

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Technické a ekonomické posouzení variant
skupinové a centrální kompenzace**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav KOTĚŠOVEC**
Osobní číslo: **E10N0032P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Technické a ekonomické posouzení variant skupinové a centrální kompenzace**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

Pro konkrétní projektovou realizaci proveďte technické a ekonomické posouzení variant skupinové a centrální kompenzace.

1. Popište teorii kompenzace účinníku a technických možností jejího zajištění.
2. Porovnejte vzájemné výhody a negativa skupinové a centrální kompenzace účinníku.
3. Proveďte optimalizované návrhy praktického řešení obou alternativ skupinové a centrální kompenzace pro konkrétní technickou studii.
4. Porovnejte získané výsledné koncepce kompenzace z technického a ekonomického hlediska.

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

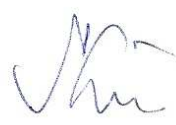
1. Dle pokynů konzultanta.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

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


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Prohlášení

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

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

V Plzni dne

.....

Poděkování

Předem mé diplomové práce bych rád touto cestou vyjádřil poděkování svému konzultantovi Ing. Josefu Kytýrovi a vedoucímu práce Ing. Karlu Noháčovi za cenné rady a konzultace při zpracování této diplomové práce.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na návrh kompenzace jalového výkonu rozsáhlého průmyslového závodu na napěťové hladině vysokého napětí. Součástí návrhu je technické a ekonomické porovnání variant skupinové a centrální kompenzace. V úvodu práce jsou zmíněny teoretické základy a možnosti kompenzace účinníku.

Klíčová slova

Kompenzace účinníku, jalový výkon, činný výkon, zdánlivý výkon, účinník, ochrana HDO, kondenzátor, tlumivka, filtr, cenová přírážka, návratnost investic.

Abstract

Technical and economic assessment group and central compensation

This thesis is focuses on the design of reactive power compensation in large industrial plant voltage level high voltage. The proposal is a technical and economic comparison of group and central compensation. The theoretical foundations and the possibility of power factor correction are discussed in the introduction.

Keywords

Power factor correction , reactive power , active power , apparent power , power factor, ripple protection , capacitors, inductors , filters , price mark-up, return of investment.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	11
ÚVOD	13
1 ZÁKLADNÍ VZORCE	14
1.1 OKAMŽITÝ VÝKON.....	14
1.2 ČINNÝ VÝKON	15
1.3 JALOVÝ VÝKON	15
1.4 ZDÁNLIVÝ VÝKON.....	16
1.5 ÚČINÍK	16
1.6 DEFORMAČNÍ VÝKON.....	17
1.7 OPRAVDOVÝ ÚČINÍK	17
2 DŮVODY KOMPENZACE	18
2.1 ZLEPŠENÍ ÚČINÍKU A SNÍŽENÍ ZDÁNLIVÉHO VÝKONU	18
2.2 ZLEPŠENÍ ÚČINÍKU A ZVÝŠENÍ ČINNÉHO VÝKONU	19
2.3 ZLEPŠENÍ ÚČINÍKU A SNÍŽENÍ ZTRÁT NA VEDENÍ	20
2.4 LEGISLATIVA	20
3 ZÁKLADNÍ MOŽNOSTI KOMPENZACE	23
3.1 INDIVIDUÁLNÍ KOMPENZACE	23
3.2 SKUPINOVÁ KOMPENZACE	25
3.3 CENTRÁLNÍ KOMPENZACE	27
4 TECHNICKÉ MOŽNOSTI KOMPENZACE	29
4.1 ROTAČNÍ KOMPENZAČNÍ ZAŘÍZENÍ	29
4.2 STATICKÉ KOMPENZÁTORY.....	32
4.2.1 Výkonové kondenzátorové baterie.....	32
4.2.2 Zapojení do trojúhelníku	32
4.2.3 Zapojení do hvězdy.....	33
4.2.4 Frekvenční závislost impedance kondenzátorů	34
4.2.5 Ztráty kondenzátoru	35
4.2.6 Způsob kompenzace v závislosti na úrovni znečištění	35
4.3 CHRÁNĚNÁ KOMPENZACE.....	36
4.3.1 Volba rezonanční frekvence	38
4.3.2 Ochrana signálu HDO.....	38
4.3.3 Volba velikosti tlumivky a kondenzátoru	43
4.3.4 Příklad návrhu tlumivky a kompenzačního výkonu	44
4.4 KOMPENZAČNÍ FILTRY	49
4.5 AKTIVNÍ FILTRY	50
4.5.1 Paralelní aktivní filtr.....	50
4.5.2 Sériový aktivní filtr	51
4.5.3 Kombinovaný aktivní filtr	52
5 ZÁKLADNÍ PRVKY KOMPENZAČNÍCH ROZVADĚČŮ	53
5.1 REGULÁTORY	53
5.1.1 Elektromechanické	53
5.1.2 Analogové	53
5.1.3 Číslicové.....	53
5.2 KONDENZÁTORY.....	54
5.2.1 Vybrané vlastnosti kondenzátorů	55
5.3 TLUMIVKY	56
5.3.1 Ochranné.....	56
5.3.2 Filtrační	57

5.3.3	<i>Dekompenzační</i>	57
5.4	SPÍNACÍ PRVKY	57
5.4.1	<i>Kontaktní spínací prvky</i>	57
5.5	BEZKONTAKTNÍ SPÍNACÍ PRVKY	59
6	PRAKTICKÝ NÁVRH SKUPINOVÉ A CENTRÁLNÍ KOMPENZACE	60
6.1	POPIS.....	60
6.2	ROZSAH PROJEKTU	60
6.3	PODKLADY PRO PROJEKT	60
7	NÁVRH SKUPINOVÉ KOMPENZACE	61
7.1	VÝROBNA PSP - ST. 1385 - ROZVODNA R1.....	62
7.1.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	62
7.1.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	64
7.1.3	<i>Výpočet impedance hradící tlumivky</i>	66
7.1.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	67
7.2	VÝROBNA CCR ST. 1325 ROZVODNA R61	69
7.2.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	69
7.2.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	70
7.2.3	<i>Výpočet impedance hradící tlumivky</i>	71
7.2.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	71
7.3	VÝROBNA NRL ST. 2314 ROZVODNA R6.1	73
7.3.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	73
7.3.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	74
7.3.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	75
7.3.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	75
7.4	VÝROBNA HYDROGENERACE ST. 3607 - ROZVODNA R6.1 POLE 1, 3	77
7.4.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	77
7.4.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	78
7.4.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	79
7.4.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	79
7.5	VÝROBNA PS 14.1 ST. 3605 ROZVODNA RIII. 1 POLE 1, 4	81
7.5.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	81
7.5.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	83
7.5.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	83
7.5.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	83
7.6	VÝROBNA PS 18.1 ST. 5402 - ROZVADĚČ R1	85
7.6.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	85
7.6.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	86
7.6.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	87
7.6.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	87
7.7	VÝROBNA PSP ST. 1385 ROZVODNA R2.....	89
7.7.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů a hradící tlumivky</i>	89
7.7.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	90
7.7.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	91
7.7.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	91
7.8	VÝROBNA CCR ST. 1325 ROZVODNA R62	93
7.8.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů a hradící tlumivky</i>	93
7.8.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	94
7.8.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	95
7.8.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	95
7.9	VÝROBNA NRL ST. 2314 ROZVODNA R6.2	97
7.9.1	<i>Návrh kompenzačních stupňů</i>	97
7.9.2	<i>Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů</i>	98
7.9.3	<i>Výpočet indukčnosti hradící tlumivky</i>	98
7.9.4	<i>Ekonomická rozvaha technické realizace</i>	99
7.10	VÝROBNA HYDROGENERACE ST. 3607 - ROZVODNA R6.2 POLE 2, 4	101

7.10.1	Návrh kompenzačních stupňů	101
7.10.2	Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů	102
7.10.3	Výpočet indukčnosti hradící tlumivky.....	103
7.10.4	Ekonomická rozvaha technické realizace	103
7.11	VÝROBNA PS 14.1 ST. 3605 ROZVODNA RIII.2 POLE 1, 4	105
7.11.1	Návrh kompenzačních stupňů	105
7.11.2	Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů	106
7.11.3	Výpočet indukčnosti hradící tlumivky.....	107
7.11.4	Ekonomická rozvaha technické realizace	107
7.12	VÝROBNA PS 18.1 ST. 5402 - ROZVADĚČ R2	109
7.12.1	Návrh kompenzačních stupňů	109
7.12.2	Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů	110
7.12.3	Výpočet indukčnosti hradící tlumivky.....	111
7.12.4	Ekonomická rozvaha technické realizace	111
7.13	NÁVRATNOST INVESTICE SKUPINOVÉ KOMPENZACE	113
8	NÁVRH CENTRÁLNÍ KOMPENZACE.....	118
8.1	NÁVRH KOMPENZAČNÍCH STUPŇŮ	118
8.1.1	Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů	120
8.1.2	Výpočet indukčnosti hradící tlumivky.....	121
8.1.3	Ekonomická rozvaha technické realizace centrální kompenzace.....	121
8.2	NÁVRATNOST INVESTICE CENTRÁLNÍ KOMPENZACE R201, R202	122
9	TECHNICKÉ PROVEDENÍ KOMPENZAČNÍCH ROZVADĚČŮ.....	125
9.1	KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ.....	125
9.1.1	Přívodní pole	125
9.1.2	Kompenzační pole	126
9.1.3	Řídící pole	127
9.2	LOGIKA ŘÍZENÍ.....	128
9.3	ODVOD ZTRÁTOVÉHO TEPLA	128
9.4	UMÍSTĚNÍ PTP.....	128
9.5	TECHNICKÉ VYBAVENÍ	128
	ZÁVĚR	131
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	133
	SEZNAM PŘÍLOH.....	135
	PŘÍLOHY.....	136

Seznam použitých symbolů

C	kapacita kondenzátoru,
c_e	cena činné energie Kč / kWh,
CK	centrální kompenzace,
cY	kondenzátor zapojení do hvězdy,
$c\Delta$	kondenzátor zapojení do trojúhelníku,
$\cos\varphi$	účinník,
$\cos\varphi_{pk}$	účinník po kompenzaci,
D	deformační výkon,
f_n	kmitočet harmonické,
f_r	rezonanční frekvence,
f_1	frekvence základní harmonické,
h	frekvenční korekční činitel,
I_b	budící proud rotoru synchronního stroje,
I_{NTz}	investiční náklady na technické zařízení kompenzace,
I_S	statorový proud synchronního stroje,
I_{Su}	investice spojené se stavebními úpravami a instalací zařízení,
k	konstanta převodu účinníku nekompensovaného asynchronního motoru,
L	indukčnost,
l	délka vedení,
M	měsíce provozu,
n	řád harmonické,
N_{ICK}	návratnost investice,
p	činitel zatlumení,
P	činný výkon,
P_{MN}	provozní měsíční náklady,
P_{pk}	činný výkon po kompenzaci,
P_{sm}	smluvní výkon dodavatele,
P_Z	ztráty kondenzátoru,
ΔP	činné ztráty,
$\Delta P_{u\check{s}\%}$	procentuální ušetřené činné ztráty,
ΔP_k	činné ztráty transformátoru v zapojení nakrátko,
Q	jalový výkon,

Q_i	instalovaný kompenzační výkon,
Q_k	potřebný kompenzační výkon,
$Q_{k/8\%}$	kompenzační výkon kondenzátoru s 8 % zatlumením,
Q_{pk}	jalový výkon po kompenzaci,
R	roky provozu,
S	zdánlivý výkon,
S_H	zdánlivý výkon zařízení generující harmonické,
SK	skupinová kompenzace,
S_n	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru,
S_{pk}	zdánlivý výkon po kompenzaci,
S_{TR}	zdánlivý výkon hlavního transformátoru,
t	čas,
U_{ib}	Indukované napětí,
U_K	napětí transformátoru nakrátko,
U_{MN}	ušetřené měsíční náklady,
U_{MN}	udržovací měsíční náklady,
U_n	jmenovité napětí transformátoru,
$U_{\ddot{r}}$	řídící napětí tónového kmitočtu,
$U_{\ddot{r}min}$	minimální úroveň řídícího napětí,
U_V	vypočtená úroveň řídícího napětí,
ΔU	rozdíl mezi skutečnou a vypočtenou úrovní řídícího napětí,
X_c	kapacitní reaktance,
X_L	induktivní reaktance,
Z	impedance,
Z_{HDO}	absolutní hodnota impedance zařízení odběratele na kmitočtu HDO ve společném napájecím bodě,
α	impedanční činitel,
α_{min}	minimální hodnota impedančního činitele,
β	koeficient soudobosti zátěže,
φ	fázový posun,
λ	opravdový účinník.

Úvod

Kompenzace jalového výkonu je dnes již součástí téměř každého průmyslového rozvodu. Důvodem jsou striktně stanovená pravidla pro odběratele elektrické energie, jejichž porušování je trestáno v podobě znatelné cenové přírážky.

Zvýšený odběr jalové energie je dán neefektivním provozem spotřebičů. V průmyslu hovoříme především o asynchronních motorech s výkonem desítek až stovek kW. Provoz těchto motorů je často proměnlivý a nedá se snadno odhadnout. Motory jsou dimenzovány na nejvyšší provozní výkon, tato situace však může nastat jen několikrát za výrobní směnu, po zbytek provozu jsou jen částečně vytíženy, jejich účinnost klesá a s ním se zvyšuje spotřeba jalové energie. Abychom zabránili přenosu této energie z přenosové soustavy, a tím tak i cenovým přírážkám od distributora, instalujeme poblíž spotřebičů kompenzační zařízení, které poskytuje potřebné množství jalové energie a udržuje účinnost na předepsané hranici $\cos \varphi = 0,95$.

Cílem diplomové práce je návrh vhodného kompenzačního zařízení pro část průmyslového rozvodu rafinérské společnosti v Litvínově včetně technického a ekonomického porovnání variant skupinové a centrální kompenzace. Praktický návrh je zpracován v druhé části této práce. Úvodní část je věnována základním teoretickým znalostem v oblasti kompenzace účinnosti a měla by sloužit ke zorientování čtenáře v dané problematice

1 Základní vzorce

1.1 Okamžitý výkon

Velikost harmonického napětí a proudu v daném časovém okamžiku lze stanovit jako:

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi),$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \varphi).$$

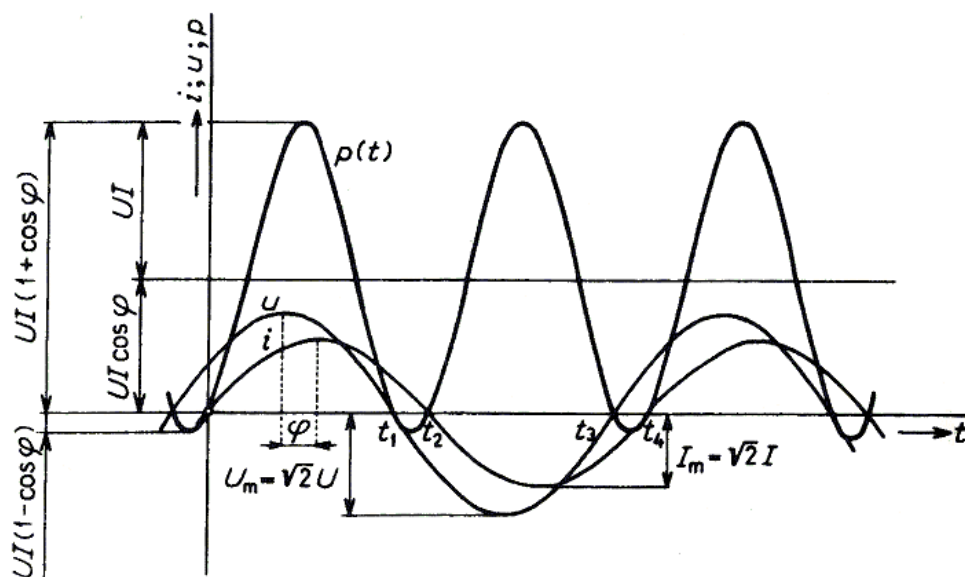
Okamžitý harmonický výkon je dán součinem těchto hodnot

$$P(t) = u(t) * i(t) = 2UI \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega t = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi) [W].$$

Předchozí rovnici lze upravit na tvar

$$P(t) = UI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) + UI \sin \varphi \sin 2\omega t,$$

kde první složku představuje okamžitý činný výkon, který je vždy kladný a ve spotřebičích se přeměňuje v jiný druh energie. Druhou složkou je okamžitý jalový výkon, který mění svoji polaritu a střídavě se přelévá mezi zdrojem a spotřebičem.



Obr. 1 Okamžitý výkon $p(t)$ harmonického napětí $u(t)$ a proudu $i(t)$ pasivního dvojpólu[4]

Neharmonický okamžitý výkon je dán součinem všech okamžitých napětí a proudů jednotlivých harmonických.

$$P(t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t) \sum_{l=0}^{\infty} I_l(t) [W]$$

1.2 Činný výkon

Je definován jako střední hodnota okamžitého činného výkonu (Obr. 2). Přenáší se od zdroje ke spotřebiči, kde se nenávratně proměňuje v jiný druh energie, například v teplo nebo mechanickou energii, proto se mu také říká činný výkon.

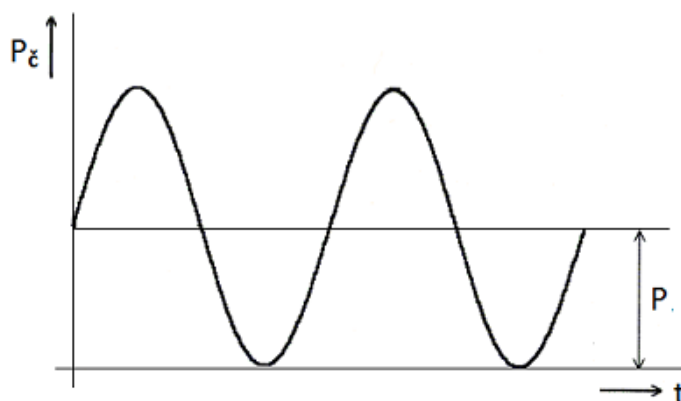
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt [W]$$

Jakmile není průběh napětí a proudu čistě sinus první harmonické, je výsledný výkon roven součtu všech činných výkonů.

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_x [W]$$

Pro praxi používáme převážně výpočet s harmonickým proudem a napětím.

$$P = UI \cos \varphi [W]$$



Obr. 2 Časový průběh okamžitého činného výkonu

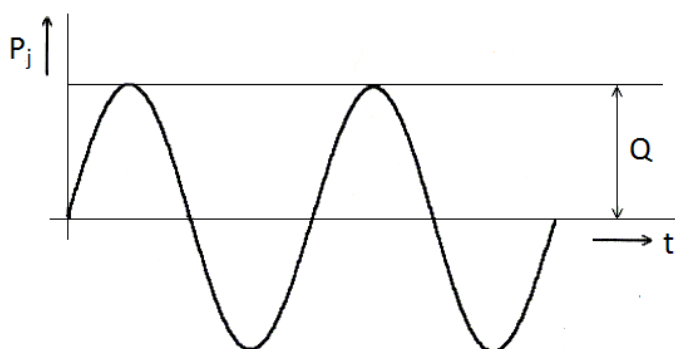
1.3 Jalový výkon

Je definován jako amplituda okamžitého jalového výkonu (Obr. 3). Jedná se o část energie, která se přelévá ze zdroje do spotřebiče. Je to způsobeno tím, že v první části periody energie vytváří v kondenzátoru elektrické pole, v případě cívky magnetické pole, které v druhé části periody zaniká a energie se vrací zpět do obvodu. Jalový výkon může nabývat jak kladných, tak záporných hodnot. V případě kapacitní zátěže se napětí zpožďuje za proudem a jalový výkon má záporné znaménko, u induktivní zátěže je tomu naopak. Jalový výkon nemá stejnosměrnou složku.

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k [VAr]$$

V praxi používáme převážně výpočet s harmonickým proudem a napětím.

$$Q = UI \sin \varphi \text{ [VAr]}$$



Obr. 3 Časový průběh okamžitého jalového výkonu

1.4 Zdánlivý výkon

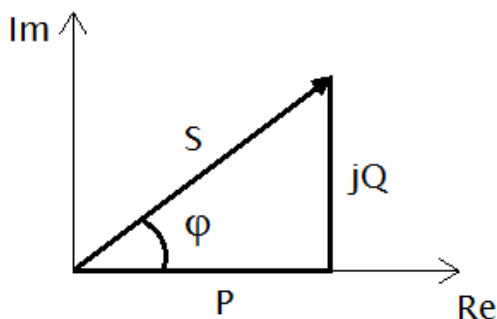
Je definován jako amplituda harmonické složky okamžitého činného výkonu a byl zaveden z ryze výpočtových důvodů. Představuje maximální činný výkon v případě dosažení hodnoty účinníku $\cos \varphi = 1$.

Výpočet pro harmonický průběh proudu a napětí:

$$S = UI \text{ [VA]}$$

1.5 Účinník

Je definován jako fázové posunutí mezi napětím a proudem základní (první) harmonické. Označujeme ho $\cos \varphi$. Hodnota účinníku je vždy kladná, popřípadě hovoříme o induktivním ($\varphi > 0$), nebo kapacitním účinníku ($\varphi < 0$).



Obr. 4 Trojúhelník výkonů

Jedná se o bezrozměrnou veličinu stanovenou jako:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} [-].$$

Výpočet účinníku a vztah mezi činným, jalovým a zdánlivým výkonem vyplývá z trojúhelníku výkonů (Obr. 4). Nadále platí:

$$S^2 = P^2 + Q^2 [VA].$$

1.6 Deformační výkon

Vzniká součinem napětí a proudů různých frekvencí. Existence vyšších harmonických zvyšuje zdánlivý výkon. Mezi jednotlivými výkony platí:

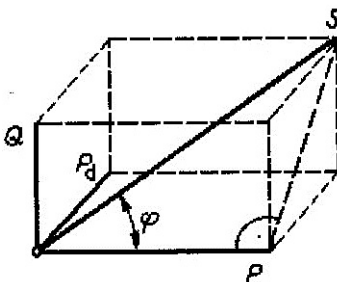
$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 [VA],$$

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 + Q^2} [VA].$$

1.7 Opravdový účinník

Opravdový neboli skutečný účinník v sobě zahrnuje také deformační výkon, tedy vliv vyšších harmonických napětí a proudů. Od účinníku $\cos\varphi$ se v praxi může výrazně lišit.[6][4]

$$\lambda = \frac{P}{S} [-].$$



Obr. 5 Zobrazení deformačního výkonu a opravdového účinníku[4]

2 Důvody kompenzace

Přenášený zdánlivý výkon ke spotřebiči je tvořen jalovou a činnou složkou energie. Činná složka se efektivně přeměňuje na jiný druh energie, zatímco jalová složka kmitá od spotřebiče ke zdroji a nekoná žádnou práci. Jejím přenosem zvyšujeme zdánlivý výkon respektive proud. To má za následek zvýšení úbytku napětí a ztrát na přívodním vedení, snížení činného výkonu transformátorů a dimenzování veškerých zařízení v síti na tento zvýšený proud.

Způsob, jak omezit přenos jalového proudu a odstranit výše zmíněné následky, je jeho výroba v blízkosti spotřebiče. Tím se sníží nebo dokonce celkově potlačí jeho přenos v rozvodných sítích. Tento způsob se nazývá kompenzace jalového výkonu nebo jinak kompenzace účinníku.

Kompenzace se provádí paralelním připojením kompenzačního zařízení k síti v podobě kondenzátorových baterií, synchronních kompenzátorů nebo kompenzačních filtrů. Vliv kompenzace se projevuje jen v určité části soustavy, od kompenzačního zařízení směrem ke zdroji.

Využitím kompenzace účinníku dosáhneme:

- dimenzování zařízení na nižší provozní proudy, tzn. menší pořizovací náklady,
- vyšší využití rozvodných zařízení, můžeme přidávat další zařízení bez nutnosti přestavby sítě,
- snížení úbytku napětí v síti vlivem omezení jalového proudu $\Delta U \approx I$,
- snížení přenosových ztrát $\Delta P \approx RI^2$,
- zlepšení zkratových poměrů v síti.

2.1 Zlepšení účinníku a snížení zdánlivého výkonu

Za předpokladu zachování činného výkonu a změny účinníku ($tg\varphi_k < tg\varphi$), získáme menší zdánlivý výkon Obr. 6. V závislosti na požadovaném zmenšení zdánlivého výkonu lze určit velikost potřebného kompenzačního výkonu

$$Q_k = Q - Q_{pk} = P * (tg\varphi - tg\varphi_k),$$

kde je

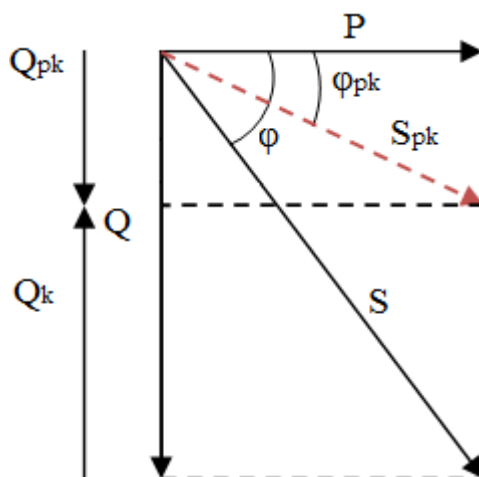
Q jalový výkon před kompenzací,

Q_k potřebný kompenzační výkon,

Q_{pk} jalový výkon po kompenzaci.

Účinník po kompenzaci určíme ze vztahu

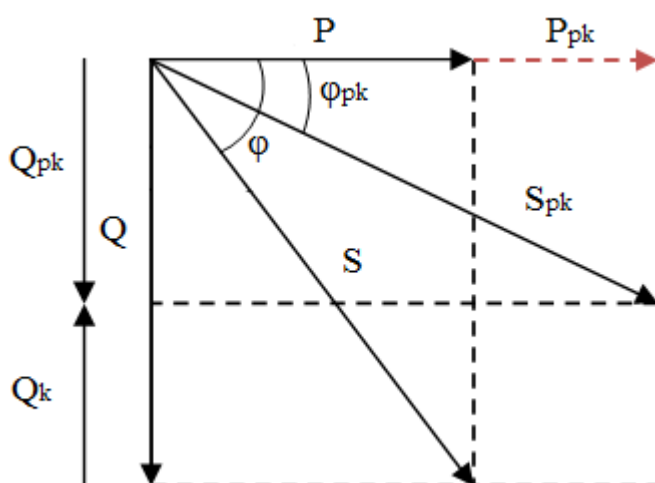
$$\cos \varphi_{pk} = \frac{P}{S_{pk}}$$



Obr. 6 Kompenzace podle zmenšení zdánlivého výkonu

2.2 Zlepšení účinníku a zvýšení činného výkonu

Za předpokladu zachování zdánlivého výkonu se při zlepšení účinníku zvětší činný výkon Obr. 7.



Obr. 7 Kompenzace podle zvýšení činného výkonu

Potřebujeme-li například připojit další zátěž na transformátor a nezvyšovat zdánlivý výkon, určíme potřebný kompenzační výkon dle následujícího vztahu

$$Q_k = (Q + Q_x) - Q_{pk} = (P * tg\varphi + P_x * tg\varphi_x) - (P + P_x) * tg\varphi_{pk},$$

kde index x značí výkon a účinník další připojené zátěže.

Účinník po kompenzaci určíme jako

$$\cos \varphi_{pk} = \frac{P + P_x}{S_{pk}} = \frac{P + P_x}{S}.$$

2.3 Zlepšení účinníku a snížení ztrát na vedení

Ušetřené ztráty lze vypočítat ze vztahu

$$\Delta P_{u\%} = (\Delta P - \Delta P_k) \frac{100}{\Delta P} = \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} - \frac{1}{\cos^2 \varphi_{pk}} \right) \cos \varphi 100 = 100 \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi_{pk}} \right),$$

který vyjadřuje procentní snížení ztrát ze ztrát původních.[2][3]

2.4 Legislativa

Energetický regulační úřad podle § 2c zákona č. 265/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky v oblasti cen, ve znění pozdějších předpisů, a § 17 odst. 46 písm. d), odst. 11 a odst. 12 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, vydává cenové rozhodnutí o cenách elektřiny a souvisejících služeb. [8]

Ceny distribučních služeb uvedené v cenovém rozhodnutí jsou stanoveny za předpokladu dodržení induktivního účinníku v rozmezí $\cos \varphi = 0,95$ až $\cos \varphi = 1,00$. Pokud se domluví zákazník s provozovatelem distribuční sítě, lze rozmezí dodržení induktivního účinníku změnit.

Účinník se vyhodnocuje ve všech odběrných místech na napěťových hladinách vvn a vn. Pro výpočet účinníku $\cos \varphi$ se využívá měření jalové a činné energie ve stejných časových úsecích. Pro odběrná místa vybavená měřením typu A nebo B používáme čtvrt hodinové průběhové měření, pro odběrná místa vybavená měřením typu C se účinník vyhodnocuje v době stanovené provozovatelem distribuční sítě. Měření probíhá po dobu 24 h, denně pro všechny typy měření.

Z naměřených hodnot jalové a činné energie za stanovené období určíme $tg\varphi$

$$tg\varphi = \frac{Q [kVArh]}{P [KWh]}$$

a k tomu odpovídající účinník $\cos\varphi$.

Jestliže se účinník $\cos\varphi$ pohybuje v rozmezí 0,95 - 1,00, zákazník neplatí žádnou cenovou přírážku, v opačném případě je cenově znevýhodněn.

Tab. 1 Cenová přírážka za nedodržení požadovaného účinníku dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2011 ze dne 21. listopadu 2011. [8]

Rozsah $tg\varphi$ kVArh/kWh	Účinník Cos φ	Přírážka v %	Rozsah $tg\varphi$ kVArh/kWh	Účinník Cos φ	Přírážka v %
0,311-0,346	0,95	-	1,008-1,034	0,70	37,59
0,347-0,379	0,94	1,12	1,035-1,063	0,69	39,66
0,380-0,410	0,93	2,26	1,064-1,092	0,68	41,80
0,411-0,440	0,92	3,43	1,093-1,123	0,67	43,99
0,441-0,470	0,91	4,63	1,124-1,153	0,66	46,25
0,471-0,498	0,90	5,85	1,154-1,185	0,65	48,58
0,499-0,526	0,89	7,10	1,186-1,216	0,64	50,99
0,527-0,553	0,88	8,37	1,217-1,249	0,63	53,47
0,554-0,580	0,87	9,68	1,250-1,281	0,62	56,03
0,581-0,606	0,86	11,02	1,282-1,316	0,61	58,67
0,607-0,632	0,85	12,38	1,317-1,350	0,60	61,40
0,633-0,659	0,84	13,79	1,351-1,386	0,59	64,23
0,660-0,685	0,83	15,22	1,387-1,423	0,58	67,15
0,686-0,710	0,82	16,69	1,424-1,460	0,57	70,18
0,711-0,736	0,81	18,19	1,461-1,494	0,56	73,31
0,737-0,763	0,80	19,74	1,495-1,532	0,55	76,56
0,764-0,789	0,79	21,32	1,533-1,579	0,54	79,92
0,790-0,815	0,78	22,94	1,580-1,620	0,53	83,42
0,816-0,841	0,77	24,61	1,621-1,663	0,52	87,05
0,842-0,868	0,76	26,32	1,664-1,709	0,51	90,82
0,869-0,895	0,75	28,07	1,710-1,755	0,50	94,70
0,896-0,922	0,74	29,87	Vyšší než	Nižší než	
0,923-0,949	0,73	31,72			
0,950-0,977	0,72	33,63			
0,978-1,007	0,71	335,58	1,755	0,50	100,00

Cenová přírážka je stanovena jako součin hodnot nejvyššího naměřeného čtvrt hodinového výkonu za vyhodnocované období, ceny za rezervovanou kapacitu na příslušné napěťové hladině a odpovídající hodnoty přírážky (přírážka v % podle tabulky

1 dělená 100) a jako součet ceny za použití sítí na příslušné napěťové hladině a ceny za silovou elektřinu, vynásobený odpovídající hodnotou přírážky (přírážka v % podle tabulky 1 dělená 100) a množstvím elektřiny za vyhodnocované období.[8]

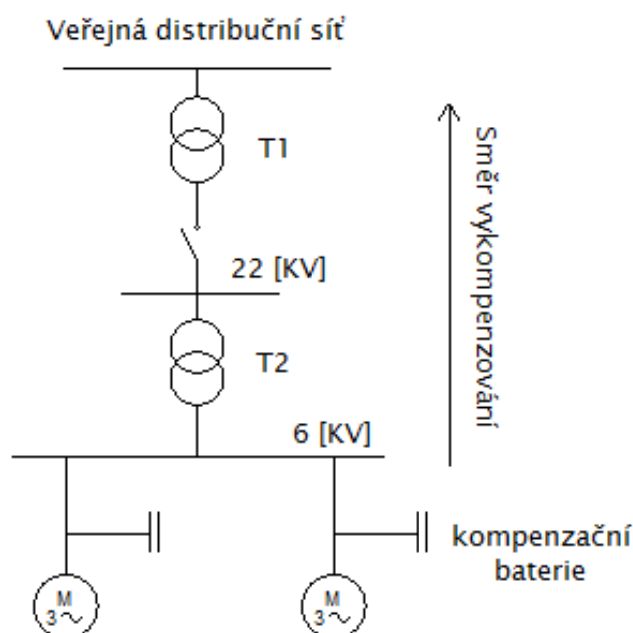
Z předchozí tabulky je patrný značný cenový dopad za nedodržení přeepsané meze účinníku $\cos \varphi$. Návratnost investicí do kompenzačního zařízení se zpravidla pohybuje v řádech měsíců až několika roků. Záleží především na velikosti účinníku a odběru energie. Čím větší spotřeba s horším účinníkem, tím rychlejší návratnost investic.

V kapitole 7 a 8 jsou uvedeny praktické výpočty cenové přírážky pro reálné příklady spotřeby jalové energie v rafinérské společnosti, včetně investičních nákladů a doby návratnosti. Přestože se zde investice pohybují v řádech několika miliónů korun, návratnost je v řádech několika málo měsíců.

3 Základní možnosti kompenzace

3.1 Individuální kompenzace

V tomto případě hovoříme o kompenzačním prvku, který je připojen přímo na svorky spotřebiče a nebo v jeho těsné blízkosti. K vykompenzování dochází v celé šířce od zdroje až po spotřebič. Umístění kompenzačních baterií a směr vykompenzování je znázorněn na Obr. 8. Norma ČSN 33 3080 tento způsob zapojení upravuje a upřednostňuje ho, ale ne vždy je vhodný. Získáváme maximální úsporu elektrické energie, ale na druhou stranu kompenzační zařízení využíváme jen po dobu běhu spotřebiče, v případě nečinnosti ho nelze využívat jinde.



Obr. 8 Zjednodušené schéma umístění individuální kompenzace

Výhody

Celé přívodní vedení od zdroje až po spotřebič je vykompenzované a dovoluje nám dimenzovat vodiče na nižší provozní proudy popřípadě využívat stávající vedení pro větší výkon díky omezení přenosu jalového výkonu. Kompenzační baterie je spínána a vypínána zároveň se spotřebičem. Při správném návrhu velikosti kapacitoru nedochází k překompenzování sítě vlivem připojení spotřebiče k síti. Ve většině případů se toto zapojení používá výhradně bez regulátoru jalového výkonu, a proto je také tato varianta provozně

spolehlivější než ostatní možnosti. Případná porucha jednoho kompenzačního prvku neohrožuje chod ostatních kompenzačních zařízení.

Nevýhody

Individuální kompenzace vyžaduje vhodný prostor zejména z hlediska přístupnosti u každého spotřebiče, který je takto vybaven. Může tak dojít k jeho nedostatku a k umístění kompenzačních baterií na nevhodná místa. Následná revize a údržba těchto zařízení je komplikovaná z důvodů četného rozmístění po okolí, například po výrobní hale.

Odpojením asynchronního motoru od sítě vzniká tzv. samobuzení. Rotor motoru se setrvačností dotáčí. Kondenzátor, který je paralelně připojen na svorky statorového vnutí, působí jako zdroj budícího napětí a postupně se přes vnutí vybíjí. Na statoru vzniká elektromagnetické pole. V rotoru způsobuje naindukovaný proud ztráty v mědi a v železe a dochází k jeho účinnému brzdění. Z asynchronního motoru se stává asynchronní generátor. Napětí v kondenzátoru se poměrně rychle vybíjí a při určitých otáčkách rotoru může dojít k paralelní rezonanci kondenzátoru a statorového vnutí. Při paralelní rezonanci prochází rezonančním obvodem maximální napětí vlivem nekonečné impedance. Kondenzátor se najednou vybije do vnutí, vzniká několikanásobné přepětí a mechanické rázy vlivem okamžitého zabrzdění motoru. Je ohrožen jak kondenzátor, tak vnutí motoru. Samobuzení motoru a následnou rezonanci lze omezit správným navržením velikostí kondenzátorových baterií, použitím vybíjecích odporů u kondenzátorů a nebo okamžitým odpojením kondenzátorů od vnutí po odpojení motoru od sítě.

Použití

Individuální kompenzace je součástí zářivkových a výbojkových svítidel. Je vhodné ji používat pro motory vyšších výkonů od 5 [kW] a více s velkým časovým využitím. Využívá se také pro kompenzaci transformátorů v provozním stavu naprázdno.[2][3]

Návrh individuální kompenzace pro asynchronní motor

Asynchronní motory jsou nejčastějším spotřebičem elektrické energie vůbec. V průmyslu tvoří téměř 70 % instalovaného výkonu, z toho převážná většina jsou asynchronní motory s kotvou nakrátko. Motory odebírají činnou a jalovou energii. Velikost jalové energie závisí zejména na jalových složkách impedance statoru a rotoru a jalové složce hlavní impedance charakterizující vlastnosti motoru.

Účinnost asynchronního motoru se pohybuje v rozmezí dvou hodnot, daných provozním stavem naprázdno, kdy se projevují zejména jeho magnetizační vlastnosti a provozním stavem v zatížení, kdy se projevují jak statorové, tak rotorové impedance.

Účinnost asynchronního motoru se při jmenovité zátěži pohybuje přibližně v rozmezí od 0,6 do 0,9. Při malém zatížení a zejména při chodu naprázdno je daleko nižší.

Možností stanovení velikosti kompenzační baterie pro asynchronní motor je několik. Zjednodušeně můžeme říct, že výkon individuálně připojené baterie by měl být přibližně 30 až 35 % činného výkonu motoru. Pro orientační odhad můžeme využít také Tab. 2, nebo jednoduchý výpočet

$$Q_k = P * k \text{ [VAr]},$$

kde je

Q_k kompenzační výkon kondenzátoru (kVAr),

P výkon asynchronního motoru,

k konstanta převodu účinníku nekompensovaného asynchronního motoru na $\cos \varphi = 0,95$ z Tab. 3.

Tab. 2 Konstanta převodu účinníku nekompensovaného asynchronního motoru [1]

cos φ	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
k	0,97	0,84	0,69	0,55	0,42	0,29	0,16	0,12	0,09	0,07	0,03

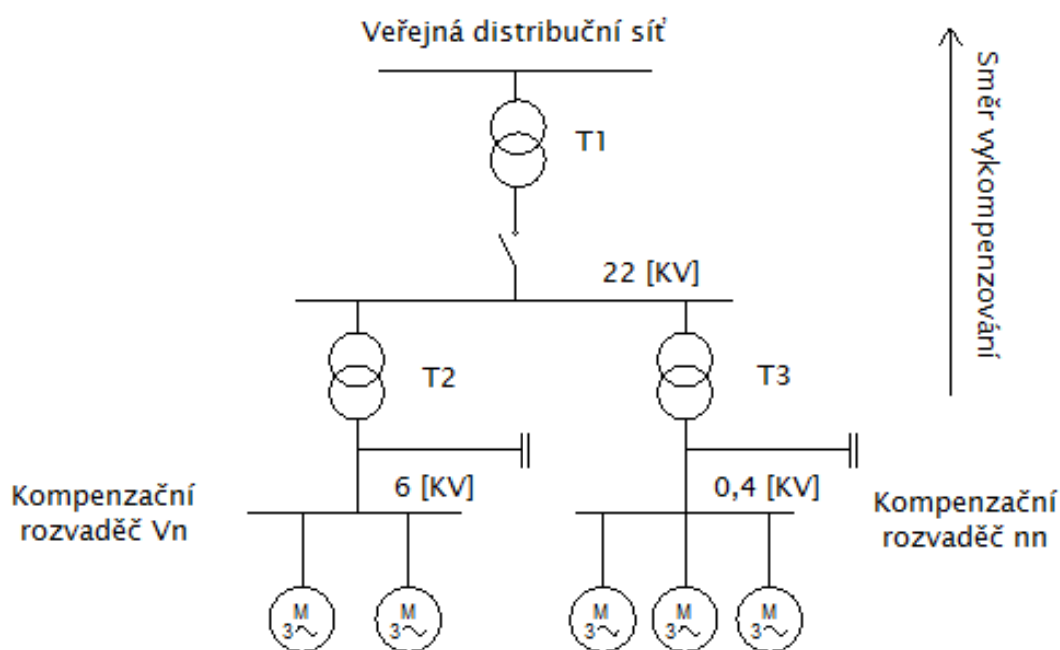
Tab. 3 Orientační stanovení kompenzační baterie pro individuální kompenzaci asynchronního motoru [1]

Příkon motoru [kVA]	4,0	5,5	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0	37,0	50,0	63,0	80,0	100,0
Výkon kondenzátoru [kVAr]	2,0	3,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	27,0	33,0

3.2 Skupinová kompenzace

Kompenzační zařízení je připojeno na přípojnicích rozvaděče pro určitou skupinu spotřebičů (Obr. 9). Nejčastěji se provádí kompenzace na rozvaděcích vn/nn v průmyslových závodech. Potřebný kompenzační výkon se stanovuje z výpočtového zatížení skupiny

spotřebičů daného rozvaděče, z měření pomocí analyzátoru sítě nebo z odečtu spotřebované energie z elektroměru. Analyzátor sítě je schopen měřit a zaznamenávat proudy, činnou, zdánlivou, jalovou spotřebovanou energii a přítomnost vyšších harmonických v síti. Na základě těchto informací pak snadno navrhne kompenzační výkon rozvaděče, počet kompenzačních stupňů, následně pak velikost ochranných tlumivek či filtrů vyšších harmonických.



Obr. 9 Zjednodušené schéma umístění skupinové kompenzace

Výhody

Celkový kompenzační výkon je menší než u individuální kompenzace vlivem nesoudobosti jednotlivých spotřebičů. Je odstraněna nevýhoda předešlého zapojení, kdy nelze využívat kompenzační výkon baterie v době nečinnosti připojeného spotřebiče. Kompenzační zařízení může být umístěno v rozvaděči (menší výkony), nebo v kobkách (velké výkony) na přístupném a přehledném místě, zařízení je prostorově méně náročné a lépe přístupné pro obsluhu.

Nevýhody

Instalací skupinové kompenzace dochází k vykompenzování přívodního vedení od zdroje až po rozvaděč, přívodní vedení ke spotřebičům není vykompenzováno, a proto

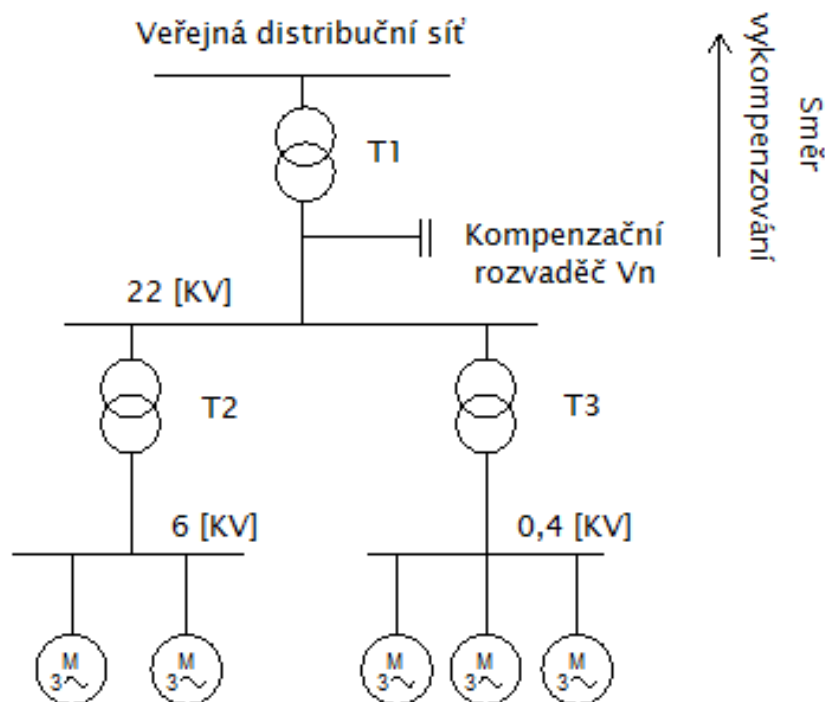
musí být dimenzováno na plný výkon. Je potřeba využít regulátor kompenzačního výkonu a spínací prvky kondenzátorů, tím se snižuje spolehlivost celého systému.

Použití

Používá se především v průmyslových rozvodech, kde je zapotřebí kompenzovat jalový výkon od několika spotřebičů najednou, které jsou různě časově vytíženy. Je to zpravidla na rozvaděčích nízkého a vysokého napětí.

3.3 Centrální kompenzace

Je velice podobná kompenzaci skupinové jen s tím rozdílem, že je připojena na přípojnice hlavního transformátoru, kompenzuje celý závod najednou (Obr. 10). Je zapotřebí použití vhodného regulátoru jalového výkonu, který je schopen zajistit dodržování požadovaného účinníku $\cos \varphi$ v daných mezích. Ve většině případech se používá společně s individuální nebo skupinovou kompenzací. V takových případech pak hovoříme o kombinované kompenzaci.



Obr. 10 Zjednodušené schéma umístění centrální kompenzace

Výhody

Potřebný kompenzační výkon je díky soudobosti chodu spotřebičů ještě o něco menší než u předešlého typu zapojení. Kontrola zařízení je ulehčena tím, že je veškeré kompenzační zařízení pro celý závod na jednom místě (rozvaděče, kobky).

Nevýhody

U centrální kompenzace musíme veškeré vodiče dimenzovat na plný výkon, k vykompenzování dochází až u hlavního transformátoru. Velkou nevýhodou je, že v případě poruchy kompenzačního zařízení bude hlavním transformátorem procházet plný výkon po dobu opravy poruchy, v takových případech může dojít k omezení, nebo odstavení výroby.[2][3][5]

4 Technické možnosti kompenzace

4.1 Rotační kompenzační zařízení

V kompenzaci jalového výkonu můžeme využít vlastnosti synchronního motoru. Patří do skupiny točivých strojů, jehož frekvence svorkového napětí je přímo úměrná otáčkám a počtu pólových dvojic. Otáčky rotoru jsou shodné s otáčkami statorového magnetického točivého pole, proto také hovoříme o synchronním stroji.

Princip funkce synchronního motoru

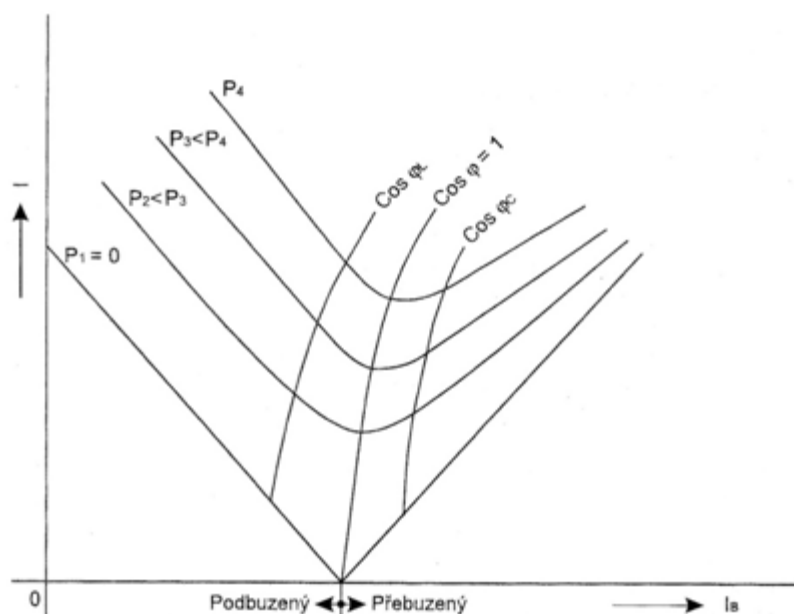
Problémem synchronního stroje je, že se nedokáže rozběhnout sám a musí se využít zvláštního rozběhu jako je například frekvenční rozběh, rozběh za pomoci asynchronního efektu nebo externího asynchronního motoru, který roztočí rotor na otáčky blízké synchronním. Poté již zapůsobí vliv třífázového točivého pole statoru na konstantní pole rotoru, které je tvořeno stejnosměrným budícím proudem. Rotor se jeho vlivem roztočí na otáčky statorového točivého pole a je vtáhnut do synchronizmu.

Synchronní točivý stroj můžeme využít jako:

- synchronní generátor,
- synchronní motor,
- synchronní kompenzátor,
- synchronní konvertor,
- středofrekvenční alternátor.

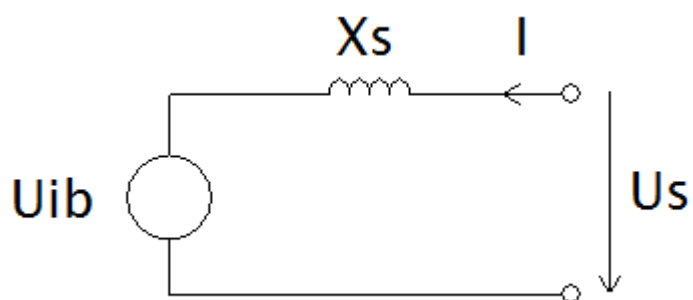
Nadále se budeme zabývat synchronním kompenzátorem.

Synchronní kompenzátor je synchronní motor, který pracuje v režimu naprázdno, jeho hřídel rotoru není zatížena a mnohdy není ani vyvedena z motoru, činný výkon je tedy konstantní a je téměř nulový. Statorové vnutí je napájeno třífázovým napětím s konstantní velikostí a frekvencí. Rotorové vnutí je buzeno stejnosměrným proudem. Za těchto podmínek existuje závislost statorového proudu I_S na budícím proudem rotoru $I_S = f(I_b)$. Tato závislost se nazývá V křivkou synchronního stroje (Obr. 11). Změnou velikosti budícího proudu můžeme docílit změny účinníku motoru jak v oblasti kapacitního, tak v oblasti induktivního charakteru. Snížením budícího proudu se změní i velikost indukovaného napětí ve statorovém vnutí U_{ib} , rozdíl napětí U_{ib} a U_S způsobí průchod proudu I .

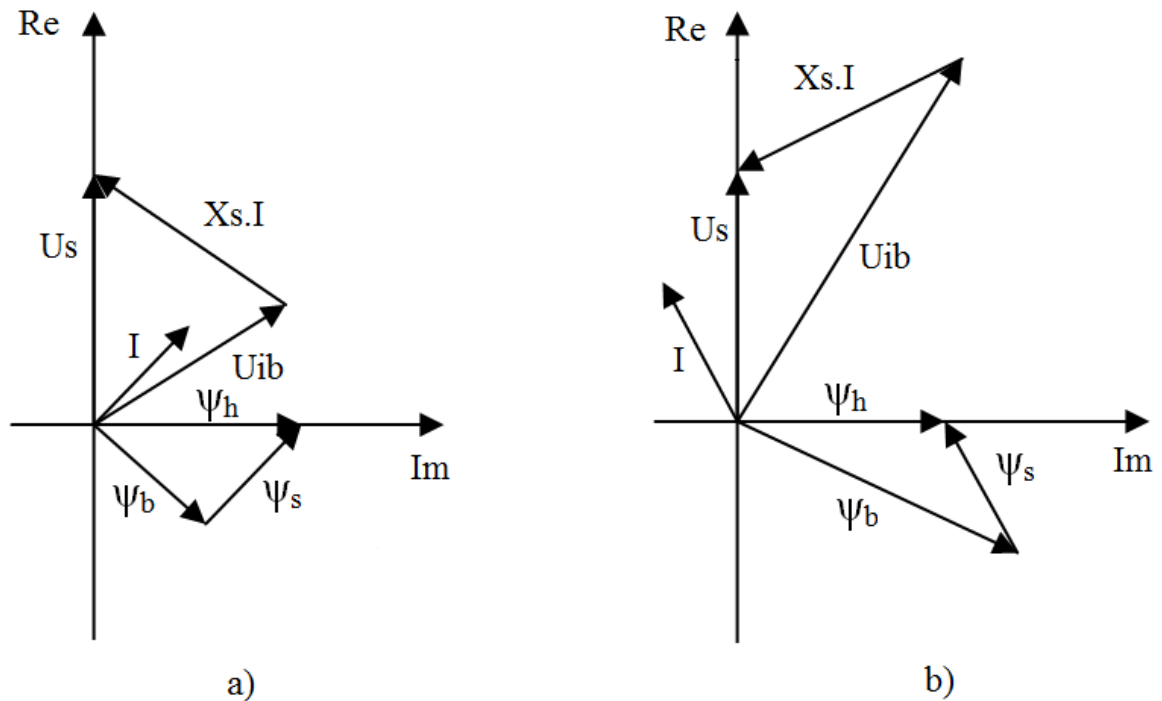


Obr. 11 V křivka synchronního stroje.[2]

Snižováním budícího proudu dochází k postupnému odbuzení a fázovému posunu. Napětí U_s předbíhá proud I , stroj se chová vůči síti jako indukčnost, odebírá ze sítě jalový výkon. Zvýšením budícího proudu dojde k přebuzení stroje a k opačnému fázovému posunu. Stroj se chová jako kapacita a dodává jalový výkon do sítě. Na Obr. 12 můžeme vidět zjednodušené schéma synchronního stroje a na Obr. 13 příslušné fázové diagramy pro kapacitní a induktivní charakter motoru na tvrdé síti.



Obr. 12 Zjednodušené náhradní schéma synchronního motoru



Obr. 13 Fázový diagram synchronního stroje, a) v podbuzeném stavu, b) v přebuzeném stavu

Před nasazením synchronních strojů do praxe je nutné opatřit budicí obvod vhodným regulátorem budicího proudu, který bude schopen zajistit požadované změny dodávaného jalového výkonu v závislosti na měnící se zátěži. Změna zátěže může být velice rychlá a rozdílná. V těchto případech, i přes použití rychlého regulátoru, jako je například řízený usměrňovač, nedosáhneme požadovaných výsledků. Vždy bude požadovaná změna jalového výkonu doprovázena určitým zpožděním. Synchronní motor není schopen mžikově měnit své vlastnosti a při rychlých změnách dodává kompenzační výkon v době, kdy ho již není potřeba a naopak. Z tohoto důvodu je nevhodné používat synchronní kompenzátor v aplikacích s dynamicky se měnící zátěží, jako jsou například obloukové pece.

Synchronní stroje jsou převážně konstruovány na hladinu vysokého napětí 6 kV s výkonem pohybujícím se od 1 do 15 MVar. Jejich pomalejší regulace a velký výkon se dá využít v systému centrální kompenzace ve velkých průmyslových sítích a pro kompenzaci jalového výkonu u pomalu se měnící nebo konstantní zátěže.

V některých případech však "pomalá" regulace kompenzačního výkonu synchronního stroje může být rychlejší než běžná regulace kompenzačního výkonu kondenzátorových baterií. Jestliže dojde k odpojení kondenzátorové baterie od sítě, její znovu zapojení je možné až po úplném vybití, jinak hrozí nebezpečné přechodové jevy. Vybíjení kondenzátorových

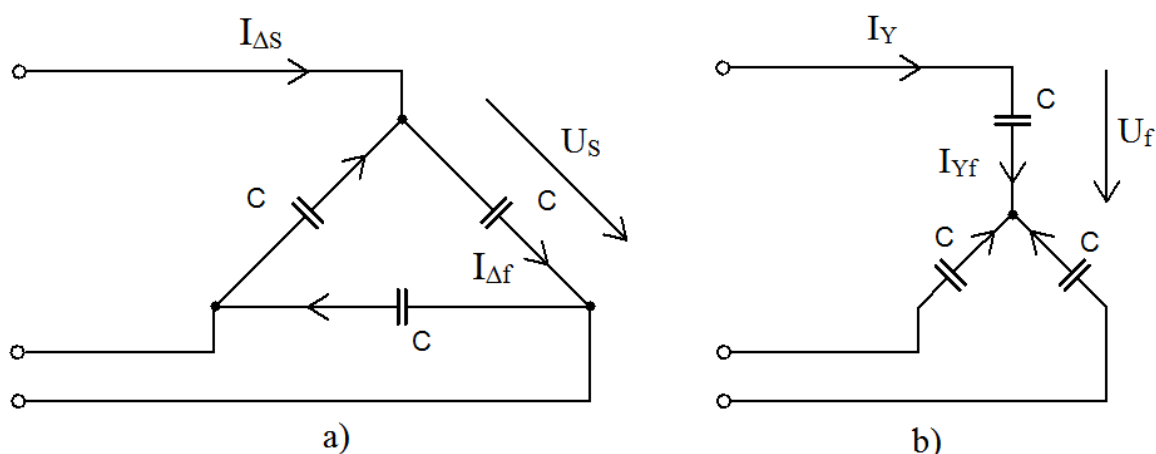
baterií s velkým výkonem může trvat až několik minut. V těchto případech je regulace synchronního stroje rychlejší.

Význam synchronních kompenzátorů pomalu upadá a přednost se dává statickým kompenzačním zařízením, která nekladou takové nároky na prostor a údržbu.[2]

4.2 Statické kompenzátory

4.2.1 Výkonové kondenzátorové baterie

Kondenzátorové baterie slouží pro kompenzaci jalového výkonu induktivního charakteru v sítích nízkého a vysokého napětí. Kompenzační výkon jednotlivých baterií se pohybuje od jednotek až po desítky a stovky kVAr. Záleží na konstrukci kondenzátoru, ale také na jeho zapojení. Na Obr. 14 jsou znázorněny dvě možnosti základního zapojení kondenzátorových baterií do třífázové soustavy, a) zapojení do trojúhelníku, b) zapojení do hvězdy.



Obr. 14 a) zapojení do trojúhelníku, b) zapojení do hvězdy

4.2.2 Zapojení do trojúhelníku

Výhodou zapojení do trojúhelníku je velký výsledný kompenzační výkon baterií, který je trojnásobný oproti zapojení do hvězdy, uvažujeme-li stejné kapacity dílčích kondenzátorů. Nevýhodou je však sdružené napětí a zvýšený průchod proudu kondenzátorem ($I_{\Delta f}$). Proud je závislý na impedanci a napětí na kondenzátoru. Připojením na vyšší hladiny napětí roste.

4.2.3 Zapojení do hvězdy

Na hladinách vysokého napětí je vhodnější zvolit zapojení kondenzátorů do hvězdy. Na jednotlivých kondenzátorech je fázová hodnota napětí a procházející proud je třetinový oproti sdruženému proudu v předcházejícím zapojení. Nevýhodou je nižší celkový kompenzační výkon baterií (předpokládáme stejné kapacity kondenzátorů v porovnání zapojení hvězda - trojúhelník).

Jednoduchý příklad pro ověření předešlých tvrzení:

Velikost kondenzátoru volíme $1 \mu F$, velikost fázového napětí 230 V s kmitočtem 50 Hz . Výpočet provádíme pro jeden kondenzátor ze zapojení na Obr. 14.

Zapojení do trojúhelníku

- Impedance kondenzátoru

$$Z = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi * 50 * 1 * 10^{-6}} = 3183,10 [\Omega].$$

- Proud kondenzátorem

$$I_{\Delta f} = \frac{U_S}{Z} = \frac{\sqrt{3} * 230,00}{3183,10} = 125,15 [mA].$$

Celkový kompenzační výkon zapojení lze vypočítat jako trojnásobek kompenzačního výkonu jednoho kondenzátoru

$$Q_{c\Delta} = 3 * \frac{I_{\Delta f}^2}{\omega C} = 3 * \frac{0,12515^2}{2\pi * 50 * 1 * 10^{-6}} = 3 * 49,86 = 149,57 [VAr],$$

nebo jako

$$Q_{c\Delta} = 3 * U^2 * \omega * C = 3 * (\sqrt{3} * 230)^2 * 2\pi * 50 * 1 * 10^{-6} = 149,57 [VAr],$$

Zapojení do hvězdy

- Impedance kondenzátoru

$$Z = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi * 50 * 1 * 10^{-6}} = 3183,10 [\Omega].$$

- Proud kondenzátorem

$$I_{Yf} = \frac{U_f}{Z} = \frac{230,00}{3183,10} = 72,26 [mA].$$

- Celkový kompenzační výkon počítáme stejným způsobem jako u předešlého zapojení

$$Q_{cY} = 3 * \frac{I_{Yf}^2}{\omega C} = 3 * \frac{0,07226^2}{2\pi * 50 * 1 * 10^{-6}} = 3 * 16,62 = 49,86 [VAr],$$

obdobně druhý způsob

$$Q_{cY} = 3 * U^2 * \omega * C = 3 * 230^2 * 2\pi * 50 * 1 * 10^{-6} = 49,86 [VAr].$$

Během výpočtu musíme dbát na dosazování správných hodnot napětí. Pro zapojení do trojúhelníka se jedná o sdruženou hodnotu a pro zapojení do hvězdy o fázovou hodnotu napětí. Následkem sdruženého napětí na kondenzátoru je celkový kompenzační výkon zapojení do trojúhelníka třikrát větší oproti zapojení do hvězdy. To také platí o procházejícím proudu skrz jednotlivé kondenzátory.

V dnešní době jsou k dostání jednofázové nebo převážně třífázové kompenzační baterie s vnitřním zapojením do hvězdy, nebo do trojúhelníka. V praktickém výběru nás zajímá především jejich kompenzační výkon, až pak případné zapojení. Dá se říci, že se řídíme dle aktuálních možností trhu.

4.2.4 Frekvenční závislost impedance kondenzátorů

Je jednou z významných vlastností kondenzátorů. Kapacitní reaktance X_c je jalovou složkou impedance a je dána vztahem:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} [\Omega],$$

kde je

$$\omega = 2 * \pi * f.$$

Z výpočtu vyplývá, že při zvětšující se frekvenci se snižuje kapacitní reaktance a celková impedance kondenzátoru. Na problém narazíme u sítí s obsahem vyšších harmonických, kde bude kondenzátor představovat velice nízkou impedanci. Vlivem vyšších frekvencí vzroste efektivní hodnota procházejícího proudu kondenzátorem, která bude zatěžovat nejen kondenzátor, ale také části sítě mezi zdrojem harmonických a kondenzátorem. Zvýšený proud vyvolává teplotní změny v kondenzátoru a přispívá k degradaci dielektrika. V nejhorším případě dojde k průrazu dielektrika a následnému hoření výboje a celkové destrukci kondenzátoru. Jestliže není kondenzátor po průrazu odpojen od sítě, hrozí exploze kondenzátoru a hoření okolních zařízení.

4.2.5 Ztráty kondenzátoru

Celkové ztráty kondenzátoru jsou složeny z několika částí, jako jsou ztráty dielektrika, ztráty vybíjecích odporů, ztráty vnitřních pojistek, spojů atd. Ztráty jsou reprezentovány tangentou ztrátového úhlu kondenzátoru $tg \delta$. Jedná se o poměr mezi ekvivalentním sériovým odporem a kapacitní reaktancí kondenzátoru při specifickém sinusovém napětí a kmitočtu. Celkové ztráty kondenzátoru můžeme vyjádřit jako:

$$P_Z = Q_C * tg \delta [W].$$

Pro neharmonický průběh napětí musíme uvažovat vliv všech harmonických. Celkové ztráty kondenzátoru pro neharmonický průběh můžeme vyjádřit jako:

$$P_Z = \sum_{n=1}^{\infty} n * Q_n * tg \delta_n = \sum_{n=1}^{\infty} n * U_n^2 * f_n * tg \delta [W],$$

kde je

n je řád harmonické,

U_n napětí harmonické,

f_n kmitočet harmonické [2].

Životnost kondenzátorů se pohybuje kolem 130 tisíc hodin provozu a je značně závislá na provozních podmínkách. Na životnost kondenzátoru má vliv nadměrná teplota pracovního prostředí, vyšší harmonické, které způsobují zvýšený průtok proudu a přehřívání vnitřní části kondenzátoru a například různé vysokonapěťové pulzy způsobené přechodovými jevy v síti.

4.2.6 Způsob kompenzace v závislosti na úrovni znečištění

Nesinusový odběr proudu z napájecí sítě vyvolává nesinusové úbytky napětí na impedancích sítě, které kromě složky s kmitočtem sítě, obsahují též podíl harmonických. Zkreslení průběhu křivky napětí způsobuje dodatečné namáhání zařízení dalších odběratelů a má negativní vliv na jejich funkci a životnost. Každá hodnota napětí harmonických v síti, je výslednou hodnotou všech zařízení, které přispívají svými emisemi proudů harmonických a závisí zejména na :

- impedanci sítě pro harmonické,
- amplitudě a fázi proudů harmonických emitovaných každým odběratelem,
- počtu zařízení odběratelů připojených současně k síti.

Nejvýznamnějšími spotřebiči produkující harmonické jsou spínané zdroje (televizory, počítače), měniče kmitočtu pro třífázové motory (ventilátory, drtiče, čerpadla, papírenské stroje, pojezdy jeřábů), stejnosměrné pohony řízené tyristorovými usměrňovači, střídače pro větrné elektrárny. [11]

V rozhodování o využití konkrétního druhu kompenzace, ve vztahu s harmonickými, se řídíme dle úrovně znečištění sítě. Úroveň znečištění lze stanovit jako :

$$\frac{S_H}{S_N} [\%],$$

kde je

S_H zdánlivý výkon zařízení generující harmonické,

S_N instalovaný zdánlivý výkon hlavního transformátoru.

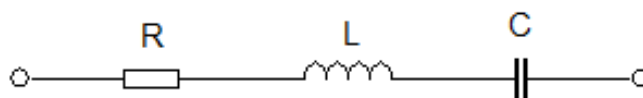
Samostatné kondenzátory používáme v případech, kdy je úroveň znečištění sítě harmonickými menší než 20 % podílu těchto výkonů. V mezních hodnotách lze použít kondenzátory na vyšší napěťovou hladinu, zvýšíme tak jejich životnost, kompenzační výkon však bude menší než jmenovitý.

Pro podíl výkonů v rozmezí 20 - 50 % je nutné použít ochranné tlumivky s odpovídajícím činitelem zatlumení.

V případech podílu výkonů přesahujících 50 % je nezbytné použít kompenzační filtry, pro odstranění nežádoucích složek vyšších harmonických ze sítě.

4.3 Chráněná kompenzace

V kapitole 4.2.4 jsme se zabývali problémem vyšších harmonických v souvislosti s nepřímou závislostí kapacitní reaktance na frekvenci. Pro odstranění proudového přetěžování je možné použít ochranou tlumivku, která omezí proudy od vyšších harmonických, ale také proudy vzniklé přechodovými jevy.

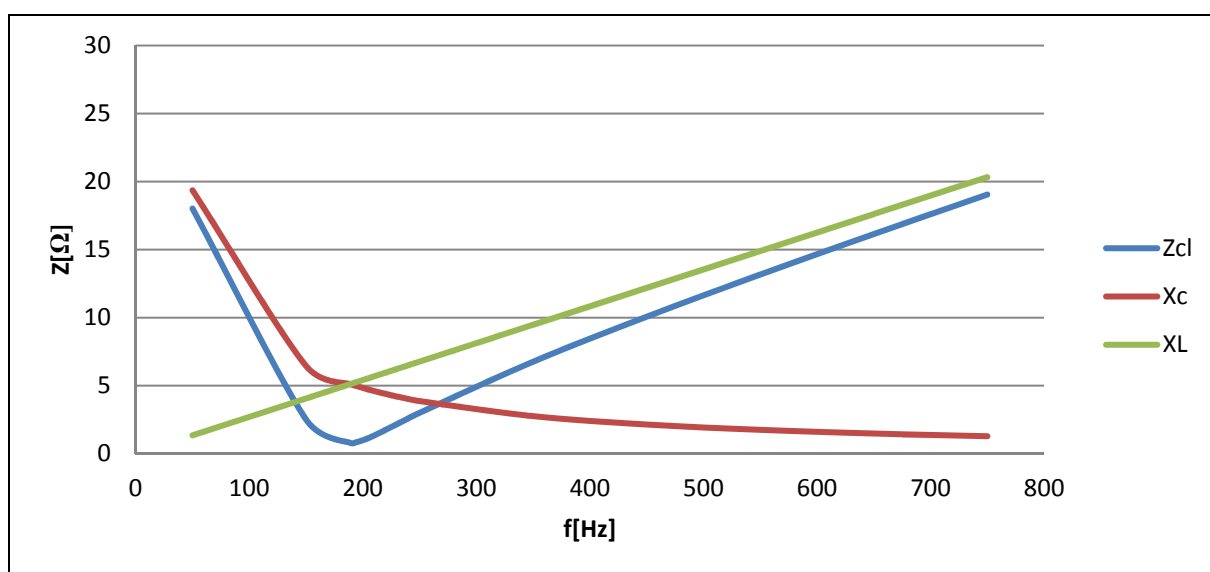


Obr. 15 RLC článek

Ochranná tlumivka je zapojena sériově s kompenzačním kondenzátorem a společně vytváří sériový rezonanční obvod (Obr. 15), který je laděn na určitou rezonanční frekvenci

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]}.$$

Na Obr. 16 je znázorněn graf závislosti impedance RLC obvodu na měnícím se kmitočtu. Z grafu je patrné, že kapacitní reaktance s rostoucí frekvencí nelineárně klesá, zatímco induktivní reaktance lineárně roste. V okamžiku rovnosti těchto reaktancí (při rezonanční frekvenci 189 Hz) je celková impedance rezonančního obvodu tvořena pouze reálnou složkou tlumivky a blíží se k nule. Obvodem prochází maximální proud.



Obr. 16 Graf závislosti Impedance RLC obvodu na frekvenci

U frekvencí nižších než je f_r je impedance obvodu tvořena kapacitní reaktancí (obvod se chová jako kapacita) a u frekvencích vyšších je impedance obvodu zastoupena induktivní reaktancí (obvod se chová jako indukčnost). Je tedy omezen vliv vyšších harmonických, a tím také velikost procházejícího proudu kondenzátorem. Impedance obvodu s rostoucí frekvencí roste a působí jako zádrž pro proudy vyšších harmonických. Chráněná kompenzace neodstraňuje vyšší harmonické ze sítě, ale pouze chrání kompenzační kondenzátory před jejich účinky.

4.3.1 Volba rezonanční frekvence

Ochranná tlumivka je navržena tak, aby její rezonanční frekvence byla v dostatečné vzdálenosti pod frekvencí nejnižšího řádu vyšší harmonické, která je v síti dominantní. Rezonanční frekvenci převážně volíme v pásmu mezi 100 a 150 Hz (oblast pod 3. harmonickou) nebo mezi 150 a 250 Hz (oblast pod 5 harmonickou). Nikdy není volena na liché násobky základního kmitočtu sítě, tedy na frekvenci 3, 5, 7, 9, 11, 13 a další harmonické. Nemůže tak dojít k poklesu impedance sériového obvodu k nulovým hodnotám a průchodu maximálního proudu dané harmonické. V praxi se nejčastěji setkáme s rezonančními frekvencemi 134 Hz (činitel zatlumení 14 %), 189 Hz (činitel zatlumení 7 %), 177 Hz (činitel zatlumení 8 %). Činitel zatlumení lze stanovit jako:

$$p = \left(\frac{f_1}{f_r}\right)^2 * 100 [\%],$$

kde je

f_1 frekvence základní harmonické 50Hz,

f_r rezonanční frekvence RLC obvodu.

4.3.2 Ochrana signálu HDO

Hromadné dálkové ovládání pracuje na principu superpozice napětí impulzů tónového kmitočtu na napětí sítě. Pomocí těchto impulzů jsou ovládány relé přijímačů HDO připojených k síti. V České republice se vysílá na frekvencích 183,3, 216,6, 283,3, 425, 760 a 1060 Hz. Připojením kompenzačního zařízení do sítě nesmíme tento signál výrazně omezit. Nevhodným návrhem rezonanční frekvence chráněné kompenzace může dojít k poklesu impedance sítě v přípojném bodě a k nepřijatelnému poklesu úrovně signálu. Rezonanční frekvence musí být v dostatečné vzdálenosti od HDO.

Problematikou posuzování vlivu připojeného zařízení odběratele na úroveň signálu HDO se zabývá podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie PNE 33 3430-6.

Hlavní zásady pro posuzování

Nemá-li docházet k ovlivnění HDO musí být posouzeny následující vlivy:

- změna úrovně signálu,
- zatížení vysílačů,
- emise rušivých vlivů.

Při posuzování bereme v úvahu celkový vliv odběratele ve společném napájecím bodě. Neposuzujeme vliv jednotlivých zařízení, v našem případě kompenzačního zařízení, ale celek. Společným napájecím bodem je myšlen bod v síti, ke kterému mohou být připojeni i další odběratelé, jedná se tedy o místo nad hlavním transformátorem (sít' distributora).

Výchozí hodnotou pro posuzování je změřená hodnota úrovně signálu HDO ve společném napájecím bodě bez nově připojeného zařízení. Velikost zpětných vlivů odběratele závisí na velikosti jeho smluvního výkonu s dodavatelem, odběratel s vyšším smluvním výkonem může signál HDO ovlivnit vyšší měrou.

Pro výpočet impedance odběratele ve společném napájecím bodě, který je potřebný pro stanovení impedančního činitele α , jsou nutné detailní znalosti připojeného zařízení, jeho provozu a zapojení. V případech rozsáhlých sítí, kde by byl problém získat přesné informace o zátěži a vzhledem ke složitosti výpočtu lze impedanci v přípojném bodě změřit.

Obecný postup posuzování vlivu nově připojeného zařízení na signál HDO je na Obr. 17.

Vysvětlivky pro Obr. 17:

$U_{\text{ř}}$ řídicí napětí tónového kmitočtu,

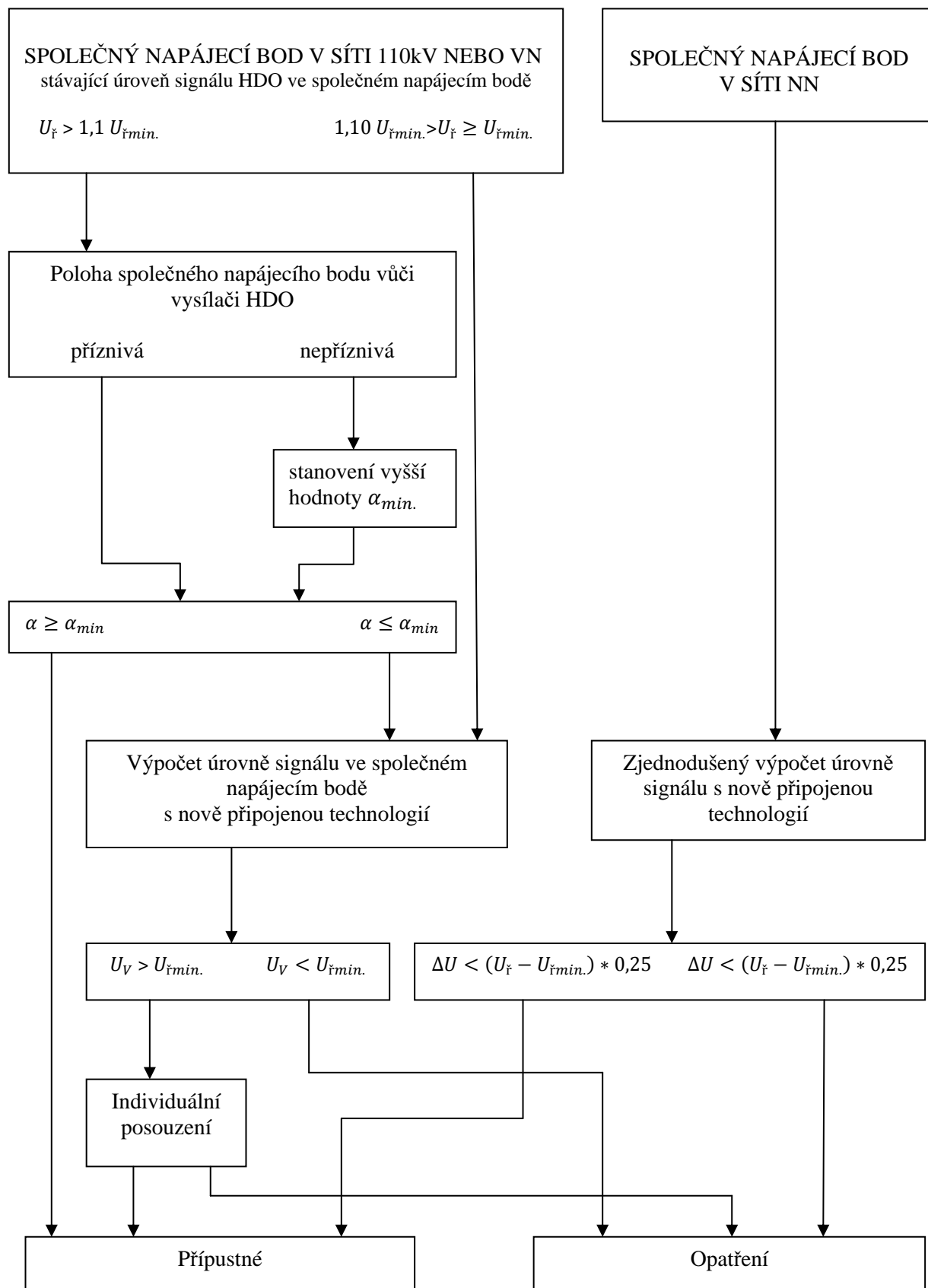
$U_{\text{řmin}}$ minimální úroveň řídicího napětí,

U_V vypočtená úroveň řídicího napětí,

ΔU rozdíl mezi skutečnou a vypočtenou úrovní řídicího napětí,

α impedanční činitel,

α_{min} minimální hodnota impedančního činitele.



Obr. 17 Obecné schéma postupu posuzování vlivu nově připojeného zařízení na signál HDO [10]

V případě posuzování kompenzačního zařízení (vvn, vn), které bude instalováno do stávající sítě odběratele, bude stěžejní výpočet impedančního činitele α , ten je pro hladinu 110 kV stanoven jako:

$$\alpha = \frac{Z_{HDO}}{\frac{U_n^2}{P_{sm}}},$$

kde je

Z_{HDO} absolutní hodnota impedance zařízení odběratele na kmitočtu HDO ve společném napájecím bodě,

U_n jmenovité napětí transformátoru,

P_{sm} smluvní výkon dodavatele.

Minimální přípustná hodnota nesmí klesnout pod hodnotu $\alpha = 0,8$. Ve výpočtu impedance sítě je nutné brát v úvahu celou síť, včetně zátěže a navrhovaného kompenzačního zařízení, nesmíme zapomenout na frekvenční závislost prvků a počítat impedanci pro kmitočet HDO.

Pro zákazníky připojené na hladinu vn je možné výpočet zjednodušit a zanedbat vliv zátěže. Impedance v přípojném bodě je pak ve většině případů tvořena sériovým spojením impedance sítě, hlavního transformátoru a kompenzačních stupňů. Impedanční činitel nesmí klesnout pod hodnotu $\alpha = 0,5$ a je stanoven jako

$$\alpha = \frac{Z_{HDO}}{\frac{U_n^2}{S_{TR}}},$$

kde je

S_{TR} zdánlivý výkon hlavního transformátoru.

Nejsou-li ze sekundární strany hlavních transformátorů napájeni další odběratelé, je možné v těchto sítích připustit takový pokles úrovně signálu HDO, že provoz přijímačů HDO v něm nebude možný. V případě potřeby využití přijímače HDO uvnitř zákaznické sítě, lze tento přijímač umístit na primární stranu transformátoru.

Pokud jsou ze sekundární strany napojeni ještě další odběratelé, musí být splněna hodnota impedančního koeficientu jak ve společném napájecím bodě, tak uvnitř zákaznické sítě.

Jestli že vyjde impedanční činitel pod přípustnou mez, musíme vypočítat úroveň signálu HDO s nově připojeným zařízením a porovnat ho s minimální přípustnou hodnotou řídicího signálu (Tab. 4). V případech, kdy je činitel zatlumení menší, ale je stále dodržena minimální úroveň HDO, lze zařízení připojit, v opačném případě musíme učinit opatření vedoucí ke zvýšení impedance odběratele. [10]

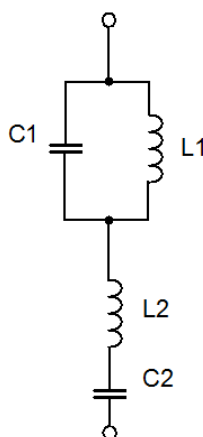
Tab. 4 Minimální úroveň signálu HDO[10]

Minimální úroveň signálu HDO		
Úroveň napětí sítě [kV]	Minimální úroveň řídicího napětí U_{fmin} Vztažená k funkčnímu napětí přijímače $U_f = 100\%$	
	$f_f < 350$ Hz	$f_f = 760$ a 1060 Hz
0,4	150 % U_f	280 % U_f
vn	190 % U_f	360 % U_f
110	200 % U_f	-

Opatření pro zvýšení impedance sítě:

- zvýšení činitele zatlumení u hrazené kompenzace (změna tlumivek, změna kondenzátorů),
- využití hradícího členu.

Zvětšení činitele zatlumení s sebou přináší snížení kompenzačního výkonu kondenzátorů, ale především zvýšení investičních nákladů na realizaci. Pokud je nutné použít činitele zatlumení větší než 10 %, stojí za zvážení využití tzv. hradícího členu Obr. 18.



Obr. 18 Hradící člen

Ten je tvořen paralelním rezonančním LC obvodem, který je naladěn na frekvenci HDO. Tím je zabráněno odsávání tohoto signálu. Při paralelní rezonanci se impedance LC obvodu blíží k nekonečnu, signál HDO nemůže být odsáván. Hradící člen můžeme instalovat na každý kompenzační stupeň zvlášť, popřípadě využít jeden hradící člen pro všechny stupně najednou.[3]

4.3.3 Volba velikosti tlumivky a kondenzátoru

Je nutné si uvědomit, že zařazením tlumivky do sériového obvodu, dojde ke snížení kompenzačního výkonu a k navýšení napětí na kondenzátoru. Kapacitní reaktance obvodu je omezena induktivní reaktancí tlumivky, dojde k poklesu impedance obvodu, a tím k navýšení proudu I_{LC} . Kapacitní reaktance kondenzátoru je stejná, a proto dochází k navýšení napětí na kondenzátoru $U_c = X_C * I_{LC}$. Jalový výkon od tlumivky působí proti jalovému výkonu kondenzátoru, výsledný kompenzační výkon je roven rozdílu $Q_{CL} = Q_C - Q_L$.

Většina výrobců respektuje tyto změny a nabízí kondenzátory určené pro chráněnou kompenzaci, které mají zvýšené jmenovité napětí.

Velikost indukčnosti tlumivky se volí na základě rezonanční frekvence sériového obvodu, můžeme tedy říct, že na základě činitele zatlumení p . Čím je činitel zatlumení p větší, tím je výsledná indukčnost, velikost, váha a cena tlumivky vyšší. To vede k používání rezonančních frekvencí v oblasti mezi 3. a 5. harmonickou, kde je výrobní cena tlumivky příznivější, musí však být splněny hodnoty impedančního činitele ve společném napájecím bodě.

Norma PNE 33 3430-6 též zavádí minimální hodnoty činitele zatlumení pro tónové kmitočty HDO (Tab. 5), kterými je možné se řídit.

Tab. 5 Minimální hodnoty činitele zatlumení p [10]

Hodnoty činitele zatlumení p	
Rozsah kmitočtů	p [%]
250 - 350 Hz	≥ 7
> 300 Hz	≥ 8

Minimální hodnotu činitele zatlumení v případech, kdy rezonanční frekvence leží pod hranicí kmitočtu HDO, lze stanovit také jako:

$$p \geq \frac{\frac{1}{h^2} + \frac{Q_k}{S_{TR}} * \left(\frac{\alpha}{h} - U_k\right)}{1 + \frac{Q_k}{S_{TR}} * \left(\frac{\alpha}{h} - U_k\right)},$$

kde je

Q_K skutečný kompenzační výkon kondenzátorů,

S_{TR} zdánlivý výkon transformátoru,

U_K napětí transformátoru nakrátko,

$h = \frac{f_{HDO}}{50}$ frekvenční přizpůsobení.

V případech rezonanční frekvence ležící nad kmitočtem HDO je minimální činitel zatlumení stanoven jako:

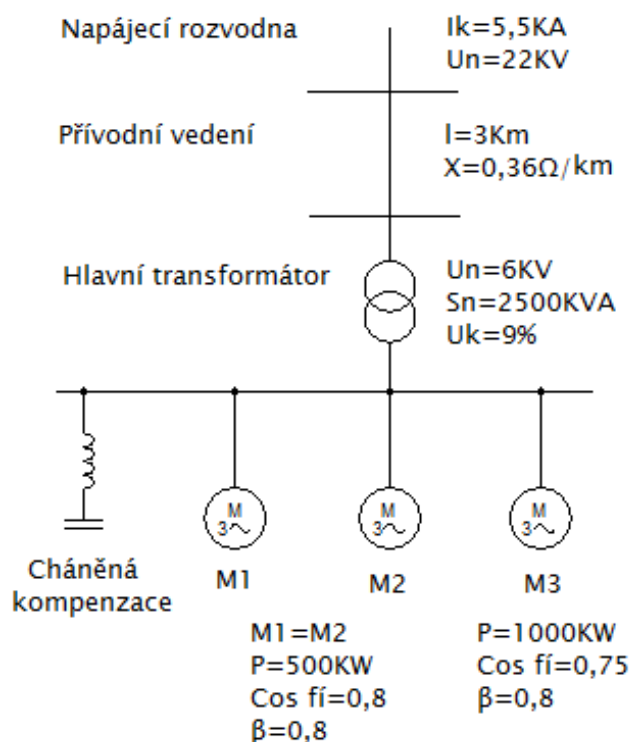
$$p \geq \frac{\frac{1}{h^2} - \frac{Q_k}{S_{TR}} * \left(\frac{\alpha}{h} - U_k\right)}{1 - \frac{Q_k}{S_{TR}} * \left(\frac{\alpha}{h} - U_k\right)}.$$

4.3.4 Příklad návrhu tlumivky a kompenzačního výkonu

V tomto příkladu bude názorně ukázán postup návrhu kompenzačního zařízení včetně výpočtu impedančního činitele α .

Zákazník požaduje návrh centrální kompenzace pro zapojení na Obr. 19 Zjednodušené zapojení sítě Hlavní transformátor napájí tři motory na hladině 6 kV o značném výkonu. Jeden z motorů o výkonu 500 kW je řízen frekvenčním měničem, úroveň znečištění, kterou produkuje je 20 % podílu výkonu měniče ku výkonu hlavního transformátoru. V síti zákazníka je provozováno HDO na kmitočtu $216^{1/3}$ Hz.

Z důvodů mezních hodnot úrovně rušení harmonickými a dalšího možného rozšíření nelineárních spotřebičů využijeme chráněnou kompenzaci.



Obr. 19 Zjednodušené zapojení sítě

Postup výpočtu kompenzačního výkonu

Postup je založen na výpočtu celkového zatížení transformátoru a určení kompenzačního výkonu na požadovaný účinník. Ve výpočtu je uvažován koeficient soudobosti zátěže β .

- Výkon motorů M1, M2

$$P_{m_{1,2}} = 2 * P * \beta = 2 * 500,00 * 0,80 = 800,00 \text{ [KW]}$$

$$S_{m_{1,2}} = \frac{P}{\text{Cos}\varphi} = \frac{800,00}{0,80} = 1000,00 \text{ [KVA]}$$

$$Q_{m_{1,2}} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1000,00^2 - 800,00^2} = 600,00 \text{ [KVAr]}$$

- Výkon motoru M3

$$P_{m_3} = P * \beta = 1000,00 * 0,80 = 800,00 \text{ [KW]}$$

$$S_{m_3} = \frac{P}{\text{Cos}\varphi} = \frac{800,00}{0,75} = 1066,67 \text{ [KVA]}$$

$$Q_{m_3} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1066,67^2 - 800,00^2} = 705,53 \text{ [KVAr]}$$

- Celkové výpočtové zatížení transformátoru

$$P_t = P_{m1,2} + P_{m3} = 800,00 + 800,00 = 1600 \text{ [KW]}$$

$$Q_t = Q_{m1,2} + Q_{m3} = 600,00 + 705,53 = 1305,53 \text{ [KVAr]}$$

$$S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{1600,00^2 + 1305,53^2} = 2065,05 \text{ [KVA]}$$

- Určení kompenzačního výkonu

Požadovaný účinník po vykompenzování $\cos \varphi = 0,98$.

$$S_k = \frac{P_t}{\cos \varphi_k} = \frac{1600,00}{0,98} = 1632,65 \text{ [KVA]}$$

$$Q_k = \sqrt{S_k^2 - P_t^2} = \sqrt{1632,65^2 - 1600^2} = 324,89 \text{ [KVAr]}$$

$$Q_{\text{kompenzační}} = Q_t - Q_k = 1305,53 - 324,89 = 980,64 \text{ [KVAr]}$$

Celkový požadovaný kompenzační výkon rozdělíme do tří kompenzačních stupňů o velikosti 200, 400 a 600 kVAr. Instalovaný výkon 1200 kVAr je záměrně vyšší než požadovaný, uvažujeme snížení výkonu z důvodů připojení tlumivky.

Návrh tlumivek a typu kondenzátorů

Dle Tab. 5 použijeme tlumivky s činitelem zatlumení 7 %, kondenzátory pro zvýšenou hladinu napětí 6,6 kV. Pro ověření vlivu kompenzačního zařízení na síť vypočteme impedanci zařízení ve společném napájecím bodě (hladina 22 kV) a stanovíme impedanční koeficient α , který v tomto případě nesmí klesnout pod hranici $\alpha = 0,5$.

- Výpočet indukčnosti tlumivek

Výpočet je proveden pouze pro první stupeň s výkonem 200 kVAr, pro ostatní stupně je výpočet stejný. Reaktance jednotlivých kondenzátorů a tlumivek jsou uvedeny v Tab. 6.

$$X_{c200} = \frac{U_{CN}^2}{Q_C} = \frac{6,6^2}{0,20} = 217,80 \text{ [\Omega]},$$

$$X_{L250} = p * X_C = 0,07 * 217,80 = 15,25 \text{ [\Omega]}.$$

- Stanovení indukčnosti tlumivky

$$L_{L250} = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{15,245}{2 * \pi * 50} = 48,54 \text{ [mH]}.$$

Tab. 6 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 1385 - Rozvodna R1			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
200	217,80	15,25	48,54
400	108,90	7,62	24,26
600	72,60	5,08	16,18
Celkem	36,30	2,54	8,09

- Stanovení reaktancí prvků sítě

Ve výpočtu budeme uvažovat reaktance a činný odpor prvků sítě včetně zátěže. Při výpočtech impedance prvků za transformátorem nesmíme zapomenout na přepočítání na správnou hladinu napětí $\left(\frac{U_{nt}}{U_{ns}}\right)^2$,

kde je

U_{nt} jmenovité napětí transformátoru,

U_{ns} jmenovité napětí sítě.

Výpočet impedance na tónových kmitočtech provádíme pomocí korekčního činitele h , který představuje frekvenční závislost reaktancí prvků. V případě induktivní reaktance je

$$h = \frac{f_n}{f_{HDO}},$$

a v případě kapacitní se jedná o jeho převrácenou hodnotu

$$h = \frac{f_{HDO}}{f_n},$$

kde je

f_{HDO} kmitočet HDO pro, který impedanci stanovujeme,

f_n jmenovitý kmitočet sítě.

- Vedení

$$X_{\text{vedení}} = l * X * h = 3 * 0,36 * \frac{216,66}{50} = 4,68 \text{ } [\Omega],$$

$$R_{\text{vedení}} = R * l = 0,15 * 3 = 0,45 \text{ } [\Omega],$$

$$Z_{\text{vedení}} = \sqrt{X_{\text{vedení}}^2 + R_{\text{vedení}}^2} = \sqrt{4,68^2 + 0,45^2} = 4,70 [\Omega],$$

kde je l délka vedení.

- Transformátor

Parametry hlavního transformátoru:

$$U_n = 22/6 \text{ kV}, S_n = 2,5 \text{ MVA}, \Delta P_k = 26,5 \text{ kW}, U_k = 6 \%$$

$$X_{\text{transformátor}} = \frac{U_k}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} * h = \frac{9,00}{100,00} * \frac{22,00^2}{2,50} * \frac{216,66}{50} = 75,50 [\Omega],$$

$$R_{\text{transformátor}} = \frac{\Delta P_k}{S_n} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{26,50}{2500,00} * \frac{22^2}{2,50} = 2,05 [\Omega],$$

$$Z_{\text{transformátor}} = \sqrt{X_{\text{transformátor}}^2 + R_{\text{transformátor}}^2} = \sqrt{75,50^2 + 2,05^2} \\ = 75,52 [\Omega],$$

kde je

U_k napětí transformátoru nakrátko,

U_n jmenovité napětí transformátoru,

S_n jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru,

ΔP_k činné ztráty transformátoru v zapojení nakrátko.

- Motory

$$X_{M1,2} = \frac{1}{i_k} * \frac{U_n^2}{S_n} * h * \left(\frac{U_{nt}}{U_{ns}}\right)^2 = \frac{1,00}{6,00} * \frac{6,00^2}{1,25} * \frac{216,66}{50} * \left(\frac{22,00}{6,00}\right)^2 = 279,64 [\Omega],$$

$$X_{M3} = \frac{1}{i_k} * \frac{U_n^2}{S_n} * h * \left(\frac{U_{nt}}{U_{ns}}\right)^2 = \frac{1,00}{6,00} * \frac{6,00^2}{1,33} * \frac{216,66}{50} * \left(\frac{22,00}{6,00}\right)^2 = 262,81 [\Omega],$$

kde je i_k poměrný rozběhový proud motoru. Činný odpor motorů se většinou neuvažuje.

- Výpočet reaktance kondenzátoru a tlumivky

Hodnoty reaktancí kondenzátorů a tlumivek pro základní kmitočet 50 Hz jsou uvedeny v Tab. 6. Výpočet provádíme pro maximální kompenzační výkon, posuzujeme vliv veškerého zařízení.

$$X_{cmax} = \frac{1}{h} * X_c * \left(\frac{U_{nt}}{U_{ns}}\right)^2 = \frac{50,00}{216,66} * 36,30 * \left(\frac{22,00}{6,00}\right)^2 = 112,62 [\Omega],$$

$$X_{Lmax} = h * X_L * \left(\frac{U_{nt}}{U_{ns}}\right)^2 = \frac{216,66}{50,00} * 2,54 * \left(\frac{22,00}{6,00}\right)^2 = 147,97 [\Omega].$$

Celková reaktance sítě je rovna paralelní kombinaci zátěže a sériové kombinaci, transformátoru a vedení.

$$\begin{aligned} Z_{HDO} &= \left(\frac{1}{X_{M1,2}} + \frac{1}{X_{M3}} + \frac{1}{X_L - X_C}\right)^{-1} + Z_{Transformátor} + Z_{vedení} = \\ &= \left(\frac{1}{279,64} + \frac{1}{262,81} + \frac{1}{147,97 - 112,62}\right)^{-1} + 75,52 + 4,70 \\ &= 108,26 [\Omega] \end{aligned}$$

- Výpočet impedančního činitele

$$\alpha_{HDO183} = \frac{Z_{HDO}}{\frac{U_n^2}{S_n}} = \frac{108,26}{\frac{22^2}{2,5}} = 0,56 > 0,5 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Připojené kompenzační zařízení ovlivní úroveň signálu HDO v nadřazené síti v povolených mezích a je možné ho připojit.

4.4 Kompenzační filtry

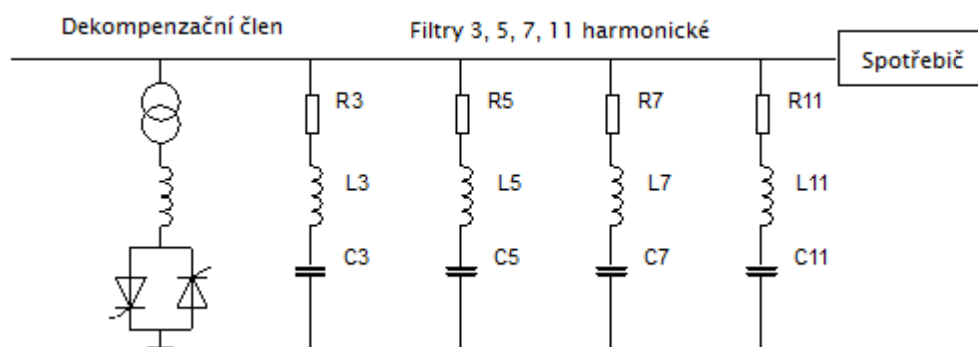
Umožňují kompenzaci jalového výkonu a zároveň odsávání (filtraci) harmonických proudů. Zařízení je sestaveno ze stejných prvků jako chráněná kompenzace s tím rozdílem, že je zde rezonanční kmitočet sériového RLC obvodu laděn na specifickou frekvenci libovolné harmonické. Průchodem specifické harmonické proudů filtrem, který je na ni naladěn, dojde k poklesu impedance téměř k nulovým hodnotám (je tvořena pouze reálnou složkou tlumivky) a k odsávání této harmonické. Pro základní kmitočet se obvod chová jako kompenzační zařízení a má kapacitní charakter.

Jednotlivé sériové RLC obvody lze kombinovat a ladit na různé harmonické proudy. Můžeme tak filtrovat několik harmonických najednou. Kompenzační výkon lze řídit stupňovitě, nebo plynule.

U stupňovitého řízení musíme dodržovat pořadí připínaných a odpínaných stupňů. Jako první připínáme kompenzační stupeň, který je laděn na nejnižší harmonickou a jako poslední ho také odpínáme. Připojíme-li kompenzační stupeň, který je laděn na vyšší harmonickou jako první, může dojít k paralelní rezonanci tohoto filtru s reaktancí napájecí

sítě vlivem kapacitního charakteru filtru pro nižší harmonické, které ještě nejsou filtrovány. Paralelní rezonance může způsobit zesílení některé harmonické složky napětí, což vede k deformaci napětí a rušení spotřebičů.

Plynule řízené kompenzační filtry tvoří několik trvale připojených sériových RLC filtrů laděných na různé vyšší harmonické, ke kterým je připojen tzv. dekompenzační člen (Obr. 20). Ten je tvořen řízenou tlumivkou, pomocí které lze kompenzační výkon dynamicky měnit v rozsahu kompenzačního výkonu filtrů (výkon je možné pouze snižovat). [3][2][1]



Obr. 20 Plynule řízené kompenzační filtry

4.5 Aktivní filtry

Vedle pasivních kompenzačních filtrů jsou další možností jak efektivně omezit vliv vyšších harmonických v síti. Základem pro aktivní filtr je generátor, který působí proti harmonickým složkám proudu nebo napětí. Tím dochází k vyhlazení sinusové složky základního kmitočtu. Podle způsobu připojení k síti lze rozdělit na aktivní filtry paralelní, sériové, nebo kombinované. Jejich výhodou je rychlost a dynamika. Používají se pro průmyslové sítě s vyšším podílem řízených pohonů, ke kompenzaci měničů používaných pro řízení velkých točivých strojů s malou spotřebou jalového výkonu nebo v nízkonapěťových rozvodech s výpočetní technikou a úspornými žárovkami.

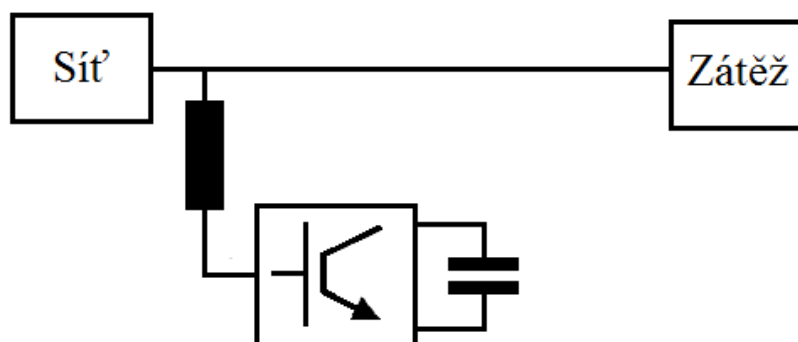
4.5.1 Paralelní aktivní filtr

Umožňuje filtraci nežádoucích vyšších harmonických proudů a zároveň kompenzaci jalového výkonu pro první harmonickou nebo vyvážení proudů nesymetrické zátěže. Je tvořen plynule řízeným generátorem proudu připojeným paralelně na síť. Proud je vyhlazován generováním a zaváděním shodných, opačných složek proudu k vyšším harmonickým do sítě.

Dochází k odečítání generovaného proudu a proudu vyšších harmonických a k vyhlazování základního kmitočtu proudu podle okamžitého výskytu harmonických složek, bez nebezpečí nežádoucí rezonance.

Generováním jalového proudu lze dynamicky a velice rychle provádět kompenzaci jalového proudu na základním kmitočtu. Filtrační a kompenzační vlastnosti lze na základě řídicího algoritmu filtru libovolně měnit.

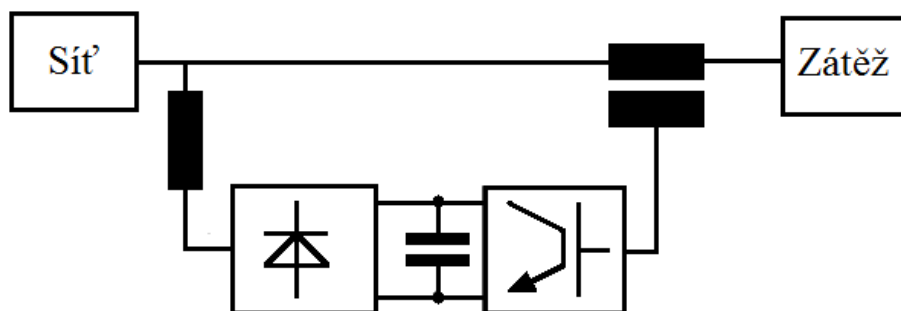
Paralelní aktivní filtr je tvořen zařízením pro zaznamenávání naměřené hodnoty, regulátorem, zdrojem energie (kondenzátory) a spínacím členem realizovaným pomocí IGBT tranzistorů. Na tyto prvky jsou kladeny vysoké nároky především z hlediska rychlosti (vysoká rychlost zaznamenávání měření, velký výpočetní výkon regulátoru a vysoká rychlost spínání IGBT). V cenovém porovnání s pasivními filtry jsou mnohem dražší a v porovnání konstrukčním mnohem komplikovanější. Schéma zapojení filtru je na Obr. 21.



Obr. 21 Paralelní aktivní filtr

4.5.2 Sériový aktivní filtr

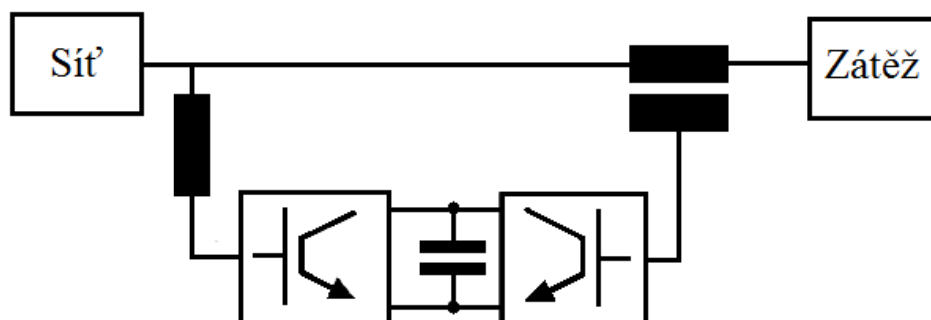
Oproti paralelnímu aktivnímu filtru je tvořený generátorem napětí a umožňuje tak udržovat přiváděné napětí na požadovaný tvar. Udržuje amplitudu napětí, kompenzuje poklesy i špičky, odstraňuje harmonické a zajišťuje symetrické rozložení napětí. Může dokonce působit i jako zdroj napětí při výpadku energie, ale jen za předpokladu, že je napájen z jiného zdroje než zátěž. Schéma zapojení filtru je na Obr. 22.



Obr. 22 Sériový aktivní filtr

4.5.3 Kombinovaný aktivní filtr

Oba předešlé způsoby lze zkombinovat a vytvořit aktivní filtr, který bude zajišťovat vhodné napětí v místě připojení filtru, ale také definovaný odebíraný průběh proudu. Schéma zapojení filtru je na Obr. 23. [2]



Obr. 23 Kombinovaný aktivní filtr

5 Základní prvky kompenzačních rozvaděčů

5.1 Regulátory

Regulátory jalového výkonu můžeme považovat za srdce kompenzačních rozvaděčů a jsou nepostradatelnou součástí každého projektu kompenzace účinníku. Rozdílné projekty si žádají také rozdílné požadavky na regulátory, ty se od sebe liší především principem zjišťování potřebného kompenzačního výkonu, počtem vstupů, výstupů, rychlostí a mnohými dalšími vlastnostmi.

Regulátory můžeme rozdělit na regulátory:

5.1.1 Elektromechanické

Jedná se o historicky první regulátory jalového výkonu. Jedním z představitelů byly indukční regulátory, pracující s připínáním a odpínáním kompenzačních stupňů typu WOR. Vyráběli se v několika modifikacích, které umožňovaly spínat dva až dvanáct stupňů. Regulaci doprovázelo značné časové zpoždění a regulátory nebyly schopny zaznamenat rychle se měnící zátěž.

Mechanismus regulátoru se skládal ze tří částí, měřící článek elektroměrného typu, časový článek a soustava pomocných relé. Stupně byly spínány od nejmenší velikosti a odpínány v opačném pořadí.

5.1.2 Analogové

Postupně jsou nahrazovány číslicovými regulátory a společně s regulátory WOR jsou již spíše historií. Nejznámějším představitelem v této kategorii je regulátor RQ5, používaný pro stupňovou kontaktní kompenzaci.

Měření a vyhodnocování vstupních parametrů vychází z napěťové křivky. V okamžiku průchodu nulou je změřena hodnota proudu I_X , která odpovídá jalovému proudu. Nevýhodou této metody je požadavek na nezkrácenou křivku napětí a zejména proudu, při větším znečištění se regulátor chová zmateně a nelze ho použít. Tento způsob měření a vyhodnocování je používán i v řadě číslicových regulátorů.

5.1.3 Číslicové

S rozvojem polovodičové a mikroprocesorové techniky dosáhly podstatných změn také regulátory jalového výkonu. Jedná se především o měření skutečné hodnoty napětí, proudů a výkonů, a o zlepšení uživatelského prostředí.

Moderní číslicové regulátory nabízejí například tyto funkce:

- měření a zobrazení harmonického zkreslení a činitele harmonického zatížení kondenzátorů,
- rovnoměrné zatížení jednotlivých kompenzačních stupňů, jedná se o tzv. kruhové spínání, kdy se vypíná vždy nejdéle zapnutý stupeň a připíná ten nejdéle vypnutý,
- automatická konfigurace, přístroj sám rozezná velikosti připojených stupňů, stupně lze libovolně připojovat na výstupy,
- pokročilá diagnostika jednotlivých stupňů průběžně testuje jejich skutečný výkon a při poruše je odpojí,
- práh harmonických umožňuje nastavit mezní hodnotu harmonických, po překročení dojde k odpojení kondenzátorů,
- regulátory nabízí řadu nastavitelných poruchových hlášení,
- integrované teplotní čidlo umožňuje regulaci teploty, lze ovládat ventilátory nebo vytápění rozvaděčů,
- dálková komunikace v reálném čase přes komunikační linku,
- provozní teplota od -40 až do 60 °C a další.

Výrobci nabízejí různé řady regulátorů s vybranými vlastnostmi, tak aby uspokojili potřeby zákazníků.[9]

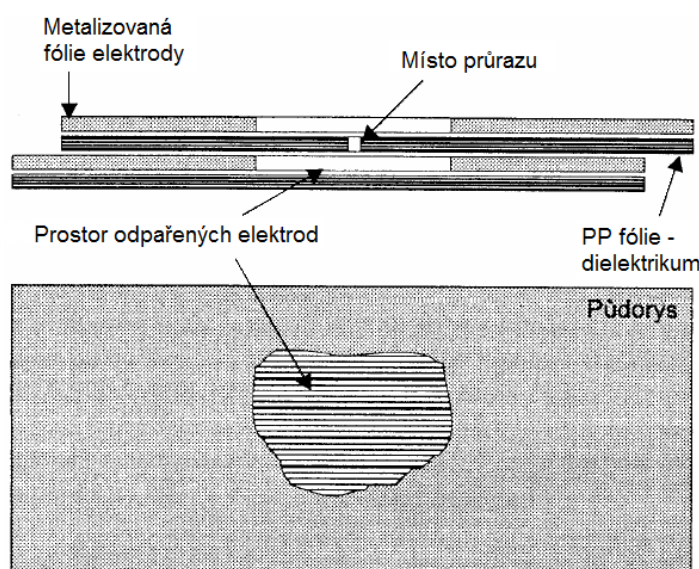
5.2 Kondenzátory

V České republice dodává kondenzátorové baterie hned několik firem. Základní rozdělení můžeme provést například dle potřeb kompenzačních rozvaděčů na kondenzátory pro hladiny nn, vn, vvn, nehrazenou a hrazenou kompenzací, kde výrobci respektují zvýšení hladiny napětí vlivem připojení tlumivky. Během návrhu výkonu stupňů vycházíme ze základní řady kondenzátorů, které se vyskytují na trhu, nicméně lze objednat výrobu kondenzátoru s požadovanými parametry, ovšem za patřičnou cenu.

5.2.1 Vybrané vlastnosti kondenzátorů

Samoregenerační proces

Vlivem nadměrného napětového nebo tepelného přetěžování, způsobeného například vyššími harmonickými, může dojít k průrazu dielektrika kondenzátoru. V místě průrazu se vytvoří vysoká teplota a během několika mikrosekund dojde k odpaření elektrod a k opětovnému obnovení izolační schopnosti. Tento proces se nazývá samoregenerační, nebo také samohojivý (Obr. 24). Kondenzátor je schopný pracovat během průrazu i po něm, kapacita kondenzátoru klesne řádově o několik desítek až stovek pF , což je v porovnání s kapacitou kondenzátoru zanedbatelné. V procesu samoregenerace dochází k uvolnění par z elektrod, to má za následek nárůst tlaku v nádobě a po delší době provozu může dojít k reakci přetlakové pojistky a odstavení kondenzátoru.



Obr. 24 Samo regenerační proces[2]

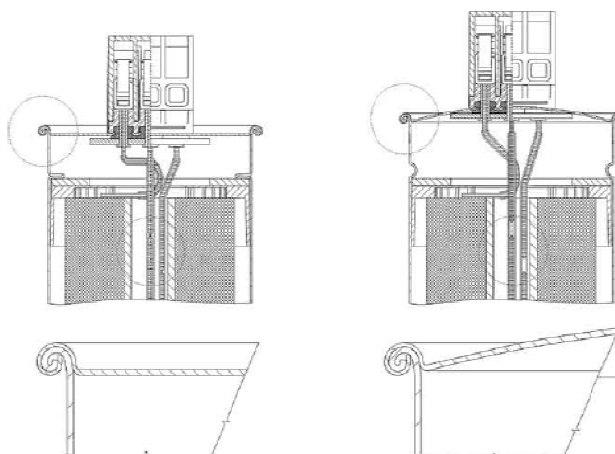
Přetlaková pojistka

Hlavním úkolem přetlakové pojistky je zabránit explozi kondenzátoru. V případě zvyšujícího se tlaku uvnitř nádoby se horní víko vypoulí směrem nahoru a dojde k rozpojení (přetržení) přívodních vodičů v kondenzátoru (Obr. 25).

K nárůstu tlaku uvnitř nádoby dochází během nadměrných tepelných a napětových rázů, zejména na konci životnosti se zvyšujícím se počtem samoregenerací, kdy dochází k odpařování dielektrika.

Vybíjecí odpory

Dynamika a rychlost kompenzace je omezena rychlostí odpinání a zpětného připínání kondenzátorových baterií. Problémem je, že nemůžeme znovu připojit kondenzátor, který byl zrovna opojen. Kondenzátory si udržují svůj náboj ještě nějakou dobu po odpojení, připojení nevybitého kondenzátoru by mělo za následek dramatické přechodové děje, proto musíme zajistit vybití kondenzátorů pod hodnotu 10% jejich jmenovitého napětí, pak je připojení bezpečné.



Obr. 25 Princip přetlakové pojistky kondenzátoru[9]

K tomuto účelu slouží vybíjecí odpory, které zajišťují rychlé vybití kondenzátorů. Odpory jsou paralelně připojeny ke kondenzátoru a nikdy se neodpojují. U třífázových kondenzátorů používáme dva nebo tři vybíjecí odpory. Odpory se připojují na svorkovnici kondenzátoru, nebo mohou být již jeho součástí, záleží na jeho typu provedení. U nízkonapětových kondenzátorů se doba vybití pohybuje okolo jedné minuty, u vysokonapětových je to až několik minut. [2][9]

5.3 Tlumivky

Tlumivky používané v kompenzačních rozvaděcích, můžeme zjednodušeně rozdělit na tlumivky ochranné, filtrační a dekompenzační.

5.3.1 Ochranné

Tvoří sériový rezonanční obvod s kondenzátorem v případě chráněné kompenzace, jejich nejdůležitějším úkolem je ochránit kondenzátor před účinky proudů vyšších harmonických. Další vlastností těchto tlumivek je výrazné omezení spínacích přechodových

jevů. Pro hladiny vn dosahuje jejich velikost značných rozměrů, finanční náklady spojené s výrobou se pohybují v řádech statisíců, v případě nízkého napětí se pohybujeme v rozmezí několika tisíc Kč.

5.3.2 Filtrační

Filtrační kompenzační tlumivky společně s kondenzátory mají za úkol odstranit nežádoucí vyšší harmonické ze sítě. Jejich návrh je komplikovanější, než v případě ochranných tlumivek. Ve většině případů jsou tlumivky značně předimenzované a pro realizaci návrhů je nutná výroba tlumivek na zakázku, od toho se také odvíjí jejich velmi vysoká cena.

5.3.3 Dekompenzační

Jsou uplatňovány v systémech dynamické kompenzace účinníku. Můžeme se s nimi setkat v souvislosti s dálkovým kabelovým vedením nebo v rozsáhlých kabelových sítích v podniku, kde působí proti kapacitnímu výkonu kabelů. Jejich reaktivní výkon je navržen na potřebný dekompenzační výkon.[1]

5.4 Spínací prvky

Prakticky hovoříme o dvou základních skupinách:

5.4.1 Kontaktní spínací prvky

Mezi nejvíce používané bezesporu patří klasické stykače, alespoň na hladinách nízkého napětí. Jejich největším problémem a celkově problémem kontaktního spínání jsou nepříznivé proudové přechodové jevy. Při spínání kondenzátorů k síti dochází k proudovému přechodovému jevu, vyznačujícím se tlumeným kmitavým průběhem, jehož amplituda a napětí jsou dány velikostí napětí sítě, kapacitou kondenzátoru, okamžikem sepnutí a impedancí obvodu mezi připínaným kondenzátorem a zdrojem napětí. Amplituda přechodového děje dosahuje až stonásobku jmenovitého proudu kondenzátoru a jeho kmitočet se pohybuje okolo 10 kHz.

To má za následek dramatické snížení životnosti stykačů vlivem opalování kontaktů. Proudové přechodové děje a jejich zvýšený kmitočet dále negativně působí v celé síti, kde se tyto impulzy šíří a ohrožují funkci některých citlivých přístrojů jako jsou například počítače nebo řídicí systémy.

Dalším představitelem této skupiny jsou vakuové stykače vyznačující se vysokou spolehlivostí a dobou životnosti. Jsou vybaveny vakuovou zhášecí komorou, ve které jsou

umístěny hlavní spínací kontakty. Ve vakuu nejsou přítomny žádné vodivé částice vzduchu a neměl by vznikat elektrický oblouk, při spínání a vypínání však dochází k vypařování kovových ploch kontaktů a k uvolnění kovových vodivých iontů, což má za následek vytvoření elektrického oblouku. Vzhledem k nízkému tlaku však tento oblouk zhasne již v první půlperiodě napětí a dojde k rychlému obnovení elektrické pevnosti i na relativně malou vzdálenost kontaktů. Nejvíce se vakuové stykače používají v aplikacích s častým spínáním a pro spínání značných výkonů. Jejich nevýhodou je obtížné technické řešení vakuové zhášecí komory a poněkud vyšší cena.

Omezení přechodových jevů

Omezení proudového rázu je založeno na zvýšení impedance odvodu zařazením předřadného prvku před kondenzátor a to v podobě:

- Vzduchové tlumivky

Vzduchové tlumivky se používají s relativně malou indukčností pohybující se okolo 10 až 20 μH . Většinou jsou tvořeny svinutými přívodními kabely mezi kondenzátory a stykači. Výsledný efekt potlačení proudového rázu dosahuje přibližně 30%.

- Tlumivky s železným jádrem

Vyznačují se zvýšenou indukčností v řádech desítek mH, jejich impedance a výsledný tlumicí efekt je výrazně lepší než u předešlého případu. Z ekonomických důvodů však tlumivky s železným jádrem používáme především jako ochranu kondenzátoru v případě hrazené kompenzace a nebo jako součást filtračního zařízení vyšších harmonických. Využití jen z důvodů omezení přechodového jevu je neekonomické.

- Odporové spínání

Stykače jsou vybaveny dvojicí kontaktů, spínající ve dvou fázích. První fáze je připnutí pomocných odporů realizovaných převážně pomocí odporových drátů do obvodu před kondenzátor. V druhé fázi po určitém čase dochází k odpojení odporů a připojení kondenzátorů na plné napájecí napětí. Vznikají tak dva přechodové děje, přičemž v prvním z nich se snažíme o aperiodický nekmitavý průběh a v druhém o co největší potlačení amplitudy proudového rázu.

5.5 Bezkontaktní spínací prvky

Bezkontaktní spínače jsou realizovány dvěma antiparalelně zapojenými tyristory, které připínají kondenzátory v okamžiku průchodu napájecího napětí nulou. Spínání v pravý okamžik zajišťují řídicí odvody, které jsou synchronizovány s napětím sítě. Sepnutím v okamžiku průchodu napětí nulou nastává jen nepatrný přechodový děj, který je prakticky zanedbatelný a nedosahuje více jak 1,6 násobku jmenovitého proudu kondenzátoru.

Bezkontaktní spínání nabízí možnosti dynamické kompenzace a připínání a odpínání kondenzátoru každou půlperiodu napětí. V těchto případech je zapotřebí též regulátor napětí, který dokáže vydávat povely k sepnutí se stejnou rychlostí jako jsou možnosti tyristorů.[2]

6 Praktický návrh skupinové a centrální kompenzace

6.1 Popis

Projekt je zaměřen na návrh skupinové a centrální kompenzace na hladině 6,3 kV pro část rozsáhlého rafinérského objektu v Litvínově, spadajícího pod akciovou společnost Česká rafinérská a.s. Návrh vznikl za spolupráce s konzultantem panem Ing. Josefem Kytýrem z firmy INELSEV s.r.o., zabývající se rozsáhlou inženýrskou činností v oblasti průmyslové automatizace a elektrotechniky.

6.2 Rozsah projektu

Projekt obsahuje technický návrh skupinové a centrální kompenzace pro výrobu NRL stavba 2314 rozvodny R61 a R62, PSP stavba 1385 rozvodny R1 a R2, CCR stavba 1325 rozvodny R61 a R62, PS18.1 stavba 5402 rozvodny R1 a R2, HYDROGENERACE stavba 3607 rozvodny R6.1 a R6.2 a výrobu PS 14.1 stavba 3605 rozvodny RIII.1 a RIII.2.

V projektu je zahrnuto ekonomické zhodnocení variant skupinové a centrální kompenzace včetně návratnosti investice do realizace.

Závěrem projektu je doporučení pro konkrétní realizaci stavby a odůvodnění.

6.3 Podklady pro projekt

Projekt byl realizován na základě dodaných projektových schémat a hodnot z elektroměrů pro jednotlivé výroby a rozvodny, které jsou součástí příloh této diplomové práce.

7 Návrh skupinové kompenzace

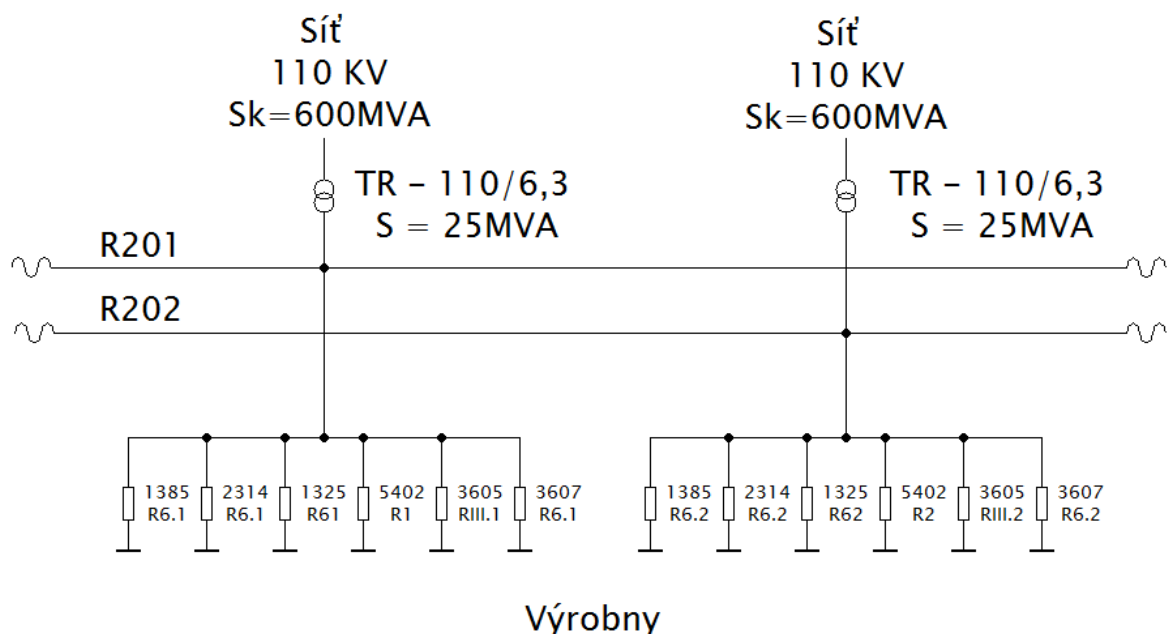
Napájení pro výše uvedené výroby je realizováno ze dvou oddělených přípojnic R201 a R202 napájených dvěma hlavními transformátory o výkonu 25 MVA. Výroby s označením rozveden R1, R6.1, rIII.1 a R61 jsou napájeny z přípojnice R201 ostatní výroby z přípojnice R202 (Obr. 26). Skupinová kompenzace bude umístěna na jednotlivých rozvodnách, celkem se bude jednat o 12 kompenzačních jednotek s 2 až 3 stupni.

Skupinová kompenzace bude realizována jako hrazená kompenzace z důvodů vysokého obsahu harmonických v síti, které jsou způsobeny vysokým instalovaným výkonem zařízení generující harmonické (především řídicí jednotky motorů, frekvenční měniče). Výkon těchto zařízení přesahuje hodnotu 20% hlavního transformátoru a do budoucna se dá předpokládat ještě další nárůst, proto je použita hrazená kompenzace.

Zátěž výroben tvoří převážně asynchronní motory, jejichž zatížení se nijak výrazně dynamicky nemění. Na rychlost kompenzace nejsou kladeny vysoké nároky a bude navržena jako klasická stupňovitě řízená kompenzace s realizací spínání stupňů pomocí vn stykačů.

- Předpoklady pro výpočty

Výroba probíhá nepřetržitě 24 hodin denně po celý rok, včetně víkendů a svátků. Ve výpočtech vycházíme z naměřených měsíčních hodnot elektroměrů a z projektové dokumentace. Kompenzaci navrhujeme na požadovaný účinník $\cos \varphi = 0,98$ s výkonovou rezervou 20 %.



Obr. 26 Zjednodušené zapojení sítě

7.1 Výrobní PSP - st. 1385 - Rozvodna R1

Návrh skupinové kompenzace výrobní PSP - st. 1385 - rozvodna R1 je proveden podrobně s opodstatněním veškerých kroků a volených zařízení. V dalších částech této práce již nebudou uváděny podrobné výpočty a důvody volby, především činitele zatlumení, typů kondenzátorů a výpočet tlumivek z důvodů podobnosti a rozsahu práce.

V Tab. 7 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní PSP st. 1385 rozvodna R1. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 2.

Tab. 7 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot výrobní PSP - st. 1385 - rozvodna R1

PSP - st. 1385 - rozvodna R1							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod 201-53				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVArh]	Q _{k+20%} [kVArh]
2006	09	1 446 960	2 226	929 858	0,84	883,39	1060,07
2006	10	1 074 752	2 502	674 829	0,85	613,70	736,44
2006	11	1 758 036	2 616	1 079 964	0,85	1004,14	1204,97
2006	12	1 781 439	2 622	1 110 204	0,85	1006,00	1207,21
2007	01	1 541 129	2 310	950 243	0,85	856,59	1027,91
2007	02	1 351 824	2 178	843 244	0,85	846,35	1015,62
2007	03	1 706 676	2 628	1 056 321	0,85	953,99	1144,78
2007	04	1 891 322	2 856	1 164 057	0,85	1083,34	1300,01
2007	05	1 870 886	2 832	1 167 047	0,85	1057,99	1269,59
2007	06	1 906 272	2 796	1 185 193	0,85	1108,48	1330,18
2007	07	2 013 161	2 880	1 217 755	0,86	1087,32	1304,78
2007	08	1 690 110	2 820	1 021 368	0,86	911,53	1093,83
2007	09	168 999	1 068	120 274	0,81	119,39	143,26
Průměrné hodnoty		1 553 967	2 487	963 104	0,85	887,09	1 064,51

7.1.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc červen rok 2007). Kompenzační rezervu 20 % uvažujeme z důvodů lepšího pokrytí výkonových špiček a pro případnou změnu provozu motorů.

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{1185193}{1906272} \right) = 0,85.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{1906272}{0,98} = 1945176 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1945176^2 - 1906272^2} = 387085,04 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{1185193 - 387085,04}{30 * 24} = 1108,48 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 1108,48 * 1,2 = 1330,18 \text{ [kVAr]},$$

kde je

S_{pk} zdánlivý výkon po kompenzaci,

Q_{pk} jalový výkon po kompenzaci ,

Q_k potřebný kompenzační výkon,

$Q_{k+20\%}$ potřebný kompenzační výkon s výkonovou rezervou 20%.

Takto stanovený kompenzační výkon představuje průměrný požadovaný hodinový výkon výroby. Z měsíčních odpočtů z elektroměrů nejsme schopni zjistit přesný provoz zátěže, nevíme její soudobost ani skutečnou dobu provozu, známe jen průměrné hodnoty činné a jalové energie, které vnikly měsíčním provozem zátěže. Především z těchto důvodů uvažujeme výkonovou rezervu 20 % a vysoký požadovaný účinník 0,98 poskytující další případnou rezervu. Dodržováním těchto předpokladů by měla být kompenzace schopna pokrýt i výkonové špičky, které nejsme schopni odhalit, ale lze je předpokládat.

V návrhu velikosti a počtu kompenzačních stupňů na hladinách vn jsme limitováni především ekonomickou stránkou věci. Cena jednoho kompenzačního stupně se pohybuje přibližně v rozmezí od 100 tisíc až po 1 milion korun, záleží na výkonu a vybavenosti. Z těchto důvodů se snažíme jejich počet eliminovat na přípustné minimum, tak aby investice byly co nejnižší a byla zachována plynulost a výkon regulace.

Požadavky na kompenzační výkon výroben zpracované v tomto projektu dosahují značných výkonů a pohybují se zhruba v rozsahu 600 až 1600 kVAr. V případech, kdy výkon nepřesahuje 1000 kVAr jsou použity dva kompenzační stupně, při kompenzačním výkonu vyšším než 1000 kVAr jsou použity tři stupně, pro zachování plynulosti regulace. Velikost nejmenšího stupně neklesne pod hranici 200 kVAr, vzhledem k velikostem výkonů by to bylo značně neekonomické.

Celkový potřebný kompenzační výkon výroby PSP rozvodna R1 s 20 % rezervou byl stanoven na hodnotu 1330,17 kVAr. S přihlédnutím na velikost výkonu volíme tři kompenzační stupně s váhou spínání 1:2:3 s velikostí základního stupně 250 kVAr (Tab. 8).

Tab. 8 Volba kondenzátorových baterií

Kompenzační stupně st. 1385 - rozvodna R1		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	250	208,05
2	500	416,10
3	750	624,15
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	1500	1248,30

7.1.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitel ztlumení se z ekonomického hlediska snažíme volit co nejmenší, ale zároveň takový, aby rezonance kondenzátoru a tlumivky byla v dostatečné vzdálenosti od kmitočtu HDO. V síti rafinérie v Litvínově jsou používány dva kmitočty HDO $216^{2/3}$ Hz a $183^{1/3}$ Hz, což situaci ohledně činitele ztlumení komplikuje.

V úvahu připadá činitel ztlumení 7 % s rezonanční frekvencí 188,98 Hz ležící mezi kmitočty HDO a činitel ztlumení 8% s kmitočtem 176,77 Hz ležící pod kmitočty HDO. Jako vhodnější se zde jeví druhá varianta především s ohledem na vzdálenosti jednotlivých kmitočtů. Z technického hlediska by nebyl problém použít vyšší činitele ztlumení, z již zmíněného ekonomického hlediska to však neplatí. Čím větší ztlumení, tím větší tlumivky a výsledná cena.

Pro ověření návrhu 8% ztlumení se řídíme pravidly uvedenými v podnikové normě PNE 33 3430 - 6 zabývající se omezováním zpětných vlivů na signál HDO. Tato problematika je detailně popsána v kapitole 4.3.2, proto zde budou uvedeny jen úzké souvislosti s tímto návrhem.

V souvislosti s kompenzačním zařízením norma zavádí tzv. impedanční činitel α a jeho minimální hodnotu pro odběratele z příslušné napěťové hladiny. Pro výpočet impedančního činitele je zapotřebí výpočet impedance sítě odběratele ve společném napájecím bodě na tónovém kmitočtu HDO. Výpočet impedance se provádí pro veškeré zařízení zákazníka včetně uvažování navrhované kompenzace. V případech, kdy je síť odběratele rozsáhlá je provedení výpočtu velice komplikované a norma doporučuje provést místo výpočtu měření. Norma též říká, že odběratelé s vyšším smluvním výkonem mohou

ovlivňovat úroveň signálu HDO v síti větší měrou a dokonce připouští pokles úrovně tohoto signálu (pouze v síti odběratele, v případě, že z této sítě nejsou napájeni další odběratelé) na takovou hodnotu, že provoz přijímačů v ní nebude možný.

Tento návrh se zabývá jen částí rozsáhlého komplexu rafinérské společnosti. Ve skutečnosti tvoří přibližně jen jednu desetinu celkové velikosti podniku. Smluvní výkon odběratele se pohybuje okolo 400 MW. Výpočet takto rozsáhlé sítě by byl značně komplikovaný a nepřesný a vyžadoval by kompletní projektovou dokumentaci a přesné informace o spotřebičích a jejich provozu, které nejsou k dispozici. Za těchto okolností provedeme návrh s činitelem zatlumení $p = 8\%$ s ohledem na ochranu nižšího kmitočtu HDO.

Toto tvrzení si můžeme ověřit pomocí výpočtu minimální hodnoty činitele zatlumení uvedeného v kapitole 4.3.3, který norma též uvádí. Za kompenzační výkon do výpočtu dosadíme součet všech výkonů kompenzačních jednotek, který tvoří přibližně 18 MVar, za výkon transformátoru dosadíme smluvní výkon odběratele 400 MW, který bude představovat přibližný výkon všech transformátorů (musíme posuzovat zařízení jako celek), napětí nakrátko transformátoru odhadneme na 11 %, výpočet pak bude vypadat takto:

$$p \geq \frac{\frac{1}{h^2} + \frac{Q_k}{S_{TR}} * \left(\frac{\alpha}{h} - U_k\right)}{1 + \frac{Q_k}{S_{TR}} * \left(\frac{\alpha}{h} - U_k\right)} = \frac{\frac{1}{(183,33/50)^2} + \frac{18}{400} * \left(\frac{0,8}{183,33/50} - 0,11\right)}{1 + \frac{18}{400} * \left(\frac{0,8}{183,33/50} - 0,11\right)} = 7,89[\%].$$

Výpočet odhad potvrzuje a nemělo by dojít k nedovolenému poklesu úrovně signálu HDO s nižším kmitočtem, který je nejvíce ohrožen. Kdybychom výpočet provedli i pro kmitočet HDO $216^{2/3}$ Hz, výsledek zatlumení by byl ještě menší a to $p \geq 5,63$ [%].

V následném připojování takto navrženého zařízení do sítě by se realizovalo měření úrovně signálu HDO před a po jeho připojení. V případě komplikací by se musela realizovat dodatečná opatření na zvýšení impedance sítě, v podobě společných hradících členů pro jednotlivé výroby, což je ale málo pravděpodobné vzhledem k velikosti sítě odběratele a jeho smluvního výkonu.

- Typ kondenzátorů

Sériové spojení tlumivky a kondenzátoru způsobí zvýšení napětí na kondenzátoru z 6,3 kV přibližně na 6,85 kV, vlivem poklesu impedance stupně. Zvýšené napětí s uvažováním činitele zatlumení 8 % lze stanovit jako:

$$U_{c8\%} = \frac{U_{ntr}}{1-p} = \frac{6300}{1-0,08} = 6847,82[V].$$

Jmenovité napětí kompenzační baterie musí být větší než 6,85 kV. Na trhu se pohybuje několik výrobců těchto zařízení s různými parametry. V tomto projektu jsou použity třífázové kompenzační kondenzátory vn od výrobce ZES SILKO pro napěťovou hladinu 7,2 kV z výrobní řady CPEFS 23-7,2 s vestavěnými vybíjecími odpory.

V návrhu je nutné přepočítat skutečný kompenzační výkon, který je odlišný od jmenovitého výkonu kondenzátorů vlivem rozdílného napětí a především vlivem předřazené tlumivky. V případě podcenění tohoto vlivu, může dojít k nedokompenzování zařízení.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 250 + 500 + 750 = 1500 [kVAr].$$

- Celkový instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{1500} * (1 - 0,08)} = 1248,30 [kVAr].$$

Skutečný kompenzační výkon je za stanovených okolností menší zhruba o jednu pětinu oproti instalovanému a postačuje pro potřeby této výroby. Navržený výkon nemusí v některých případech přesně odpovídat požadovanému, z technického hlediska lze připustit odchylku zhruba kolem 50 kVAr. Skutečný kompenzační výkon pro jednotlivé stupně je uveden v Tab. 8.

7.1.3 Výpočet impedance hradící tlumivky

Postup návrhu impedance tlumivky vychází z následujících výpočtů, stanovíme reaktanci kondenzátoru pomocí činitele zatlumení reaktanci tlumivky a následně její indukčnost.

- Stanovení reaktancí

Výpočet je proveden pouze pro první stupeň s výkonem 250 kVAr, pro ostatní stupně je výpočet stejný. Reaktance jednotlivých kondenzátorů a tlumivek jsou uvedeny v Tab. 9.

$$X_{c250} = \frac{U_{CN}^2}{Q_C} = \frac{7,20^2}{0,25} = 207,36 [\Omega],$$

$$X_{L250} = p * X_C = 0,08 * 207,36 = 16,59 [\Omega].$$

- Stanovení indukčnosti tlumivky

$$L_{L250} = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{16,59}{2 * \pi * 50} = 52,80 [mH].$$

Výrobci v některých případech udávají již vypočtené hodnoty pro dvojice kondenzátor tlumivka s určitým výkonem a činitelem zatlumení (častěji na hladinách nízkého napětí.).

Tab. 9 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 1385 - rozvodna R1			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
250	207,36	16,59	52,80
500	103,68	8,29	26,40
750	69,12	5,53	17,60

7.1.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinnosti dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Tab. 10 Ekonomická rozvaha technické realizace výroby PSP - st. 1385 - rozvodna R1

Ekonomická rozvaha investice st. 1385 - rozvodna R1	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 250 kVAr	282 200
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Kompenzační rozvaděč - 750 kVAr	547 100
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 319 600

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 10). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 319 600 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Cenová přírážka je stanovena jako součin hodnot nejvyššího naměřeného čtvrt hodinového výkonu za vyhodnocované období, ceny za rezervovanou kapacitu na příslušné napěťové hladině a odpovídající hodnoty přírážky (přírážka v % podle tabulky 1 dělená 100) a jako součet ceny za použití sítí na příslušné napěťové hladině a ceny za silovou elektřinu, vynásobený odpovídající hodnotou přírážky (přírážka v % podle tabulky 1 dělená 100) a množstvím elektřiny za vyhodnocované období.[8]

Tab. 11 Stanovení cenové přírážky výroba PSP - st.1385 - rozvodna R1.

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	2,49
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVarh	Jalová energie ve sledovaném období	963,10
MWh	Činná energie ve sledovaném období	1 553,97
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,85
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	12,38
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	380 193,44

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 7 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.2 Výrobní CCR st. 1325 rozvodna R61

V Tab. 12 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní CCR st.1325 rozvodna R61. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 3.

Tab. 12 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot výroby CCR - st. 1325 - rozvodna R61

CCR - st. 1325 - rozvodna R61							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod 201-40				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVA]	Q _{k+20%} [kVA]
2006	09	1 672 958	2 646	1 308 910	0,79	1 346,11	1 615,34
2006	10	476 916	2 616	385 715	0,78	388,27	465,92
2006	11	95 396	1 740	62 006	0,84	59,22	71,06
2006	12	1 457 615	2 460	1 151 667	0,78	1 150,12	1 380,14
2007	01	1 224 407	2 274	1 421 128	0,65	1 575,94	1 891,13
2007	02	1 458 009	2 286	1 226 161	0,77	1 384,08	1 660,89
2007	03	1 556 081	2 622	1 207 917	0,79	1 198,85	1 438,61
2007	04	295 577	2 694	241 724	0,77	252,37	302,84
2007	05	126 926	2 286	97 333	0,79	96,18	115,42
2007	06	1 192 842	2 520	899 648	0,80	913,10	1 095,72
2007	07	1 359 777	2 430	978 545	0,81	944,13	1 132,95
2007	08	840 278	2 454	585 433	0,82	557,54	669,04
2007	09	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Průměrné hodnoty		904 368	2 233	735 861	0,78	822,16	986,59

7.2.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc leden rok 2007). Kompenzační rezervu 20 % uvažujeme z důvodů lepšího pokrytí výkonových špiček a pro případnou změnu provozu motorů. V měsíci září v roce 2007 nejsou uvedeny hodnoty z důvodů odstávky zařízení.

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{1421128}{1224407} \right) = 0,65.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{1224407}{0,98} = 1249394,90 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{1249394,90^2 - 1224407^2} = 248626,45 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{1421128 - 248626,45}{30 * 24} = 1575,94 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 1575,94 * 1,2 = 1891,13 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby CCR rozvodna R61 s 20 % rezervou 1891,13 kVAr rozdělíme do třech stupňů s váhou spínání 1:1,5:2 o velikosti základního stupně 500 kVAr (Tab. 13).

Tab. 13 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 1325 - rozvodna R61		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	500	416,10
2	750	624,15
3	1000	832,20
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	2250	1872,45

7.2.2 Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů

Pro první kompenzační stupeň je použit třífázový kondenzátor CPEFS 23-7,2/500, druhý stupeň je realizován paralelním spojením kondenzátorů CPEFS 23-7,2/400 a CPEFS 23-7,2/350. V případě třetího největšího stupně, použijeme dva paralelně spojené kondenzátory CPEFS 23-7,2/500 od výrobce ZES SILKO. Činitel zatlumení 8 %, Jmenovité napětí kondenzátorů 7,2 kV.

Pro ověření dostatečného výkonu přepočítáme instalovaný výkon na skutečný.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 500 + 750 + 1000 = 2250 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{2250} * (1 - 0,08)} = 1872,45 \text{ [kVAr]}.$$

Skutečný instalovaný výkon zcela odpovídá požadavkům výroby CCR rozvodny R61. Přepočtené výkony jednotlivých stupňů jsou uvedeny v Tab. 13.

7.2.3 Výpočet impedance hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně, jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 14).

Tab. 14 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 1325 - rozvodna R61			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
500	103,680	8,294	26,402
750	69,120	5,530	17,601
1000	51,840	4,147	13,201

7.2.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 15). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 15 Ekonomická rozvaha technické realizace CCR- st. 1325-rozvaděč R61

Ekonomická rozvaha investice st. 1325 - rozvodna R61	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Kompenzační rozvaděč - 750 kVAr	547 100
Kompenzační rozvaděč - 1000 kVAr	637 600
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 675 000

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 675 000Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 16 Stanovení cenové přírážky výrobná CCR - 1385 - rozvodna R61.

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	2,23
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	735,86
MWh	Činná energie ve sledovaném období	904,37
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,78
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	22,94
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	438 445,91

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období, uvedené v Tab. 12 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucí průměrný účinník.

7.3 Výrobní NRL st. 2314 rozvodna R6.1

V Tab. 17 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní NRL st. 2314 rozvodna R6.1. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 4.

Tab. 17 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

NRL - st. 2314 - rozvodna R6.1							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod 201-9				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
2006	09	1 781 392	2 976	1 203 984	0,83	1 169,80	1 403,76
2006	10	1 392 380	2 576	952 100	0,83	899,68	1 079,62
2006	11	1 803 348	2 784	1 182 340	0,84	1 133,55	1 360,26
2006	12	1 688 276	2 592	1 134 108	0,83	1 063,56	1 276,27
2007	01	1 376 900	2 032	966 932	0,82	923,84	1 108,61
2007	02	1 451 488	2 512	979 912	0,83	1 019,61	1 223,53
2007	03	1 811 832	2 688	1 170 180	0,84	1 078,32	1 293,99
2007	04	1 628 840	2 816	1 149 388	0,82	1 137,00	1 364,40
2007	05	1 990 072	4 608	1 391 508	0,82	1 327,16	1 592,59
2007	06	1 783 000	3 312	1 340 760	0,80	1 359,31	1 631,18
2007	07	1 956 656	3 296	1 481 404	0,80	1 457,11	1 748,53
2007	08	1 678 300	2 592	1 329 368	0,78	1 328,73	1 594,48
2007	09	227 124	1 984	193 996	0,76	205,38	246,46
Průměrné hodnoty		1 582 278	2 828	1 113 537	0,82	1 084,85	1 301,82

7.3.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc červenec rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{1481404}{1956656} \right) = 0,80.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{1956656}{0,98} = 1996587,76 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{1996587,76^2 - 1956656^2} = 397315,95 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{1481404 - 397315,95}{31 * 24} = 1457,11 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 1457,11 * 1,2 = 1748,53 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby NRL st. 2314 rozvodna R6.1 s 20 % rezervou 1748,53 kVAr rozdělíme na tři stupně s vahou spínání 1:2:4 s velikostí základního stupně 300 kVAr (Tab. 18).

Tab. 18 Tabulka vypočtených hodnot

Kompenzační stupně st. 2314 - Rozvodna R6.1		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	300	249,66
2	600	499,32
3	1200	998,64
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	2100	1747,62

7.3.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně pro první stupeň CPEFS 23-7,2/300, pro druhý stupeň CPEFS 23-7,2/600 a pro třetí stupeň použijeme dva paralelně připojené kondenzátory CPEFS 23-7,2/600.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 300 + 600 + 1200 = 2100 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{2100} * (1 - 0,08)} = 1747,62 \text{ [kVAr]}.$$

Skutečný kompenzační výkon 1747,62 kVAr odpovídá požadavkům výroby NRL st. 2314 rozvodna R6.1, výkon pro jednotlivé stupně je uveden v Tab. 18.

7.3.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 19).

Tab. 19 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 2314 - Rozvodna R6.1			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
300	172,8	13,824	44,00
600	86,40	6,91	22,00
1200	43,2	3,46	11,00

7.3.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 20). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 20 Ekonomická rozvaha technické realizace NRL st. 2314 - Rozvodna R6.1

Ekonomická rozvaha investice st. 2314 - rozvodna R6.1	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 300 kVAr	307 100
Kompenzační rozvaděč - 600 kVAr	458 300
Kompenzační rozvaděč - 1200 kVAr	677 600
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 516 000

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 516 000 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 21 Stanovení cenové přírážky výrobní NRL- st. 2314 - rozvodna R6.1.

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	2,83
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	1 113,54
MWh	Činná energie ve sledovaném období	1 582,28
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,82
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	16,69
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	529 686,93

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 17 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.4 Výrobní HYDROGENERACE st. 3607 - rozvodna R6.1 pole 1, 3

Do rozvodny R6.1 výrobní HYDROGENERACE st. 3607 jsou realizovány dva aktivní přívody (přívod 201 - 56 a 201 -58 jih), na každém z nich probíhá samostatné měření činné a jalové energie. V Tab. 22 jsou tyto přívody barevně odlišeny, bílá barva představuje přívodní pole 3 (přívod 201 -56 jih), tmavě zelená přívodní pole 1 (přívod 201 - 58 jih) a žlutá barva označuje období, kdy byla dodávka realizována z obou přívodů ve stejném měsíci, v takovémto případě se obě hodnoty z elektroměrů sečetly. Obdobně jako v předchozích variantách vyroben je z těchto údajů stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 5.

Tab. 22 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

HYDROGENERACE - st. 3607 - rozvodna R6.1 pole1 a 3							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod 201-56 a 58 jih				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVArh]	Q _{k+20%} [kVArh]
2006	09	393 041	642	564 075	0,57	672,59	807,11
2006	10	206 514	576	340 177	0,52	400,86	481,04
2006	11	428 718	696	617 737	0,57	737,06	884,47
2006	12	191 946	294	329 790	0,50	390,88	469,05
2007	01	386 081	762	625 684	0,53	735,60	882,72
2007	02	148 548	258	228 029	0,55	294,44	353,33
2007	03	137 085	684	284 659	0,43	345,19	414,23
2007	04	106 886	492	225 366	0,43	282,86	339,44
2007	05	236 136	540	311 796	0,60	354,63	425,56
2007	06	100 402	174	270 030	0,35	346,73	416,07
2007	07	186 165	618	272 057	0,56	314,86	377,83
2007	08	444 149	666	542 020	0,63	607,30	728,76
2007	09	78 150	624	76 988	0,71	84,89	101,86
Průměrné hodnoty		234 140	540	360 647	0,54	428,30	513,96

7.4.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc leden rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{625684}{386081} \right) = 0,53.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{386081}{0,98} = 393960,20 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{393960,20^2 - 386081^2} = 78397,07 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{625684 - 78397,07}{31 * 24} = 735,60 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 735,60 * 1,2 = 882,72 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby HYDROGENERACE st. 3607 rozvodna R6.1 s 20 % rezervou 882,72 kVAr rozdělíme do dvou stupňů s vahou spínání 1:2 s velikostí základního stupně 350 kVAr (Tab. 23). Pro využití dvou kompenzačních stupňů jsme se rozhodli z ekonomického hlediska a z důvodů výkonu nepřesahujícím 1000 kVAr.

Tab. 23 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 3607 - rozvodna R6.1		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	350	291,27
2	700	582,54
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	1050	873,81

7.4.2 Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů

Činitele zatlumení 8 % je stejný jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně CPEFS 23-7,2/350 a CPEFS 23-7,2/700.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 = 350 + 700 = 1050 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{7200^2} = \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{1050 * (1 - 0,08)} = 873,81 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je dostačující. Skutečný kompenzační výkon pro jednotlivé stupně je uveden v Tab. 23.

7.4.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 24).

Tab. 24 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 3607 - rozvodna R6.1			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
350	148,11	11,85	37,32
700	74,06	5,92	18,86

7.4.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 25). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 25 Ekonomická rozvaha technické realizace HYDROGENERACE - st. 3607 - rozvaděč R6.1

Ekonomická rozvaha investice st. 3607 - rozvodna R6.1	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 350 kVAr	326 900
Kompenzační rozvaděč - 700 kVAr	506 200
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	906 100

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 906 100 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 26 Stanovení cenové přírážky výrobní HYDROGENERACE - st. 3607 - rozvodna R6.1.

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	0,54
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	360,65
MWh	Činná energie ve sledovaném období	234,14
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,54
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	79,92
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	390 715,79

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 22 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.5 Výrobní PS 14.1 st. 3605 rozvodna rIII. 1 pole 1, 4

Do rozvodny rIII. 1 výrobní PS14.1 st. 3605 jsou realizovány dva aktivní přívody (přívod 201 - 17 a 201 -19 jih), na každém z nich probíhá samostatné měření činné a jalové energie. V Tab. 27 jsou tyto přívody barevně odlišeny, bílá barva představuje přívodní pole 1 (přívod 201 -19 jih), tmavě zelená přívodní pole 4 (přívod 201 - 17 jih) a žlutá barva označuje období, kdy byla dodávka realizována z obou přívodů ve stejném měsíci, v takovémto případě se obě hodnoty z elektroměrů sečetly. Obdobně jako v předchozích variantách vyroben je z těchto údajů stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 6.

Tab. 27 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

PS 14.1 - st. 3605 - Rozvaděč rIII.1 pole1, 4							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod - 201-17 a 19 jih				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVArh]	Q _{k+20%} [kVArh]
2006	09	514 594	756	591 412	0,66	676,28	811,53
2006	10	513 724	780	881 358	0,50	1 044,41	1 253,29
2006	11	459 510	732	544 486	0,64	626,64	751,96
2006	12	109 829	546	102 050	0,73	107,19	128,63
2007	01	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	02	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	03	251 234	588	330 698	0,60	375,92	451,10
2007	04	235 664	594	304 221	0,61	356,07	427,28
2007	05	102 404	606	133 188	0,61	151,07	181,28
2007	06	574 803	702	597 837	0,69	668,22	801,86
2007	07	623 274	888	625 201	0,71	670,21	804,26
2007	08	616 482	888	615 831	0,71	659,47	791,37
2007	09	72 065	834	82 721	0,66	94,57	113,48
Průměrné hodnoty		313 353	609	369 923	0,65	417,70	501,23

7.5.1 Návrh kompenzačních stupňů

Výrobní PS14.1 rozvodna rIII.1 je zatížena kompresorem o výkonu 850 kW a čerpadlem o výkonu 200 kW. V úvahu připadá využití individuální kompenzace pro kompresor o vyšším výkonu. Individuální kompenzace musí být navržena tak, aby nedošlo k překompenzování motoru, proto se ve většině případů kompenzuje jen na výkon při chodu motoru naprázdno. Při vyšším zatížení motoru pak není kompenzační výkon dostačující. Individuální kompenzace se dá navrhnout i na vyšší zatížení, ale musíme mít přesné informace o provozu motoru (rozsah zatížení, který se nemění), nebo zajistit

regulátorem opatření před překompenzováním. Z Tab. 27 je patrný měnící se průměrný účinník v rozmezí od 0,5 až do 0,73. Pro návrh nemáme přesné informace o provozu motorů a nevíme, který z nich změnu účinníku způsobuje. Dá se předpokládat, že to budou oba, s větší mírou pak kompresor (větší výkon). Z těchto důvodů je rozhodnuto pro využití skupinové kompenzace pro oba motory. Počáteční investice bude přibližně dvojnásobná oproti individuální, ale vzhledem ke špatnému účinníku a vysokým přírůzkám bude návratnost investice stále velmi rychlá. Po čase skupinová kompenzace přinese větší ekonomický přínos, protože bude schopna lépe reagovat na proměnlivý požadovaný výkon. Individuální kompenzace by musela být navržena na spodní hranici požadovaného výkonu ve sledovaném období a v případech zvýšeného požadavku na výkon by byla ztrátová (nedostatečná).

Velikost kompenzačních stupňů byla v předchozích případech navrhována pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období s využitím výkonové rezervy 20 %. U výroby PS 14.1 nebude 20 % rezerva výkonu z důvodu složení zátěže uvažována jako rezerva plně postačí požadovaný účinník 0,98.

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{881358}{513724} \right) = 0,50.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{513724}{0,98} = 544208,16 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{544208,16^2 - 513724^2} = 104316,11 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{881358 - 104316,11}{31 * 24} = 1044,41 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby PS 14.1 rozvodna rIII.1 1044,41 kVAr rozdělíme do dvou kompenzačních stupňů s váhou spínání 1:2 s velikostí základního stupně 400 kVAr (Tab. 28).

Tab. 28 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 3605 - Rozvaděč rIII.1		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	400	332,88
2	800	665,76
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	1200	998,64

7.5.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně CPEFS 23-7,2/400. Pro druhý kompenzační stupeň jsou použity dva paralelně připojené kondenzátory CPEFS 23-7,2/400.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 = 400 + 800 = 1200 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{1200} * (1 - 0,08)} = 998,64 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je dostačující a dobře pokrývá požadavky na rozvodně rIII.1. Skutečný kompenzační výkon pro jednotlivé stupně je uveden v Tab. 28.

7.5.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele ztlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 29).

Tab. 29 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 3605 - Rozvaděč rIII.1			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
400	129,60	10,36	33,00
800	64,80	5,18	16,50

7.5.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 30). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 30 Ekonomická rozvaha technické realizace PS 14.1 - st. 3605 - rozvaděč rIII.1

Ekonomická rozvaha investice st. 3605 - rozvodna rIII.1	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 400 kVAr	354 200
Kompenzační rozvaděč - 800 kVAr	576 400
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 003 600

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 003 600 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 31 Stanovení cenové přírážky výrobní PS 14.1 - st. 3605 - rozvodna rIII.1

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	0,61
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	369,92
MWh	Činná energie ve sledovaném období	313,35
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,65
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	48,58
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	309 063,10

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 27 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucí průměrný účinník.

7.6 Výrobní PS 18.1 st. 5402 - rozvaděč R1

V Tab. 32 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní PS 18.1 st. 5402 - rozvaděč R1. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 7.

Tab. 32 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

PS 18.1 - st. 5402 - rozvodna R1 pole 1							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod - 201-11				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
2006	09	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2006	10	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2006	11	0	390	0	0,00	0,00	0,00
2006	12	337 222	300	296 235	0,75	306,13	367,35
2007	01	638 885	306	495 121	0,79	491,12	589,34
2007	02	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	03	82 932	288	208 122	0,37	257,10	308,52
2007	04	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	05	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	06	698 793	1 038	512 876	0,81	515,25	618,30
2007	07	417 554	1 032	284 582	0,83	268,54	322,25
2007	08	603 504	1 032	559 255	0,73	586,97	704,37
2007	09	58 067	768	6 576	0,99	0,00	0,00
Průměrné hodnoty		218 227	396	181 751	0,77	404,18	485,02

7.6.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc srpen rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{559255}{603504} \right) = 0,73.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{603504}{0,98} = 615820,41 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{615820,41^2 - 603504^2} = 122546,72 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{559255 - 122546,72}{31 * 24} = 586,97 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 586,97 * 1,2 = 704,37 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby PS 18.1 st. 5402 - rozvaděč R1 s 20 % rezervou 704,37 kVAr rozdělíme do dvou kompenzačních stupňů s vahou spínání 1:2 s velikostí nejmenšího stupně 300 kVAr (Tab. 33).

Tab. 33 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 5402 - rozvodna R1		
Stupeň	Qn [kVAr]	Q 8% [kVAr]
1	300	249,66
2	600	499,32
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	900	748,98

7.6.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně pro první stupeň CPEFS 23-7,2/300, pro druhý stupeň CPEFS 23-7,2/600.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 300 + 600 = 900 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{900} * (1 - 0,08)} = 748,98 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je zcela dostačující a dobře pokrývá požadavky výroby PS 18.1 st.5402 rozvodna R1 . Skutečný kompenzační výkon jednotlivých stupňů je uveden v Tab. 33.

7.6.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 34).

Tab. 34 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 5402 - Rozvodna R1			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
300	172,800	13,824	44,003
600	86,400	6,912	22,002

7.6.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 35). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 35 Ekonomická rozvaha technické realizace PS 18.1 - st. 5402 - rozvaděč R1

Ekonomická rozvaha investice st. 5402 - rozvodna R1	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 300 kVAr	307 100
Kompenzační rozvaděč - 600 kVAr	458 300
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	838 400

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 838 400 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 36 Stanovení cenové přírážky výrobná PS 18.1 - st. 5402 - rozvodna R.1

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	0,40
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	181,75
MWh	Činná energie ve sledovaném období	218,23
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,77
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	24,61
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	107 969,21

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 32 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucí průměrný účinník.

7.7 Výrobní PSP st. 1385 rozvodna R2

V Tab. 37 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní PSP st. 1385 rozvodna R2. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 8.

Tab. 37 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

PSP - st. 1385 - rozvodna R2							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod - R202 - 49				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
2006	09	1 210 572	1 872	829 960	0,82	811,31	973,57
2006	10	1 122 540	1 808	807 940	0,81	779,57	935,48
2006	11	888 968	1 440	671 088	0,80	681,35	817,63
2006	12	1 042 404	1 808	725 364	0,82	690,45	828,54
2007	01	1 248 772	1 856	835 380	0,83	782,00	938,40
2007	02	1 176 328	1 920	768 088	0,84	787,54	945,04
2007	03	1 037 064	1 792	731 428	0,82	700,06	840,07
2007	04	767 636	1 328	612 760	0,78	634,56	761,47
2007	05	862 616	1 312	678 640	0,79	676,72	812,06
2007	06	840 664	1 328	675 600	0,78	701,24	841,49
2007	07	837 216	1 264	651 056	0,79	646,58	775,89
2007	08	1 053 984	1 760	766 288	0,81	742,29	890,75
2007	09	197 488	1 152	146 480	0,80	147,75	177,30
Průměrné hodnoty		945 096	1 588	684 621	0,81	675,49	810,59

7.7.1 Návrh kompenzačních stupňů a hradící tlumivky

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc září rok 2006).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{829960}{1210572} \right) = 0,82.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{1210572}{0,98} = 1235277,55 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{1235277,55^2 - 1210572^2} = 245817,12 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{829960 - 245817,12}{30 * 24} = 811,31 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 811,31 * 1,2 = 973,57 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon pro výrobu PSP st. 1385 rozvodna R2 s 20 % rezervou 973,57 kVAr rozdělíme do tří kompenzačních stupňů s váhou spínání 1:2:2 s velikostí základního stupně 250 kVAr (Tab. 38).

Tab. 38 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 1385 - Rozvodna R2		
Stupeň	Qn [kVAr]	Q 8% [kVAr]
1	250	208,05
2	500	416,10
3	500	416,10
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	1250	1040,25

7.7.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně pro první stupeň CPEFS 23-7,2/250, pro druhý a třetí stupeň CPEFS 23-7,2/500.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 250 + 500 + 500 = 1250 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{1250} * (1 - 0,08)} = 1040,25 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je zcela dostačující a dobře pokrývá požadavky výroby PSP st.1385 rozvodna R2 . Skutečný kompenzační výkon jednotlivých stupňů je uveden v Tab. 38.

7.7.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 39).

Tab. 39 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 1385 - Rozvodna R2			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
250	207,36	16,59	52,80
500	103,68	8,29	26,40
500	103,68	8,29	26,40

7.7.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 40). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 40 Ekonomická rozvaha technické realizace PSP - st. 1385 - rozvaděč R2

Ekonomická rozvaha investice st. 1385 - rozvodna R2	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 250 kVAr	282 200
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 189 800

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 189 800 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 41 Stanovení cenové přírážky výrobní PSP - st. 1385 - rozvodna R2

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	1,59
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	684,62
MWh	Činná energie ve sledovaném období	945,10
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,81
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	18,19
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1651,24
Kč	Platba za jalovou energii	341 897,51

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 37 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucí průměrný účinník.

7.8 Výrobní CCR st. 1325 rozvodna R62

V Tab. 42 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní CCR st. 1325 rozvodna R62. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 3.

Tab. 42 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

CCR - st. 1325 - rozvodna R62							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod - 202 - 40				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVA]	Q _{k+20%} [kVA]
2006	09	17 834	2 280	11 111	0,85	10,40	12,48
2006	10	1 135 388	2 418	990 614	0,75	1 021,59	1 225,91
2006	11	1 464 629	2 436	1 129 410	0,79	1 155,56	1 386,67
2006	12	250 349	2 424	166 366	0,83	155,28	186,34
2007	01	15 249	1 776	16 292	0,68	17,74	21,28
2007	02	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	03	147 015	2 226	109 478	0,80	107,02	128,43
2007	04	566 115	2 316	585 163	0,70	653,07	783,68
2007	05	1 654 011	2 694	1 253 886	0,80	1 233,90	1 480,69
2007	06	557 957	2 754	339 438	0,85	314,08	376,90
2007	07	437 187	2 508	325 916	0,80	318,74	382,49
2007	08	949 599	2 508	702 468	0,80	685,00	822,01
2007	09	189 770	2 472	141 915	0,80	143,58	172,30
Průměrné hodnoty		568 085	2 216	444 004	0,79	447,38	536,86

7.8.1 Návrh kompenzačních stupňů a hradící tlumivky

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc květen rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{1253886}{1654011} \right) = 0,80.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{1654011}{0,98} = 1687766,33 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{1687766,33^2 - 1654011^2} = 335861,28 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{1253886 - 335861,28}{31 * 24} = 1233,90 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 1233,90 * 1,2 = 1480,69 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon pro výrobu CCR st. 1325 rozvodna R62 s 20 % rezervou 1480,69 kVAr rozdělíme do tří kompenzačních stupňů s váhou spínání 1:2:4 s velikostí základního stupně 250 kVAr (Tab. 43).

Tab. 43 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 1325 - rozvodna R62		
Stupeň	Qn [kVAr]	Q 8% [kVAr]
1	250	208,05
2	500	416,10
3	1000	832,20
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	1750	1456,35

7.8.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně pro první stupeň CPEFS 23-7,2/250, pro druhý stupeň CPEFS 23-7,2/500. Největší stupeň je tvořen paralelním spojením kondenzátorů CPEFS 23-7,2/500.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 250 + 500 + 1000 = 1750 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{1750} * (1 - 0,08)} = 1456,35 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je zcela dostačující a dobře pokrývá požadavky výroby CCR st.1325 rozvodna R62. Skutečný kompenzační výkon jednotlivých stupňů je uveden v Tab. 43.

7.8.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 44).

Tab. 44 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 1325 - Rozvodna R62			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
250	207,36	16,59	52,80
500	103,68	8,29	26,40
1000	51,84	4,15	13,20

7.8.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 45). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 45 Ekonomická rozvaha technické realizace CCR st. 1325 - rozvaděč R62

Ekonomická rozvaha investice st. 1325 - rozvodna R62	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 250 kVAr	282 200
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Kompenzační rozvaděč - 1000 kVAr	637 600
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 410 100

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 410 100 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 46 Stanovení cenové přírážky výrobná CCR - st. 1325 - rozvodna R62

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	2,22
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	444,00
MWh	Činná energie ve sledovaném období	568,08
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,79
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	21,32
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	283 354,56

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 42 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.9 Výrobní NRL st. 2314 rozvodna R6.2

V Tab. 47 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní NRL st.2314 rozvodna R6.2. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 9.

Tab. 47 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

NRL - st. 2314 - rozvodna R6.2							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod 202 - 35				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVA]	Q _{k+20%} [kVA]
2006	09	1 492 904	3 968	1 056 004	0,82	1 045,63	1 254,76
2006	10	1 348 780	2 688	968 424	0,81	933,52	1 120,23
2006	11	1 460 412	2 480	1 020 904	0,82	1 006,05	1 207,26
2006	12	1 656 668	2 704	1 107 860	0,83	1 036,91	1 244,29
2007	01	1 863 796	2 800	1 268 708	0,83	1 196,57	1 435,88
2007	02	1 546 184	2 624	1 044 412	0,83	1 086,97	1 304,37
2007	03	1 688 260	2 848	1 173 792	0,82	1 116,90	1 340,28
2007	04	2 326 072	3 840	1 608 740	0,82	1 578,35	1 894,02
2007	05	1 532 644	3 840	1 061 372	0,82	1 008,27	1 209,93
2007	06	1 531 704	2 656	976 708	0,84	924,56	1 109,47
2007	07	1 485 152	2 848	908 332	0,85	815,54	978,64
2007	08	1 715 472	2 880	1 054 044	0,85	948,52	1 138,23
2007	09	307 044	2 704	209 536	0,83	204,43	245,31
Průměrné hodnoty		1 535 007	2 991	1 035 295	0,83	992,48	1 190,98

7.9.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc duben rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{1608740}{2326072} \right) = 0,82.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{2326072}{0,98} = 2373542,86 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{2373542,86^2 - 2326072^2} = 472329,08 \text{ [kVA]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{1608740 - 472329,08}{30 * 24} = 1578,35 [kVAr],$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 1578,35 * 1,2 = 1894,02 [kVAr].$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby NRL st. 2314 rozvodna R6.2 s 20 % rezervou 1894,02 kVAr rozdělíme na tři stupně s vahou spínání 1:1,5:2 s velikostí základního stupně 500 kVAr (Tab. 48).

Tab. 48 Návrh kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 2314 - Rozvodna R6.2		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	500	416,10
2	750	624,15
3	1000	832,20
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	2250	1872,45

7.9.2 Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů

Činitele zatlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně pro první stupeň CPEFS 23-7,2/500, pro druhý stupeň dva paralelně spojené kondenzátory CPEFS 23-7,2/500 a 350. Třetí stupeň je realizován paralelně kombinací dvou kondenzátorů CPEFS 23-7,2/500.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 500 + 750 + 1000 = 2250 [kVAr].$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{2250} * (1 - 0,08)} = 1872,45 [kVAr].$$

Skutečný kompenzační výkon 1872,45 kVAr odpovídá požadavkům výroby NRL st. 2314 rozvodna R6.2, výkon pro jednotlivé stupně je uveden v Tab. 48.

7.9.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 49).

Tab. 49 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 2314 - Rozvodna R6.2			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
500	103,68	8,29	26,40
750	69,12	5,53	17,60
1000	51,84	4,15	13,20

7.9.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 50). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 50 Ekonomická rozvaha technické realizace NRL st. 2314 - Rozvodna R6.2

Ekonomická rozvaha investice st. 2314 - rozvodna R6.2	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Kompenzační rozvaděč - 750 kVAr	547 100
Kompenzační rozvaděč - 1000 kVAr	637 600
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 675 000

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 675 000 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 51 Stanovení cenové přírážky výrobní NRL- st. 2314 - rozvodna R6.2

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	2,99
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	1035,30
MWh	Činná energie ve sledovaném období	1535,01
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,83
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	15,22
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1651,24
Kč	Platba za jalovou energii	474 538,03

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 47 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.10 Výrobní HYDROGENERACE st. 3607 - rozvodna R6.2 pole 2, 4

Do rozvodny R6.2 výrobní HYDROGENERACE st. 3607 jsou realizovány dva aktivní přívody (přívod 202 - 60 a 202 -64 sever), na každém z nich probíhá samostatné měření činné a jalové energie. V Tab. 52 jsou tyto přívody barevně odlišeny, bílá barva představuje přívodní pole 4 (přívod 202 -60 sever), tmavě zelená přívodní pole 2 (přívod 202 - 64 sever) a žlutá barva označuje období, kdy byla dodávka realizována z obou přívodů ve stejném měsíci, v takovémto případě se obě hodnoty z elektroměrů sečetly. Obdobně, jako v předchozích variantách vyroben je z těchto údajů stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 5.

Tab. 52 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

HYDROGENERACE - st. 3607 - rozvodna R6.2 pole 2 a 4							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod 202-60 a 64 sever				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
2006	09	341 154	858	92 114	0,97	31,72	38,07
2006	10	755 526	1 284	261 177	0,95	144,84	173,81
2006	11	285 914	1 056	96 353	0,95	53,19	63,83
2006	12	754 427	1 314	265 091	0,94	150,40	180,48
2007	01	321 842	1 104	131 517	0,93	88,93	106,72
2007	02	375 734	786	509 024	0,59	643,94	772,73
2007	03	446 696	744	539 957	0,64	603,83	724,60
2007	04	351 504	708	454 767	0,61	532,49	638,99
2007	05	359 089	726	499 417	0,58	573,25	687,90
2007	06	804 993	1 440	326 634	0,93	226,63	271,96
2007	07	837 447	1 752	281 186	0,95	149,38	179,25
2007	08	385 144	858	93 422	0,97	20,45	24,54
2007	09	37 589	580	12 976	0,95	7,42	8,91
Průměrné hodnoty		465 928	1 016	274 126	0,86	248,19	297,83

7.10.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc únor rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{509024}{375734} \right) = 0,59.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{375734}{0,98} = 383402,04 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{383402,04^2 - 375734^2} = 76296,04 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{509024 - 76296,04}{28 * 24} = 643,94 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 643,94 * 1,2 = 772,73 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby HYDROGENERACE st. 3607 rozvodna R6.2 s 20 % rezervou 772,73 kVAr rozdělíme do dvou stupňů s vahou spínání 1:2 s velikostí základního stupně 300 kVAr (Tab. 53). Pro využití dvou kompenzačních stupňů jsme se rozhodli z ekonomického hlediska a z důvodů výkonu nepřesahujícím 1000 kVAr.

Tab. 53 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 3607 - rozvodna R6.2		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	300	249,66
2	600	499,32
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	900	748,98

7.10.2 Návrh činitele zatlumení a typu kondenzátorů

Činitele zatlumení 8 % je stejný jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně CPEFS 23-7,2/300 a CPEFS 23-7,2/600.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 = 300 + 600 = 900 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{900} * (1 - 0,08)} = 748,98 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je dostačující. Skutečný kompenzační výkon pro jednotlivé stupně je uveden v tabulce Tab. 53.

7.10.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 54).

Tab. 54 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 3607 - rozvodna R6.2			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
300	172,80	13,82	44,00
600	86,4	6,91	45,76

7.10.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 55). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 55 Ekonomická rozvaha technické realizace HYDROGENERACE - st. 3607 - rozvodna R6.2

Ekonomická rozvaha investice st. 3607 - rozvodna R6.2	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 300 kVAr	307 100
Kompenzační rozvaděč - 600 kVAr	458 300
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	838 400

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 838 400 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 56 Stanovení cenové přírážky výrobní HYDROGENERACE - st. 3607 - rozvodna R6.2

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	1,02
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	274,13
MWh	Činná energie ve sledovaném období	465,93
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,86
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	11,02
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1651,24
Kč	Platba za jalovou energii	106 176,14

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 52 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.11 Výrobní PS 14.1 st. 3605 rozvodna rIII.2 pole 1, 4

V Tab. 57 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie výrobní PS14.1 st.3605 rozvodna rIII.2. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 6.

Tab. 57 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

PS 14.1 - st. 3605 - Rozvaděč rIII.2 pole1, 4							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod - 202-17 a 19 jih				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
2006	09	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2006	10	49 025	1 272	15 955	0,95	8,06	9,68
2006	11	71 270	1 266	21 839	0,96	10,23	12,28
2006	12	861 080	1 428	321 439	0,94	197,03	236,43
2007	01	1 022 747	1 404	369 137	0,94	217,02	260,42
2007	02	931 409	1 416	333 981	0,94	215,55	258,66
2007	03	449 295	1 416	192 617	0,92	136,27	163,52
2007	04	298 655	828	314 236	0,69	352,21	422,65
2007	05	500 475	888	540 075	0,68	589,31	707,18
2007	06	16 095	840	11 445	0,81	11,36	13,63
2007	07	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	08	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2007	09	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Průměrné hodnoty		323 081	828	163 133	0,89	133,62	160,34

7.11.1 Návrh kompenzačních stupňů

Výrobní PS14.1 rozvodna rIII.2 podobně jako rozvodna rIII.1 je vybavena kompresorem a čerpadlem o výkonu 850 a 200 kW. Ačkoli jsou obě rozvodny stejné, jejich provoz je dosti odlišný. Z Tab. 57 je patrné menší využití rozvodny rIII.2, jsou zde menší měsíční výkony a zároveň v některých případech téměř vyhovující účinníky. Návrh investice do kompenzačního zařízení zde bude nejdelší ze všech, nicméně v celkovém kontextu investice do skupinové kompenzace se nijak výrazně neprojeví. Proto si zde dovolíme navrhnout rovněž skupinovou kompenzaci, ale s menším kompenzačním výkonem, kdy jako rezerva postačí uvažování účinníku 0,98. Skupinová kompenzace bude lépe reagovat na kompenzační požadavky a s přihlédnutím na provoz na rozvaděči rIII.1 s výrazně horším účinníkem nelze vyloučit podobný provoz i u této rozvodny, naznačuje to i spotřeba ve 4, 5 a 6 měsíci roku 2007.

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc květen rok 2007).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{540075}{500475} \right) = 0,68.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{500475}{0,98} = 510688,78 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{510688,78^2 - 500475^2} = 101625,81 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{540075 - 101625,81}{31 * 24} = 598,31 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby PS 14.1 rozvodna rIII.2 598,31 kVAr rozdělíme do dvou kompenzačních stupňů s váhou spínání 1:2 s velikostí základního stupně 250 kVAr (Tab. 58).

Tab. 58 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 3605 - Rozvaděč rIII.2		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	250	208,05
2	500	416,10
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	750	624,15

7.11.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napětíovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně CPEFS 23-7,2/250 a CPEFS 23-7,2/500.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 = 250 + 500 = 750 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{750} * (1 - 0,08)} = 624,15 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je dostačující a měl by pokrýt i možné vyšší požadavky na rozvodně rIII.2. Skutečný kompenzační výkon pro jednotlivé stupně je uveden v Tab. 58.

7.11.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 59).

Tab. 59 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 3605 - Rozvaděč rIII.2			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
250	207,36	16,59	52,80
500	103,68	8,30	26,40

7.11.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 60). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 60 Ekonomická rozvaha technické realizace PS 14.1 - st. 3605 - rozvaděč rIII.2

Ekonomická rozvaha investice st. 3605 - rozvodna rIII.2	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 250 kVAr	282 200
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	417 300
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	772 500

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 772 500 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 61 Stanovení cenové přírážky výrobní PS 14.1 - st. 3605 - rozvodna rIII.2

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	0,83
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVArh	Jalová energie ve sledovaném období	163,13
MWh	Činná energie ve sledovaném období	323,08
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,89
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	7,10
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	48 812,76

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 57 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucím průměrným účinníkem.

7.12 Výrobní PS 18.1 st. 5402 - rozvaděč R2

V Tab. 62 jsou uvedeny naměřené měsíční hodnoty jalové a činné spotřebované energie pro výrobní PS 18.1 st. 5402 - rozvaděč R2. Z těchto údajů je stanoven účinník $\cos \varphi$ a potřebný kompenzační výkon pro jednotlivé měsíční období. Dokumentace stanice je přiložena v příloze 7.

Tab. 62 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

PS 18.1 - st. 5402 - rozvodna R2							
Měsíční hodnoty měření				09/2006 - 09/2007			
Období		Přívod - 202-11				Kompenzační výkon ($\cos \varphi = 0,98$)	
Rok	Měsíc	P [kWh]	P _{MAX} [kWh]	Q [kVArh]	Cos φ	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
2006	09	471 027	948	527 130	0,67	599,28	719,14
2006	10	497 214	936	519 629	0,69	562,72	675,27
2006	11	553 134	996	616 032	0,67	699,60	839,52
2006	12	675 578	996	764 422	0,66	843,06	1 011,68
2007	01	607 728	996	686 520	0,66	756,88	908,25
2007	02	569 298	900	640 013	0,66	780,38	936,45
2007	03	510 296	990	609 234	0,64	679,59	815,51
2007	04	622 977	1 128	698 541	0,67	794,50	953,40
2007	05	299 193	1 110	307 075	0,70	331,08	397,29
2007	06	137 634	264	129 974	0,73	141,70	170,04
2007	07	166 382	432	175 949	0,69	191,08	229,30
2007	08	188 046	384	221 698	0,65	246,66	295,99
2007	09	6 696	90	12 057	0,49	14,86	17,83
Průměrné hodnoty		408 093	782	454 483	0,67	510,88	613,05

7.12.1 Návrh kompenzačních stupňů

Velikost kompenzačních stupňů navrhujeme pro nejvyšší požadovaný kompenzační výkon ve sledovaném období, který je vyznačen v tabulce tmavě šedou barvou (měsíc prosinec rok 2006).

- Stanovení účinníku

$$\cos \varphi = \cos \left(\tan^{-1} \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\tan^{-1} \frac{764422}{675578} \right) = 0,66.$$

- Stanovení potřebného kompenzačního výkonu

$$S_{pk} = \frac{P}{\cos \varphi_k} = \frac{675578}{0,98} = 689365,31 \text{ [kVA]},$$

$$Q_{pk} = \sqrt{S_{pk}^2 - P^2} = \sqrt{689365,31^2 - 675578^2} = 137181,98 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_k = \frac{Q - Q_{pk}}{d * h} = \frac{764422 - 137181,98}{31 * 24} = 843,06 \text{ [kVAr]},$$

$$Q_{k+20\%} = Q_k * 1,2 = 843,06 * 1,2 = 1011,68 \text{ [kVAr]}.$$

Požadovaný kompenzační výkon výroby PS 18.1 st. 5402 - rozvaděč R2 s 20 % rezervou 1011,68 kVAr rozdělíme do dvou kompenzačních stupňů s vahou spínání 1:2 s velikostí nejmenšího stupně 400 kVAr (Tab. 63).

Tab. 63 Volba kompenzačních stupňů

Kompenzační stupně st. 5402 - rozvodna R2		
Stupeň	Q_n [kVAr]	$Q_{8\%}$ [kVAr]
1	400	332,88
2	800	665,76
Instalovaný výkon Q_i [kVAr]	1200	998,64

7.12.2 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitele ztlumení volíme 8 %, tak jako v ostatních případech. Typy kondenzátorů pro napěťovou hladinu 7,2 kV od výrobce ZES SILKO, konkrétně pro první stupeň CPEFS 23-7,2/400, pro druhý stupeň dva paralelně spojené kondenzátory CPEFS 23-7,2/400.

- Celkový instalovaný kompenzační výkon

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 400 + 800 = 1200 \text{ [kVAr]}.$$

- Skutečný instalovaný kompenzační výkon s ochranou tlumivkou

$$Q_{k/8\%} = \frac{3 * U_{fn}^2}{X_{LC}} = \frac{3 * \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{U_{nk}^2}{Q_i} * 8\%} * \frac{3 * \left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{7200^2}{1200} * (1 - 0,08)} = 998,64 \text{ [kVAr]}.$$

Instalovaný kompenzační výkon je zcela dostačující a dobře pokrývá požadavky výroby PS 18.1 st.5402 rozvodna R2 . Skutečný kompenzační výkon jednotlivých stupňů je uveden v Tab. 63.

7.12.3 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Indukčnost hradící tlumivky určíme za pomoci reaktance kondenzátoru a činitele zatlumení obdobně jako v kapitole 7.1.3 na straně 66, z těchto důvodů jsou zde uvedeny pouze výsledky výpočtů reaktancí a indukčnosti tlumivek (Tab. 64).

Tab. 64 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky st. 5402 - Rozvodna R2			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
400	129,60	10,37	33,00
800	64,80	5,18	16,50

7.12.4 Ekonomická rozvaha technické realizace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů této výroby. Nejsou zde zahrnuty stavební náklady, náklady spojené s realizací zakázky a náklady na provoz a udržování zařízení, ty jsou vyčísleny až společně pro celý projekt. Dále je zde uveden výpočet přírážky za nedodržení předepsané hodnoty účinníku dle energetického regulačního úřadu.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 65). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 65 Ekonomická rozvaha technické realizace PS 18.1 - st. 5402 - rozvaděč R2

Ekonomická rozvaha investice st. 5402 - rozvodna R2	
Rozvaděč	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 400 kVAr	354 200
Kompenzační rozvaděč - 800 kVAr	576 400
Regulační rozvaděč	46 000
Přívodní rozvaděč	27 000
Cena investice	1 003 600

Investiční náklady na nákup technického vybavení jsou vyčísleny na 1 003 600 Kč bez DPH.

- Stanovení přírážky za nedodržení předepsané úrovně účinníku

Stanovení přírážky je provedeno v souladu s podmínkami a postupem uvedeným v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011 ze dne 21. listopadu 2011.

Tab. 66 Stanovení cenové přírážky výrobní PS 18.1 - st. 5402 - rozvodna R2

Výpočet měsíční přírážky za nedodržení účinníku na hladině vn		
Kč / MW	Měsíční cena za rezervovanou kapacitu (za maximum)	157 895,00
MW	Nejvyšší naměřené 1/4 hodinové maximum	0,78
Kč / MWh	Pevná cena za použití sítí	72,29
MVarh	Jalová energie ve sledovaném období	454,48
MWh	Činná energie ve sledovaném období	408,09
Bezrozměrné	Účinník $\cos \varphi$	0,67
%	Procentuální přírážka za nedodržení účinníku	43,99
Kč / MWh	Pevná cena silové elektřiny pro výpočet přírážky	1 651,24
Kč	Platba za jalovou energii	363 745,48

Do výpočtu cenové přírážky jsou dosazeny průměrné hodnoty činného a jalového výkonu a 1/4 hodinového maxima určené z naměřených hodnot ve sledovaném období uvedené v Tab. 62 jako průměrné hodnoty. Cenová přírážka je tedy stanovena pro jeden měsíc s průměrným odběrem jalové a činné energie a z toho plynoucí průměrným účinníkem.

7.13 Návratnost investice skupinové kompenzace

Návratnost investice je počítána jako podíl celkových nákladů na realizaci skupinové kompenzace a měsíční průměrné cenové přírážky za nedodržení předepsané velikosti účinníku zmenšené o měsíční provozní a udržovací náklady rozvaděčů. Do celkových nákladů jsou započítány investiční náklady na pořízení technického vybavení, stavební úpravy vyhrazených prostor a montážní práce na zařízení. Provozní náklady jsou sníženy o hodnotu ušetřených činných ztrát na přívodním vedení.

V Tab. 67 jsou uvedeny celkové investice do technického zařízení a celková cenová přírážka za nedodržení předepsaný účinník stanovené jako součet těchto hodnot od jednotlivých výroben.

Tab. 67 Investiční náklady skupinové kompenzace

Skupinové kompenzace pro výroby připojené na přípojnici R201			
Výrobna	Q_i [kVAr]	Investiční náklady [Kč]	Cenová přírážka [měsíc/Kč]
PSP - R6.1	1500	1 319 600	380 193,44
CCR - R6.1	2250	1 675 000	438 445,91
NRL - R6.1	2100	1 516 000	529 686,93
HYDROGENERACE - R6.1	1050	906 100	390 715,79
PS 14.1 - rIII.1	1200	1 003 600	309 063,10
PS 18.1 - R1	900	838 400	107 969,21
Celkem	9000	7 258 700	2 156 074,38
Skupinové kompenzace pro výroby připojené na přípojnici R202			
PSP - R6.2	1250	1 189 800	341897,51
CCR - R6.2	1750	1 410 100	283 354,56
NRL - R6.2	2250	1 675 000	474538,03
HYDROGENERACE - R6.2	900	838 400	106 176,14
PS 14.1 - rIII.2	750	772 500	48 812,76
PS 18.1 - R2	1200	1 003 600	363 745,48
Celkem	8100	6 889 400	1 618 524,49
Celkem obě přípojnice	17100	14 148 100	3 774 598,87

- Provozní náklady

Provozní náklady tvoří součet ztrát jednotlivých zařízení rozvaděčů, především tlumivek, kondenzátorů, ventilátorů, topidel, ale i pojistek a spojů vodičů. Celkově jsou tyto ztráty odhadnuty na 7 W na kVAr kompenzačního výkonu. Měsíční provozní náklady jsou závislé na provozu zařízení, v tomto návrhu uvažujeme 75 % vytížení kompenzačních rozvaděčů. Náklady jsou pak stanoveny jako součin celkového instalovaného výkonu, odhadnutých ztrát, procenta vytížení a ceny za kWh činného výkonu.

$$P_{MN} = Q_i * \Delta P * c_e * 0,75 = 17100 * 7 * 4,6 * 0,75 = 412965 \text{ [Kč]},$$

kde je

P_{MN} provozní měsíční náklady,

ΔP ztráty kompenzačního zařízení W / kVAr,

c_e cena činné energie Kč / kWh.

- Udržovací náklady

Životnost kompenzačních rozvaděčů se pohybuje okolo 15 let, záleží na mnoha faktorech jako je teplota prostředí, četnost spínání a kvalita instalovaného zařízení. Udržovací náklady jsou zde chápány jako budoucí investice do obnovy celého zařízení v horizontu 15 let. Měsíční udržovací náklady jsou stanoveny jako:

$$U_{MN} = \frac{I_{NTz}}{R * M} = \frac{14148100}{15 * 12} = 78600 \text{ [Kč]},$$

kde je

U_{MN} udržovací měsíční náklady,

I_{NTz} investiční náklady na technické zařízení kompenzace,

R, M roky a měsíce provozu.

- Náklady na stavební úpravy a montáž zařízení

Kompenzační rozvaděče budou umístěny společně ve vyhrazené místnosti. Z důvodů nevyhovujícího technického stavu je nutné provést úpravu podlahy, zdiva a místnost dovybavit odvodem vzduchu a protipožární technikou. Montážní náklady představují práce na instalaci rozvaděčů do nově opravené místnosti. Obě tyto položky byly odhadnuty na částku 350 000 Kč.

- Ztráty na kabelovém vedení

Přívodní kabelové vedení k výrobnám dosahují poměrně velkých vzdáleností pohybující se okolo 700 metrů. Instalaci skupinové kompenzace pozitivně ovlivníme činné ztráty a úbytky napětí na těchto rozvodech. Z ekonomického hlediska nám pak tato skutečnost přinese určitou výhodu oproti centrální kompenzaci, která nekompensuje přívodní vedení a nesnižuje jejich činné ztráty.

Výpočet ztrát je proveden z průměrných měsíčních hodnot přenášeného činného výkonu přívodním vedením jednotlivých výroben. Výsledky včetně potřebných parametrů kabelů jsou uvedeny v Tab. 68.

Příklad výpočtu je proveden pro přívodní vedení k výrobně PSP st. 1385 rozvodna R6.1. Průměrná odebraná činná energie výroben je uvedena v tabulkách naměřených a vypočtených hodnot vždy v úvodu příslušných kapitol návrhu skupinové kompenzace.

$$P = \frac{P_{\text{měsíční}}}{24 * 30} = \frac{1553967}{24 * 30} = 2158,29 \text{ [kW]},$$

$$I_{pk} = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{2158,29}{\sqrt{3} * 6,3 * 0,85} = 232,70 \text{ [A]},$$

$$I_k = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{2158,29}{\sqrt{3} * 6,3 * 0,98} = 201,83 \text{ [A]},$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3 * R * l * (I_{pk}^2 - I_k^2) = 3 * 0,06 * 0,68 * (232,70^2 - 201,83^2) \\ &= 1641,89 \text{ [W]}, \end{aligned}$$

$$\Delta P_M = 1641,89 * 30 * 24 = 1182160,8 = 1182,16 \text{ [kW]},$$

kde je

I_{pk} protékající proud před kompenzací,

I_k protékající proud po kompenzaci.

Tab. 68 Výpočet činných ztrát přívodního vedení

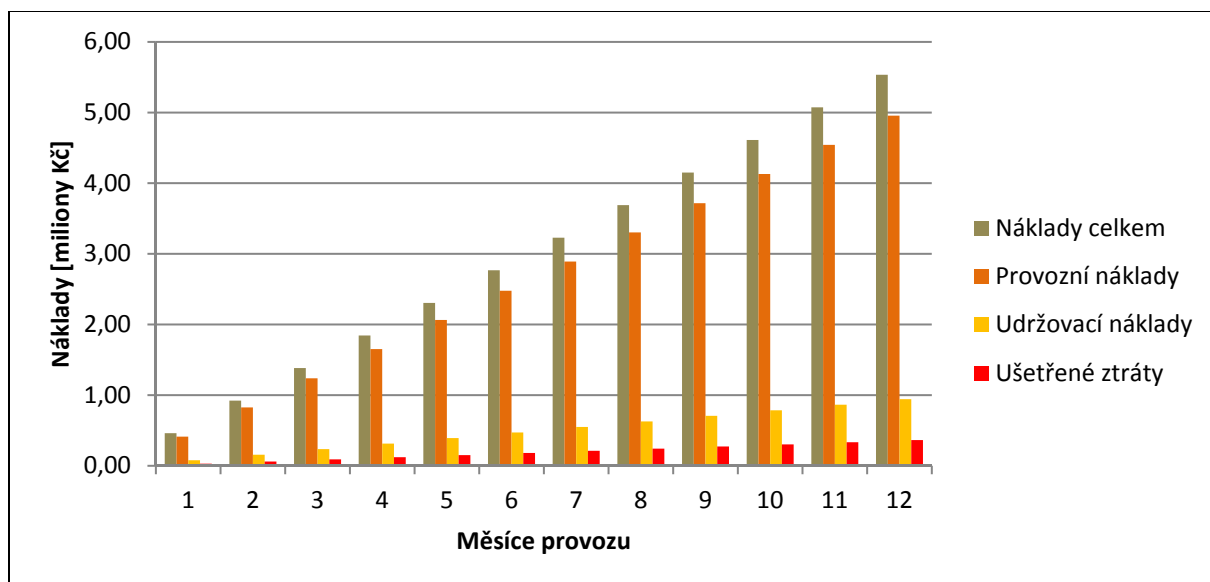
Měsíční činné ztráty na přívodním vedení		Označení kabelů - N2XSEY 6/10		
Výrobný	Průřez [mm ²]	R [Ω/km]	l [m]	ΔP [kW]
PSP - R6.1	3 x 300	0,060	680	1 182,16
CCR - R6.1	3 x 240	0,075	750	999,48
NRL - R6.1	3 x 500	0,037	680	1 000,82
HYDROGENERACE - R6.1	3 x 300	0,060	680	182,47
PS 14.1 - rIII.1	3 x 240	0,075	750	261,39
PS 18.1 - R1	3 x 240	0,075	1650	134,55
PSP - R6.2	3 x 300	0,060	680	616,60
CCR - R6.2	3 x 240	0,075	750	361,85
NRL - R6.2	3 x 500	0,037	680	858,14
HYDROGENERACE - R6.2	3 x 300	0,060	680	94,51
PS 14.1 - rIII.2	3 x 240	0,075	750	43,91
PS 18.1 - R2	3 x 240	0,075	1650	864,73
Celkem				6 600,62

Snížením činných ztrát na kabelech ušetříme měsíčně 30 362,86 Kč, za předpokladu ceny energie 4,6 Kč / kWh.

$$U_{MN} = \Delta P * c_e = 6600,62 * 4,6 = 30362,86 \text{ [Kč]}.$$

Na Obr. 27 jsou graficky znázorněny celkové náklady na provoz a údržbu skupinové kompenzace snížené o ušetřené činné ztráty na přívodních vedení.

Celkové náklady za roční provoz dosahují téměř 6 milionů korun, z toho zhruba 80 % tvoří vlastní spotřeba kompenzačního zařízení, tedy jeho činné ztráty. I přes značnou velikost těchto nákladů se tyto skutečnosti nikterak výrazně na návratnosti investice neprojeví, zisk je mnohonásobně vyšší.



Obr. 27 Graf měsíčních nákladů na provoz a údržbu zařízení

- Návratnosti investice do skupinové kompenzace je stanovena na:

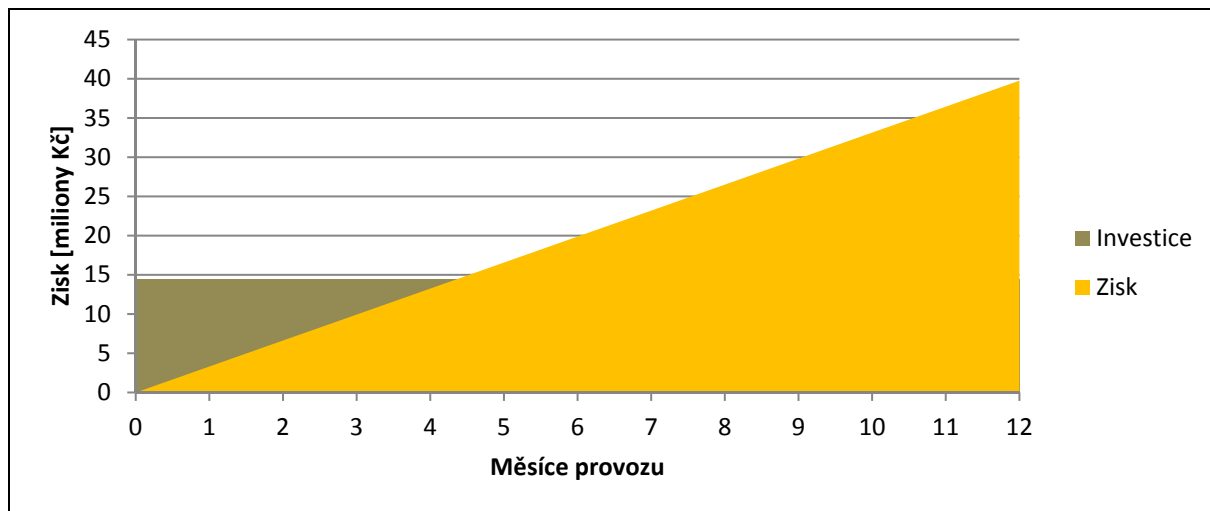
$$N_{ISK} = \frac{I_{NTz} + I_{Su}}{C_p - P_{MN} + \Delta P_M - U_{MN}} = \frac{14148100 + 350000}{3774598,87 - 412965 + 30362,85 - 78600} = 4,38 \text{ měsíců},$$

kde je

I_{Su} investice spojené se stavebními úpravami a instalací zařízení,

C_p cenová přírážka za nedodrženou úroveň účinníku.

Návratnost počátečních investic do instalace skupinové kompenzace se pohybuje okolo 4,4 měsíců za předpokladu ročního provozu shodným s provozem ve sledovaném období od září roku 2006 do září roku 2007.

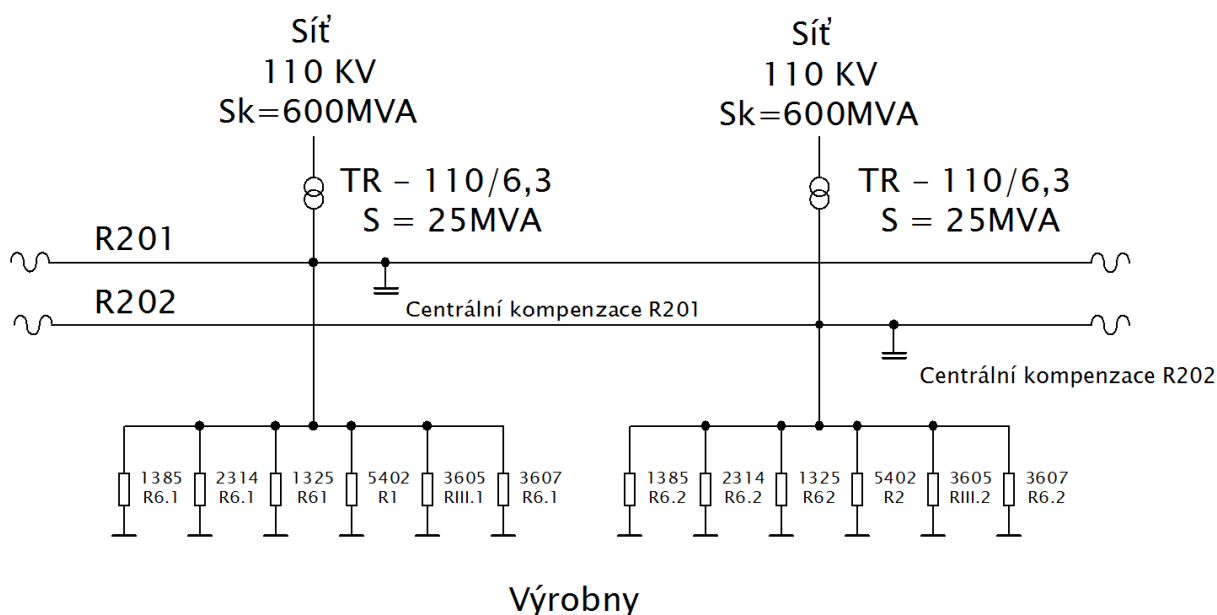


Obr. 28 Návratnost investice do skupinové kompenzace

Na Obr. 28 je možné porovnání investičních nákladů na technickou realizaci včetně stavebních úprav a čistého zisku, který zařízení přináší. Za rok provozu ušetří investor přibližně 40 miliónů korun, investice se mu tak vyplatí téměř trojnásobně. Rychlost návratu je zapříčiněna značnou spotřebou energie s průměrným účínkem pohybující se okolo $\cos \varphi = 0,75$.

8 Návrh centrální kompenzace

Centrální kompenzace bude realizována jako stupňovitě řízená hrazená kompenzace samostatně pro přípojnice R201 a R202, z důvodů odděleného provozu přípojníc a velkých kompenzačních výkonů. Místo připojení kompenzačních zařízení je na Obr. 29. Postup návrhu centrální kompenzace bude podobný jako u skupinové kompenzace.



Obr. 29 Umístění centrální kompenzace.

8.1 Návrh kompenzačních stupňů

Přestože jsou si výrobní připojené na přípojnice R201 a R202 podobné jejich požadavky na kompenzační výkon se neshodují. Složení zátěže a hlavně její provoz je v mnohých případech odlišný, to je patrné z návrhů skupinové kompenzace, proto budou oba návrhy posuzovány samostatně, jako v předchozích případech.

Velikost kompenzačního výkonu určíme součtem nejvyšších požadovaných kompenzačních výkonů z jednotlivých výroben připojených na přípojnici R201 a R202 za sledované období, Tab. 69. Dosazené hodnoty do této tabulky jsou uvedeny v návrhu skupinové kompenzace, vždy pro konkrétní výrobu v tabulce naměřených a vypočtených hodnot na začátku příslušné kapitoly. I zde budeme uvažovat výkonovou rezervu 20 % pro krytí výkonových špiček a požadovaný účinník $\cos \varphi$ 0,98.

Tab. 69 Návrh kompenzačních stupňů pro centrální kompenzaci

Kompenzační výkon centrální kompenzace - R201				
Výrobný	rok	měsíc	Q _k [kVAr]	Q _{k+20%} [kVAr]
PSP	2007	6	1108,48	1330,18
CCR	2007	1	1575,94	1891,13
NRL	2007	7	1457,11	1748,53
HYDROGENERACE	2007	1	735,60	882,72
PS 14.1	2006	10	586,97	704,37
PS 18.1	2007	8	1044,41	1253,29
Celkem	-	-	6508,52	7810,22
Kompenzační výkon centrální kompenzace - R202				
PSP	2007	6	811,3095	973,5715
CCR	2007	1	1233,904	1480,685
NRL	2007	7	1578,349	1894,018
HYDROGENERACE	2007	1	589,3135	707,1762
PS 14.1	2006	10	843,06	1 011,68
PS 18.1	2007	8	589,3135	707,1762
Celkem	-	-	5699,88	6839,86

Počet kompenzačních stupňů centrální kompenzace na hladině vn je omezen, jak ekonomickou stránkou, tak možnostmi regulátorů, ty jsou většinou vybavené 6 - 12 ti výstupy. Ve snaze ušetřit se v první řadě snažíme kompenzační výkon rozdělit do 6 stupňů. Zde můžeme narazit na technický problém, který představuje vakuový stykač umožňující spínání výkonu do 3000 kVAr. 6 stupňů nám v některých případech nemusí stačit a musíme použít regulátor s větším počtem výstupů. Plynulost regulace je i zde zajištěna odstupňováním výkonů jednotlivých stupňů. Na rozdíl od skupinové kompenzace je regulace hrubší. V návrhu se nevyplatí používat stupně menších výkonů, jejich připnutí se nijak výrazně na účinníku neprojeví, a jsou proto z ekonomického hlediska zbytečné. Regulátor jalového výkonu není nastaven na přesnou hodnotu účinníku, ale na určité rozmezí a to většinou od 0,95 až do 0,98. Například odpojení 250 kVAr stupně v případě kompenzačního výkonu 9000 kVAr způsobí pokles účinníku na přípojnici R201 z 0,98 přibližně na 0,975 (v případě maximálních naměřených hodnot). Takto malý rozdíl je pro udržení kompenzačního rozsahu zanedbatelný.

- Přípojnice R201

Požadovaný kompenzační výkon na přípojnici R201 7810,22 kVAr rozdělíme do 6 stupňů s vahou spínání 1:2:4:4:4:4 o velikosti základního stupně 500 kVAr.

- Přípojnice R202

Požadovaný kompenzační výkon 6839,86 kVAr rozdělíme do 6 kompenzačních stupňů s váho spínání 1:2:3:3:4:4 s velikostí základního stupně 500 kVAr. Kompenzační výkon bude zhruba o 1 MVar menší než v případě přípojnice R201.

Tab. 70 Návrh kompenzačních stupňů R201, R202

Návrh kompenzačních stupňů R201				Návrh kompenzačních stupňů R202			
Stupeň	Q _n [kVAr]	P [%]	Q _{8%} [kVAr]	Stupeň	Q _n [kVAr]	P [%]	Q _{8%} [kVAr]
1	500	8	416,10	1	500	8	416,10
2	1000	8	832,20	2	1000	8	832,20
3	2000	8	1664,40	3	1500	8	1248,30
4	2000	8	1664,40	4	1500	8	1248,30
5	2000	8	1664,40	5	2000	8	1664,40
6	2000	8	1664,40	6	2000	8	1664,40
Celkem	9500	8	7905,91	Celkem	8500	8	7073,71

8.1.1 Návrh činitele ztlumení a typu kondenzátorů

Činitel ztlumení ponecháme z důvodů uvedených v návrhu skupinové kompenzace (kapitola 7.1 str. 62) stejný $p = 8\%$. Obdobně to bude i v případě typu kondenzátorů, který se též nemění. Jedná se o třífázové kondenzátorové baterie od výrobce ZES SILKO výrobní řady CPEFS 23-7,2 pro napěťovou hladinu 7,2 kV. Realizace jednotlivých stupňů pomocí těchto kondenzátorů jsou uvedeny v následující Tab. 71.

Tab. 71 Realizace kompenzačních stupňů

Realizace kompenzačních stupňů	
Stupeň	Kondenzátor
500	CPEFS 23-7,2/500
1000	CPEFS 23-7,2/500 CPEFS 23-7,2/500
1500	CPEFS 23-7,2/500 CPEFS 23-7,2/500 CPEFS 23-7,2/500
2000	CPEFS 23-7,2/700 CPEFS 23-7,2/700 CPEFS 23-7,2/600

Přepočítaný skutečný kompenzační výkon jednotlivých stupňů a celé centrální kompenzace pro oba případy je uveden v Tab. 70. V porovnání s požadovanými výkony z Tab. 69 jsou návrhy v obou případech dostatečné.

8.1.2 Výpočet indukčnosti hradící tlumivky

Postup výpočtu indukčnosti a reaktance prvků je totožný jako v předchozích případech skupinové kompenzace (kapitola 7.1.3 strana 66). Indukčnosti tlumivek jednotlivých stupňů centrální kompenzace jsou uvedeny v Tab. 72 .

Tab. 72 Volba hradících tlumivek

Hradící tlumivky centrální kompenzace R201, R202			
Stupeň [kVAr]	X_C [Ω]	X_L [Ω]	L [mH]
500	108,045	8,644	27,513
1000	54,023	4,322	13,757
1500	36,015	2,881	9,171
2000	25,92	2,07	6,60

8.1.3 Ekonomická rozvaha technické realizace centrální kompenzace

Ekonomická rozvaha zahrnuje stanovení ceny investičních nákladů na technickou realizaci kompenzačních rozvaděčů pro obě navrhované centrální kompenzace R201 a R202.

- Investiční náklady na nákup technického vybavení

Náklady technické realizace tvoří cena jednotlivých výkonových stupňů, cena regulačního stupně a přívodního pole pro tyto rozvaděče (Tab. 73). Ceny byly získány za spolupráce s firmou INENSELF a.s. a jejich dodavatelem firmou COMPEL s.r.o. a jsou platné pro rok 2012.

Tab. 73 Ekonomická rozvaha technické realizace centrální kompenzace R201 a R202

Ekonomická rozvaha investice centrální kompenzace R201		
Rozvaděč	Počet [Ks]	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	1	417 300
Kompenzační rozvaděč - 1000 kVAr	1	637 600
Kompenzační rozvaděč - 2000 kVAr	4	3 442 800
Regulační rozvaděč	1	46 000
Přívodní rozvaděč	1	177 000
Investice R201		4 720 700

Ekonomická rozvaha investice centrální kompenzace R201		
Rozvaděč	Počet [Ks]	Cena [Kč]
Kompenzační rozvaděč - 500 kVAr	1	417 300
Kompenzační rozvaděč - 1000 kVAr	1	637 600
Kompenzační rozvaděč - 1500 kVAr	2	1 475 800
Kompenzační rozvaděč - 2000 kVAr	2	1 721 400
Regulační rozvaděč	1	46 000
Přívodní rozvaděč	1	177 000
Investice R202		4 475 100
Celková investice do technické realizace R201 a R202		9 195 800

Investiční náklady na nákup technického vybavení centrální kompenzace jsou vyčísleny na 9 195 800 Kč bez DPH.

8.2 Návratnost investice centrální kompenzace R201, R202

Návratnost investice je počítána jako podíl celkových nákladů na realizaci centrální kompenzace a měsíční průměrné cenové přírážky za nedodržení předepsané velikosti účinníku zmenšené o měsíční provozní a udržovací náklady rozvaděčů. Do celkových nákladů jsou započítány investiční náklady na pořízení technického vybavení, stavební úpravy vyhrazených prostor a montážní práce na zařízení, tak jako v případě skupinové kompenzace.

V Tab. 74 jsou uvedeny celkové investice do technického zařízení centrální kompenzace a celková cenová přírážka za nedodržení předepsaný účinník.

Tab. 74 Investiční náklady centrální kompenzace

Centrální kompenzace			
Přípojnice	Q_i [kVAr]	Investiční náklady [Kč]	Cenová přírážka [měsíc / Kč]
R201	9500	4 720 700	2 156 074,38
R202	8500	4 475 100	1 618 524,49
Celkem obě přípojnice	18000	9 195 800	3 774 598,87

- Provozní náklady

Provozní náklady respektive ztráty kompenzačních rozvaděčů odhadneme jako v případě skupinové kompenzace na 7 W na kVAr kompenzačního výkonu. Výpočet je proveden pro 75 % vytížení kompenzace.

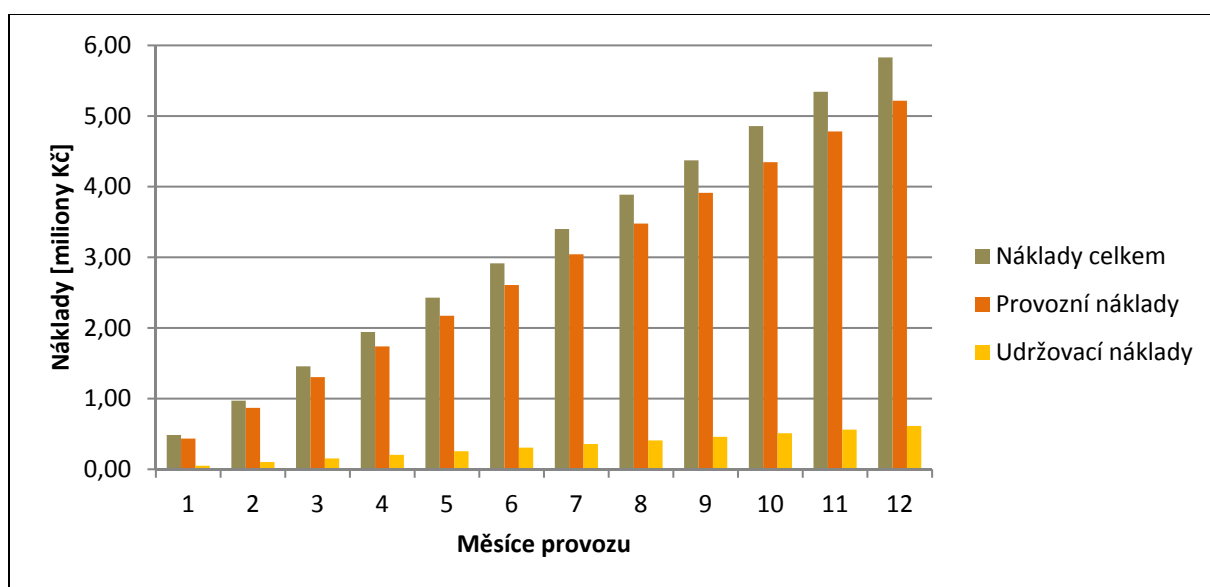
$$P_{MN} = Q_i * \Delta P * c_e * 0,75 = 18000 * 7 * 4,6 * 0,75 = 434700 \text{ [Kč]}.$$

- Udržovací náklady

Udržovací náklady jsou zde chápány jako budoucí investice do obnovy celého zařízení v horizontu 15 let. Jsou stanoveny jako podíl investičních nákladů a doby předpokládané životnosti vyjádřené v měsících.

$$U_{MN} = \frac{I_{NTz}}{R * M} = \frac{9195800}{15 * 12} = 51087,78 \text{ [Kč]}.$$

Celkové náklady na provoz (Obr. 30) jsou podobné provozním nákladům skupinové kompenzace. Rozdíl je o 24 585 Kč měsíčně ve prospěch skupinové kompenzace, zejména díky zisku z ušetřených ztrát na přívodních kabelech.



Obr. 30 Celkové náklady na roční provoz centrální kompenzace

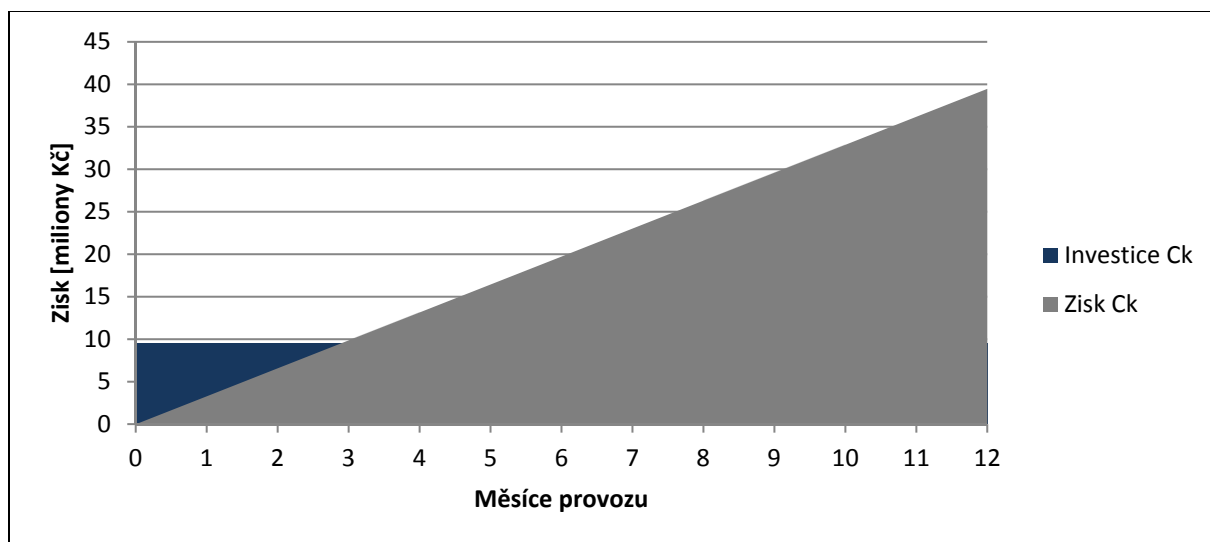
- Náklady na stavební úpravy a montáž zařízení

Kompenzační rozvaděče budou umístěny společně ve vyhrazené místnosti v dostatečné blízkosti hlavních transformátorů. Z důvodů nevyhovujícího technického stavu je nutné provést úpravu podlahy, zdiva a místnost dovybavit odvodem vzduchu a protipožární technikou. Montážní náklady představují práce na instalaci rozvaděčů do nově opravené místnosti. Obě tyto položky byly odhadnuty na částku 290 000 Kč.

- Návratnosti investice do centrální kompenzace je stanovena na:

$$N_{ICK} = \frac{I_{NTZ} + I_{Su}}{C_P - P_{MN} - U_{MN}} = \frac{9195800 + 290000}{3774598,87 - 434700 - 51087,78} = 2,88 \text{ měsíců.}$$

Do návratnosti investice již nezapočítáváme činné ztráty na kabelech jako v případě skupinové kompenzace.



Obr. 31 Návratnost investice do centrální kompenzace

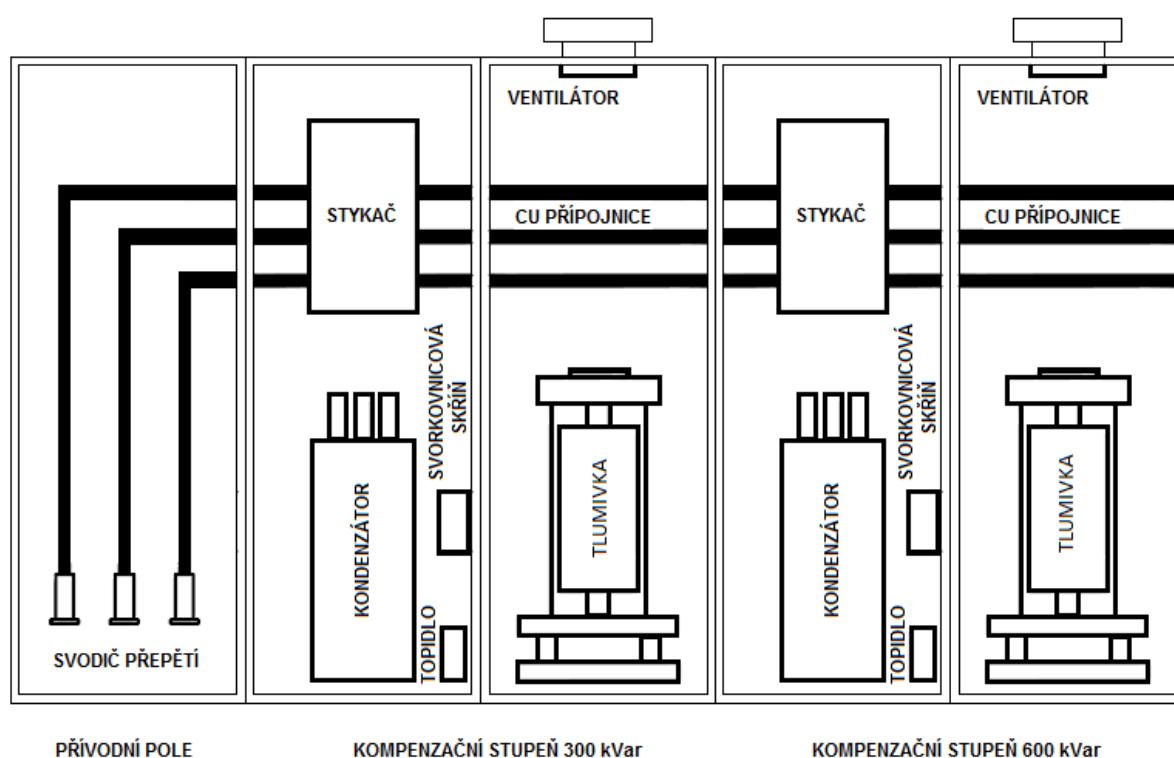
V porovnání se skupinovou kompenzací je návratnost investice rychlejší zhruba o jednu třetinu a pohybuje se okolo 2,88 měsíců. Největší roly zde hraje rozdíl počátečních investic 5 miliónů Kč v neprospěch skupinové kompenzace.

9 Technické provedení kompenzačních rozvaděčů

Technické provedení kompenzačních rozvaděčů skupinové a centrální kompenzace je dosti podobné, proto zde budou uvedeny společně s vyznačením případných odlišností.

9.1 Konstrukční provedení

Řada kompenzačních rozvaděčů je tvořena několika dílčími poli. Výsledný počet závisí na počtu stupňů kompenzace. Základ tvoří vždy přívodní, kompenzační a řídicí pole.



Obr. 32 Technické provedení vn kompenzačních rozvaděčů (čelní pohled)

9.1.1 Přívodní pole

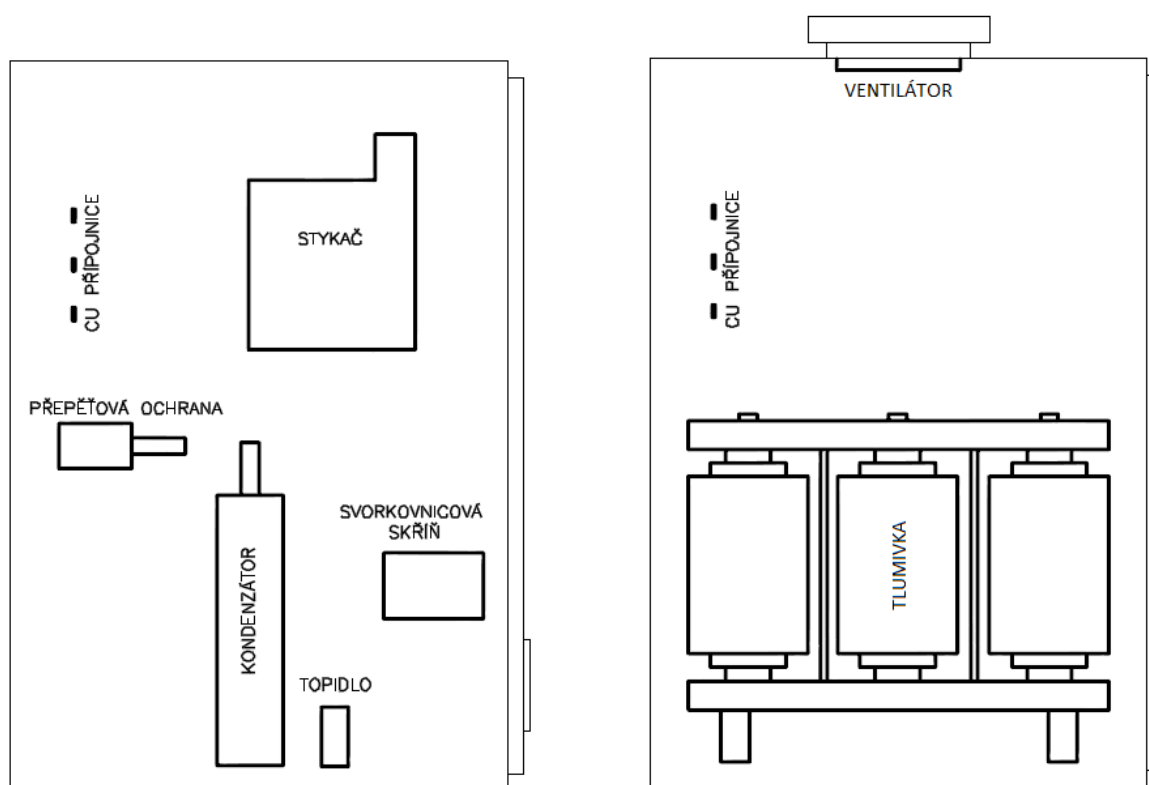
Přívodní pole je řešeno jako volně stojící oceloplechový rozvaděč vn o velikosti 2200 x 800 x 1500 mm (v x š x hl).

V případě centrální kompenzace se jedná celkem o dvě přívodní pole vybavené svorkovnicí pro připojení přívodních kabelů, svodičem přepětí a vn vypínačem. Vypínač vn složí k bezpečnému odpojení celé řady kompenzačních rozvaděčů v případě poruchy nebo potřeby.

Skupinová kompenzace je tvořena celkem 12 přívodními poli vybavené hlavní svorkovnicí a svodičem přepětí (pro každou výrobu jedno přívodní pole). Bezpečné odpojení kompenzačních rozvaděčů je zde realizováno vn vypínačem, který je ale umístěn ve vývodním poli motorových rozvaděčů. Při realizaci stavby jednotlivých výroben bylo počítáno s případným rozšíření zátěže a byly zde projektovány plně vybavené rezervní pole, disponující vhodným vn vypínačem (12 kV, 1250 A), který využijeme jako hlavní vypínač kompenzačních rozvaděčů. Propojení polí je realizováno kabelovým vedením.

9.1.2 Kompenzační pole

Kompenzační rozvaděče vn jsou řešeny jako volně stojící oceloplechové rozvaděče o velikosti dílčího pole 2200 x 800 x 1500 mm (v x š x hl). Na jeden kompenzační stupeň jsou využity dvě dílčí pole. V prvním z nich je umístěna svorkovnice, ochranné pojistky, stykač, přepětíová ochrana, kondenzátor a topné těleso. V druhém je umístěna hradící tlumivka a střešní ventilátor. Pro lepší představu o rozmístění jednotlivých komponent v rozvaděči je zde uveden Obr. 32 a Obr. 33.



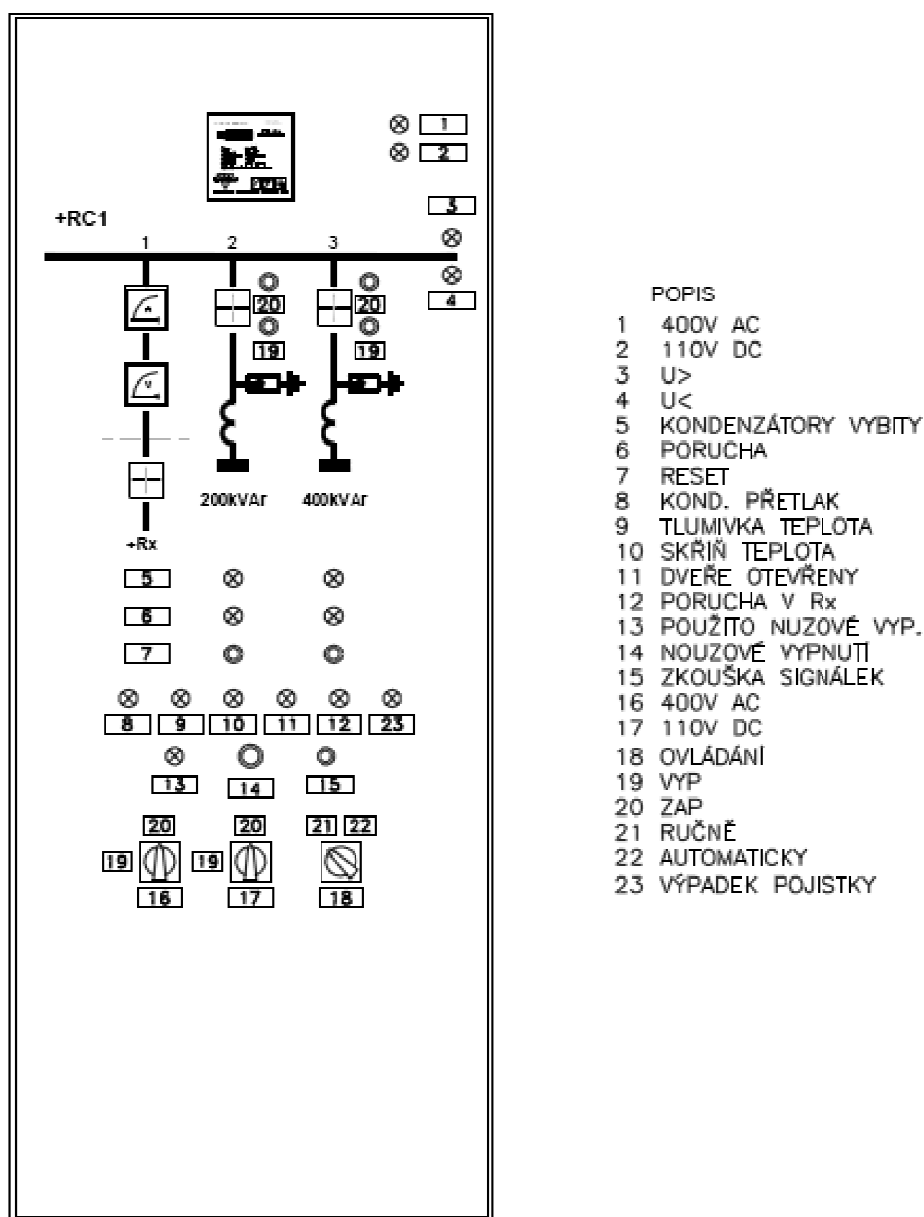
KOMPENZAČNÍ STUPEŇ 300 kVar

Obr. 33 Rozložení komponent v rozvaděči vn (pohled z boku)

Centrální kompenzace využívá celkem 24 kompenzačních polí, pro skupinovou kompenzaci je jich využito celkem 60. Z těchto údajů zřetelně vyplývá značně převyšující prostorová náročnost skupinové kompenzace.

9.1.3 Řídící pole

Řídící rozvaděče jsou řešeny jako volně stojící oceloplechové rozvaděče nn o velikosti dílčího pole 2200 x 800 x 500 mm (v x š x hl). Uvnitř pole je umístěn regulátor jalového proudu, veškerá signalizace sepnutí stupňů, poruch, měření teploty, napětí, proudu, nouzové tlačítko a přepínač ručního a automatického ovládání (Obr. 34).



Obr. 34 Technické provedení řídicího rozvaděče

Centrální kompenzace využívá celkem 2 řídicí rozvaděče, pro skupinovou kompenzaci je jich využito celkem 12, pro každou výrobu jeden.

9.2 Logika řízení

Rozvaděče vn jsou řízeny pomocí řídicího rozvaděče s možností plně automatizovaného provozu regulátorem, nebo ručním ovládním. Typ lze volit přepínačem ovládním do polohy RUCŇNĚ/AUTOMATICKY. Po přepnutí přepínače do polohy ručně, bude možno jednotlivé stupně ovládat tlačítky, při tomto režimu zůstanou zachovány všechny blokády.

Rozvaděče jsou vybaveny dveřními kontakty, po otevření dveří dojde k odpadnutí vn vypínače (ve vývodu na kompenzaci příslušné rozvodny - skupinová kompenzace, v přívodním poli - centrální kompenzace) a odpadnutí všech stykačů jednotlivých stupňů.

Rozvaděče jsou též vybaveny tlačítkem nouzového vypnutí, ty působí na podpěťovou cívkou hlavního vn vypínače, při sepnutí dojde k odpojení všech stupňů. Veškeré poruchy jsou signalizovány na řídicím rozvaděči. Provoz dílčích polí je po poruše blokován, pro opětovný provoz je potřeba sepnutí tlačítka RESET.

9.3 Odvod ztrátového tepla

Teplota uvnitř skříní je sledována pomocí termostatů v každém rozvaděči a také ve vynutí tlumivky. Odvod ztrátového tepla je zajištěn střešními ventilátory v polích s hradíci tlumivkami, cirkulace vzduchu uvnitř skříní zajišťují boční ventilátory umístěné vždy v krajních polích rozvaděčů. Jestliže je alespoň jeden stupeň v provozu jsou sepnuty cirkulační ventilátory, dojde-li k překročení teploty 30°C sepnou se střešní ventilátory. Překročí-li teplota mezní hranici 48°C, dojde k odpojení příslušného stupně, kde byla tato teplota vyhodnocena. Při teplotách pod 10°C sepnou topná tělesa uvnitř rozvaděčů.

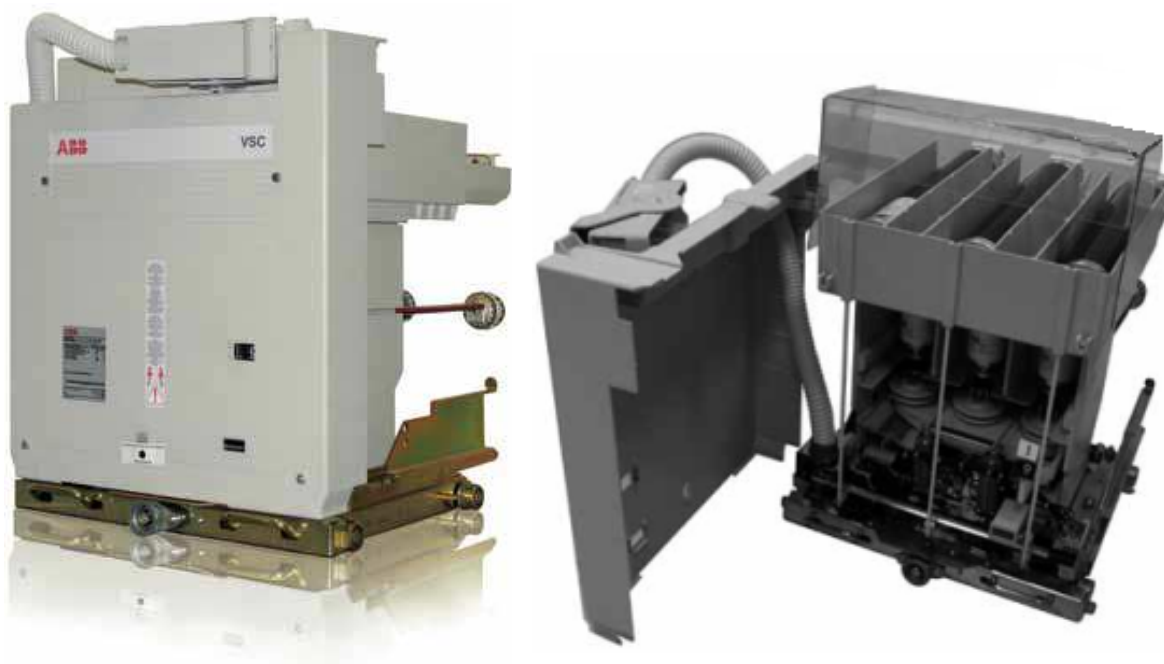
9.4 Umístění PTP

Přístrojové transformátory budou umístěny na přívodních polích motorových rozvaděčů v případě skupinové kompenzace a na sekundární straně hlavního transformátoru v případě centrální.

9.5 Technické vybavení

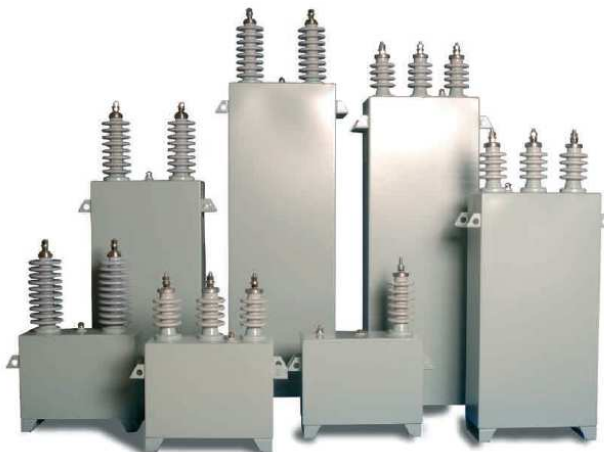
Spínání stupňů je realizováno vakuovým stykačem VSC7/F pro jmenovité provozní napětí 7,2 kV a proud 400A disponující vakuovou zhášecí komorou se třemi nezávislými

vakuovými póly v plně izolovaném provedení. Maximální možný spínaný výkon kapacitoru 3000 kVAr je plně postačující pro naše účely. Stykač je vyráběn včetně pojistkových spodků.



Obr. 35 Vakuový stykač VSC7/F[12]

Kondenzátorové stupně jsou realizovány třífázovými kondenzátory CPEFS 23 od firmy ZES SILKO pro napěťovou hladinu 7,2 kV s vestavěnými vybíjecími odpory a přetlakovým čidlem. Vybíjecí odpory zaručují snížení napětí na 75 V do 10 minut od odpojení. Dielektrikum tvoří polypropylenová fólie impregnovaná ekologicky i zdravotně nezávadnou syntetickou kapalinou známou pod názvem JARYLEC. Elektrody jsou vyrobeny z hliníkové fólie.



Obr. 36 Kondenzátory vn ZES SILKO[9]

Ochrana kondenzátorů je realizována třífázovými hradíci tlumivkami MANGOLDT s 8 % ztlumením. Tyto tlumivky jsou navrhovány na 1,1 násobek jmenovitého proudu kondenzátoru s tolerancí indukčnosti $\pm 3\%$. Provozní teplota uváděná výrobcem se pohybuje okolo 50°C [14]. Je proto nutné dostatečně výkonné chlazení pro odvod tohoto tepla z rozvaděčů.



Obr. 37 Hradící tlumivka MANGOLDT a regulátor NOVAR 1206 [13][15]

Regulační pole je vybaveno regulátorem jalového výkonu typu NOVAR 1206 s komunikační linkou RS485 umožňující ovládání nastavení regulátoru a sledování měřených veličin na dálku pomocí počítače. Regulátor je vybaven 6 reléovými výstupy, umožňuje regulaci od 0,8 induktivního do 0,8 kapacitního účinníku, měření teploty a řízení ventilátorů.

Instalace regulátoru je plně automatická, regulátor sám zjistí způsob připojení i výkon jednotlivých stupňů. Připínání a odpínání kompenzačních kondenzátorů probíhá tak, aby regulace jalového výkonu proběhla s minimálním počtem přepínaných stupňů. Během regulace je prováděna průběžná kontrola stupňů - zjišťují se výpadky a změny hodnot.

Závěr

Projekt byl zaměřen na návrh vhodného kompenzačního zařízení pro vybranou část provozu rafinérie v Litvínově spadající pod akciovou společnost Česká rafinérská a.s. Na základě projektových schémat a naměřených hodnot odebrané činné a jalové měsíční energie byly zpracovány varianty skupinové a centrální kompenzace. V obou případech se jedná o stupňovitě řízené, hrazené kompenzační rozvaděče s činitelem zatlumení 8 % s instalovaným výkonem 17,1 MVar skupinová a 18 MVar centrální kompenzace. Rozdíl instalovaných výkonů vznikl individuálním posuzováním jednotlivých výroben, kdy z ekonomického hlediska nebylo možné přesně dodržet hodnotu požadovaných výkonů a byla přijata určitá povolená odchylka o velikosti ± 50 kVar. V případě centrální kompenzace je tato odchylka přibližně desetkrát větší z důvodů velkých kompenzačních stupňů.

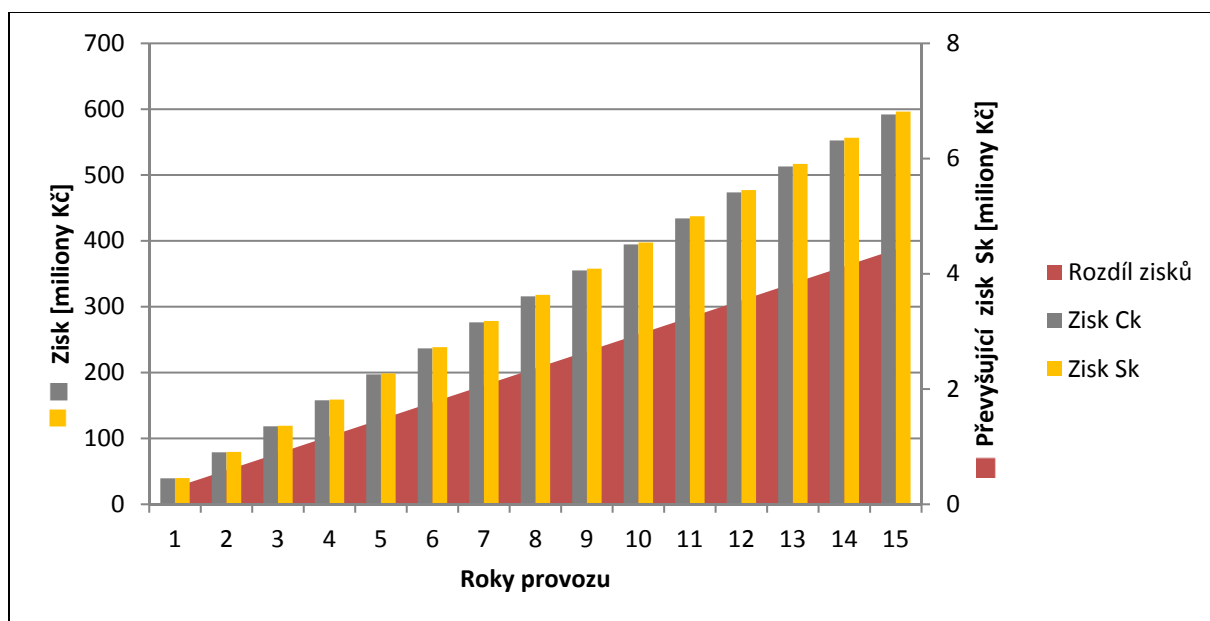
Obě varianty návrhu by měly být schopné udržet požadovaný účinník nad kritickou hranicí $\cos \varphi = 0,95$ a zamezit tak cenovým přírůzkám za nedodržení jeho předepsané hodnoty. Ty se pohybují v průměru okolo 4 milionů Kč měsíčně a prakticky představují zisk kompenzačního zařízení. Návratnost investic je za těchto okolností v obou případech velice rychlá. Centrální kompenzace přibližně čtyři a půl měsíce, skupinová zhruba tři měsíce provozu. Podrobné porovnání obou variant z ekonomického hlediska je uvedeno v Tab. 75.

Tab. 75 Ekonomické porovnání skupinové a centrální kompenzace

Ekonomické porovnání skupinové a centrální kompenzace		
Investice [Kč]	Skupinová	Centrální
Technická realizace	14 148 100	9 195 800
Stavební a montážní práce	350 000	290 000
Provozní náklady	412 965	434 700
Udržovací náklady	78 601	51 088
Zisk [Kč]	Skupinová	Centrální
Cenová přírůžka	3 774 599	3 774 599
Snížené činné ztráty na vedení	30 363	-
Čistý zisk v prvním roce provozu	25 262 654	29 979 933
Čistý měsíční zisk po návratu investic	3 313 396	3 288 811
Návratnost investic	Skupinová	Centrální
Měsíce provozu	4,38	2,88

Nejcitelnější rozdíl představují počáteční investiční náklady přibližně 5 milionů Kč v neprospěch centrální kompenzace. Čistý zisk obou variant je podobný. V případě skupinové kompenzace je o 24 585 Kč měsíčně vyšší především díky zisku z ušetřených ztrát na přívodních vedeních. Tato skutečnost přinese v horizontu 15 let zisk o 4 425 300 Kč vyšší

oproti centrální kompenzaci. Počáteční rozdíl investic se tak sníží přibližně na 587 000 Kč. Vše je lépe patrné z příloženého grafického přehledu zisků Obr. 38.



Obr. 38 Zisk v horizontu 15 let

Během 15 let provozu vynese kompenzační zařízení čistý zisk téměř 600 milionů Kč, za stejnou dobu dojde i k postupné obnově veškerého technického vybavení financované z vyhrazených udržovacích nákladů. Provoz a zisky zařízení tak budou nadále stoupat.

Z ekonomického hlediska není pochyb o účelnosti obou navrhovaných variant. Počáteční rozdíl investice je u takto velkých zisků téměř zanedbatelný a nepokládáme tuto skutečnost za rozhodující. Z technického hlediska doporučujeme instalovat skupinovou kompenzaci, která odlehčí přívodní vedení a přinese zisk nejen z cenové přírážky ale také za snížené činné ztráty.

Nespornou nevýhodou oproti centrální kompenzaci je potřeba přibližně trojnásobného místa pro umístění rozvaděčů, zhruba 150 m². Nicméně podle informací jsou tyto prostory k dispozici a v dohledné době se nepředpokládá jejich využití k jiným účelům.

V případě chybějících financí na počátku realizace stavby je možné instalovat jen vybranou část kompenzačních rozvaděčů například do výroben CCR, NRL a PSP které jsou nejvíce vytíženy. Zisky z těchto rozvaděčů pak pomohou dofinancovat celý projekt. Musíme však počítat s delší dobou návratnosti.

Investorovi doporučujeme instalaci skupinové kompenzace a podrobnou analýzu celé sítě. Zisky případně použít na rozšíření kompenzačního zařízení i do ostatních provozů.

Seznam použité literatury

- [1] KŮS, Václav. *Nízkofrekvenční rušení*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003, 195 s. ISBN 80-708-2976-1.
- [2] KORENC, Vladimír. *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 127 s. ISBN 80-862-3007-4.
- [3] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. *Průmyslová elektroenergetika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 154 s. ISBN 80-708-2703-3.
- [4] MAYER, Daniel. *Elektrodynamika v energetice*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 278 s. ISBN 80-730-0164-0.
- [5] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: Vydala VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008, 364 s. ISBN 978-807-2252-916.
- [6] DIETMEIER, Ulrich. *Vzorce pro elektroniku*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 255 s. ISBN 80-860-5653-8.
- [7] MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie NOHÁČOVÁ. *Elektrické stanice a vedení*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008, 168 s. ISBN 978-807-0437-247.
- [8] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2011. In: 21.11.2011. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%205_2011elektro.pdf
- [9] Kompenzace jalové energie. *ZES SILKO* [online]. 2011, 40 [cit. 2012-01-31]. Dostupné z: <http://www.zez-silko.cz/PDFs/pfcnew.pdf>
- [10] PNE 33 3430-6. *Parametry kvality elektrické energie: Část 6: Omezení vlivů na hromadné dálkové ovládání*. druhé vydání.
- [11] PNE 33 3430-0. Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav. Třetí vydání.
- [12] *ABB.V-Contact VSC - VSC/F: Installation and service instructions*. 2010. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c93b110f9c053b6ac12577cf0031a2f4/\\$file/ma_vcontact-vsc-f\(en\)m_1vcd600192-1010a.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c93b110f9c053b6ac12577cf0031a2f4/$file/ma_vcontact-vsc-f(en)m_1vcd600192-1010a.pdf)
- [13] Allied Industrial Marketing. [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://alliedindustrialmarketing.com/reactors.php>

- [14] HANS VON MANGOLDT. *IRON-CORE REACTORS FOR DETUNING POWER CAPACITORS IN MEDIUM AND LOW VOLTAGE NETWORKS*. 2011. Dostupné z: http://www.mangoldt.com/pdf/HvM_Ironcore_Reactors_Catalogue_2011_ENG.pdf
- [15] *Voltmetr. cz: Regulátory řízení účinníku - NOVAR* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.voltmetr.cz/kompenzace-jaloveho-vykonu/regulatory-rizeni-uciniku/novar/regulator-uciniku-novar-1206.html>
- [16] SIEMENS. *High Voltage Power Capacitors & Capacitor Banks*. 2009. Dostupné z: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-transmission/high-voltage-products/Siemens_Power_Capacitor_Flyer_061009.pdf
- [17] Kuala Lumpur. In: *PRESTECH* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.pestech.com.my/pestech2/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=45
- [18] SIEYUAN. [online]. [cit. 2012-04-23].
Dostupné z: <http://www.syec.com.cn/en/pdetail.php?fid=42&did=84>

Seznam příloh

1. Zajímavosti
2. Projektové schéma výrobní PSP st.1385 rozvodna R6.1
3. Projektové schéma výrobní CCR st. 1325 rozvodna R61, R62
4. Projektové schéma výrobní NRL st. 2314 rozvodna R6.1
5. Projektové schéma výrobní HYDROGENERACE st. 3607 R6.1, R6.2
6. Projektové schéma výrobní PS 14.1 st. 3605 rozvodna rIII.1, rIII2
7. Projektové schéma výrobní PS 17.1 st.5402 rozvodna R1, R2
8. Projektové schéma výrobní PSP st.1385 rozvodna R6.2
9. Projektové schéma výrobní NRL st. 2314 rozvodna R6.2

Odpočty z elektroměrů a projektová schémata v plném rozlišení jsou k dispozici v datovém provedení na přiloženém CD.

Přílohy

1. Zajímavosti:

Příklady venkovního provedení kompenzace jalového výkonu v přenosových sítích, řešení od společnosti SIEMENS.



Obr. 39 Kondenzátorové stanice [16]

Příklad rozsahu kompenzační stanice na hladině 500 kV, včetně reaktorů v Číně, řešení od společnosti SIEYUAN.



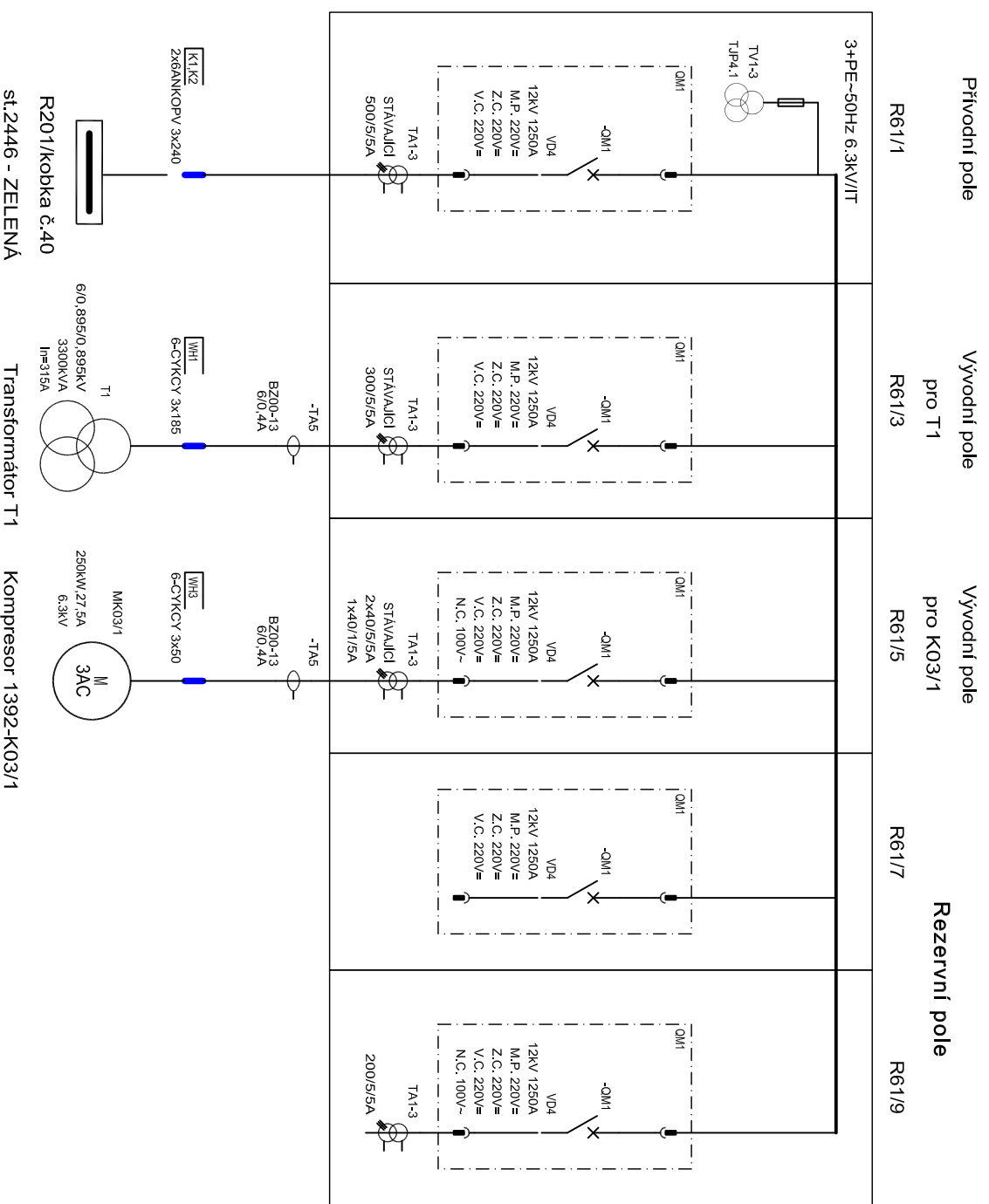
Obr. 40 Kondenzátorová stanice 500kV[18]

Kondenzátorová stanice zapojená na hladině napětí 275 kV s výkonem 180 MVar poskytující potřebný reaktivní výkon pro metropoli Kuala Lumpur. Řešení od společnosti PESTECH.

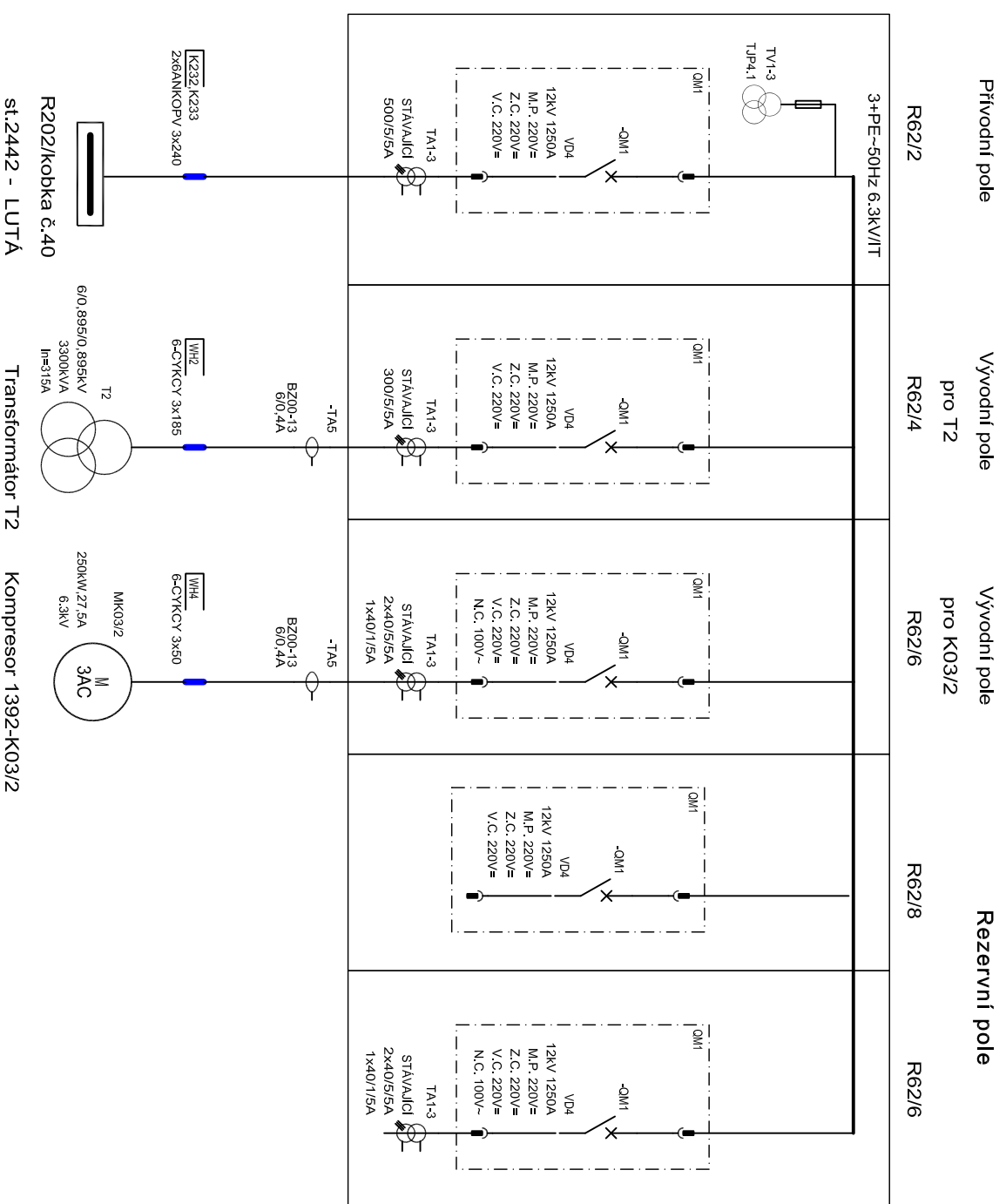


Obr. 41 Kondenzátorová stanice Kuala Lumpur[17]

ROZVADĚČ R61



ROZVADĚČ R62



All rights are reserved for this document, even in case of issuance of a patent and registration of another industrial right. Misapplication, in particular reproduction or handing over to third parties is prohibited and actionable under civil and criminal law.

Všechna práva na tento dokument a v něm obsažené informace vyhrazena. Rozmnožování nebo sdělování jeho obsahu třetím osobám bez výslovného souhlasu zákonného autora je přísně zakázáno.

CAD-RUPLAN/BSB
 RUPL.PRO: EL07063
 RUPL.FKT: JEDNOPOL
 RUPL.BLA: 001
 RUPL.APL: TDS2

1	10.06.08	Hemelik L.	Ing. Kytýr J.	Ing. Kytýr J.	27.03.2008	Hemelik L.	Ing. Kytýr J.	27.03.2008	Ing. Kytýr J.	27.03.2008	OR 06010	Kompenzace účinnku v síti 6kV	42700019	+R61+R62	1325	Str. 001
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																

Česká rafinářská a.s.
 Litvínov



Kompenzace účinnku v síti 6kV
 Kompenzace 1325 - CCR
 R61 a R62 - st.1325

ELEKTRO

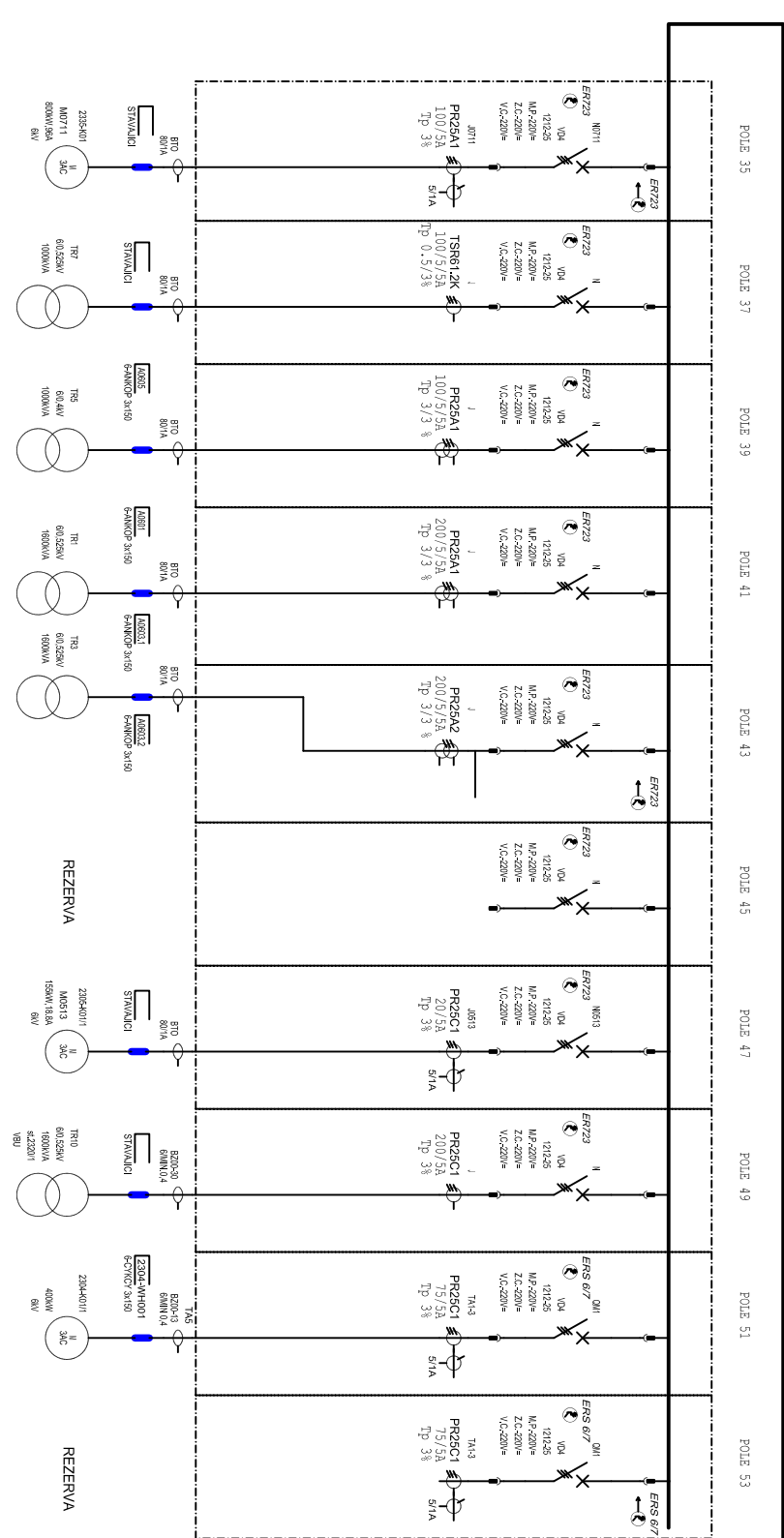
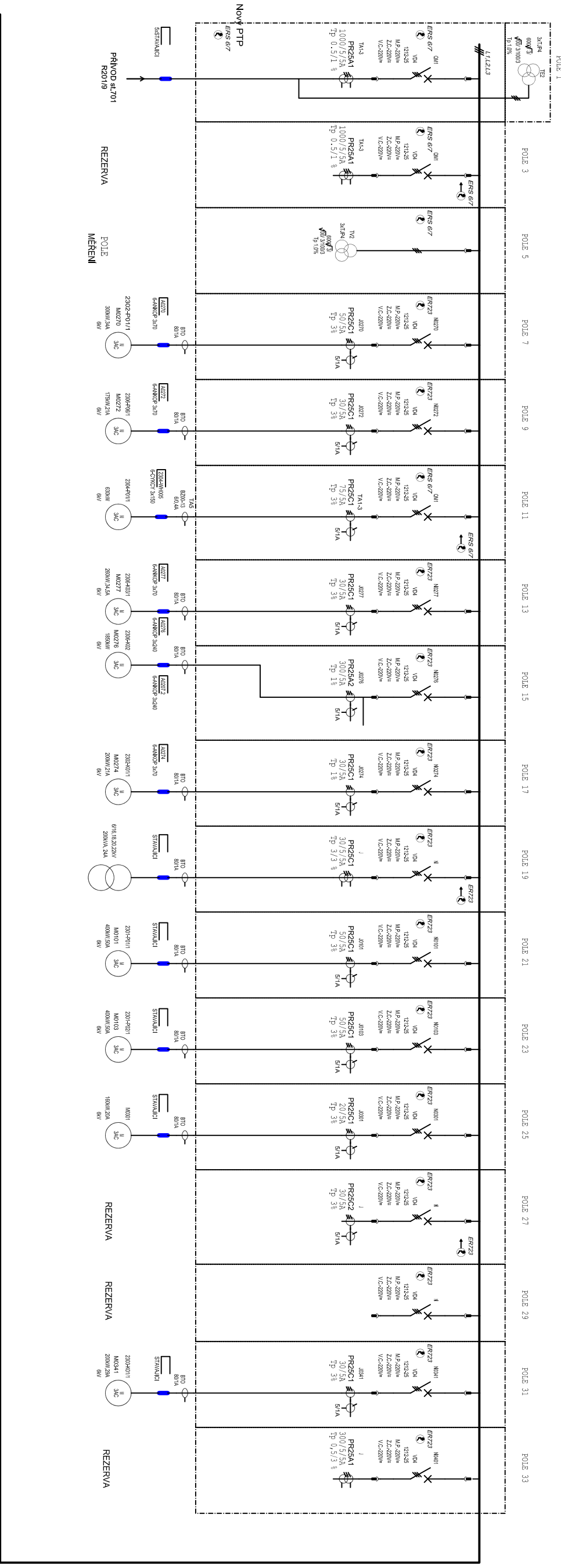
Zakázkové číslo: 42700019
 Číslo výkresu: 3-EL07063-17

Stavba: 1325

Sum. 2

VR303IN_CR_L 1

ROZVADEČ R6.1 - MODRÁ



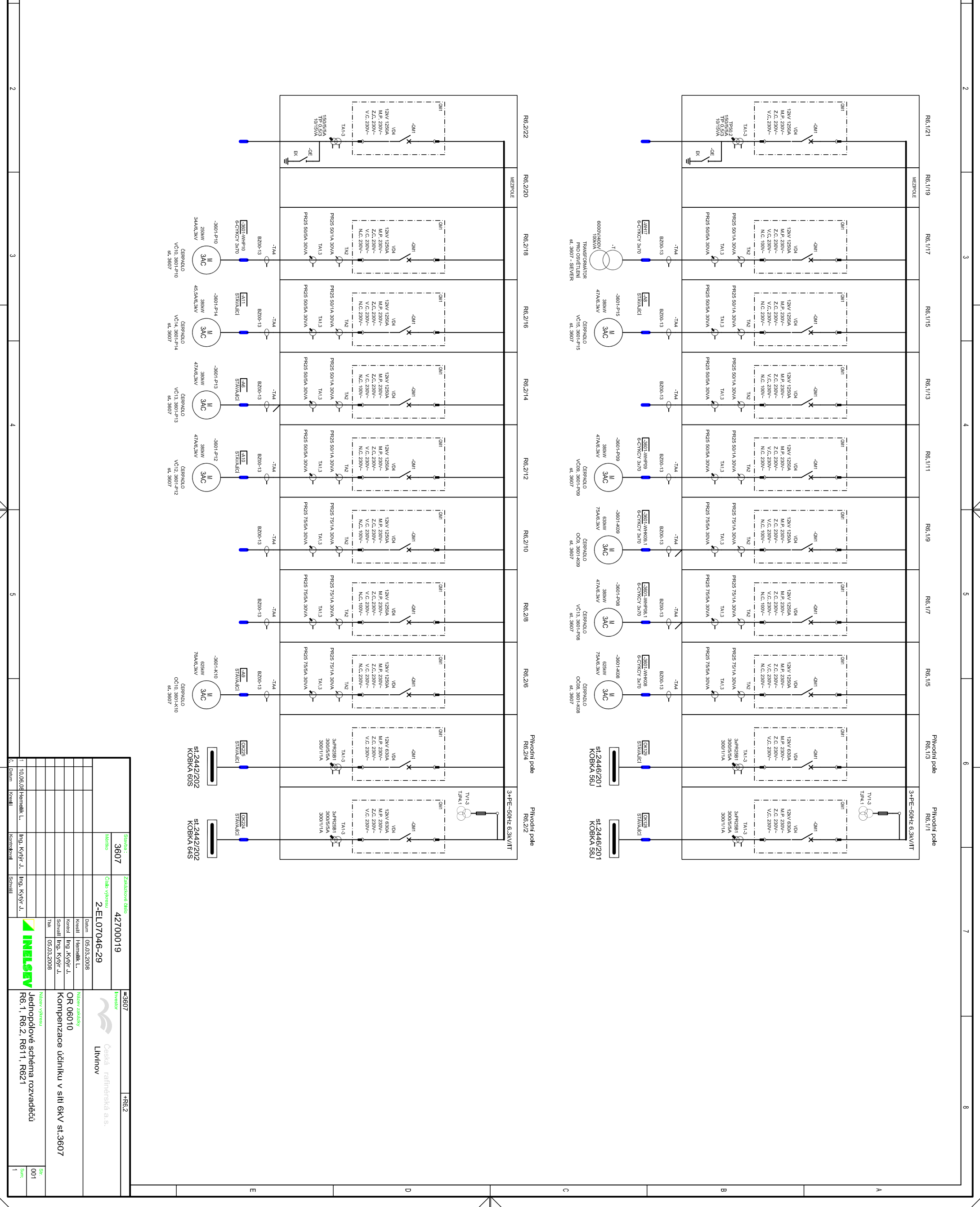
LEGENDA :

- ERS 67 ZÁBESKOVÉ ČIDLO ERS12 SYSTÉMU ERS 67
- ERZ3 ZÁBESKOVÉ ČIDLO SYSTÉMU ERZ3

CAD-RUPLANB58
 RUPLPRO: EL0706F
 RUPLFKT: ERNOPOL
 RUPLBLA: 101
 RUPLAPL: TDS2

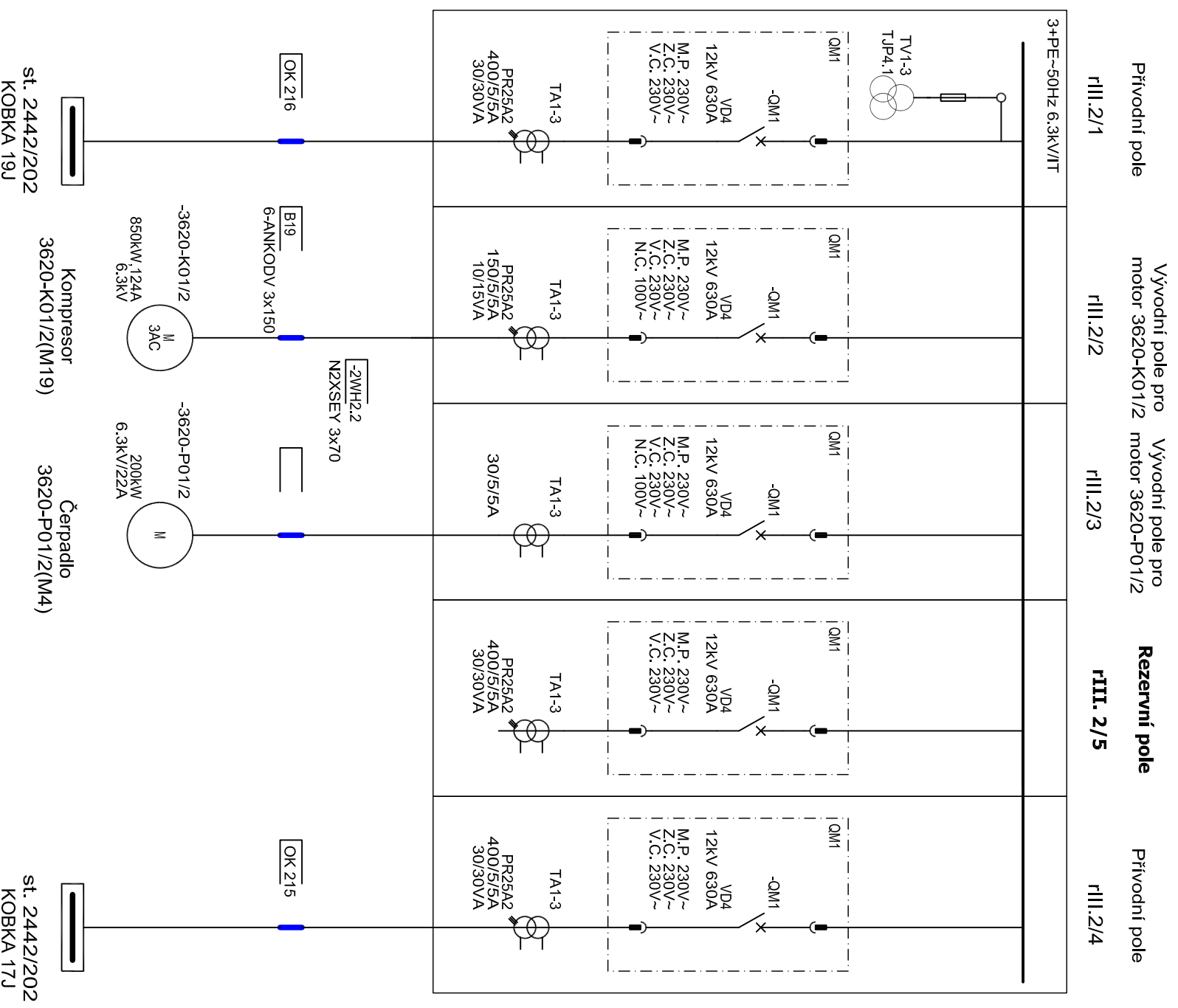
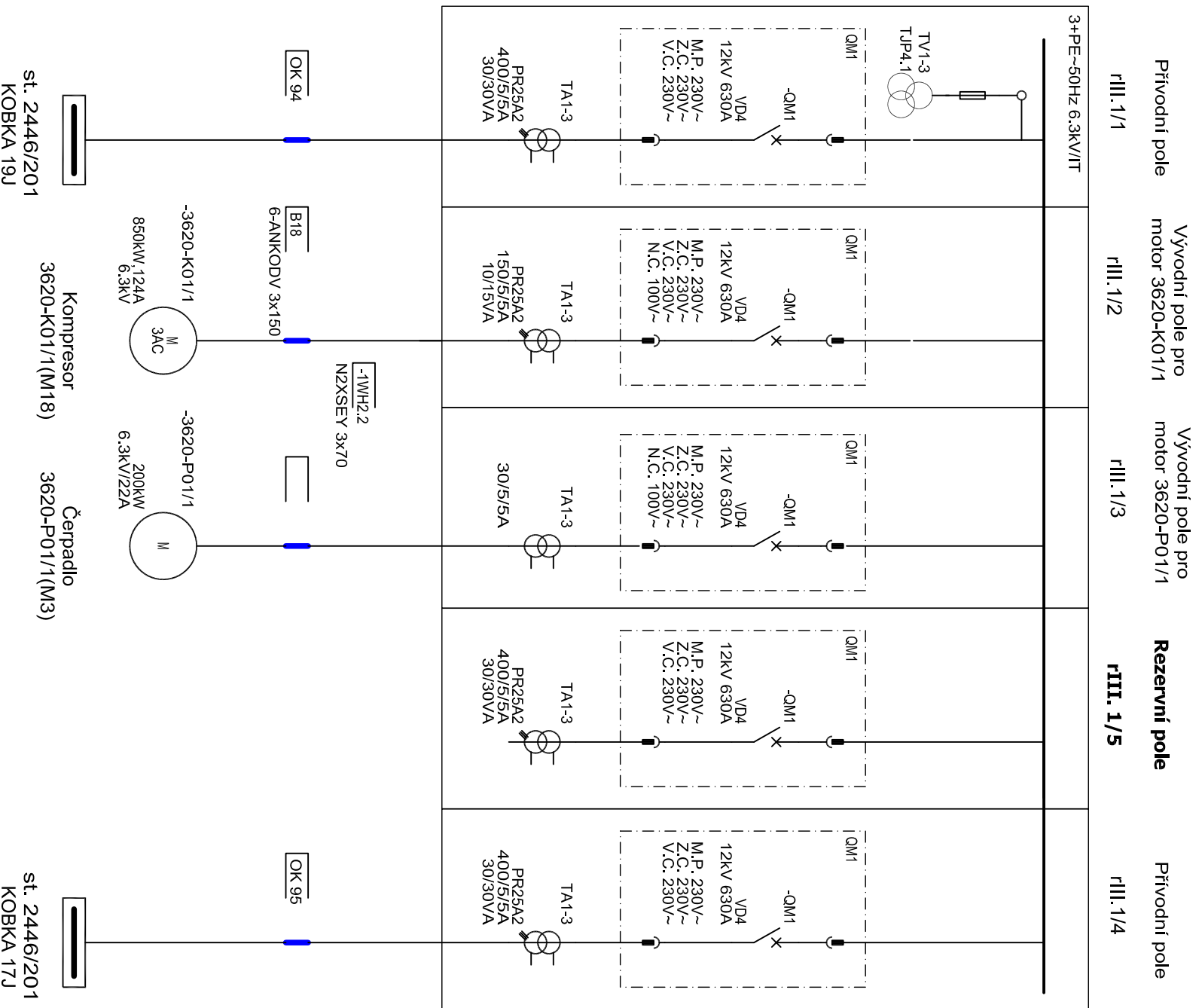
Všetchna práva na tento dokument a v něm obsažené informace vyhrazena. Rozmnožování nebo sdělování jeho obsahu třetím osobám bez výslovného souhlasu zákonného autora je přísně zakázáno.
 All rights reserved for this document, even in case of issuance of a patent and registration of another industrial right. Misapplication, in particular reproduction or handing over to third parties is prohibited and

Stavba	2314	Základní údaje	42700019	Objekt	2314
Objekt	JEDNODPČ	Datum	27.02.2008	Stavba	2314
Projektant	Ing. Karel J.	Projektant	Ing. Karel J.	Objekt	JEDNODPČ
Stavba	2314	Datum	24.08.2007	Projektant	Ing. Karel J.
Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.	Stavba	2314
Projektant	Ing. Karel J.	Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.
Stavba	2314	Datum	24.08.2007	Objekt	JEDNODPČ
Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.	Stavba	2314
Projektant	Ing. Karel J.	Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.
Stavba	2314	Datum	24.08.2007	Objekt	JEDNODPČ
Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.	Stavba	2314
Projektant	Ing. Karel J.	Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.
Stavba	2314	Datum	24.08.2007	Objekt	JEDNODPČ
Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.	Stavba	2314
Projektant	Ing. Karel J.	Objekt	JEDNODPČ	Projektant	Ing. Karel J.



3607	Znakovací číslo	42700019	3607	3607
10.08.08	Datum	05.03.2008	10.08.08	Datum
Hamčík L.	Kreslí	Hamčík L.	Kyřýř J.	Komprimoval
Schwab	Komprimoval	Schwab	Schwab	Schwab
INELSTEV	Název výrobce	INELSTEV	Název výrobce	INELSTEV
OR 08010	Název zakázky	OR 08010	Název zakázky	OR 08010
Kompenzace účinniku v síti 6kV st.3607	Název projektu	Kompenzace účinniku v síti 6kV st.3607	Název projektu	Kompenzace účinniku v síti 6kV st.3607
R6.1, R6.2, R6.11, R6.21	Název výkresu	R6.1, R6.2, R6.11, R6.21	Název výkresu	R6.1, R6.2, R6.11, R6.21
001	Str.	001	Str.	001
1	Verze	1	Verze	1

rIII.1



rIII.2

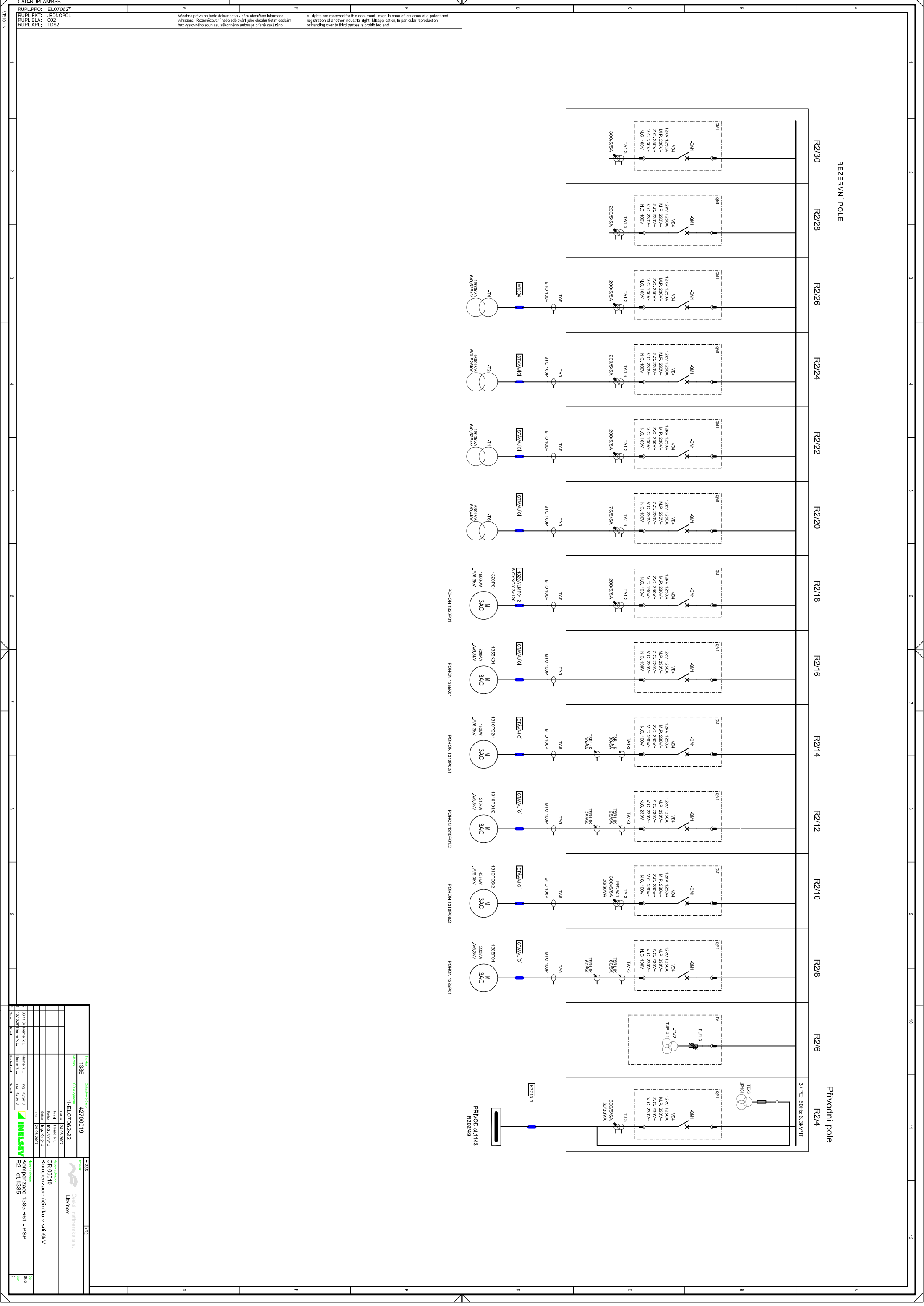
Všechna práva na tento dokument a v něm obsažené informace vyhrazena. Rozmnožování nebo sdělování jeho obsahu třetím osobám bez výslovného souhlasu zákonného autora je přísně zakázáno.

All rights are reserved for this document, even in case of issuance of a patent and registration of another industrial right. Misapplication, in particular reproduction or handing over to third parties is prohibited and actionable under civil and criminal law.

CAD-RUPLAN/BSB
RUPL.PRO: EL07058
RUPL.FKT: JSCH
RUPL.BLA: 001
RUPL.APL: APM2

1	30.11.11	Ing. Svoboda Hemelík L.	Ing. Svoboda Hemelík L.	Ing. Kytýř J.	Ing. Kytýř J.	Datum	02.07.2007	Kreslil	Hemelík L.	Kontroloval	Hemelík L.	Tisk	02.07.2007	Schválil:	Ing. Kytýř J.	Datum :	02.07.2007	Česká rafinářská a.s. Litvínov	INELSEV	OR06010-Kompenzace účinníku v síti 6kV Litvínov - st.3605 Jednoplóvé schéma rozvaděče rIII.1 a rIII.2	Zakázkové číslo : 42700019	Číslo výkresu : 3-EL07058-11	Stavba : 3605	Str. 001 Sum. 2
2	10.06.08	Ing. Svoboda Hemelík L.	Ing. Svoboda Hemelík L.	Ing. Kytýř J.	Ing. Kytýř J.	Datum	02.07.2007	Kreslil	Hemelík L.	Kontroloval	Hemelík L.	Tisk	02.07.2007	Schválil:	Ing. Kytýř J.	Datum :	02.07.2007	Česká rafinářská a.s. Litvínov	INELSEV	OR06010-Kompenzace účinníku v síti 6kV Litvínov - st.3605 Jednoplóvé schéma rozvaděče rIII.1 a rIII.2	Zakázkové číslo : 42700019	Číslo výkresu : 3-EL07058-11	Stavba : 3605	Str. 001 Sum. 2

VR303IN_CR_L 1 2 3 4 5 6 7 8



CAD-RUPLAN858
 VR:01M

RUPL_PRO: EL07062F
 RUPL_FKT: JEONOPOL
 RUPL_BLA: 002
 RUPL_LAPL: TDS2

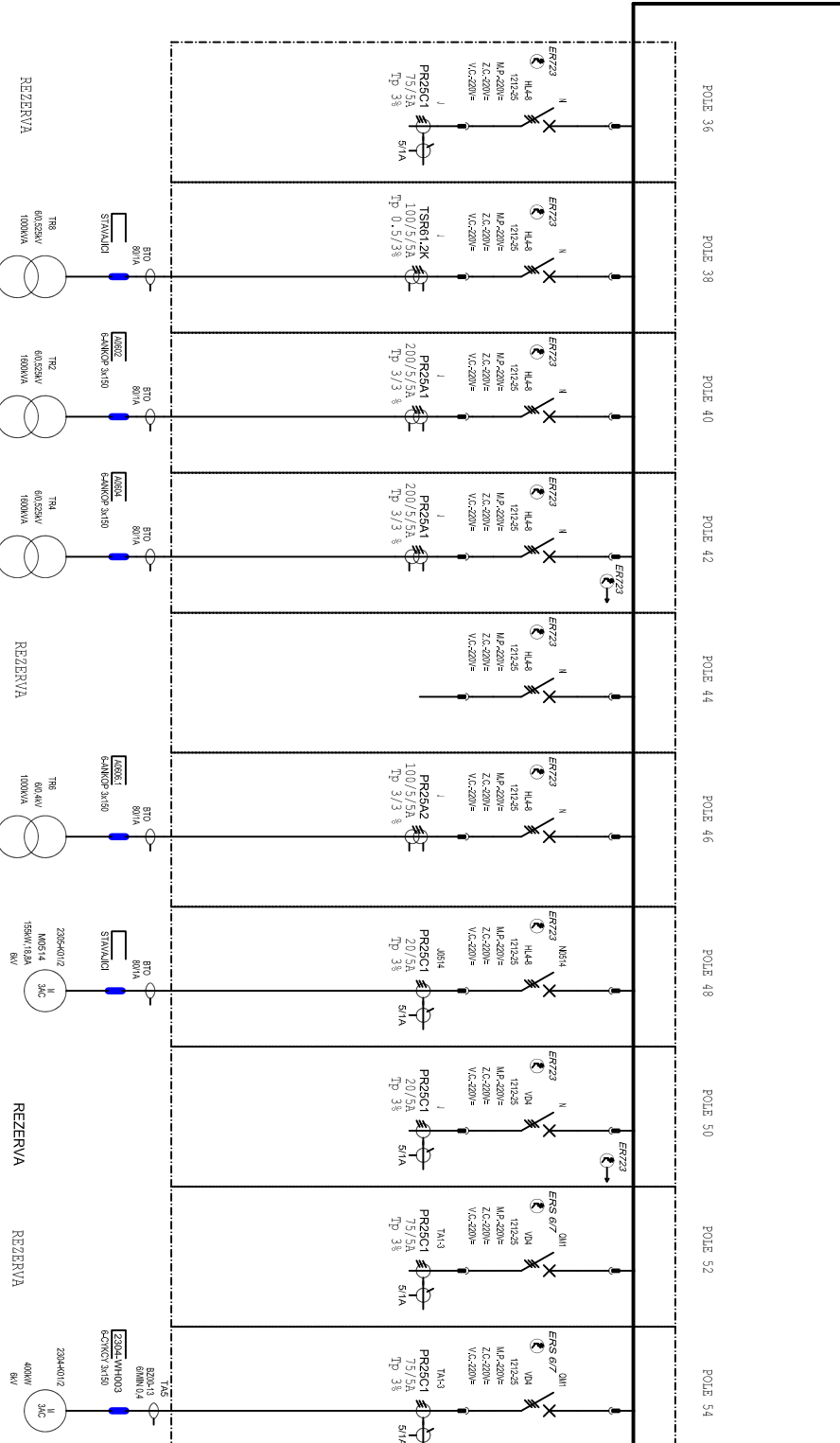
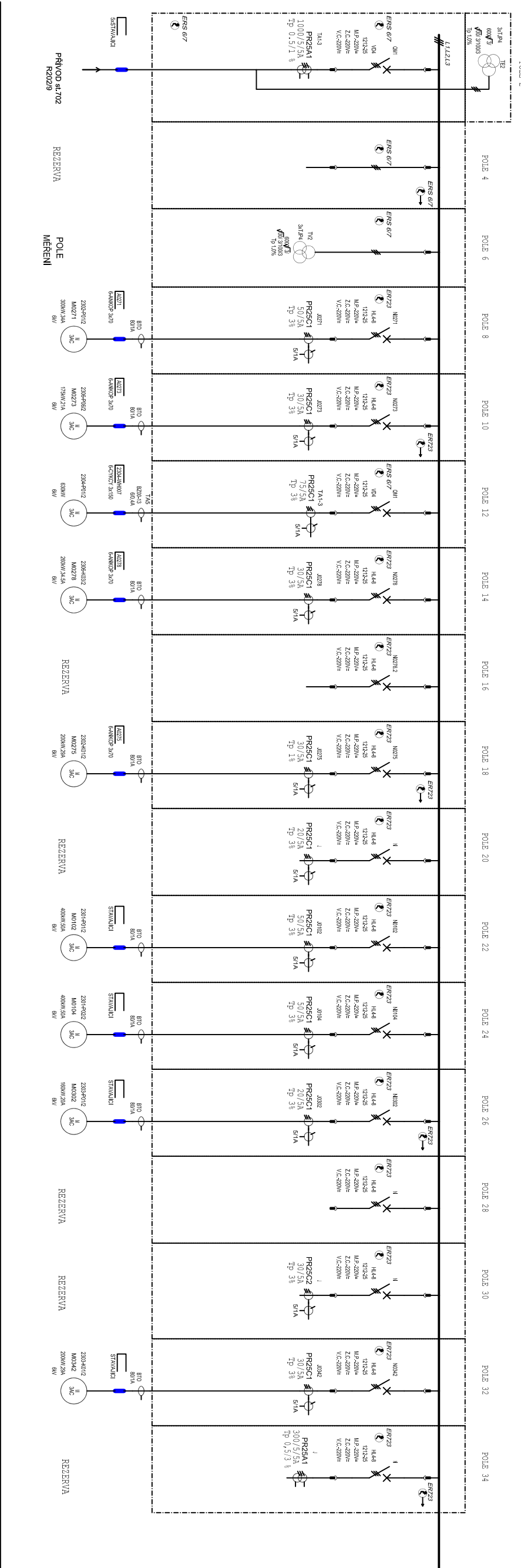
Všechna práva na tento dokument a s ním obsažené informace vyhrazena. Rozmnožování nebo sdělování jeho obsahu třetí osobám bez výslovného souhlasu zákonného autora je přísně zakázáno.

All rights are reserved for this document, even in case of issuance of a patent and registration of another industrial right. Misapplication, in particular reproduction or handing over to third parties is prohibited and

Stavba	1385	Číslo výkresu	42700019
Objekt	1-EL07062-22	Datum	22.08.2007
Projektant	Ing. Křivý J.	Kontrola	Ing. Křivý J.
Stavba	10101071 Hrnčík L.	Datum	24.08.2007
Objekt	OR 06010	Kontrola	Ing. Křivý J.
Projektant	Ing. Křivý J.	Datum	24.08.2007
Stavba	3011071 Hrnčík L.	Datum	24.08.2007
Objekt	Kompensace účinniku v síti 6kV	Kontrola	Ing. Křivý J.
Projektant	Ing. Křivý J.	Datum	24.08.2007
Stavba	1385	Číslo výkresu	42700019
Objekt	OR 06010	Datum	24.08.2007
Projektant	Ing. Křivý J.	Kontrola	Ing. Křivý J.
Stavba	1385	Číslo výkresu	42700019
Objekt	Kompensace účinniku v síti 6kV	Datum	24.08.2007
Projektant	Ing. Křivý J.	Kontrola	Ing. Křivý J.
Stavba	1385	Číslo výkresu	42700019
Objekt	Kompensace účinniku v síti 6kV	Datum	24.08.2007
Projektant	Ing. Křivý J.	Kontrola	Ing. Křivý J.

INELSTIV
 Kompensace účinniku v síti 6kV
 R2 - st. 1385

ROZVADEČ R6.2 - ČERVENÁ



LEGENDA :

- ER723 ZÁBĚSKOVÉ ČIDLO O EB1.2 SYSTÉMU ERS 6/7
- PR2SC1 ZÁBĚSKOVÉ ČIDLO SYSTÉMU ER723

CAD-RUPLANB58
 RUP_LPROJ: EL0706FF
 RUP_LFKT: JEDNOPOL
 RUP_LBLA: 102
 RUP_LAPL: TDS2

Všetchna práva na tento dokument a v něm obsažené informace vyhrazena. Rozmnožování nebo sdělování jeho obsahu třetí osobám bez výslovného souhlasu zákonného autora je přísně zakázáno.

All rights are reserved for this document, even in case of issuance of a patent and registration of another industrial right. Misapplication, in particular reproduction or handing over to third parties is prohibited and

Stavba	2314	Číslo výkresu	42700019	Datum	27.02.2008
Objekt		Stavba	JEDNOPOL	Objekt	Line K001.2
Objekt		Stavba	OR 06010	Objekt	Line K001.2
Objekt		Stavba	Kompensace účinnku v síti 6kV	Objekt	Line K001.2
Objekt		Stavba	Kompensace účinnku v síti 6kV	Objekt	Line K001.2
Objekt		Stavba	Kompensace účinnku v síti 6kV	Objekt	Line K001.2
Objekt		Stavba	Kompensace účinnku v síti 6kV	Objekt	Line K001.2

2314
 OR 06010
 Kompensace účinnku v síti 6kV
 R6.1 - st2314 - NRI