	410,6	107,4	410,5	-14,5	410,3	-162,4
1,0	1,0	-1,0	34602,6	35188,6	35899,4	414,8	108,8	414,6	-14,4	414,4	-163,8

Příloha C.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 0,8 MVar

Výkon (%)	Pz (0,95)	Pz (1)	Pz (0,-95)	S (0,95)	P (0,95)	Q (0,95)	S (1)	P (1)	Q (1)	S (-0,95)	P (-0,95)	Q (-0,95)
0	7,6	7,6	7,6	0,8	0,0	-0,8	0,8	0,0	-0,8	0,8	0,0	-0,8
1	7,4	7,4	7,4	0,7	0,2	-0,7	0,7	0,2	-0,7	0,7	0,2	-0,7
2	7,3	7,3	7,3	0,7	0,5	-0,5	0,7	0,5	-0,5	0,7	0,5	-0,5
3	7,4	7,4	7,4	0,8	0,7	-0,4	0,8	0,7	-0,4	0,8	0,7	-0,4
4	7,6	7,6	7,8	1,0	1,0	-0,2	1,0	1,0	-0,2	1,0	1,0	-0,2
5	8,0	8,0	8,3	1,2	1,2	-0,1	1,2	1,2	-0,1	1,2	1,2	-0,1
6	8,6	8,6	9,1	1,5	1,5	0,1	1,5	1,5	0,1	1,5	1,5	0,1
7	9,3	9,4	9,9	1,8	1,7	0,3	1,8	1,7	-0,1	1,8	1,7	-0,1
8	10,1	10,2	10,8	2,0	2,0	0,4	2,0	2,0	0,0	2,0	2,0	0,0
9	11,1	11,1	12,0	2,3	2,2	0,6	2,3	2,2	0,1	2,3	2,2	0,1
10	12,3	12,1	13,1	2,6	2,5	0,7	2,5	2,5	0,2	2,5	2,5	0,2
11	13,6	13,3	13,5	2,9	2,7	0,9	2,8	2,7	0,3	2,8	2,7	0,3
12	15,1	14,7	8,4	3,2	3,0	1,0	3,0	3,0	0,1	3,0	3,0	0,1
13	16,5	16,0	9,9	3,4	3,2	1,0	3,3	3,3	0,1	3,3	3,3	0,1
14	18,2	17,5	11,5	3,7	3,5	1,2	3,5	3,5	0,2	3,5	3,5	0,2
15	19,9	19,2	13,2	3,9	3,7	1,2	3,8	3,8	0,3	3,8	3,8	0,3
16	21,7	20,9	15,1	4,2	4,0	1,3	4,0	4,0	0,4	4,0	4,0	0,4
17	23,8	22,8	16,9	4,5	4,2	1,4	4,3	4,3	0,4	4,3	4,3	0,4
18	26,0	18,8	19,1	4,7	4,5	1,5	4,5	4,5	0,2	4,5	4,5	0,2
19	28,1	21,0	21,5	5,0	4,7	1,5	4,8	4,8	0,3	4,8	4,8	0,3
20	30,6	22,9	23,7	5,2	5,0	1,6	5,0	5,0	0,1	5,0	5,0	0,1
21	33,2	25,3	26,5	5,5	5,2	1,8	5,3	5,3	0,2	5,3	5,3	0,2
22	32,1	27,8	29,0	5,8	5,5	1,8	5,5	5,5	0,2	5,5	5,5	0,2
23	34,7	30,2	31,8	6,0	5,7	1,9	5,8	5,8	0,1	5,8	5,8	0,1
24	38,0	32,9	34,5	6,3	6,0	2,0	6,0	6,0	0,2	6,0	6,0	0,2
25	40,7	35,7	37,3	6,5	6,2	2,0	6,3	6,3	0,3	6,3	6,3	0,3
26	44,2	38,4	40,9	6,8	6,5	2,1	6,5	6,5	0,1	6,5	6,5	0,1
27	47,0	41,4	44,0	7,1	6,7	2,1	6,8	6,8	0,2	6,8	6,8	0,2
28	50,7	44,6	47,1	7,3	7,0	2,3	7,0	7,0	0,2	7,0	7,0	0,2
29	54,6	47,9	50,4	7,6	7,2	2,4	7,3	7,3	0,3	7,3	7,3	0,3
30	57,5	51,3	55,0	7,8	7,5	2,3	7,5	7,5	0,4	7,5	7,5	0,4
31	61,6	54,4	58,5	8,1	7,7	2,5	7,8	7,8	0,1	7,8	7,8	0,1
32	65,8	58,0	62,2	8,4	8,0	2,6	8,0	8,0	0,1	8,0	8,0	0,1
33	70,2	61,7	66,0	8,7	8,2	2,7	8,3	8,3	0,2	8,3	8,3	0,2
34	73,4	65,5	70,0	8,9	8,5	2,6	8,6	8,5	0,3	8,6	8,5	0,3
35	77,9	69,4	75,3	9,1	8,7	2,8	8,8	8,8	0,3	8,8	8,8	0,3
36	82,6	73,5	79,5	9,4	8,9	2,9	9,1	9,0	0,4	9,1	9,0	0,4
37	87,4	77,7	83,8	9,7	9,2	3,0	9,3	9,3	0,4	9,3	9,3	0,4
38	92,4	82,0	88,2	10,0	9,4	3,2	9,6	9,5	0,5	9,6	9,5	0,5
39	95,8	86,4	92,8	10,2	9,7	3,0	9,8	9,8	0,6	9,8	9,8	0,6
40	100,9	90,2	98,9	10,4	9,9	3,1	10,1	10,1	0,0	10,1	10,1	0,0
41	106,2	94,8	103,8	10,7	10,2	3,3	10,3	10,3	0,1	10,3	10,3	0,1
42	111,6	99,5	108,8	11,0	10,4	3,4	10,6	10,6	0,1	10,6	10,6	0,1
43	117,1	104,3	113,8	11,2	10,7	3,5	10,8	10,8	0,2	10,8	10,8	0,2
44	122,8	109,2	119,0	11,5	10,9	3,6	11,1	11,1	0,2	11,1	11,1	0,2
45	128,6	114,3	124,3	11,8	11,1	3,8	11,3	11,3	0,2	11,3	11,3	0,2
46	132,2	119,4	131,6	12,0	11,4	3,6	11,6	11,6	0,3	11,6	11,6	0,3

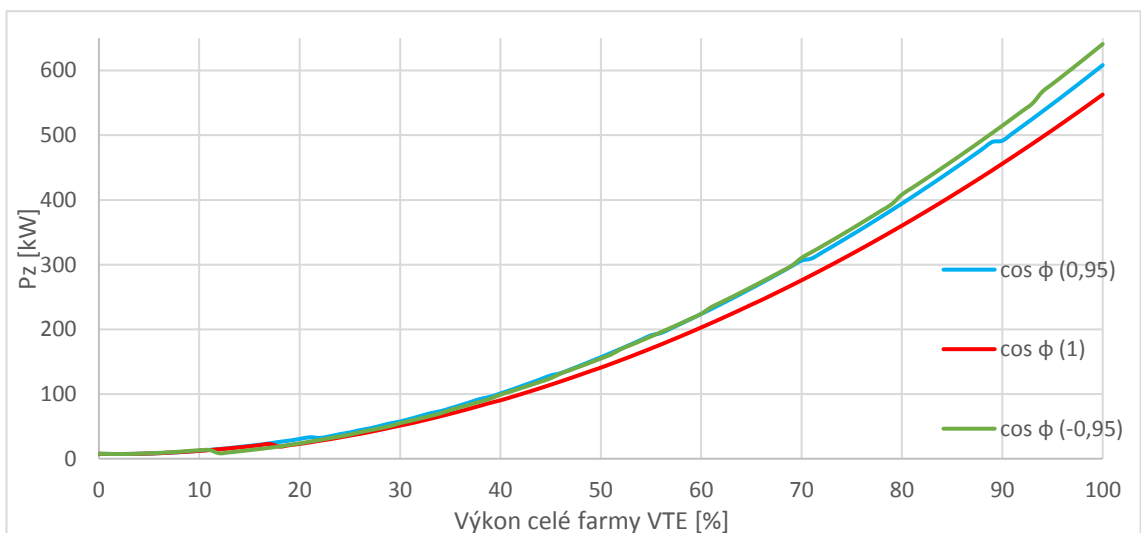
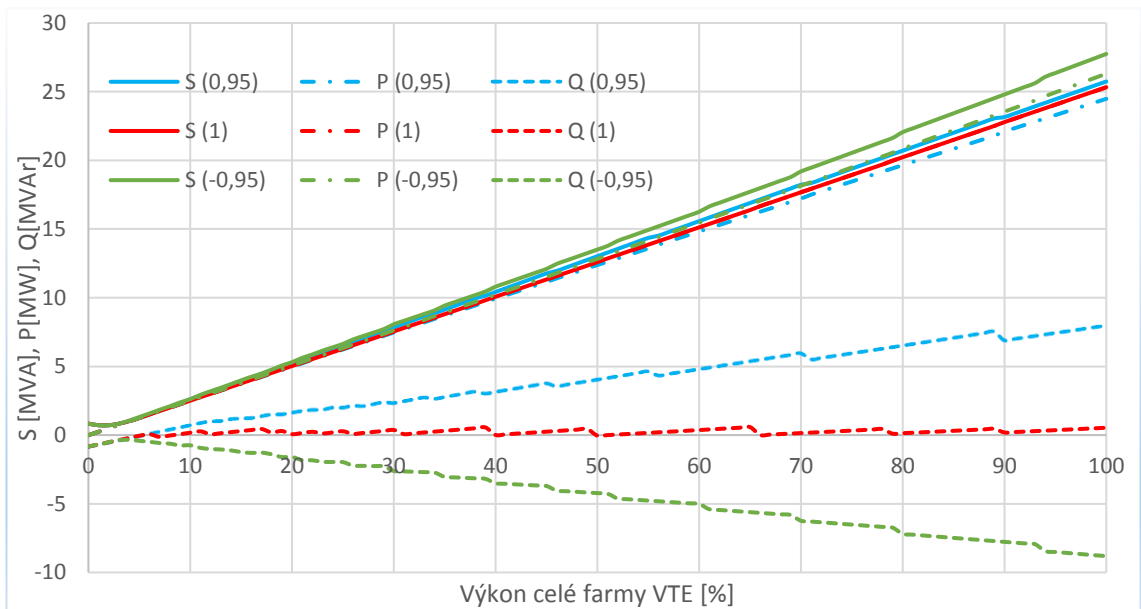
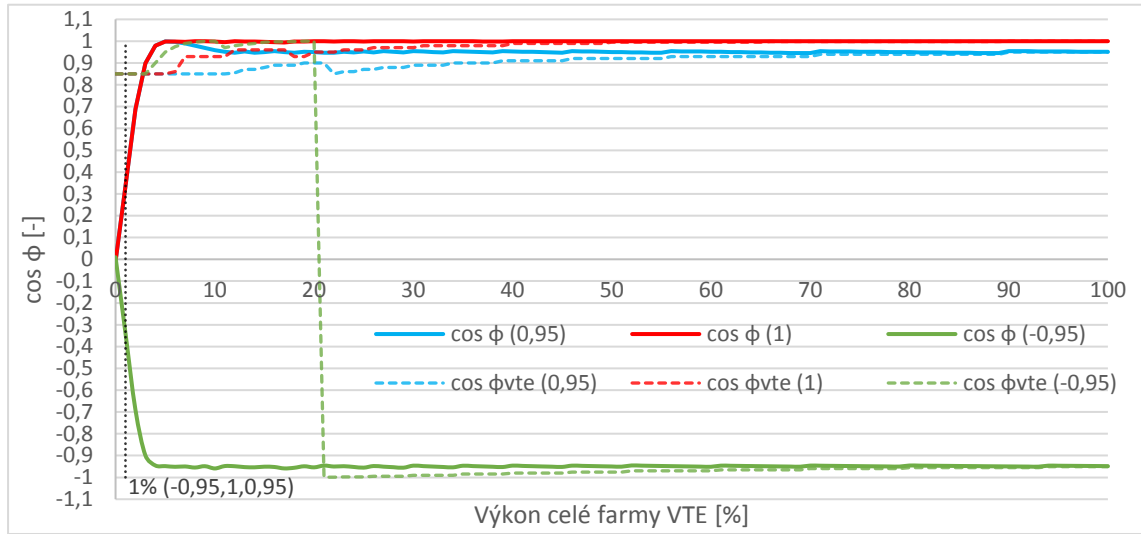
47	138,1	124,7	137,2	12,2	11,7	3,7	11,8	11,8	0,3	11,8	11,8	0,3
48	144,2	130,1	143,0	12,5	11,9	3,8	12,1	12,1	0,4	12,1	12,1	0,4
49	150,5	135,6	148,8	12,8	12,1	3,9	12,3	12,3	0,4	12,3	12,3	0,4
50	156,8	140,8	154,8	13,0	12,4	4,0	12,6	12,6	0,0	12,6	12,6	0,0
51	163,3	146,5	160,9	13,3	12,6	4,2	12,9	12,9	0,0	12,9	12,9	0,0
52	170,0	152,3	169,3	13,6	12,9	4,3	13,1	13,1	0,0	13,1	13,1	0,0
53	176,8	158,2	175,7	13,8	13,1	4,4	13,4	13,4	0,1	13,4	13,4	0,1
54	183,7	164,2	182,3	14,1	13,3	4,5	13,6	13,6	0,1	13,6	13,6	0,1
55	190,7	170,4	188,9	14,4	13,6	4,6	13,9	13,9	0,2	13,9	13,9	0,2
56	194,3	176,6	195,7	14,5	13,9	4,3	14,1	14,1	0,2	14,1	14,1	0,2
57	201,4	183,0	202,5	14,8	14,1	4,4	14,4	14,4	0,2	14,4	14,4	0,2
58	208,7	189,5	209,5	15,0	14,3	4,6	14,6	14,6	0,3	14,6	14,6	0,3
59	216,1	196,1	216,7	15,3	14,6	4,7	14,9	14,9	0,3	14,9	14,9	0,3
60	223,7	202,8	223,9	15,6	14,8	4,8	15,1	15,1	0,4	15,1	15,1	0,4
61	231,3	209,6	234,2	15,8	15,1	4,9	15,4	15,4	0,4	15,4	15,4	0,4
62	239,1	216,6	241,8	16,1	15,3	5,0	15,6	15,6	0,5	15,6	15,6	0,5
63	247,1	223,6	249,5	16,4	15,5	5,1	15,9	15,9	0,5	15,9	15,9	0,5
64	255,1	230,8	257,3	16,6	15,8	5,3	16,1	16,1	0,5	16,1	16,1	0,5
65	263,3	238,1	265,2	16,9	16,0	5,4	16,4	16,4	0,6	16,4	16,4	0,6
66	271,7	245,2	273,2	17,2	16,3	5,5	16,7	16,7	0,0	16,7	16,7	0,0
67	280,1	252,7	281,4	17,4	16,5	5,6	16,9	16,9	0,0	16,9	16,9	0,0
68	288,7	260,3	289,7	17,7	16,7	5,7	17,2	17,2	0,1	17,2	17,2	0,1
69	297,4	268,0	298,1	18,0	17,0	5,8	17,4	17,4	0,1	17,4	17,4	0,1
70	306,3	275,8	310,4	18,2	17,2	6,0	17,7	17,7	0,1	17,7	17,7	0,1
71	309,4	283,7	319,2	18,3	17,5	5,5	17,9	17,9	0,2	17,9	17,9	0,2
72	318,4	291,8	328,1	18,6	17,7	5,6	18,2	18,2	0,2	18,2	18,2	0,2
73	327,4	299,9	337,1	18,9	18,0	5,7	18,4	18,4	0,3	18,4	18,4	0,3
74	336,6	308,2	346,2	19,1	18,2	5,8	18,7	18,7	0,3	18,7	18,7	0,3
75	345,9	316,6	355,4	19,4	18,5	5,9	18,9	18,9	0,3	18,9	18,9	0,3
76	355,3	325,1	364,8	19,7	18,7	6,1	19,2	19,2	0,4	19,2	19,2	0,4
77	364,9	333,7	374,3	19,9	18,9	6,2	19,4	19,4	0,4	19,4	19,4	0,4
78	374,6	342,4	383,9	20,2	19,2	6,3	19,7	19,7	0,4	19,7	19,7	0,4
79	384,4	351,3	393,6	20,4	19,4	6,4	20,0	20,0	0,1	20,0	20,0	0,1
80	394,3	360,2	408,3	20,7	19,7	6,5	20,2	20,2	0,1	20,2	20,2	0,1
81	404,4	369,3	418,4	21,0	19,9	6,6	20,5	20,5	0,2	20,5	20,5	0,2
82	414,6	378,4	428,6	21,2	20,1	6,7	20,7	20,7	0,2	20,7	20,7	0,2
83	424,9	387,7	438,9	21,5	20,4	6,8	21,0	21,0	0,2	21,0	21,0	0,2
84	435,4	397,1	449,4	21,7	20,6	7,0	21,2	21,2	0,3	21,2	21,2	0,3
85	446,0	406,6	460,0	22,0	20,8	7,1	21,5	21,5	0,3	21,5	21,5	0,3
86	456,7	416,2	470,7	22,3	21,1	7,2	21,7	21,7	0,3	21,7	21,7	0,3
87	467,5	426,0	481,5	22,5	21,3	7,3	22,0	22,0	0,4	22,0	22,0	0,4
88	478,5	435,8	492,4	22,8	21,6	7,4	22,3	22,2	0,4	22,3	22,2	0,4
89	489,6	445,8	503,5	23,1	21,8	7,5	22,5	22,5	0,5	22,5	22,5	0,5
90	491,5	456,0	514,7	23,2	22,1	6,9	22,8	22,8	0,2	22,8	22,8	0,2
91	502,6	466,1	526,0	23,4	22,3	7,0	23,0	23,0	0,2	23,0	23,0	0,2
92	513,9	476,4	537,5	23,7	22,6	7,1	23,3	23,3	0,3	23,3	23,3	0,3
93	525,3	486,8	549,0	23,9	22,8	7,2	23,5	23,5	0,3	23,5	23,5	0,3
94	536,8	497,4	567,3	24,2	23,1	7,3	23,8	23,8	0,3	23,8	23,8	0,3
95	548,4	508,0	579,3	24,4	23,3	7,4	24,1	24,1	0,4	24,1	24,1	0,4
96	560,1	518,7	591,3	24,7	23,5	7,5	24,3	24,3	0,4	24,3	24,3	0,4
97	572,0	529,6	603,5	25,0	23,8	7,6	24,6	24,6	0,4	24,6	24,6	0,4
98	584,0	540,5	615,8	25,2	24,0	7,7	24,8	24,8	0,5	24,8	24,8	0,5
99	596,1	551,6	628,3	25,5	24,2	7,9	25,1	25,1	0,5	25,1	25,1	0,5
100	608,3	562,8	640,8	25,7	24,5	8,0	25,3	25,3	0,5	25,3	25,3	0,5

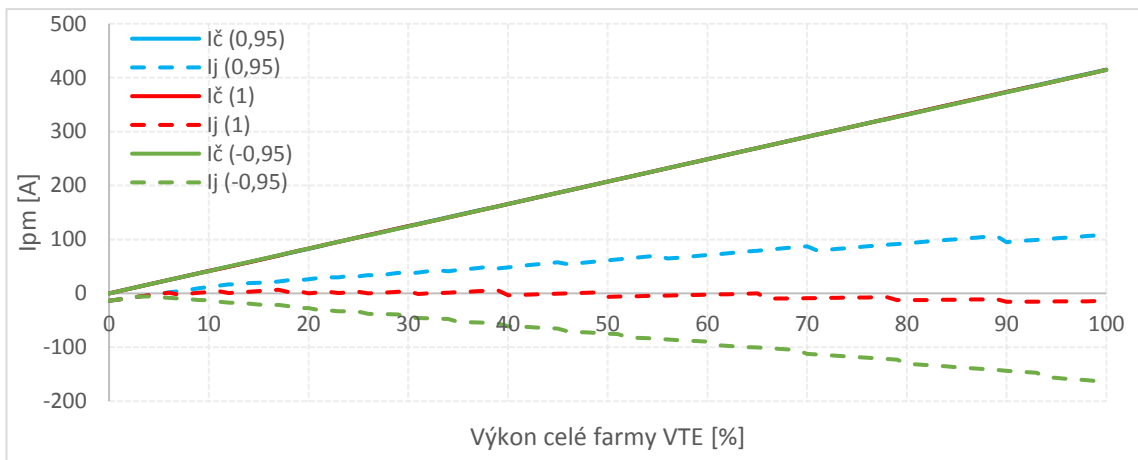
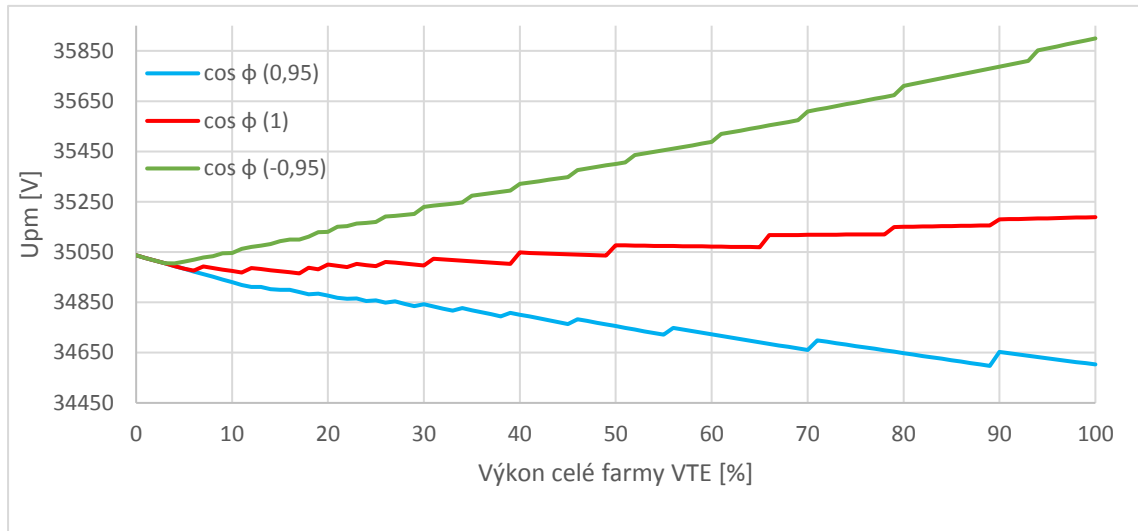
Příloha C.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 0,8 MVar

Cos ϕ (0,95)	Cos ϕ (1)	Cos ϕ ϕ (-0,95)	Upm (0,95)	Upm (1)	Upm (-0,95)	lč (0,95)	lj (0,95)	lč (1)	lj (1)	lč (-0,95)	lj (-0,95)
0,0	0,0	0,0	35037,0	35037,0	35037,0	-0,1	-13,7	-0,1	-13,7	-0,1	-13,7
0,3	0,3	-0,3	35026,3	35026,3	35026,3	4,0	-11,2	4,0	-11,2	4,0	-11,2
0,7	0,7	-0,7	35015,6	35015,6	35015,6	8,2	-8,6	8,2	-8,6	8,2	-8,6
0,9	0,9	-0,9	35004,9	35004,9	35004,9	12,3	-6,0	12,3	-6,0	12,3	-6,0
1,0	1,0	-1,0	34994,2	34994,2	35004,8	16,4	-3,5	16,4	-3,5	16,4	-5,7
1,0	1,0	-1,0	34983,5	34983,5	35012,1	20,6	-0,9	20,6	-0,9	20,6	-6,9
1,0	1,0	-1,0	34972,8	34975,9	35019,1	24,7	1,6	24,7	1,0	24,7	-8,1
1,0	1,0	-1,0	34962,1	34993,0	35027,8	28,9	4,2	28,9	-2,3	28,8	-9,6
1,0	1,0	-1,0	34951,4	34986,7	35033,2	33,0	6,8	33,0	-0,7	33,0	-10,4
1,0	1,0	-1,0	34940,6	34980,4	35044,9	37,1	9,3	37,1	1,0	37,1	-12,6
1,0	1,0	-1,0	34929,9	34974,2	35045,8	41,3	11,9	41,3	2,6	41,3	-12,5
1,0	1,0	-1,0	34919,2	34967,9	35062,3	45,4	14,4	45,4	4,2	45,6	-15,6
0,9	1,0	-1,0	34911,7	34986,1	35070,1	49,6	16,3	49,6	0,7	49,7	-16,9
1,0	1,0	-1,0	34911,4	34981,8	35074,8	53,7	16,7	53,7	1,9	53,9	-17,6
0,9	1,0	-1,0	34901,8	34977,6	35081,9	57,9	19,0	57,8	3,1	58,0	-18,8
1,0	1,0	-1,0	34900,1	34973,4	35093,0	62,0	19,7	62,0	4,3	62,2	-20,8
1,0	1,0	-1,0	34899,6	34969,1	35099,7	66,1	20,1	66,1	5,5	66,3	-21,9
1,0	1,0	-1,0	34891,0	34964,9	35099,7	70,3	22,2	70,3	6,7	70,5	-21,6
0,9	1,0	-1,0	34882,4	34986,9	35111,4	74,4	24,4	74,6	2,4	74,6	-23,7
1,0	1,0	-1,0	34884,3	34980,6	35128,8	78,6	24,3	78,8	4,0	78,7	-27,1
0,9	1,0	-1,0	34876,3	35000,6	35130,3	82,7	26,3	82,9	0,2	82,9	-27,1
0,9	1,0	-1,0	34868,2	34995,6	35150,3	86,8	28,3	87,1	1,5	87,0	-31,0
0,9	1,0	-1,0	34864,3	34990,6	35152,7	91,3	29,4	91,2	2,9	91,2	-31,2
1,0	1,0	-1,0	34865,6	35002,4	35163,5	95,4	29,5	95,4	0,7	95,3	-33,1
0,9	1,0	-1,0	34855,4	34998,2	35166,3	99,6	31,9	99,5	1,9	99,5	-33,4
1,0	1,0	-1,0	34858,3	34994,0	35169,1	103,7	31,6	103,7	3,1	103,6	-33,7
0,9	1,0	-1,0	34848,6	35010,8	35190,8	107,8	34,0	107,8	-0,1	107,8	-37,9
1,0	1,0	-1,0	34853,3	35007,3	35194,3	112,0	33,3	112,0	0,9	111,9	-38,4
1,0	1,0	-1,0	34844,2	35003,9	35197,8	116,1	35,5	116,1	2,0	116,1	-38,8
0,9	1,0	-1,0	34835,1	35000,5	35201,3	120,3	37,8	120,2	3,0	120,2	-39,2
1,0	1,0	-1,0	34842,1	34997,0	35229,7	124,4	36,6	124,4	4,0	124,3	-44,9
1,0	1,0	-1,0	34833,5	35022,7	35234,0	128,6	38,7	128,5	-1,0	128,5	-45,5
1,0	1,0	-1,0	34824,9	35020,2	35238,3	132,7	40,8	132,7	-0,2	132,6	-46,1
0,9	1,0	-1,0	34816,4	35017,7	35242,6	136,9	42,9	136,8	0,6	136,8	-46,7
1,0	1,0	-1,0	34826,5	35015,2	35247,0	141,0	41,1	141,0	1,5	140,9	-47,3
1,0	1,0	-1,0	34818,5	35012,7	35273,9	145,2	43,1	145,1	2,3	145,1	-52,6
1,0	1,0	-1,0	34810,4	35010,2	35278,8	149,3	45,1	149,3	3,1	149,2	-53,3
0,9	1,0	-1,0	34802,4	35007,7	35283,8	153,5	47,1	153,4	4,0	153,3	-54,1
0,9	1,0	-1,0	34794,3	35005,2	35288,8	157,6	49,1	157,6	4,8	157,5	-54,8
1,0	1,0	-1,0	34808,4	35002,7	35293,7	161,8	46,5	161,7	5,6	161,6	-55,5
1,0	1,0	-1,0	34800,9	35048,0	35320,7	165,9	48,4	165,8	-3,6	165,8	-60,9
1,0	1,0	-1,0	34793,4	35046,7	35326,2	170,1	50,3	170,0	-3,0	169,9	-61,7
1,0	1,0	-1,0	34786,0	35045,4	35331,7	174,2	52,1	174,1	-2,4	174,1	-62,6
0,9	1,0	-1,0	34778,5	35044,1	35337,2	178,4	54,0	178,3	-1,8	178,2	-63,4
0,9	1,0	-1,0	34771,0	35042,8	35342,7	182,5	55,9	182,4	-1,2	182,4	-64,3
0,9	1,0	-1,0	34763,5	35041,5	35348,3	186,7	57,8	186,6	-0,6	186,5	-65,1
1,0	1,0	-1,0	34782,9	35040,2	35376,3	190,8	54,0	190,7	0,0	190,6	-70,7
1,0	1,0	-1,0	34776,0	35038,9	35382,3	194,9	55,8	194,9	0,5	194,8	-71,6
1,0	1,0	-1,0	34769,1	35037,6	35388,3	199,1	57,5	199,0	1,1	198,9	-72,6
1,0	1,0	-1,0	34762,2	35036,3	35394,3	203,2	59,3	203,2	1,7	203,1	-73,5
1,0	1,0	-1,0	34755,3	35076,5	35400,3	207,4	61,1	207,3	-6,4	207,2	-74,5
0,9	1,0	-1,0	34748,4	35076,1	35406,3	211,5	62,8	211,5	-6,0	211,4	-75,4
0,9	1,0	-1,0	34741,5	35075,6	35435,7	215,7	64,6	215,6	-5,6	215,5	-81,3
0,9	1,0	-1,0	34734,6	35075,1	35442,1	219,8	66,3	219,7	-5,2	219,7	-82,3

0,9	1,0	-1,0	34727,7	35074,6	35448,6	224,0	68,1	223,9	-4,8	223,8	-83,4
0,9	1,0	-1,0	34720,9	35074,2	35455,0	228,1	69,9	228,0	-4,4	227,9	-84,4
1,0	1,0	-1,0	34748,0	35073,7	35461,5	232,3	64,5	232,2	-4,0	232,1	-85,5
1,0	1,0	-1,0	34741,7	35073,2	35467,9	236,4	66,1	236,3	-3,6	236,2	-86,5
1,0	1,0	-1,0	34735,4	35072,8	35474,4	240,6	67,8	240,5	-3,2	240,4	-87,6
1,0	1,0	-1,0	34729,1	35072,3	35480,8	244,7	69,4	244,6	-2,7	244,5	-88,6
1,0	1,0	-1,0	34722,8	35071,8	35487,3	248,9	71,0	248,8	-2,3	248,7	-89,6
1,0	1,0	-1,0	34716,5	35071,3	35519,2	253,0	72,7	252,9	-1,9	252,8	-96,0
1,0	1,0	-1,0	34710,2	35070,9	35526,0	257,2	74,3	257,1	-1,5	256,9	-97,2
0,9	1,0	-1,0	34703,9	35070,4	35532,9	261,3	75,9	261,2	-1,1	261,1	-98,3
0,9	1,0	-1,0	34697,7	35069,9	35539,8	265,5	77,6	265,4	-0,7	265,2	-99,4
0,9	1,0	-1,0	34691,4	35069,5	35546,7	269,6	79,2	269,5	-0,3	269,4	-100,6
0,9	1,0	-1,0	34685,1	35117,2	35553,5	273,8	80,8	273,6	-10,0	273,5	-101,7
0,9	1,0	-1,0	34678,8	35117,5	35560,4	277,9	82,5	277,8	-9,7	277,7	-102,8
0,9	1,0	-1,0	34672,5	35117,7	35567,3	282,1	84,1	281,9	-9,5	281,8	-104,0
0,9	1,0	-1,0	34666,2	35118,0	35574,1	286,2	85,7	286,1	-9,2	286,0	-105,1
0,9	1,0	-1,0	34659,9	35118,2	35608,5	290,3	87,4	290,2	-9,0	290,1	-112,0
1,0	1,0	-1,0	34698,8	35118,5	35615,8	294,5	79,5	294,4	-8,7	294,2	-113,2
1,0	1,0	-1,0	34693,2	35118,8	35623,0	298,6	81,0	298,5	-8,5	298,4	-114,4
1,0	1,0	-1,0	34687,5	35119,0	35630,3	302,8	82,5	302,7	-8,2	302,5	-115,6
1,0	1,0	-1,0	34681,9	35119,3	35637,5	306,9	84,0	306,8	-7,9	306,7	-116,9
1,0	1,0	-1,0	34676,2	35119,5	35644,8	311,1	85,5	311,0	-7,7	310,8	-118,1
1,0	1,0	-1,0	34670,6	35119,8	35652,1	315,2	87,0	315,1	-7,4	315,0	-119,3
1,0	1,0	-1,0	34664,9	35120,1	35659,3	319,4	88,5	319,3	-7,2	319,1	-120,5
1,0	1,0	-1,0	34659,3	35120,3	35666,6	323,5	90,0	323,4	-6,9	323,3	-121,7
0,9	1,0	-1,0	34653,6	35149,5	35673,9	327,7	91,5	327,5	-12,7	327,4	-122,9
0,9	1,0	-1,0	34648,0	35150,2	35711,0	331,8	93,0	331,7	-12,6	331,5	-130,4
0,9	1,0	-1,0	34642,3	35150,8	35718,6	336,0	94,5	335,8	-12,4	335,7	-131,7
0,9	1,0	-1,0	34636,7	35151,4	35726,3	340,1	96,0	340,0	-12,2	339,8	-133,0
0,9	1,0	-1,0	34631,0	35152,0	35733,9	344,3	97,5	344,1	-12,0	344,0	-134,3
0,9	1,0	-1,0	34625,4	35152,7	35741,5	348,4	99,0	348,3	-11,8	348,1	-135,6
0,9	1,0	-1,0	34619,7	35153,3	35749,2	352,6	100,5	352,4	-11,7	352,3	-136,9
0,9	1,0	-1,0	34614,1	35153,9	35756,8	356,7	102,0	356,6	-11,5	356,4	-138,2
0,9	1,0	-1,0	34608,4	35154,6	35764,4	360,9	103,5	360,7	-11,3	360,5	-139,5
0,9	1,0	-1,0	34602,8	35155,2	35772,1	365,0	105,0	364,9	-11,1	364,7	-140,8
0,9	1,0	-1,0	34597,1	35155,8	35779,7	369,2	106,5	369,0	-10,9	368,8	-142,1
1,0	1,0	-1,0	34652,3	35179,7	35787,3	373,3	95,2	373,1	-15,7	373,0	-143,4
1,0	1,0	-1,0	34647,3	35180,6	35795,0	377,4	96,6	377,3	-15,5	377,1	-144,6
1,0	1,0	-1,0	34642,4	35181,5	35802,6	381,6	97,9	381,4	-15,4	381,3	-145,9
1,0	1,0	-1,0	34637,4	35182,4	35810,3	385,7	99,3	385,6	-15,3	385,4	-147,2
1,0	1,0	-1,0	34632,4	35183,3	35815,5	389,9	100,6	389,7	-15,1	389,6	-155,6
1,0	1,0	-1,0	34627,4	35184,2	35819,5	394,0	102,0	393,9	-15,0	393,7	-156,9
1,0	1,0	-1,0	34622,5	35185,0	35867,4	398,2	103,3	398,0	-14,9	397,8	-158,3
1,0	1,0	-1,0	34617,5	35185,9	35875,4	402,3	104,7	402,2	-14,8	402,0	-159,7
1,0	1,0	-1,0	34612,5	35186,8	35883,4	406,5	106,1	406,3	-14,6	406,1	-161,1
1,0	1,0	-1,0	34607,5	35187,7	35891,4	410,6	107,4	410,5	-14,5	410,3	-162,4
1,0	1,0	-1,0	34602,6	35188,6	35899,4	414,8	108,8	414,6	-14,4	414,4	-163,8

Příloha C.3 Grafické zobrazení sledovaných veličin pro případ s dekompenzační tlumivkou s fixním výkonem o výkonu 0,8 MVAR





Příloha D.1 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem o výkonu v rozsahu 170 kVAr - 1,7 MVar

Výkon (%)	Pz (0,95)	Pz (1)	Pz (0,-95)	S (0,95)	P (0,95)	Q (0,95)	S (1)	P (1)	Q (1)	S (-0,95)	P (-0,95)	Q (-0,95)
0	15,4	14,4	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	15,2	14,4	12,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	-0,1
2	15,1	14,6	12,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	-0,2
3	15,1	14,9	13,0	0,8	0,7	0,2	0,7	0,7	0,0	0,8	0,7	-0,2
4	15,3	15,3	13,6	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	-0,3
5	15,5	15,8	14,3	1,3	1,2	0,4	1,2	1,2	0,0	1,3	1,2	-0,4
6	15,9	16,4	15,2	1,6	1,5	0,5	1,5	1,5	0,0	1,6	1,5	-0,5
7	16,4	17,1	16,1	1,8	1,7	0,5	1,7	1,7	0,0	1,8	1,7	-0,6
8	17,1	18,0	17,2	2,1	2,0	0,6	2,0	2,0	0,0	2,1	2,0	-0,7
9	17,8	18,9	18,5	2,4	2,2	0,7	2,2	2,2	0,0	2,4	2,2	-0,8
10	18,7	20,0	19,8	2,6	2,5	0,8	2,5	2,5	0,0	2,6	2,5	-0,8
11	19,7	21,2	21,3	2,9	2,7	0,9	2,7	2,7	0,0	2,9	2,8	-0,9
12	20,9	22,5	22,9	3,1	3,0	1,0	3,0	3,0	0,0	3,2	3,0	-1,0
13	22,1	23,9	24,6	3,4	3,2	1,0	3,2	3,2	0,0	3,4	3,3	-1,1
14	23,5	25,4	26,5	3,6	3,5	1,1	3,5	3,5	0,0	3,7	3,5	-1,2
15	25,0	27,0	28,4	3,9	3,7	1,2	3,7	3,7	0,0	4,0	3,8	-1,2
16	26,7	28,8	30,5	4,2	4,0	1,3	4,0	4,0	0,0	4,2	4,0	-1,3
17	28,4	30,6	32,8	4,4	4,2	1,4	4,2	4,2	0,0	4,5	4,3	-1,4
18	30,3	32,6	35,1	4,7	4,5	1,5	4,5	4,5	0,1	4,8	4,5	-1,5
19	32,3	34,7	37,6	5,0	4,7	1,5	4,7	4,7	0,1	5,0	4,8	-1,5
20	34,5	36,9	40,2	5,2	5,0	1,6	5,0	5,0	0,1	5,3	5,0	-1,6

21	36,7	39,2	42,9	5,5	5,2	1,7	5,2	5,2	0,1	5,6	5,3	-1,7
22	39,1	41,6	45,8	5,7	5,5	1,7	5,5	5,5	0,1	5,8	5,5	-1,8
23	41,6	44,2	48,7	6,0	5,7	1,8	5,7	5,7	0,1	6,1	5,8	-1,9
24	44,3	46,8	51,8	6,2	6,0	1,9	6,0	6,0	0,1	6,4	6,0	-1,9
25	47,0	49,6	55,0	6,5	6,2	2,0	6,2	6,2	0,1	6,6	6,3	-2,0
26	49,9	52,4	58,4	6,8	6,4	2,0	6,5	6,5	0,1	6,9	6,6	-2,1
27	52,9	55,4	61,9	7,0	6,7	2,1	6,8	6,7	0,1	7,2	6,8	-2,2
28	56,1	58,5	65,5	7,3	6,9	2,2	7,0	7,0	0,1	7,4	7,1	-2,2
29	59,3	61,7	69,2	7,5	7,2	2,3	7,3	7,3	0,1	7,7	7,3	-2,3
30	62,7	65,0	73,0	7,8	7,4	2,3	7,5	7,5	0,1	8,0	7,6	-2,4
31	66,2	68,5	77,0	8,0	7,7	2,4	7,8	7,8	0,1	8,2	7,8	-2,5
32	69,9	72,0	81,1	8,3	7,9	2,5	8,0	8,0	0,1	8,5	8,1	-2,7
33	73,6	75,7	85,3	8,6	8,2	2,5	8,3	8,3	0,2	8,8	8,4	-2,7
34	77,5	79,4	89,7	8,8	8,4	2,6	8,5	8,5	0,2	9,1	8,6	-2,8
35	81,5	83,3	94,1	9,1	8,7	2,7	8,8	8,8	0,2	9,3	8,9	-2,9
36	85,6	87,3	98,7	9,3	8,9	2,8	9,0	9,0	0,2	9,6	9,1	-3,0
37	89,9	91,4	103,4	9,6	9,2	2,8	9,3	9,3	0,2	9,9	9,4	-3,0
38	94,3	95,7	108,3	9,9	9,4	2,9	9,5	9,5	0,2	10,1	9,6	-3,1
39	98,8	100,0	113,2	10,1	9,7	3,0	9,8	9,8	0,2	10,4	9,9	-3,2
40	103,4	104,4	118,3	10,4	9,9	3,1	10,0	10,0	0,2	10,7	10,2	-3,3
41	108,2	109,0	123,6	10,6	10,1	3,2	10,3	10,3	0,2	10,9	10,4	-3,3
42	113,0	113,7	128,9	10,9	10,4	3,2	10,5	10,5	0,3	11,2	10,7	-3,4
43	118,1	118,4	134,4	11,1	10,6	3,3	10,8	10,8	0,3	11,5	10,9	-3,5
44	123,2	123,3	140,0	11,4	10,9	3,4	11,0	11,0	0,3	11,8	11,2	-3,6
45	128,4	128,4	145,7	11,7	11,1	3,5	11,3	11,3	0,3	12,0	11,5	-3,6
46	133,8	133,5	151,5	11,9	11,4	3,5	11,5	11,5	0,3	12,3	11,7	-3,7
47	139,3	138,7	157,5	12,2	11,6	3,6	11,8	11,8	0,3	12,6	12,0	-3,8
48	145,0	144,1	163,6	12,4	11,9	3,7	12,0	12,0	0,3	12,8	12,2	-3,8
49	150,7	149,5	169,8	12,7	12,1	3,8	12,3	12,3	0,3	13,1	12,5	-3,9
50	156,6	155,1	176,1	12,9	12,3	3,9	12,5	12,5	0,4	13,5	12,8	-4,2
51	162,6	160,8	182,6	13,2	12,6	3,9	12,8	12,8	0,4	13,7	13,0	-4,3
52	168,7	166,6	189,2	13,5	12,8	4,0	13,0	13,0	0,4	14,0	13,3	-4,4
53	175,0	172,5	195,9	13,7	13,1	4,1	13,3	13,3	0,4	14,3	13,6	-4,4
54	181,3	178,5	202,7	14,0	13,3	4,2	13,5	13,5	0,4	14,5	13,8	-4,5
55	187,8	184,6	209,7	14,2	13,6	4,3	13,8	13,8	0,4	14,8	14,1	-4,6
56	194,5	190,9	216,8	14,5	13,8	4,3	14,0	14,0	0,4	15,1	14,4	-4,7
57	201,2	197,2	224,0	14,7	14,1	4,4	14,3	14,3	0,5	15,4	14,6	-4,7
58	208,1	203,7	231,3	15,0	14,3	4,5	14,5	14,5	0,5	15,6	14,9	-4,8
59	215,1	210,3	238,8	15,3	14,5	4,6	14,8	14,8	0,5	15,9	15,1	-4,9
60	222,2	217,0	246,4	15,5	14,8	4,7	15,0	15,0	0,5	16,2	15,4	-4,9
61	229,5	223,8	254,1	15,8	15,0	4,7	15,3	15,3	0,5	16,4	15,7	-5,0
62	236,9	230,7	261,9	16,0	15,3	4,8	15,5	15,5	0,5	16,7	15,9	-5,1
63	244,4	237,8	269,9	16,3	15,5	4,8	15,8	15,8	0,6	17,0	16,2	-5,1
64	252,0	244,9	278,0	16,5	15,8	4,9	16,1	16,0	0,6	17,3	16,5	-5,2
65	259,7	252,2	286,2	16,8	16,0	5,0	16,3	16,3	0,6	17,5	16,7	-5,3
66	267,6	259,5	294,5	17,0	16,3	5,1	16,6	16,5	0,6	17,8	17,0	-5,3
67	275,6	267,0	303,0	17,3	16,5	5,2	16,8	16,8	0,6	18,1	17,3	-5,4
68	283,7	274,6	311,5	17,5	16,7	5,3	17,1	17,0	0,7	18,4	17,5	-5,5
69	292,0	282,3	320,2	17,8	17,0	5,3	17,3	17,3	0,7	18,8	17,8	-5,9
70	300,3	290,1	329,1	18,1	17,2	5,4	17,6	17,6	0,7	19,0	18,1	-6,0
71	308,8	298,1	338,0	18,3	17,5	5,5	17,8	17,8	0,7	19,3	18,4	-6,0
72	317,5	306,1	347,1	18,6	17,7	5,6	18,1	18,1	0,7	19,6	18,6	-6,1
73	326,2	314,3	356,3	18,8	18,0	5,7	18,3	18,3	0,8	19,9	18,9	-6,1
74	335,1	322,6	365,7	19,1	18,2	5,8	18,6	18,6	0,8	20,1	19,2	-6,2
75	344,1	330,9	375,1	19,3	18,4	5,9	18,8	18,8	0,8	20,4	19,4	-6,3
76	353,2	339,4	384,7	19,6	18,7	5,9	19,1	19,1	0,8	20,7	19,7	-6,3
77	362,4	348,0	394,4	19,9	18,9	6,0	19,3	19,3	0,8	21,0	20,0	-6,4
78	371,8	356,8	404,2	20,1	19,2	6,1	19,6	19,6	0,9	21,2	20,2	-6,5
79	381,3	365,6	414,2	20,4	19,4	6,2	19,8	19,8	0,9	21,5	20,5	-6,5
80	390,9	374,6	424,3	20,6	19,6	6,3	20,1	20,1	0,9	21,8	20,8	-6,6

81	400,7	383,6	434,5	20,9	19,9	6,4	20,3	20,3	0,9	22,1	21,0	-6,7
82	410,5	392,8	444,8	21,1	20,1	6,5	20,6	20,6	0,9	22,3	21,3	-6,7
83	420,5	402,1	455,2	21,4	20,4	6,6	20,8	20,8	1,0	22,6	21,6	-6,8
84	430,7	411,5	465,8	21,7	20,6	6,6	21,1	21,1	1,0	22,9	21,8	-6,9
85	440,9	421,0	476,5	21,9	20,9	6,7	21,4	21,3	1,0	23,2	22,1	-6,9
86	451,3	430,6	487,4	22,2	21,1	6,8	21,6	21,6	1,0	23,6	22,4	-7,4
87	461,8	440,3	498,3	22,4	21,3	6,9	21,9	21,8	1,1	23,9	22,7	-7,5
88	472,4	450,2	509,4	22,7	21,6	7,0	22,1	22,1	1,1	24,2	23,0	-7,5
89	483,1	460,1	520,6	22,9	21,8	7,1	22,4	22,3	1,1	24,4	23,2	-7,6
90	494,0	470,2	531,9	23,2	22,1	7,2	22,6	22,6	1,1	24,7	23,5	-7,7
91	505,0	480,4	543,4	23,5	22,3	7,3	22,9	22,8	1,2	25,0	23,8	-7,7
92	516,1	490,7	554,9	23,7	22,5	7,4	23,1	23,1	1,2	25,3	24,0	-7,8
93	527,3	501,1	566,6	24,0	22,8	7,5	23,4	23,3	1,2	25,6	24,3	-7,9
94	538,7	511,6	578,5	24,2	23,0	7,6	23,6	23,6	1,2	25,8	24,6	-7,9
95	550,2	522,3	590,4	24,5	23,3	7,6	23,9	23,9	1,3	26,1	24,9	-8,0
96	561,8	533,0	602,5	24,7	23,5	7,7	24,1	24,1	1,3	26,4	25,1	-8,0
97	573,6	543,9	614,7	25,0	23,7	7,8	24,4	24,4	1,3	26,7	25,4	-8,1
98	585,4	554,8	627,0	25,2	24,0	7,9	24,6	24,6	1,4	26,9	25,7	-8,2
99	597,4	565,9	639,5	25,5	24,2	8,0	24,9	24,9	1,4	27,2	25,9	-8,2
100	609,5	577,1	652,0	25,8	24,4	8,1	25,2	25,1	1,4	27,5	26,2	-8,3

Příloha D.2 Tabulka sledovaných hodnot pro případ s dekompenzační tlumivkou s laditelným výkonem o výkonu v rozsahu 170 kVAr - 1,7 MVar

Cos ϕ (0,95)	Cos ϕ (1)	Cos ϕ (-0,95)	Upm (0,95)	Upm (1)	Upm (-0,95)	I \checkmark (0,95)	Ij (0,95)	I \checkmark (1)	Ij (1)	I \checkmark (-0,95)	Ij (-0,95)
1,0	1,0	-1,0	34971,2	34971,5	34971,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,2	0,1
1,0	1,0	-1,0	34965,3	34973,0	34979,3	4,2	1,6	3,9	0,0	4,1	-1,3
1,0	1,0	-1,0	34961,6	34974,5	34987,2	8,5	2,7	8,0	0,0	8,5	-2,7
1,0	1,0	-1,0	34957,9	34976,0	34995,2	12,7	3,8	12,2	0,0	12,8	-4,0
1,0	1,0	-1,0	34954,2	34977,5	35003,1	17,0	4,9	16,3	0,0	17,2	-5,4
0,9	1,0	-1,0	34946,7	34978,3	35011,1	21,5	6,8	20,4	0,1	21,5	-6,7
1,0	1,0	-1,0	34943,0	34979,8	35019,1	25,8	7,9	24,5	0,1	25,8	-8,1
1,0	1,0	-1,0	34939,4	34981,3	35027,0	30,1	9,0	28,7	0,1	30,2	-9,5
1,0	1,0	-1,0	34935,7	34982,8	35036,9	34,3	10,0	32,8	0,1	34,7	-11,2
0,9	1,0	-1,0	34927,2	34984,3	35044,9	38,9	12,1	36,9	0,1	39,0	-12,6
1,0	1,0	-1,0	34923,5	34985,8	35052,9	43,2	13,2	41,1	0,1	43,4	-14,0
1,0	1,0	-1,0	34919,9	34987,3	35060,8	47,4	14,3	45,2	0,1	47,7	-15,3
1,0	1,0	-1,0	34916,2	34988,8	35068,8	51,7	15,4	49,3	0,1	52,1	-16,7
1,0	1,0	-1,0	34912,5	34990,3	35076,7	56,0	16,5	53,5	0,1	56,4	-18,1
1,0	1,0	-1,0	34908,8	34991,8	35084,7	60,3	17,5	57,6	0,1	60,8	-19,4
0,9	1,0	-1,0	34898,1	34993,3	35092,7	64,9	20,1	61,7	0,1	65,1	-20,8
0,9	1,0	-1,0	34894,4	34994,8	35100,6	69,2	21,2	65,9	0,1	69,5	-22,1
0,9	1,0	-1,0	34890,7	34996,3	35108,6	73,5	22,3	70,0	0,1	73,8	-23,5
1,0	1,0	-1,0	34887,0	34997,8	35116,5	77,8	23,4	74,1	0,1	78,2	-24,9
1,0	1,0	-1,0	34883,4	34999,3	35124,5	82,0	24,5	78,3	0,1	82,5	-26,2
1,0	1,0	-1,0	34879,7	35000,8	35132,5	86,3	25,5	82,4	0,1	86,9	-27,6
1,0	1,0	-1,0	34876,0	35002,3	35140,4	90,6	26,6	86,5	0,1	91,2	-29,0
1,0	1,0	-1,0	34872,3	35003,8	35148,4	94,9	27,7	90,6	0,1	95,6	-30,3
1,0	1,0	-1,0	34868,6	35005,3	35156,3	99,1	28,8	94,8	0,1	99,9	-31,7
1,0	1,0	-1,0	34864,9	35006,8	35164,3	103,4	29,9	98,9	0,1	104,3	-33,0
1,0	1,0	-1,0	34861,3	35008,3	35172,3	107,7	31,0	103,0	0,1	108,6	-34,4
1,0	1,0	-1,0	34857,6	35009,8	35180,2	112,0	32,0	107,2	0,1	113,0	-35,8
1,0	1,0	-1,0	34853,9	35011,3	35188,2	116,2	33,1	111,3	0,0	117,3	-37,1
1,0	1,0	-1,0	34850,2	35012,8	35196,1	120,5	34,2	115,4	0,0	121,7	-38,5
1,0	1,0	-1,0	34846,5	35014,3	35204,1	124,8	35,3	119,6	0,0	126,0	-39,9
1,0	1,0	-1,0	34842,8	35015,8	35212,1	129,1	36,4	123,7	0,0	130,3	-41,2
1,0	1,0	-1,0	34839,2	35017,3	35220,0	133,4	37,5	127,8	0,0	134,7	-42,6
1,0	1,0	-1,0	34835,5	35018,8	35238,3	137,6	38,6	132,0	0,0	139,8	-46,1
1,0	1,0	-1,0	34831,8	35020,3	35246,2	141,9	39,6	136,1	0,0	144,1	-47,5

1,0	1,0	-1,0	34613,0	35110,2	35811,0	403,4	104,7	388,1	0,1	415,9	-147,1
0,9	1,0	-1,0	34609,3	35111,7	35819,0	407,7	105,8	392,2	0,1	420,3	-148,5
0,9	1,0	-1,0	34605,6	35113,2	35827,0	412,0	106,9	396,3	0,1	424,7	-149,8
0,9	1,0	-1,0	34601,9	35114,7	35834,9	416,3	108,0	400,4	0,1	429,0	-151,2
0,9	1,0	-1,0	34598,2	35116,2	35842,9	420,6	109,0	404,6	0,1	433,4	-152,6
0,9	1,0	-1,0	34594,2	35117,7	35850,9	425,0	110,2	408,7	0,1	437,7	-153,9
0,9	1,0	-1,0	34589,3	35119,2	35858,9	429,3	111,6	412,8	0,1	442,1	-155,3