

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh napájení sportovního areálu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vladimír BRABEC**
Osobní číslo: **E15N0051K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh napájení sportovního areálu**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Podle získaných údajů o velikosti příkonu jednotlivých objektů či budov navrhnete způsob připojení k veřejné distribuční síti, včetně návrhu napájecího kabelu, popřípadě transformátoru.
2. Navrhnete konfiguraci napájecí sítě uvnitř areálu a nadimenzujete napájecí kabely k podružným rozváděčům.
3. Navrhnete jištění napájecích kabelů a návrh zkontrolujte pomocí volně dostupného softwaru od některého z výrobců jisticích prvků.
4. Posudte možnost instalace centrální kompenzace účinníku, proveďte hodnocení její finanční návratnosti.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

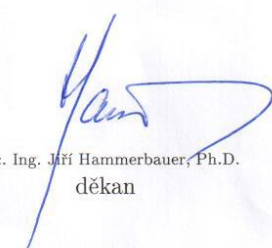
Seznam odborné literatury:

1. ČSN 34 1610: Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách, 1969
2. ČSN 332000-5-523: Elektrická zařízení, část 5 Výběr a stavba el. zařízení - Dovolené proudy
3. Korenc V., Holoubek J. - Kompenzace jalového výkonu v praxi, IN-EL Praha 199
4. Příručka elektrotechnika - Jisticí přístroje I a II, firemní materiály OEZ, 2012

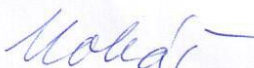
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


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




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je věnována návrhu napájení sportovního areálu. V jednotlivých kapitolách budeme seznámeni se stávajícím způsobem napájení areálu a učiníme návrh napájení nově vystavěných budov. Dále se budeme věnovat dimenzování a volbě kabelů napájejících podružné rozvaděče, jejich jištění a uložení. Jištění jako takovému bude věnována zvláštní kapitola, v které učiníme na základě teoretických poznatků volbu jednotlivých jisticích prvků, jak pro hlavní, tak i pro podružné obvody. Vhodnost a provozuschopnost návrhu bude ověřena programem OEZ SICHR. V závěru budeme seznámeni s možnostmi kompenzace účinníku a posoudíme její vhodnost pro uvažovaný areál.

Klíčová slova

Připojení, zatížení, transformátor, bilance, dimenzování, vodič, zkratový proud, jištění, selektivita, kompenzace

Abstract

This master thesis is focused on concept of power supply of sports facility. In particular chapters the current state and design of power supply of new buildings are described. Next chapter deals with choosing and proportioning of cable supplying sub-switchgear, protections and storing. Protection and choosing of protection elements of main and sub circuits based on theory is devoted to next chapter. Suitability and operability is checked by OEZ SICHR software. Possibilities of reactance compensation and its suitability are mentioned in conclusion.

Key words

Connection, load, transformer, balance, proportioning, conductor, short-circuit current, protection, discrimination, compensation

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 19.5.2017

Vladimír Brabec

Poděkování

Rád bych tímto způsobem poděkoval vedoucímu diplomové práce, paní Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a v neposlední řadě za trpělivost.

Dále bych rád poděkoval svým blízkým za jejich podporu a v neposlední řadě Ing. Ondřejovi Kozákovi za vysilující pomoc s překladem a neutuchající entuziasmus.

Obsah

OBSAH	1
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	3
ÚVOD	5
1. PŘIPOJENÍ K VEŘEJNÉ DISTRIBUČNÍ SÍTI.....	6
1.1 POSTUP NÁVRHU PŘIPOJENÍ A POŽADAVKY NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ	6
1.2 OBECNÝ VÝPOČETNÍ POSTUP PRO ZISK VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ.....	7
1.3 OBECNÝ POSTUP PRO NÁVRH TRANSFORMÁTORU	7
1.4 NAPÁJENÍ A TRANSFORMÁTOR PRO SPORTOVNÍ AREÁL.....	8
1.5 ENERGETICKÁ BILANCE NOVÝCH BUDOV.....	9
1.5.1 Severní věž	9
1.5.2 Jižní věž.....	9
2 KONFIGURACE NAPÁJECÍ SÍTĚ UVNITŘ AREÁLU	10
2.1 DRUHY SÍTÍ.....	10
2.2 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ.....	13
2.2.1 Určení maximálního proudu	13
2.2.2 Zkratové proudy.....	14
2.2.3 Dimenzování vedení na základě oteplení	16
2.2.4 Dimenzování vodičů podle hospodárnosti	17
2.2.5 Dimenzování vodičů podle mechanické pevnosti	17
2.2.6 Dimenzování vodičů podle dovolených úbytků napětí	17
2.2.7 Zajištění ochrany před dotykem neživých částí	18
2.3 VOLBA KABELU PRO SPORTOVNÍ AREÁL	19
3 JIŠTĚNÍ NAPÁJECÍCH OBVODŮ	20
3.1 JISTÍCÍ PRVKY OBECNĚ.....	20
3.1.1 Pojistky.....	21
3.1.2 Jističe	22
3.2 VOLBA JISTÍCÍHO PRVKU.....	24
3.3 SELEKTIVITA JIŠTĚNÍ	25
3.4 JIŠTĚNÍ VEDENÍ	25
3.5 VOLBY JISTÍCÍCH PRVKŮ PRO NÁŠ NÁVRH.....	26
4 KONTROLA APLIKACÍ OEZ SICHR	28
4.1 KONTROLA VODIČŮ A JISTÍCÍCH PRVKŮ SEVERNÍ VĚŽE	28
4.1.1 Jištění a přívodní kabel z RH do RH – VS.....	28
4.1.2 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 1.1	29
4.1.3 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 2.1	30
4.1.4 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 3.1	31
4.1.5 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.1	31
4.1.6 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.2.....	32
4.1.7 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R výt	33

4.2	KONTROLA VODIČŮ A JISTICÍCH PRVKŮ JIŽNÍ VĚŽE.....	34
4.2.1	<i>Jištění a přívodní kabel z RH do RH – VJ.....</i>	34
4.2.2	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 1.1.....</i>	35
4.2.3	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 2.1.....</i>	36
4.2.4	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 3.1.....</i>	37
4.2.5	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.1.....</i>	38
4.2.6	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.2.....</i>	39
4.2.7	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.3.....</i>	40
4.2.8	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.4.....</i>	41
4.2.9	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.5.....</i>	42
4.2.10	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 2.2.....</i>	43
4.2.11	<i>Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R výt.....</i>	44
5	KOMPENZACE ÚČINÍKU.....	45
5.1	KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU OBECNĚ.....	45
5.2	PRINCIPY KOMPENZACE.....	46
5.3	TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO KOMPENZACI.....	47
5.3.1	<i>Rotační kompenzační zařízení.....</i>	47
5.3.2	<i>Statické kompenzátory.....</i>	48
5.4	EKONOMICKÝ DOPAD KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU.....	51
5.5	DŮSLEDKY NEVHODNÉHO NÁVRHU.....	52
5.6	KOMPENZACE ÚČINÍKU SPORTOVNÍHO AREÁLU.....	52
	ZÁVĚR.....	53
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	54
	PŘÍLOHY.....	55

Seznam symbolů a zkratek

P_i	činný instalovaný výkon
S_i	zdánlivý instalovaný výkon
P_p	celkové výpočtové zatížení
β	součinitel náročnosti
U_f	fázové napětí
I_f	fázový proud
S_{pcelk}	celkový výpočtový výkon
k_s	koeficient vzájemné soudobosti
RH	hlavní tozvodna
U_k	napětím nakrátko
T1, T2	transformátory
VZT	vzduchotechnika
Q_r	celková předpokládaná roční spotřeba
VN	vysoké napětí
NN	nízké napětí
ČSN	česká technická norma
I_{ku}	ustálený zkratový proud
I_{km}	rázového zkratového proudu.
K	poměr R/X
R	elektrický odpor
X	reaktance
I_z	maximální proud pro zatížení vodiče
$\Delta \vartheta_m$	maximální dovolené oteplení vodiče
ϑ_m	nejvyšší dovolená provozní teplota vodiče
ϑ_0	teplota okolí
T	tepelný odpor mezi vodičem a okolím
S	hospodárný průřez vodiče
σ	hospodárná hustota proudu
I_p	výpočtový proud
K	součinitel závisející na materiálu jádra a izolace vodiče
τ_z	doba plných ztrát
U_0	jmenovité fázové napětí sítě

I_k''	zkratový proud
I_n	jmenovitý proud
ω	úhlová rychlost
C	kapacita kondenzátoru
U	efektivní hodnota napětí
I	efektivní hodnota proudu
Q_c	výkon kondenzátoru
Z_s	impedance poruchové smyčky
f_N	pracovní kmitočet
f_R	rezonanční kmitočet
n_R	řád harmonické
p	činitel zatlumení

Úvod

Jak již samotný název práce napovídá, budeme se v následujících kapitolách věnovat návrhu napájení sportovního areálu. Svou strukturou je práce rozčleněna do následujících pěti kapitol.

V první kapitole budeme obeznámeni s postupy pro návrh napájení průmyslových a jiných areálů obecně. Dále se blíže seznámíme s uvažovaným komplexem a vyspecifikujeme stávající a nově vzniklá místa odběru.

Druhá kapitola je v obecné rovině věnována napájecím strukturám takovýchto areálů a především dimenzování vodičů. Seznámíme se s nezbytnými zkouškami pro zajištění správné volby napájecích kabelů. Dále v této kapitole učiníme volbu kabeláže pro napájení nově vystavěných budov a určíme typy kabelů pro napájení veškerých podružných rozvaděčů.

Kapitolou třetí si osvojíme postupy a pravidla při volbě jednotlivých jisticích prvků, na základě jejich obecných vlastností. Teoretických poznatků posléze využijeme pro návrh nejvhodnějších komponent pro jištění hlavních i podružných napájecích větví nových budov.

Správnost a provozuschopnost konceptu navrženého v předchozích kapitolách si ve čtvrté kapitole ověříme užitím programu OEZ SICHR.

Pátá a zároveň poslední kapitola pojednává o možnostech kompenzace účinníku. Zaměříme se na postupy při volbě nejvhodnějšího způsobu kompenzace a případné nežádoucí dopady nevhodného kompenzování. Na závěr kapitoly posoudíme vhodnost kompenzace účinníku pro celý komplex.

1. Připojení k veřejné distribuční síti

1.1 Postup návrhu připojení a požadavky na distribuční síť

Princip a využití distribuční sítě, spočívá v přenosu elektrické energie mezi stanicemi napájenými velmi vysokým napětím, ke stanicím, na které je připojen konečný spotřebitel. Součástí distribuční soustavy jsou sítě průmyslové a městské. Úkolem distribuční soustavy, je zajištění dodávky elektrické energie ke konečnému spotřebiteli, při respektování požadavku na čas, kvalitu, množství a v neposlední řadě je kladen důraz na spolehlivost dodávky [1].

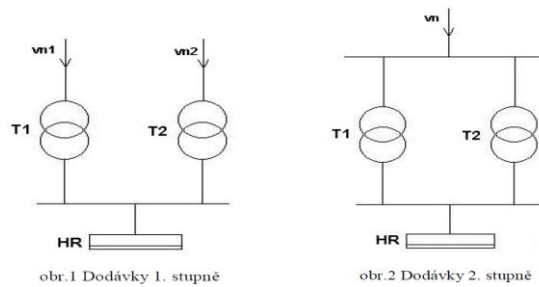
Při samotném návrhu připojení uvažovaného komplexu, vycházíme z následujících pravidel a postupů.

Nejprve si stanovíme velikost instalovaného činného, popř. zdánlivého výkonu v jednotlivých objektech P_i , S_i . Sečtením instalovaných výkonů jednotlivých budov získáme celkové výpočtové zatížení P_p , S_p . Takto získané hodnoty využijeme při návrhu a stanovení počtu transformátorů, dále při dimenzování elektrických vedení a řešení důležitosti kompenzace účinníku [1].

Nezbytnou součástí výpočtů je znalost koeficientu soudobosti. Taktéž nazývaného součinitel náročnosti β . Jedná se o nejvyšší hodinový příkon v roce, vztažený k celkovému instalovanému výkonu P_i [1].

Dále vycházíme z potřeby zajištění dodávky elektrické energie, kterou rozdělíme do tří stupňů.

- O dodávce prvního stupně hovoříme tehdy, zapříčiní-li přerušení dodávky elektrické energie ohrožení lidských životů, nebo velké hospodářské ztráty. Dodávka musí být zajištěna za všech okolností.
- V případě nezajištění dodávky druhého stupně dojde k podstatnému snížení, případně zastavení výroby.
- Dodávky třetího stupně nejsou zajištěny žádným zvláštním opatřením. Jedná se veskrze o domácnosti [2].



Obr. 1: 1. a 2. Stupeň dodávky (převzato z [12].)

1.2 Obecný výpočetní postup pro zisk výpočtového zatížení

Při stanovení výpočtového zatížení musíme nezbytně znát instalované výkony, případně proudové hodnoty jistících prvků jednotlivých podružných rozvodů [3].

Výpočet jednotlivých instalovaných výkonů provedeme užitím obecně platného vztahu.

$$S_i = 3 \cdot U_f \cdot I_f \text{ [VA]}$$

Na základě získaných výkonových hodnot dopočítáme hodnoty výkonů výpočtových tak, že je dle následujícího vztahu znásobíme součinitelem náročnosti [3].

$$S_p = S_i \cdot \beta \text{ [VA]}$$

V posledním kroku sumarizujeme jednotlivé výpočtové výkony a znásobíme koeficientem vzájemné soudobosti všech objektů. Čímž docílíme hodnoty celkového výpočtového výkonu [3].

$$S_{p\text{celk}} = k_s \cdot \Sigma S_p \text{ [VA]}$$

1.3 Obecný postup pro návrh transformátoru

Transformátor je nezbytnou součástí silnoproudé rozvodny. Mezi jeho základní vlastnosti patří propojení dvou sítí s rozdílnými napěťovými hladinami a např. galvanické oddělení [1].

Při volbě a návrhu transformátoru bereme zřetel na výpočtové zatížení, stupeň důležitosti dodávky, jeho ztráty, pořizovací cenu atd. [1].

Za minimální životnost transformátoru, pracujícího při jmenovitém zatížení a maximální denní teplotě 35 °C, zároveň průměrné roční teplotě 15 °C, je považováno 25 let [1].

V návaznosti na pořizovací ceny a náročnost provozu zvažujeme kombinování více transformátorů, mezi které patří například skupina několika transformátorů o různých jmenovitých výkonech. Takovýto koncept je navržen v námi uvažovaném areálu [1].

1.4 Napájení a transformátor pro sportovní areál

U námi uvažovaného sportovního areálu budeme vycházet ze skutečnosti, že trafostanice, jejíž součástí je i hlavní rozvodna, prošla před několika málo lety kompletní rekonstrukcí. Při rekonstrukci rozvodny RH bylo již počítáno s dostavbou dvou budov „věží“ a v poli č. 6a bylo počítáno s dosazením jistících prvků dle budoucí potřeby.

Stávající přívod pro celý rozsáhlý komplex je řešen napájecími kabely, které vedou ke každému z transformátorů zvlášť. Instalované kabely a nároky na ně kladené jsou:

$$3 \times 22 - \text{AXEKVCEY } 1 \times 70 / 16 \text{ mm}^2$$
$$3 \sim 50\text{Hz } 22 \text{ kV} / \text{IT}, I_n = 630 \text{ A}, I_{k''} = 16 \text{ kA} / \text{s}$$

V objektu trafostanice se nacházejí dvě kobky. V první je umístěn transformátor T1 o výkonu 1250 kVA, převodem 22 / 0,4 kV a napětím nakrátko $u_k = 4 \%$.

Druhá kobka je osazena transformátorem T2 o výkonu 400 kVA, převodem 22 / 0,4 kV, a napětím nakrátko $u_k = 6 \%$.

Propoj mezi sekundární stranou transformátoru T1 a rozvodnou RH je zajištěn kabeláží $14 \times 1 - \text{AYY } 500 \text{ mm}^2$. U transformátoru T2 je použito $2 \times 1 - \text{AYKY } 3 \times 240 + 120 \text{ mm}^2$.

Transformátor T2 je dostačující pro pokrytí spotřeby jednotlivých sportovišť v běžném režimu. V čase noční sportovní akce, kdy se enormně zvýší odběr, v závislosti na potřebě osvětlování hrací plochy a tribun, je do provozu uveden transformátor T1. Schematický plán napájení celého komplexu je vyobrazen v příloze [4].

1.5 Energetická bilance nových budov

1.5.1 Severní věž

Druh spotřebiče	Instalovaný příkon P_i (kW)	současnost	Výpočtové zatížení P_s (kW)
Osvětlení	16	0,6	10
Pohony	10	0,4	4
Pohony VZT	8	0,5	4
Chlazení	12	0,8	10
Zásuvky	40	0,2	8
Ostatní	20	0,6	12
Celkem	106		47

Tab. 1: Energetická bilance SV (převzato z [4.])

Celkový instalovaný příkon: $P_i = 106 \text{ kW}$

Celkové výpočtové zatížení: $P_s = 47 \text{ kW}$

Celková předpokládaná roční spotřeba: $Q_r = 33 \text{ MWh / rok}$

1.5.2 Jižní věž

Druh spotřebiče	Instalovaný příkon P_i (kW)	současnost	Výpočtové zatížení P_s (kW)
Osvětlení	16	0,6	10
Pohony	10	0,4	4
Pohony VZT	12	0,5	6
Chlazení	30	0,8	24
Zásuvky	40	0,2	8
Gastro technologie	153	0,5	77
Ostatní	20	0,4	8
Celkem	281		136

Tab. 2: Energetická bilance JV (převzato z [4.])

Celkový instalovaný příkon:	$P_i = 281 \text{ kW}$
Celkové výpočtové zatížení:	$P_s = 136 \text{ kW}$
Celková předpokládaná roční spotřeba:	$Q_r = 66 \text{ MWh / rok}$

2 Konfigurace napájecí sítě uvnitř areálu

2.1 Druhy sítí

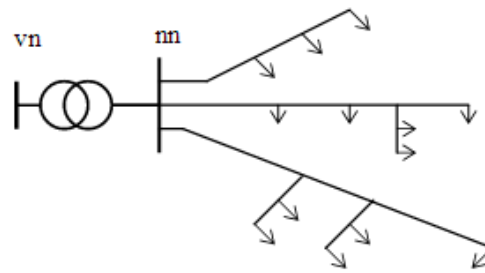
Při návrhu konfigurace sítě se obecně vychází z potřeby co nejvyšší provozuschopnosti a zároveň je nutné zohlednit ekonomické hledisko v závislosti na stupni dodávky elektrické energie. Finanční náročnost však nelze posuzovat pouze dle vstupní investice, ale je nutno přihlídnout i k dlouhodobé užitelnosti [3].

Dále nelze brát zřetel pouze na rozsah areálu a velikost daných objektů. Je nutno přihlídnout k výkonové náročnosti instalovaných spotřebičů a k charakteru provozu obecně [3].

Při volbě a návrhu sítě VN a NN vycházíme ze čtyř následujících modelů, které se odlišují svojí spolehlivostí při zajištění dodávky elektrické energie k odběrnému místu, což se zároveň promítne do finanční náročnosti při jejich budování [6].

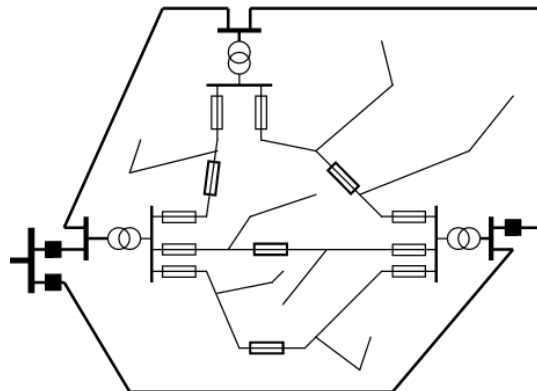
- Sítě paprskové
- Zjednodušená mřížová síť NN
- Okružní síť
- Klasická mřížová síť NN

Princip paprskové sítě spočívá ve výstupu jednotlivých napájecích kabelů z transformovny, přímo k danému odběrnému místu. Takovéto „paprsky“ se nedají spojovat. Tímto se značně prodlouží doba obnovy dodávky elektrické energie v případě kolize [5].



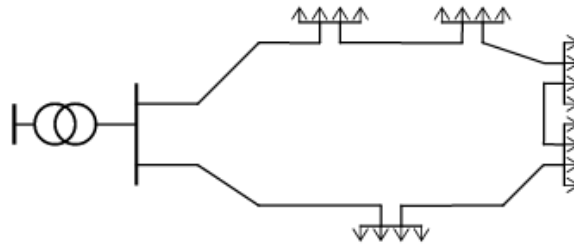
Obr. 2: Schéma paprskové sítě (převzato z [9.]

Síť zjednodušená mřížová lze vytvořit v případě napájení alespoň dvěma transformátory. Tyto transformátory propojíme kabeláží většího průřezu a k jejich jištění použijeme hlavní výkonové pojistky. Na vhodná místa jsou umístěny pojistky slabé vazby. Doporučený jmenovitý proud pojistek hlavních by měl být dvojnásobný oproti pojistkám slabé vazby. Takový typ sítě reaguje na poruchy ze strany nízkého napětí [5].



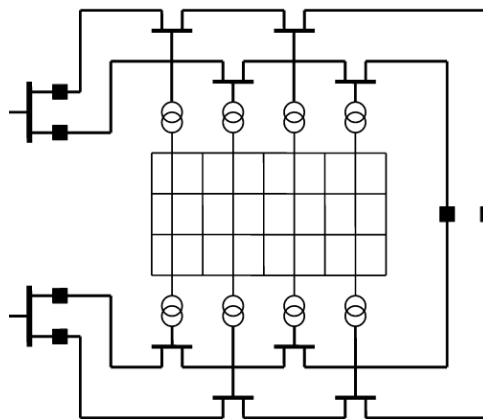
Obr. 3: Schéma zjednodušené mřížové sítě (převzato z [9.]

Okružní síť může být provozována ve dvou stavech. Ve stavu sepnutém, nebo ve stavu rozepnutém. Obvyklý způsob užití je v rozepnutém stavu, a tak pracují jako síť paprskové. V případě poruchy dojde k přepnutí na vedlejší vývod. Jsou tedy oproti sítím paprskovým spolehlivější a zároveň dražší [5].



Obr. 4: Schéma okružní sítě (převzato z [9].)

Klasické mřížové sítě, se svým charakterem nejčastěji využívají ve větších městech, kde jsou napájeny z několika transformoven. Na rozích ulic je nízkonapěťové vedení pospojováno v pojistkových skříních tak, že v případě poruchy dojde k přetavení pojistek ve dvou skříních, které jsou přímo napojené na místo poruchy. U zbylých uzlů je funkčnost zachována. Tento koncept sítě je oproti ostatním nejspolehlivější [5].



Obr. 5: Schéma klasické mřížové sítě (převzato z [9].)

2.2 Dimenzování vedení

Při dimenzování průřezů vodičů vedení a jejich jištění, vycházíme především z normy ČSN 33 2000. V praxi pak postup spočívá v následujících krocích.

- Výpočet proudu uvažovaného obvodu
- Volba jisticího přístroje k danému proudu
- Volba, popřípadě výpočet průřezu vodičů s ohledem na jištění
- Výpočet zkratových proudů a ověření následujícího
 - Vodiče i přístroje z hlediska zkratových proudů vyhovují
 - Je zajištěna ochrana i před minimálními zkratovými proudy
- Kontrola na zajištění ochrany před dotykem neživých částí
- Ověření úbytku napětí
- Ověření selektivity mezi jisticími prvky

Přijdeme-li v průběhu řešení výpočtů na to, že v některém z bodů uvažovaný kabel nesplňuje požadavky, například z důvodu jeho délky, veškeré výpočty zopakujeme pro kabel většího průřezu [6].

2.2.1 Určení maximálního proudu

Maximální výpočtový proud označovaný I_b je možno vypočítat dvojitým způsobem. Na základě znalosti jmenovitých proudů instalovaných spotřebičů, případně znalosti jejich výkonů. Součet veškerých jmenovitých proudů I_n vynásobíme následujícími čtyřmi součiniteli [6].

$$I_b = a * b * c * d * I_n$$

Součinitel a – získáme z účinníku $\cos \varphi$ a účinnosti η

$$a = 1 / (\cos \varphi * \eta)$$

Součinitel využití b – v průmyslových instalacích se pohybuje v rozmezí od 0,3 do 0,9. Pokud nemáme přesněji v specifikované údaje, uvažujeme například pro osvětlení $b = 1$ a pro motory $b = 0,75$. [6].

Součinitel soudobosti c – vyžaduje velmi podrobnou znalost instalace. Pro každý druh instalace není reálné součinitel určit. V takových případech postupujeme dle tabulkových hodnot [6].

Součinitel d – předpokládá další rozšíření instalace, popřípadě rozvodu. Jeho hodnota se určuje dle předpokládaného rozvoje. V průmyslových objektech je doporučena hodnota 1,2. Za minimální je považována hodnota 1 [6].

2.2.2 Zkratové proudy

2.2.2.1 Zkratové proudy obecně

Zkratové proudy musí být stanoveny, až na některé výjimky uvedené v normě ČSN 33 2000, pro každý obvod zvlášť. Znalost jejich velikosti je nezbytně nutná pro určení parametrů jistících prvků a zároveň dimenzování kabeláže [6].

Na základě znalosti maximálních zkratových proudů ověříme:

- Ochranný přístroj bude schopen v případě potřeby spolehlivě odpojit obvod
- Nedojde k překročení dovoleného namáhání vodičů

Znalostí minimálních zkratových proudů ověříme:

- Zda v případě použití jističe jako ochranného prvku, dojde k odpojení i při nejvzdálenějším zkratu
- V případě použití pojistky nepřekročíme dovolené tepelné namáhání vodičů [6].

2.2.2.2 Výpočet zkratového proudu

Pro výpočty uvažujeme efektivní hodnoty ustálených zkratových proudů I_{ku} . Jejich znalost je primárně důležitá pro stanovení tepelných účinků zkratového proudu. Mohou nastat případy, kdy je vyžadován výpočet elektrodynamických účinků zkratového proudu [6].

Příčinou vzniku dynamických účinků je elektromagnetické působení proudů v sousedních vodičích. Dané síly jsou proudům přímo úměrné. Nejvýraznější účinky se projevují v amplitudě zkratového proudu. Hovoříme o nárazovém zkratovém proudu I_{km} , který určíme z následujícího vztahu [3].

$$I_{km} = k * \sqrt{2} * I_{ku}$$

I_{km} - určuje maximum amplitudy vrcholové hodnoty rázového zkratového proudu.

I_{ku} – efektivní hodnota ustáleného zkratového proudu

k – je parametr určený poměrem R/X

Pro samotný výpočet je možno postupovat podle následujících čtyřech metod v závislosti na znalostech a charakteru počítaného obvodu [6].

- Impedanční metoda
- Kompoziční metoda
- Konvenční metoda
- Metoda trojúhelníku

Hodnota součinitele K pro výpočet nárazového zkratového proudu		
Místo zkratu	bez asynchronních motorů	s asynchronními motory ⁴⁾
za alternátorem do 55 MW ¹⁾	1,95	2,7
v soustavě vvn, zvn	1,7	-
v soustavě vn	1,6	2,4
v soustavě nn	1,4	-
v kabelovém rozvodu nn ²⁾	1,3	1,9
za transformátory ³⁾		
vvn/vn nebo vn/nn	1,7	2,5
vn/nn do 250 kVA včetně	1,3	1,9
do 630 kVA včetně	1,5	2,1
do 1600 kVA včetně	1,6	2,3

¹⁾ Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem
²⁾ Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)
³⁾ Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10% sousledné impedance zkratového obvodu)
⁴⁾ Hodnoty součinitele K ve sloupci II slouží k orientačnímu stanovení nárazového zkratového proudu v el. rozvodu s asynchronními motory. Ve vztahu pro výpočet nárazového zkratového proudu se přitom použije hodnota počátečního rázového zkratového proudu stanovená bez příspěvku asynchronních motorů.

Tab. 3: Hodnota součinitele K (převzato z [3.])

2.2.3 Dimenzování vedení na základě oteplení

Při dimenzování vedení na základě oteplení vodičů, bereme v potaz nedokonalost používaných materiálů, které jsou průchodem proudu zahřívány, čímž dochází ke ztrátám. Musí tedy platit, že teplota vodiče nepřesáhne maximální dovolenou teplotu. Vycházíme z následujících vztahů [3].

$$\vartheta \leq \vartheta_m; \quad \Delta \vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_0; \quad I_z = \sqrt{\frac{\Delta \vartheta_m}{R \cdot T}}$$

I_z – hodnota maximálního proudu, kterou může být vodič zatížen

$\Delta \vartheta_m$ – maximální dovolené oteplení vodiče

ϑ_m – nejvyšší dovolená provozní teplota vodiče

ϑ_0 – teplota okolí

R – elektrický odpor

T – tepelný odpor mezi vodičem a okolím

Dovolená provozní teplota je přímo vztažena na konstrukci a materiál vodiče, jeho izolaci a teplotu prostředí [3].

2.2.4 Dimenzování vodičů podle hospodárnosti

Dle průřezu vodiče se odvíjí jeho pořizovací cena a následně nákladnost provozu. Z tohoto důvodu zavádíme zkoušku pro zjištění optimální hodnoty průřezu, kterou provádíme na základě tzv. hospodárné hodnoty proudu [3].

$$\sigma = \frac{I_p}{S}; S = k * I_p * \sqrt{\tau_z}$$

S – hospodárný průřez vodiče

σ – hospodárná hustota proudu

I_p – výpočtový proud

k – součinitel závisející na materiálu jádra a izolace vodiče

τ_z – doba plných ztrát

Význam kontroly hospodárného průřezu je uplatněn u páteřních třífázových vedení. Za předpokladu, že budou provozovány minimálně deset let, s dobou plných ztrát větší než tisíc hodin za rok. Hospodárným průřezem se zabývá norma ČSN 34 1610 – Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách [3].

2.2.5 Dimenzování vodičů podle mechanické pevnosti

U některých druhů vedení je kabeláž vystavena nadměrnému mechanickému namáhání. Může se jednat o venkovní vedení, pohyblivé přívody atd. Z tohoto důvodu zavádíme dimenzování na mechanickou pevnost vodiče. Průřez vodiče nesmí být menší než nejmenší dovolený. Při dimenzování vycházíme z normy ČSN 34 1610 [3].

2.2.6 Dimenzování vodičů podle dovolených úbytků napětí

Abychom předešli nedovolenému poklesu napětí na svorkách spotřebiče, čímž bychom omezovali jeho funkčnost, zavádíme zkoušku na dovolený úbytek napětí. Nejdůležitější požadavky na tuto zkoušku jsou uvedeny v normě ČSN 34 1610. Pro valnou část spotřebičů vycházíme z dovoleného kolísání napětí 5 % z dlouhodobého hlediska a 10 % z hlediska krátkodobého. U světelných obvodů pak hovoříme o maximální hodnotě 3 % [3].

Obecný výpočet napěťových úbytků se liší v závislosti na povaze zátěže. Odlišujeme induktivní, převažující odběr v distribuční soustavě a kapacitní odběr. Výpočet provedeme užitím následujících vzorců [3].

Pro induktivní odběr:

$$\Delta U_f = \left| \bar{U}_{1f} \right| - \left| \bar{U}_{2f} \right| = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{(X \cdot I \cdot \cos \varphi - R \cdot I \cdot \sin \varphi)^2}{2 \cdot U_f}$$

Pro kapacitní odběr:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi - X \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{(X \cdot I \cdot \cos \varphi + R \cdot I \cdot \sin \varphi)^2}{2 \cdot U_f}$$

2.2.7 Zajištění ochrany před dotykem neživých částí

Všeobecné požadavky na ochranu před dotykem neživých částí se řídí podle normy ČSN 33 2000. Cílem je zajistit, aby v případě poruchy mezi živou a neživou částí, došlo k odpojení v tak krátkém čase, že nedojde k ohrožení bezpečnosti osob. Nejprve byla doba odpojení stanovena jako funkce napětí předpokládaného dotyku. Takto stanovené časy byly podloženy znalostmi fyziologických účinků elektrického proudu na lidský organismus. Pro zjednodušení, jsou dnes doby určeny napěťovou hladinou a typem sítě. V našem případě je důležité dodržení časů uvedených v následující tabulce [6].

Jmenovité fázové napětí U_0 [V]	Doba odpojení t_0 [s]	
	UL = 50 V	UL = 25 V
230	0,4	0,2
400	0,2	0,05
>400	0,1	0,02

Tab. 4: Mezní doba vybavení ochranného prvku (převzato z [6.])

Poruchový proud protékající při zkratu mezi živou a neživou částí, lze vypočítat na základě následujícího vztahu:

$$I_p = U_0 / Z_s$$

U_0 – jmenovité fázové napětí sítě

Z_s – impedance poruchové smyčky

Podmínky ochrany se odvíjejí podle druhu použitého ochranného přístroje. V praxi bereme v úvahu dobu odpojení pouze u pojistek. U jističů dojde k vybavení zkratové spouště dříve než za 1 s [6].

2.3 Volba kabelu pro sportovní areál

Pro námi uvažovanou dostavbu věží budeme vycházet ze stávající koncepce paprskové sítě, kdy je celý areál napájen z jedné stanice a stupeň důležitosti dodávky je číslo tři. V areálu se však dále vyskytují i objekty řazené do první třídy důležitosti dodávky. Takové jsou při přerušení dodávky elektrické energie zálohované diesela agregátem, nacházejícím se v blízkosti stanice [4].

Napájecí kabely propojující rozvaděč RH a dvě nově vzniklé rozvodny RH – VS, RH – VJ budou uloženy v zemi, v ochranných trubkách. Uložení kabeláže bude provedeno dle normy ČSN 33 2000. Pro napájení rozvodu bude použit kabel AYKY 3 x 240 + 120 mm².



Obr. 6: Kabel AYKY 3 x 240 + 120 mm² (převzato z [10.]

Z rozvoden RH – VS a RH – VJ budou napájeny podružné rozvaděče pěti žilovými kabely CYKY. Průřezy těchto kabelů jsou obsahem kapitoly číslo 5 [4].



Obr. 7: Kabel AYKY 3 x 240 + 120 mm² (převzato z [10.]

3 Jištění napájecích obvodů

3.1 Jistící prvky obecně

Přístroje používané pro ochranu obvodů vůči nadproudům, lze rozdělit do dvou následujících skupin.

- Pojistky
- Jističe

Pojistka lze použít pro ochranu obvodu pouze jednou. Jelikož její ochranná funkce spočívá v přetavení nejslabšího místa obvodu, vlivem nadproudu dojde k jejímu zničení. Jistič lze však použít opakovaně. Jeho funkce spočívá v samočinném rozpojení silových kontaktů. Takovéto rozpojení je zajištěno nadproudovou spouští [7].

3.1.1 Pojistky

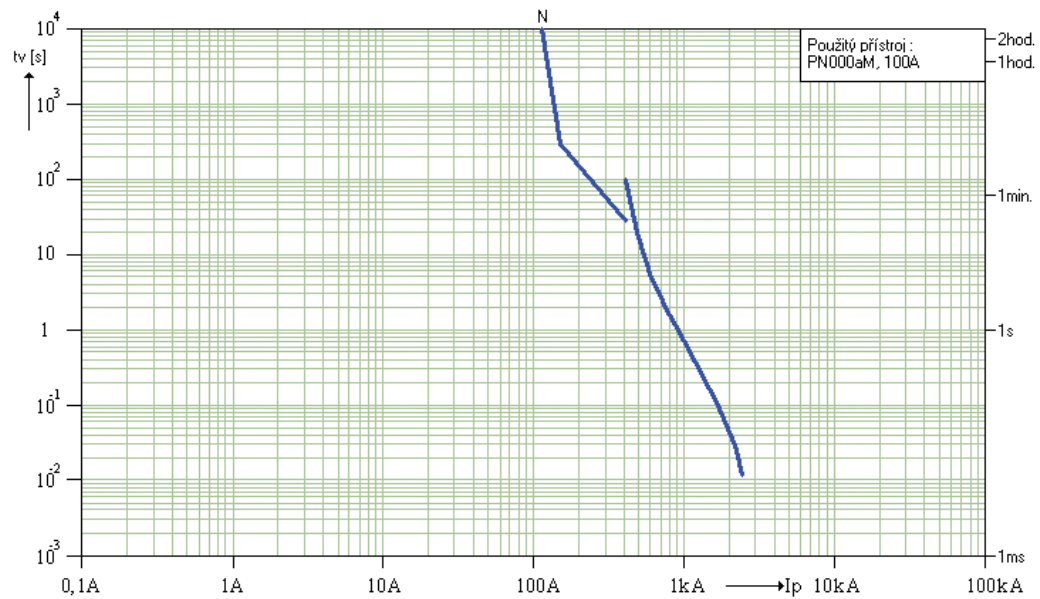
Pojistka je obvykle nejslabším místem celého obvodu. Bude-li tavným vodičem, jenž je součástí pojistky, protékat delší dobu nadproud, dojde k jeho roztavení. To má za následek vznik elektrického oblouku, který je posléze zhašen křemičitým pískem. Tímto způsobem dojde k rozpojení a ochraně obvodu. Pojistky je možno rozdělit do následujících skupin [7].

- Rozdělení dle jmenovitého napětí
- Rozdělení podle typové velikosti
- Podle konstrukčního řešení
- Podle rozsahu vypínání a kategorie použití



Obr. 8: Nožové pojistky (převzato z [11.]

Každý typ pojistky má svou ampérsekundovou charakteristiku. Jde o křivku vyjadřující celkovou vypínací dobu v závislosti na protékaném proudu. Celková doba vypínání je pak součtem doby tavení vložky a doby zhašení oblouku. Ampérsekundové průběhy mají meze upravené příslušnou normou ČSN [7].



Obr. 9: Ampérsekundová charakteristika (převzato z [7.])

3.1.2 Jističe

Jistič je elektrický přístroj, určený k opakovanému použití při ochraně obvodu před dynamickými a tepelnými vlivy nadproudu. Princip funkce jističe je založen na samočinném rozpojení silových kontaktů. Každý jistič má svou specifickou charakteristiku, od které se odvíjí velikost proudu a doba vybavení. Jističe bychom mohli rozdělit do dvou základních částí [7]:

- Rozdělení dle druhu použití
 - Pro domovní instalace
 - Pro všeobecné použití
 - Pro jištění motorů
- Rozdělení podle druhu nadproudové spouště
 - Jističe s termomagnetickou spouští
 - Jističe elektronickou spouští
 - Jističe s kataraktovou spouští



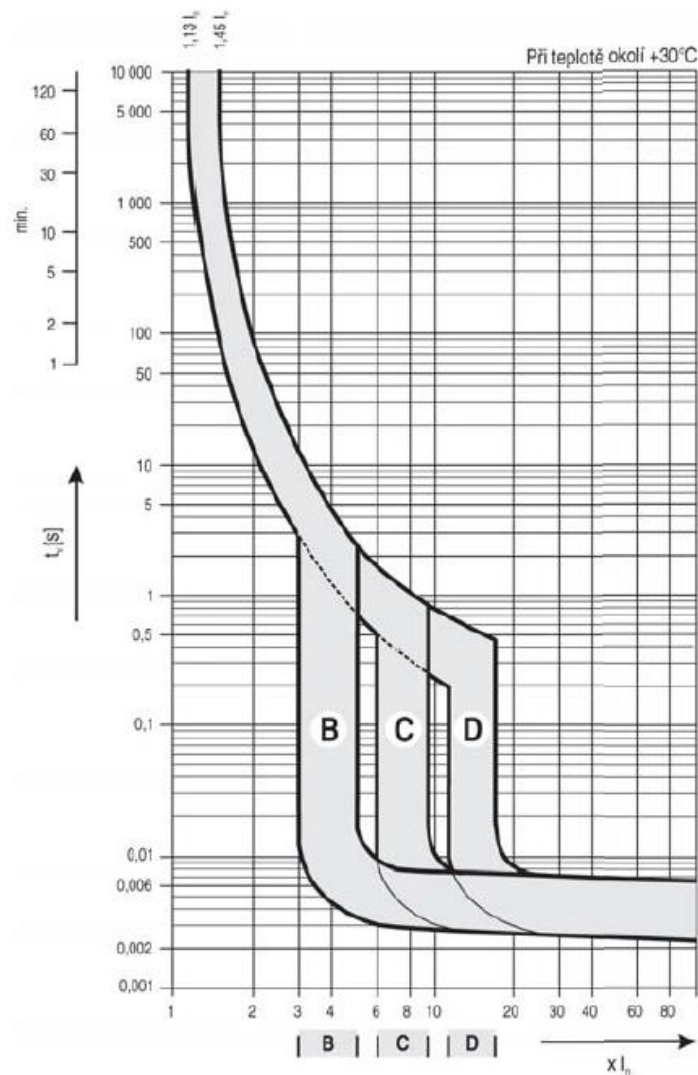
Obr. 10: Typy jističů (převzato z [11].)

Jak bylo výše uvedeno, základním parametrem každého jističe je jeho vypínací charakteristika. Takové dělíme následovně:

Jistič typu B – vhodný pro jištění bytových instalací. Popřípadě vedení napájející spotřebiče, které nejsou příčinou výrazných proudových rázů.

Jistič typu C – vhodný pro jištění více pólových motorů a spínaných obvodů, které jsou příčinou proudových rázů.

Jistič typu D – jejich uplatnění je v obvodech se silnými proudovými rázy, které způsobují dvoupólové motory a transformátory [7].



Obr. 11: Nožové pojistky (převzato z [7.]

3.2 Volba jisticího prvku

Aby mohl jisticí prvek zajistit bezpečný provoz, musí být schopen sám bezproblémově zvládnout vypnutí zkratového proudu. Tento požadavek bude splněn, pokud budou parametry přístroje ve shodě s parametry zkratového proudu. Zavádíme tedy pojem jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost I_{cu} jističe. Tato hodnota musí být větší, nebo rovna počátečnímu rázovému zkratovému proudu, v místě použití jisticího prvku. Dále zavádíme pojem jmenovitý podmíněný zkratový proud I_{cc} pojistkového odpínače. Jako v předchozím případě nesmí být hodnota počátečního rázového zkratového proudu větší než hodnota parametru I_{cc} [7].

Parametry jisticích prvků, vzhledem k parametrům předpokládaných zkratových proudů, v místech jejich instalace je možné ověřit programem OEZ SICHR [7].

3.3 Selektivita jištění

Požadavek na selektivitu jištění vychází z normy ČSN 33 2000. Hlavním účelem je mimo jiné zajištění členění obvodů do více částí. Zajistíme tím snazší údržbu a omezíme nebezpečí úrazu v případě poruchy [6].

Je-li obvod správně navržen, tak porucha jedné části nevyřadí z provozu části ostatní. Jisticí prvky určené k ochraně obvodu před účinky zkratových proudů a přetížením, jsou umístovány do míst, kde dochází ke změně průřezů vodičů, jejich uložení a případně dochází-li ke změně materiálu vodiče. Takováto místa jsou nejvíce ohrožena, jelikož zde u vodičů dochází ke snížení hodnot dovoleného proudu. Základním požadavkem při návrhu jištění obvodu je tedy zajištění funkčnosti hlavního obvodu, v případě poruchy na obvodu podružném. V takové situaci si svou funkčnost musí zachovat i ostatní podružné obvody. Tento požadavek splníme tehdy, pokud zareaguje jisticí prvek koncového a podružného obvodu dříve, než jisticí prvek hlavního obvodu. Tohoto požadavku není však vždy úplně jednoduché docílit. Selektivitou jištění tedy nazýváme stav, kdy je místo poruchy odpojeno jisticím prvkem poruše nejbližše instalovaným [6].

3.4 Jištění vedení

U všech elektrických zařízení je nutné zajistit ochranu před nadproudy, které by mohli mít negativní vliv na zdraví osob a zařízení samotné. Ochrany docílíme následujícími způsoby [6]:

- Samočinným odpojením od zdroje
- Omezením nejvyššího nadproudu na bezpečnou hodnotu

Pouze v případě, jsou-li nadproudy pracovních vodičů omezeny na bezpečnou hodnotu, nemusí být obvod chráněn. Ochrany je v tomto případě docíleno napájením ze zdroje o takové impedanci, která zamezí vzrůstu hodnoty proudu nad dovolenou hodnotu. Taktéž může být vynecháno jištění u obvodů určených pro nouzové použití [6].

3.5 Volby jisticích prvků pro náš návrh

Námi uvažovaný návrh zahrnuje pro jištění vývodů z rozvodny RH použití pojistek PNA2 250A gG s jmenovitým proudem 250 A.



Obr. 12: Nožová pojistka (převzato z [11.]

Na vstupu do rozvodn RH – VS a RH – VJ bude přívodní kabel připojen na svorky jističe modeion BH630NE305 + SE-BH-0250-DTV3.



Obr. 13: Modeion (převzato z [11.]

Skrze sběrnici v rozvaděčových skříních bude k jištění vývodů z RH – VS a RH – VJ použito pojistek PV22 50A aM, jejichž hodnota jmenovitého proudu se bude lišit, v závislosti na požadovaném odběru v místech podružných rozvaděčů.



Obr. 14: Pojistka PV22 50A aM (převzato z [11.]

Například pro pojistku PV22 50A aM na výstupu z RH - VS bude na vstupu do podružného rozvaděče použit jistič LTE-50C.



Obr. 15: Jistič LTE – 50C (převzato z [11.]

Podrobnému výpisu jednotlivých prvků a jejich parametrů se budeme věnovat v následující kapitole, kde si zároveň pomocí aplikace OEZ SICHR ověříme, zda je návrh dle předchozích poznatků správně navržen.

4 Kontrola aplikací OEZ SICHR

4.1 Kontrola vodičů a jisticích prvků severní věže

4.1.1 Jištění a přívodní kabel z RH do RH – VS

1B1 Síť TN

$$U_2 = 242/420 \text{ V}$$

$$I_k'' = 30.0 \text{ kA}$$

$$I_n = 1000 \text{ A}$$

$$i_p = 62.5 \text{ kA}$$

$$dU = 0.0 \%$$

1F2 PNA2 250A gG

$$I_n = 250 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 120 \text{ kA} \text{ Připojeno pomocí FSD2}$$

$$i_o = 18.1 \text{ kA} \quad Z_s(0,4s) = 86 \text{ m}\Omega,$$

$$I_a = 2.68 \text{ kA},$$

$$R(50V/5s) = 34 \text{ m}\Omega$$

1L4 1-AYKY 3x240+120

$$I_z = 229.8 \text{ A} \quad t_m = 69^\circ \text{ C} \quad (I_k'' = 13.9 \text{ kA}) \quad 70 \text{ m v zemi (D)}$$

$$dU = 0.0 \% \quad I_{2t} < k_2 S_2 \quad i_o = 15.0 \text{ kA}, \text{ O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$$

$$(49.9 \text{ m}\Omega < 86.2 \text{ m}\Omega)$$

$$\text{Teplota okolí [st. C]} : 20$$

$$\text{Měrný tepelný odpor [K.m/W]} : 2.5 = \text{suchá půda,}$$

velmi řídké deště

Uspořádání seskupených obvodů: 1 x přímo v zemi

1Q5 BH630NE305 + SE-BH-0250-DTV3

$$I_n = 250 \text{ A} \quad I_R = 200 \text{ A} \quad I_{cu} = 36 \text{ kA} \quad I_R = 200 \text{ A}, \text{ restart} = T(t), I_i = 4 \times I_R$$

$$i_o = 15.0 \text{ kA} \quad Z_s(0,4s) = 261 \text{ m}\Omega, I_a = 885 \text{ A},$$

$$R(50V/5s) = 56 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cm} = 75.6 \text{ kA} \quad 1F2-1Q5 \text{ selektivní min. do } 3.2 \text{ kA}$$

1B7 Sběrnice

$B = 1$

$i_o = 15.0 \text{ kA} (I_k'' = 13.9 \text{ kA}, i_p = 21.7 \text{ kA})$

$U = 420 \text{ V} (U_n + 5.0\%)$

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$

$(49.6 \text{ m}\Omega < 261 \text{ m}\Omega)$

4.1.2 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 1.1

1F9 PV22 50A aM

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 5.82 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-1F9 selektivní minimálně do 600 A

1L10 CYKY 5x16

$I_z = 76 \text{ A}$

$t_m = 61 \text{ }^\circ\text{C}$

$(I_k'' = 5.59 \text{ kA})$ 25 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$

$I_{2t} < k^2 S^2$

$i_o = 4.29 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$

$(111 \text{ m}\Omega < 369 \text{ m}\Omega)$

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na perforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů na lávce, či roštu : 1

Uspořádání seskupených obvodů : V jedné vrstvě

Počet lávek, žebříků či roštů : 1

1Q12 LTE-50C

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$

$i_o = 4.29 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ m}\Omega$, $I_a = 500 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 165 \text{ m}\Omega$

1F9-1Q12 selektivní minimálně do 296 A

1.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 4.29 \text{ kA} (I_k'' = 5.59 \text{ kA}, i_p = 8.07 \text{ kA})$

$U = 420 \text{ V} (U_n + 5.0\%)$

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($112 \text{ m}\Omega < 462 \text{ m}\Omega$)

4.1.3 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 2.1

2F9 PV22 50A aM

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 5.82 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-2F9 selektivní minimálně do 600 A

2L10 CYKY 5x16

$I_z = 76 \text{ A}$

$t_m = 61 \text{ }^\circ\text{C}$

$(I_k'' = 4.94 \text{ kA})$ 30 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$

$I_{2t} < k2S2$

$i_o = 4.12 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$

$(124 \text{ m}\Omega < 369 \text{ m}\Omega)$

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,

nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

2Q12 LTE-50C

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$

$i_o = 4.12 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ m}\Omega$, $I_a = 500 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 165 \text{ m}\Omega$

2F9-2Q12 selektivní minimálně do 296 A

2.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 4.12 \text{ kA}$ ($I_k'' = 4.94 \text{ kA}$, $i_p = 7.13 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($125 \text{ m}\Omega < 462 \text{ m}\Omega$)

4.1.4 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 3.1

3F9 PV22 50A aM

 $I_n = 50 \text{ A}$ $I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22 $i_o = 5.82 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$, $R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-3F9 selektivní minimálně do 600 A

3L10 1-CYKY5x16

 $I_z = 76 \text{ A}$ $t_m = 64 \text{ }^\circ\text{C}$ $(I_k'' = 4.49 \text{ kA})$ 35 m na stěně (C) $dU = 0.0 \text{ } \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 3.99 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ $(138 \text{ m}\Omega < 369 \text{ m}\Omega)$

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,

nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

3Q12 LTE-50C

 $I_n = 50 \text{ A}$ $I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$ $i_o = 3.99 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ m}\Omega$, $I_a = 500 \text{ A}$, $R(50V/5s) = 165 \text{ m}\Omega$

3F9-3Q12 selektivní minimálně do 296 A

3.25 Vývod

 $S = 0 \text{ VA}$ $i_o = 3.99 \text{ kA}$ ($I_k'' = 4.49 \text{ kA}$, $i_p = 6.47 \text{ kA}$) $U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($138 \text{ m}\Omega < 462 \text{ m}\Omega$)**4.1.5 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.1**

4F9 PV22 50A aM

 $I_n = 50 \text{ A}$ $I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22 $i_o = 5.82 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$, $R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-4F9 selektivní minimálně do 600 A

4L10 CYKY 5x16

$I_z = 76 \text{ A}$ $t_m = 61 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 4.01 \text{ kA}$) 40 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 3.84 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($150 \text{ m}\Omega < 369 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

4Q12 LTE-50C

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$

$i_o = 3.84 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ m}\Omega$, $I_a = 500 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 165 \text{ m}\Omega$

4F9-4Q12 selektivní minimálně do 296 A

4.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 3.84 \text{ kA}$ ($I_k'' = 4.01 \text{ kA}$, $i_p = 5.78 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($151 \text{ m}\Omega < 462 \text{ m}\Omega$)

4.1.6 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.2

5F9 PV22 50A aM

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 5.82 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-5F9 selektivní minimálně do 600 A

5L10 CYKY 5x16

$I_z = 76 \text{ A}$ $t_m = 61 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 3.36 \text{ kA}$) 50 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 3.62 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
 (176 mOhm < 369 mOhm)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
 nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

5Q12 LTE-50C

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$

$i_o = 3.62 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ mOhm}$, $I_a = 500 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 165 \text{ mOhm}$

5F9-5Q12 selektivní minimálně do 296 A

5.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 3.62 \text{ kA}$ ($I_k'' = 3.36 \text{ kA}$, $i_p = 4.85 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$) O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ (176 mOhm < 462 mOhm)

4.1.7 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R výt

10F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ mOhm}$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ mOhm}$

1Q5-10F9 zaručena plná selektivita

10L10 1-CYKY5x6

$I_z = 41 \text{ A}$ $t_m = 48 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$) 50 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 1.46 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($418 \text{ m}\Omega < 982 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

10Q12 LTE-20C

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 175 \text{ A}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ }\Omega$, $I_a = 201 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 411 \text{ m}\Omega$

10F9-10Q12 selektivní minimálně do 127 A

10.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$, $i_p = 1.99 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($418 \text{ m}\Omega < 1.15 \text{ }\Omega$)

4.2 Kontrola vodičů a jisticích prvků jižní věže

4.2.1 Jištění a přívodní kabel z RH do RH – VJ

1B1 Síť TN

$U_2 = 242/420 \text{ V}$

$I_k'' = 30.0 \text{ kA}$

$I_n = 1000 \text{ A}$

$i_p = 62.5 \text{ kA}$

$dU = 0.0 \%$

1F2 PNA2 250A gG

$I_n = 250 \text{ A}$

$I_{cc} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FSD2

$i_o = 18.1 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 86 \text{ m}\Omega$, $I_a = 2.68 \text{ kA}$,

$R(50V/5s) = 34 \text{ m}\Omega$

1L4 1-AYKY 3x240+120

$I_z = 229.8 \text{ A}$ $t_m = 69 \text{ }^\circ \text{C}$ $I_k'' = 8.74 \text{ kA}$ 140 m v zemi (D)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k^2 S^2$ $i_p = 13.1 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($84.2 \text{ m}\Omega < 86.2 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 20

Měrný tepelný odpor [K.m/W] : 2.5 = suchá půda,
velmi řídké deště

Uspořádání seskupených obvodů: 1 x přímo v zemi

1Q5 BH630NE305 + SE-BH-0250-DTV3

$I_n = 250 \text{ A}$ $I_R = 200 \text{ A}$ $I_{cu} = 36 \text{ kA}$ $I_R = 200 \text{ A}$, restart = T(t), $I_i = 4 \times I_R$

$i_p = 13.1 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 261 \text{ m}\Omega$, $I_a = 885 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 56 \text{ m}\Omega$

1F2-1Q5 selektivní minimálně do 3.2 kA

1B7 Sběrnice

$B = 1$

$I_k'' = 8.74 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$

($83.5 \text{ m}\Omega < 261 \text{ m}\Omega$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

$i_p = 13.1 \text{ kA}$

4.2.2 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 1.1

1F9 PV22 125A aM

$I_n = 125 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 8.46 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 145 \text{ m}\Omega$, $I_a = 1.59 \text{ kA}$,

$R(50V/5s) = 55 \text{ m}\Omega$

1Q5-1F9 selektivní minimálně do 544 A

1L10 1-CYKY5x50

$I_z = 144 \text{ A}$ $t_m = 92 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 7.33 \text{ kA}$) 15 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 7.98 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($96.8 \text{ m}\Omega < 261 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na perforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů na lávce či roštu: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

Počet lávek, žebříků či roštů: 1

1Q12 LVN-125C

$I_n = 125 \text{ A}$

$I_{cn} = 10 \text{ kA}$ $I_i = 1093.75 \text{ A}$

$i_o = 7.98 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 186 \text{ m}\Omega$, $I_a = 1.24 \text{ kA}$,

$R(50V/5s) = 66 \text{ m}\Omega$

1F9-1Q12 selektivní minimálně do 738 A

1.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 7.98 \text{ kA}$ ($I_k'' = 7.33 \text{ kA}$, $i_p = 10.8 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($97.5 \text{ m}\Omega < 261 \text{ m}\Omega$)

4.2.3 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 2.1

2F9 PV22 50A aM

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 4.98 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-2F9 selektivní minimálně do 600 A

2L10 CYKY 5x16

$I_z = 76 \text{ A}$ $t_m = 61 \text{ }^\circ\text{C}$ ($I_k'' = 4.08 \text{ kA}$) 30 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 3.86 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($159 \text{ m}\Omega < 369 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

2Q12 LTE-50C

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$

$i_o = 3.86 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ m}\Omega$, $I_a = 500 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 165 \text{ m}\Omega$

2F9-2Q12 selektivní minimálně do 296 A

2.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 3.86 \text{ kA}$ ($I_k'' = 4.08 \text{ kA}$, $i_p = 5.88 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($159 \text{ m}\Omega < 462 \text{ m}\Omega$)

4.2.4 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 3.1

3F9 PV22 50A aM

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_l = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 4.98 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 369 \text{ m}\Omega$, $I_a = 625 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 141 \text{ m}\Omega$

1Q5-3F9 selektivní minimálně do 600 A

3L10 1-CYKY5x16

$I_z = 76 \text{ A}$ $t_m = 64 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 3.76 \text{ kA}$) 35 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 3.76 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($172 \text{ m}\Omega < 369 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

3Q12 LTE-50C

$I_n = 50 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 437.50 \text{ A}$

$i_o = 3.76 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 462 \text{ m}\Omega$, $I_a = 500 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 165 \text{ m}\Omega$

3F9-3Q12 selektivní minimálně do 296 A

3.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 3.76 \text{ kA}$ ($I_k'' = 3.76 \text{ kA}$, $i_p = 5.43 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($172 \text{ m}\Omega < 462 \text{ m}\Omega$)

4.2.5 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.1

4F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ m}\Omega$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ m}\Omega$

1Q5-4F9 zaručena plná selektivita

4L10 1-CYKY5x6

$I_z = 41 \text{ A}$ $t_m = 48 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 1.67 \text{ kA}$) 40 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 1.55 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($350 \text{ m}\Omega < 982 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

4Q12 LTE-20C

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 175 \text{ A}$

$i_o = 1.55 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ }\Omega$, $I_a = 201 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 411 \text{ m}\Omega$

4F9-4Q12 selektivní minimálně do 127 A

4.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 1.55 \text{ kA}$ ($I_k'' = 1.67 \text{ kA}$, $i_p = 2.41 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($351 \text{ m}\Omega < 1.15 \text{ }\Omega$)

4.2.6 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.2

5F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ m}\Omega$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ m}\Omega$

1Q5-5F9 zaručena plná selektivita

5L10 1-CYKY5x6

$I_z = 41 \text{ A}$ $t_m = 48 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$) 50 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 1.46 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($418 \text{ m}\Omega < 982 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

5Q12 LTE-20C

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 175 \text{ A}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ }\Omega$, $I_a = 201 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 411 \text{ m}\Omega$

5F9-5Q12 selektivní minimálně do 127 A

5.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$, $i_p = 1.99 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($418 \text{ m}\Omega < 1.15 \text{ }\Omega$)

4.2.7 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.3

6F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ m}\Omega$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ m}\Omega$

1Q5-6F9 zaručena plná selektivita

6L10 1-CYKY5x6

$I_z = 41 \text{ A}$ $t_m = 48 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$) 50 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 1.46 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($418 \text{ m}\Omega < 982 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

6Q12 LTE-20C

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 175 \text{ A}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ }\Omega$, $I_a = 201 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 411 \text{ m}\Omega$

6F9-6Q12 selektivní minimálně do 127 A

6.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$, $i_p = 1.99 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($418 \text{ m}\Omega < 1.15 \text{ }\Omega$)

4.2.8 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.4

7F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ m}\Omega$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ m}\Omega$

1Q5-7F9 zaručena plná selektivita

7L10 CYKY 5x6

$I_z = 41 \text{ A}$ $t_m = 45 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 1.37 \text{ kA}$) 50 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 1.45 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($411 \text{ m}\Omega < 982 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

7Q12 LTE-20C

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 175 \text{ A}$

$i_o = 1.45 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ }\Omega$, $I_a = 201 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 411 \text{ m}\Omega$

7F9-7Q12 selektivní minimálně do 127 A

7.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 1.45 \text{ kA}$ ($I_k'' = 1.37 \text{ kA}$, $i_p = 1.98 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($414 \text{ m}\Omega < 1.15 \text{ }\Omega$)

4.2.9 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 4.5

8F9 PV22 80A aM

$I_n = 80 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP22

$i_o = 6.85 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 229 \text{ m}\Omega$, $I_a = 1.01 \text{ kA}$,

$R(50V/5s) = 87 \text{ m}\Omega$

1Q5-8F9 selektivní minimálně do 600 A

8L10 1-CYKY5x25

$I_z = 96 \text{ A}$ $t_m = 87 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 5.12 \text{ kA}$) 30 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 5.74 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($133 \text{ m}\Omega < 261 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

8Q12 LVN-80C

$I_n = 80 \text{ A}$

$I_{cn} = 10 \text{ kA}$ $I_i = 700 \text{ A}$

$i_o = 5.74 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 287 \text{ m}\Omega$, $I_a = 806 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 102 \text{ m}\Omega$

8F9-8Q12 selektivní minimálně do 468 A

8.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 5.74 \text{ kA}$ ($I_k'' = 5.12 \text{ kA}$, $i_p = 7.40 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($134 \text{ m}\Omega < 287 \text{ m}\Omega$)

4.2.10 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R 2.2

9F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ m}\Omega$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ m}\Omega$

1Q5-9F9 zaručena plná selektivita

9L10 1-CYKY5x6

$I_z = 41 \text{ A}$ $t_m = 48 \text{ }^\circ \text{C}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$) 50 m na stěně (C)

$dU = 0.0 \%$ $I_{2t} < k2S2$ $i_o = 1.46 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s)$
($418 \text{ m}\Omega < 982 \text{ m}\Omega$)

Teplota okolí [st. C] : 30

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

9Q12 LTE-20C

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cn} = 6 \text{ kA}$ $I_i = 175 \text{ A}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ }\Omega$, $I_a = 201 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 411 \text{ m}\Omega$

9F9-9Q12 selektivní minimálně do 127 A

9.25 Vývod

$S = 0 \text{ VA}$

$i_o = 1.46 \text{ kA}$ ($I_k'' = 1.38 \text{ kA}$, $i_p = 1.99 \text{ kA}$)

$U = 420 \text{ V}$ ($U_n + 5.0\%$)

O.K. $Z_{sv} < Z_s(0,4s)$ ($418 \text{ m}\Omega < 1.15 \text{ }\Omega$)

4.2.11 Jištění a přívodní kabel k podružnému rozvaděči R výt

10F9 PV14 20A aM

$I_n = 20 \text{ A}$

$I_{cc} = 100 \text{ kA}$ Připojeno pomocí OPVP14

$i_o = 2.70 \text{ kA}$ $Z_s(0,4s) = 982 \text{ m}\Omega$, $I_a = 235 \text{ A}$,

$R(50V/5s) = 335 \text{ m}\Omega$

1Q5-10F9 zaručena plná selektivita

10L10 1-CYKY5x6

$$I_z = 41 \text{ A} \quad t_m = 48 \text{ }^\circ\text{C} \quad (I_k'' = 1.38 \text{ kA}) \quad 50 \text{ m na stěně (C)}$$

$$dU = 0.0 \% \quad I_{2t} < k2S2 \quad i_o = 1.46 \text{ kA O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s) \\ (418 \text{ mOhm} < 982 \text{ mOhm})$$

$$\text{Teplota okolí [st. C] : 30}$$

Způsob uložení: Na stěně, na podlaze, přímo ve zdi,
nebo na neperforovaných lávkách

Počet seskupených obvodů: 1

Uspořádání seskupených obvodů: V jedné vrstvě

10Q12 LTE-20C

$$I_n = 20 \text{ A}$$

$$I_{cn} = 6 \text{ kA } I_i = 175 \text{ A}$$

$$i_o = 1.46 \text{ kA } Z_s(0,4s) = 1.15 \text{ Ohm, } I_a = 201 \text{ A,}$$

$$R(50V/5s) = 411 \text{ mOhm}$$

$$10F9-10Q12 \text{ selektivní minimálně do } 127 \text{ A}$$

10.25 Vývod

$$S = 0 \text{ VA}$$

$$i_o = 1.46 \text{ kA } (I_k'' = 1.38 \text{ kA, } i_p = 1.99 \text{ kA})$$

$$U = 420 \text{ V } (U_n + 5.0\%)$$

$$\text{O.K. } Z_{sv} < Z_s(0,4s) \quad (418 \text{ mOhm} < 1.15 \text{ Ohm})$$

5 Kompenzace účinníku

5.1 Kompenzace jalového výkonu obecně

Výroba, přenos, rozvod a zároveň spotřeba elektrické energie je prováděna v trojfázové střídavé soustavě. K uvedení určitých zařízení do provozu je zapotřebí vytvoření magnetického, popřípadě elektrického pole. Magnetické pole se vytváří indukčností, kde je na vinutí fázově posunuto napětí před proudem. U pole elektrického dochází na kapacitách k fázovému posunu proudu před napětím. Chování každého prvku a spotřebiče zapojeného do elektrizační soustavy lze popsat na základě jeho impedance, tvořené činnou a jalovou složkou. Jalová složka, jak již samotný název napovídá, nevykonává žádnou nám prospěšnou práci. Čili energii do impedance vloženou není možno zužítkovat, přesto je mezi zdrojem a spotřebičem přenášena. Při tomto přenosu vznikají na přenosových a distribučních sítích ztráty, které jsou uvolňovány formou tepla. K omezení těchto ztrát je v některých případech

vhodné použít prvek, obvykle se jedná o kondenzátor, který změní charakter sítě a dojde ke snížení ztrát. Při instalaci je nutné brát v úvahu, že sériově řazený kondenzátor ke spotřebiči mění charakteristiku sítě a paralelně řazený kondenzátor mění charakteristiku zatížení [8].

5.2 Principy kompenzace

Jako nejvýhodnějšího prostředku pro snížení ztrát při přenosu elektrické energie je využíváno paralelní kompenzace, kterou můžeme rozdělit do následujících čtyř skupin [8].

- Individuální kompenzace
- Skupinová kompenzace
- Centrální kompenzace
- Kombinovaná kompenzace

O individuální kompenzaci hovoříme tehdy, je-li kompenzační zařízení připojeno přímo na svorky, potažmo v těsné blízkosti spotřebiče. Takovýmto způsobem zapojení dojde k odlehčení celé soustavy od jalového výkonu a zároveň docílíme nejvyšších úspor. Celý koncept však závisí na povaze kompenzovaného zařízení. Nejčastěji používaná je za účelem kompenzace magnetizačního proudu asynchronního motoru, transformátoru a některých typů svítidel [8].

Skupinovou kompenzaci volíme nejčastěji v průmyslových areálech, kde je kompenzační zařízení umístěno na hlavním rozvaděči. Tímto způsobem zajistíme odlehčení sítě od rozvaděče, kde je zařízení instalováno, ke zdroji. S přihlédnutím k soudobosti spotřebičů docílíme nižších kompenzačních výkonů a je zde potřeba regulace [8].

Centrální kompenzace spočívá v připojení kompenzačního zařízení na přípojnice vstupní trafostanice. Jako v předchozím případě, i zde z důvodu soudobosti chodu spotřebičů, klesá potřebný kompenzační výkon. Taktéž je nutno začlenit regulaci a další navýšení ceny spočívá v řešení kompenzace na úrovni vysokého napětí [8].

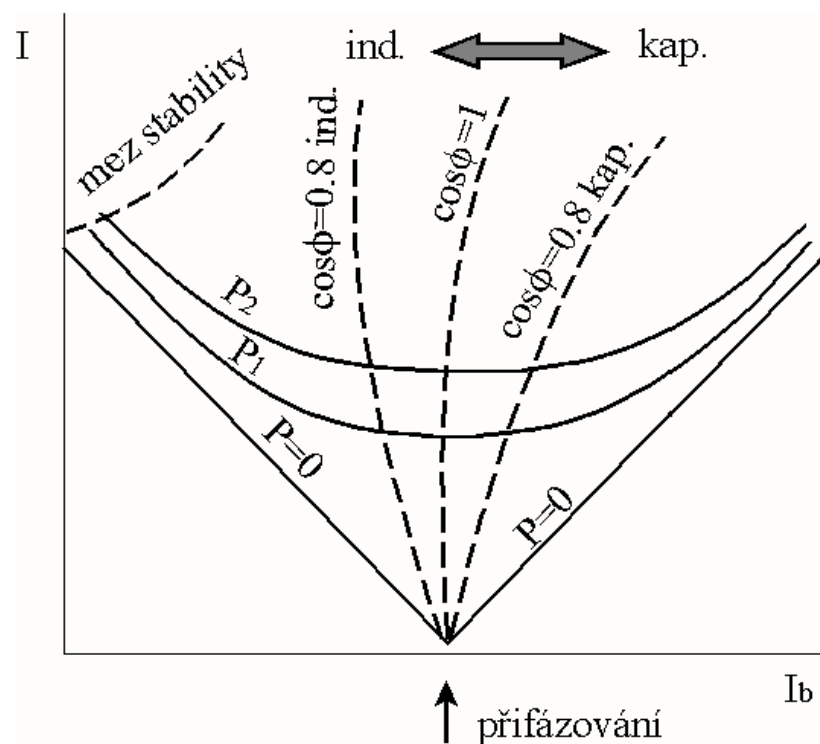
Poslední způsob kompenzace je kombinací předchozích typů. V rozsáhlých průmyslových komplexech je tento způsob hojně využíván [8].

5.3 Technické prostředky pro kompenzaci

5.3.1 Rotační kompenzační zařízení

Základem rotační kompenzace jsou synchronní kompenzátory a synchronní motory. Zde využíváme vlastnosti, že synchronním strojům je dodávána magnetizační energie samostatným budícím vinutím napájeným ze zdroje stejnosměrného proudu [8].

U zařízení, kde je očekáván stabilní zátěžný moment, používáme synchronní motory. Jedná se například o pohony čerpadel, ventilátorů a kompresorů. Budeme-li při konstantní úrovni napětí, frekvence a zátěžného momentu, měnit úroveň budícího proudu, zůstane činný výkon motoru nezměněn. Změnou velikosti budícího proudu však zapříčiníme změnu účinníku odběru motoru, a to v oblasti kapacitní i induktivní. Závislost proudu statoru na budícím proudu je patrná z následujícího obrázku [8]:



Obr. 16: V křivky synchronního stroje (převzato z [8].)

Stálého účinníku při různém zatížení dosáhneme za předpokladu vhodného řízení budícího proudu. Regulátory mohou zajistit chod motoru s konstantním jalovým výkonem, nebo konstantním účinníkem [8].

Na základě těchto vlastností lze využít synchronních strojů pracujících na prázdno ke kompenzaci jalového výkonu. Je však nutné zohlednit jejich vysokou pořizovací cenu [8].

5.3.2 Statické kompenzátory

Statické kompenzátory jsou v podstatě pasivní kompenzační prvky a to především výkonové kondenzátory. Zásadní rozdíl oproti rotačním kompenzátorům spočívá v tom, že pasivní prvky nepotřebují ke své funkci dodání činné energie. Rozlišujeme je následujícím způsobem [8].

- Prosté kondenzátory
- Chráněné kompenzační sekce
- Kompenzační filtry

5.3.2.1 Prosté kondenzátory

Pro použití výkonového kondenzátoru za účelem kompenzace účinníku musí být vyhověno následujícím požadavkům [8]:

- Tepelná stabilita při vysokém jalovém výkonu
- Odolnost proti přepětí
- Spolehlivost a bezpečnost provozu

Jalový výkon kondenzátorů se dále liší podle způsobu jejich zapojení. V prvé řadě budeme uvažovat připojení jednofázového kondenzátoru na napětí. Jeho výkon Q_c pak lze vypočítat užitím následujících vztahů [8]:

$$Q_c = U^2 * \omega * C; \quad Q_c = U * I \quad \Rightarrow \quad Q_c = I^2 / \omega * C$$

Pro výpočet jalového výkonu trojfázového kondenzátoru zapojeného do trojúhelníku platí:

$$Q_c = U^2 * \omega * 3 * C_D; \quad Q_c = \sqrt{3} * U * I \quad \Rightarrow \quad Q_c = I^2 / \omega * C_D$$

Pro výpočet jalového výkonu trojfázového kondenzátoru zapojeného do hvězdy platí:

$$Q_c = U^2 * \omega * 3 * C_Y; \quad Q_c = \sqrt{3} * U * I \quad \Rightarrow \quad Q_c = 3 * I^2 / \omega * C_Y$$

ω – úhlová rychlost

C – kapacita kondenzátoru

U – efektivní hodnota napětí

I – efektivní hodnota proudu

U trojfázového zapojení je nutno dodržet symetrii zapojení, tj. hodnoty kapacit kondenzátorů musí být v každé fázi stejné [8].

Kompenzaci jalového výkonu s užitím prostých kondenzátorů lze aplikovat na síť nízkého i vysokého napětí. Nesmí se však jednat o síť s vysokou úrovní energetického rušení. Podíl instalovaného výkonu nelineárních spotřebičů by neměl přesáhnout 15 % výkonu napájecího transformátoru [8].

5.3.2.2 Chráněné kompenzační sekce

Zapojení chráněné kompenzační sekce lze zredukovat na běžný, sériově spojený RLC článek. Základní vlastností RLC článku je schopnost pracovat v širokém spektru kmitočtů. Primárně se však zaměříme se na kmitočet pracovní f_N a kmitočet rezonanční f_R . Dále si zavedeme pomocné veličiny [8]:

$$n_R = f_R / f_N; \quad p = 1 / n_R^2$$

n_R – řád harmonické

p – činitel ztlumení

Ochranné tlumivky se aplikují za předpokladu dodržení podmínky, že $X_L \ll X_C$. Dále je u tohoto způsobu kompenzace lhostejné, jakým způsobem je obvod zapojen, zda se jedná o zapojení do hvězdy, či trojúhelníku. Jako nejvýhodnější se však jeví počítat s fázovými hodnotami. Reaktance kompenzačního článku, se pak vypočítá následujícím způsobem [8]:

$$X_{LC} = (1 - p) * X_C$$

Úroveň pracovního napětí a frekvence kompenzačních kondenzátorů bývá obvykle optimalizována na hodnoty: $U_{CN} = 440 \text{ V}$ a $f_N = 50 \text{ Hz}$. Je tím respektováno zvýšení napětí vlivem reaktance předřazených tlumivek a sítě. Dále určíme hodnotu reaktance na základě udané hodnoty reaktivního výkonu pro všechny fáze [8]:

$$X_C = U_{CN}^2 / Q_C$$

Pro výpočet výkonu při jiném fázovém napětí použijeme vztah:

$$Q_C = 3 * U_F^2 * (1 / X_C)$$

Kompenzační sekce s předřazenou ochrannou tlumivkou lze použít v průmyslových sítích napájejících klasické spotřebiče a zároveň spotřebiče generující vyšší harmonické proudy [8].

5.3.2.3 Kompenzační filtry

Pro kompenzaci účinníku a zároveň pro potřebu filtrace harmonických proudů se využívají výkonové sériové LC filtry. Vlastnosti filtru se liší v závislosti na kmitočtu. Pro kmitočet menší než ω_R se filtr chová jako kapacita a pro první harmonickou bude kompenzovat jalový výkon. Pro kmitočty přesahující ω_R má filtr charakter tlumivky. V ideálním případě pak pro harmonickou, na kterou je naladěn, představuje zkrat [8].

Při návrhu kompenzačního filtru je nutné počítat s namáháním proudem první harmonické a zároveň s proudem harmonické, na kterou je filtr naladěn [8].

Tento způsob kompenzace využíváme v případech, je-li za potřeby, omezit harmonické proudy generované spotřebiči, jejichž výkon je oproti ostatním násobně vyšší. Z praktického hlediska se s tímto způsobem kompenzace setkáváme ve formě několika paralelně řazených filtrů naladěných na různé harmonické [8].

5.4 Ekonomický dopad kompenzace jalového výkonu

Odběratel má zákonnou povinnost provést opatření, aby z elektrizační soustavy odebíral elektrickou energii s hodnotou účinníku v rozmezí 0,95 – 1,0 induktivního charakteru. Výjimka může nastat, je-li smluvně dohodnuto jinak. Pokud tato povinnost nebude dodržena, dodavatel neodpovídá za kvalitu dodávané elektrické energie dle příslušné normy. V kompetenci dodavatele je, kdykoli provést kontrolní měření pro zjištění dodržování předepsaného účinníku. Má-li průmyslový závod vlastní elektrárnu se synchronním generátorem, je v průběhu dne jeho povinností dodávat do elektrizační soustavy elektrickou energii s hodnotou účinníku 0,9. Obecně tedy platí, že spotřebitel nesmí dodávat jalovou energii do veřejné sítě bez vědomí dodavatele [1].

Cena elektrické energie je počítána za předpokladu odběru při účinníku 0,95 – 1,0 induktivního charakteru. Pokud bude účinník nižší, než je uvedeno, případně kapacitního charakteru, je odběratel povinen zaplatit dodavateli zvláštní příplatek za ohrožení provozu sítě a zvyšování ztrát. Tento příplatek může být v určitých případech roven dohodnuté sazbě za odebranou, dodanou kVArh [1].

Při návrhu kompenzace účinníku je nutno pomýšlet na důsledky ohrožování stability sítě. U náročných výrobních technologií může v případě výpadku dojít ke statisícovým ztrátám v průběhu pouhé směny. Je tedy nutné při návrhu postupovat velmi zodpovědně a kvalitu jednotlivých prvků přizpůsobit charakteru zařízení [8].

5.5 Důsledky nevhodného návrhu

Prvním nežádoucím dopadem je nedokompenzování, případně překompenzování v případech užití stupňovitě řízené kompenzace s vysokým kompenzačním výkonem nejmenšího spínaného stupně [8].

Druhým dopadem může být kolísání napětí v případě použití kompenzačního zařízení, které reaguje na dynamicky se měnící potřebu kompenzačního výkonu.

V případě připojení nechráněných kondenzátorů, nebo nevhodně naladěných kompenzačních sekcí a filtrů, mohou nastat u sítí s vyššími úrovněmi rušení nebezpečné rezonanční jevy [8].

V případě trvalé nadmíry kapacitního výkonu instalovaného v neregulované části, dochází ke zvýšení činných ztrát v tlumivkách dekompenzačního členu dynamicky plynule řízených kompenzačních filtrů [8].

5.6 Kompenzace účinníku sportovního areálu

Vzhledem k charakteru sportovního areálu, kde je z důvodu sportovních aktivit v nočních hodinách enormní potřeba osvětlování, které má vliv na zhoršování účinníku, budou na výstupní svorky obou transformátorů instalována kompenzační zařízení.

Pro běžný provoz sportovního komplexu bude v hlavní rozvodně RH, v poli č. 5, které je napájeno transformátorem T2 o výkonu 400 kVA, instalováno kompenzační zařízení tvořeno výkonovými kondenzátory, o výkonu 6,25 kVAr [4].

V zápasovém režimu je komplex napájen transformátorem T1 o výkonu 1250 kVA a potřeba kompenzace se navyšuje především zapnutím veškerých instalovaných svítidel a motorů nezbytných pro chod technologií. Z tohoto důvodu budou v rozvodně RH do pole č. 3, instalovány výkonové kondenzátory, o výkonu 8 kVAr [4].

Závěr

Stanoveným cílem této práce je návrh napájení pro sportovní areál. V uplynulých letech proběhlo velké rozšiřování dotčeného areálu, které s sebou neslo na základě navýšení instalovaných výkonů potřebu přizpůsobení napájení.

V průběhu rekonstrukce trafostanice došlo k osazení dvou kobek transformátory, T1 o výkonu 1250 kVA, převodem 22 / 0,4 kV a napětím nakrátko $u_k = 4\%$ a transformátorem T2 o výkonu 400 kVA, převodem 22 / 0,4 kV a napětím nakrátko $u_k = 6\%$. Tato volba vychází z povahy sportoviště, kdy je pro pokrytí spotřeby objektů v běžném režimu dostačující transformátor T2. V časech významných sportovních klání enormně narůstá, vlivem osvětlování a zapnutí veškerých technologií, spotřeba elektrické energie a do provozu je uveden transformátor T1. Oba transformátory jsou na straně primárního vinutí připojeny k distribuční síti kabeláží 3 x 22 – AXEKVCEY 1 x 70 / 16 mm². Propoj mezi sekundárním vinutím transformátoru T1 a rozvodnou RH je zajištěn kabeláží 14 x 1 – AYY 500 mm². U transformátoru T2 je použito kabeláže 2 x 1 – AYKY 3 x 240 + 120 mm².

K připojení napájecích kabelů pro severní a jižní věž je vynechám prostor v rozvaděči RH pole č. 6a, který vyzbrojíme pojistkami PNA2 250A gG s jmenovitým proudem 250 A. K napájení obou věží bude použit kabel AYKY 3 x 240 + 120 mm². V obou nově vystavěných budovách budou nové rozvodny RH – VS a RH – VJ. V těchto rozvodnách bude přívodní kabel připojen na svorky jističe modeion BH630NE305 + SE-BH-0250-DTV3.

V obou budovách, se na každém patře nachází minimálně jeden podružný rozvaděč, pro který bude jako přívodu použito kabeláže CYKY. Průřezy vodičů a jejich jištění se u napájení jednotlivých rozvaděčů liší v závislosti na instalovaném výkonu. Na straně rozvodny budou kabely jištěny pojistkami a na straně podružného rozvaděče budou použity jističe. Například pro pojistku PV22 50A aM na výstupu z RH – VS, bude na vstupu do podružného rozvaděče použit jistič LTE-50C.

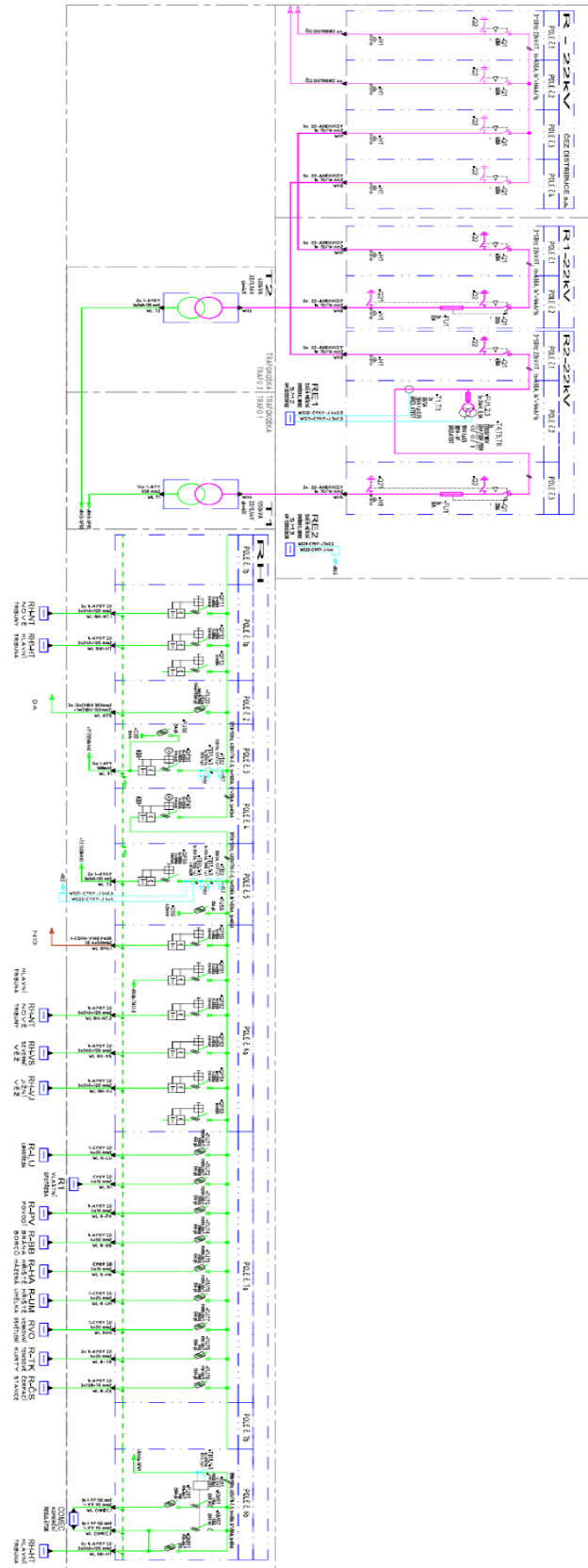
Pro běžný provoz sportovního areálu, kdy je napájen transformátorem T2, bude v RH pole č. 5, instalováno kompenzační zařízení o výkonu 6,25 kVAr a pro režim zápasový, kdy napájení přechází na transformátor T1, bude v RH pole č. 3, instalováno kompenzační zařízení o výkonu 8 kVAr.

Seznam literatury a informačních zdrojů

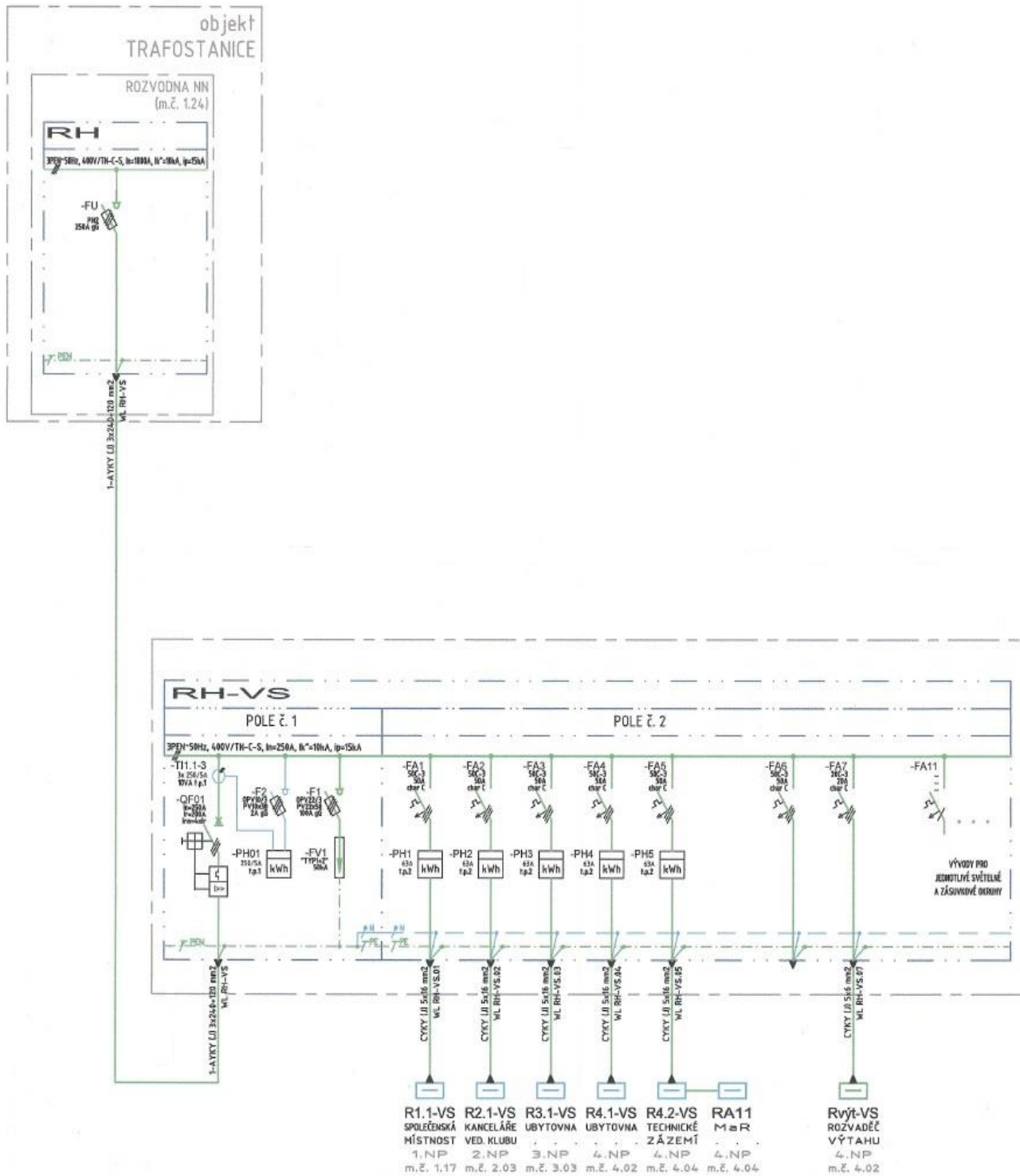
- [1.] TESAŘOVÁ, M. a ŠTROBLOVÁ, M. *Průmyslová elektroenergetika*, 1. vyd, Plzeň, Západočeská univerzita, 2000. 154 s.
- [2.] ČSN 34 1610. *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových rozvodnách*, Praha, ÚNM, 1983.
- [3.] Projektování energetických celků: Přednášky. TESAŘOVÁ, M. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z WWW: < <http://home.zcu.cz/~tesarova> >
- [4.] Kappenberger + Braun s.r.o., WALDMANN, P. *Projektová dokumentace: dvě věže*, Plzeň, 2015.
- [5.] ŠTROBLOVÁ, M, a HEJTMÁNKOVÁ, P. *Elektrické sítě městské a průmyslové*, Plzeň, Západočeská univerzita, 1994. 149 s.
- [6.] KRŽIŽ, M. *Dimenzování a jistění elektrických zařízení – tabulky a příklady*, Praha, IN – EL spol.s.r.o., 2001. 192 s.
- [7.] FALTUS, I. *Příručka elektrotechnika – Jistící přístroje I*, Letohrad, 2011. 92 s.
- [8.] KORENC, V. a HOLOUBEK, J. *Kompence jalového výkonu v praxi*, Praha, IN – EL spol. s.r.o., 1999. 123 s.
- [9.] RICHTER, M. *Návrh rekonstrukce distribuční sítě v zadané oblasti*, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008.
- [10.] PRAKAB, *Katalog produktů*, [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z WWW: < <http://www.prakab.cz> >
- [11.] OEZ, *Katalogy*, [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z WWW: < <http://www.oez.cz> >
- [12.] KOUDELKA, C. *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových rozvodnách*, VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2003.

Přílohy

A – Napájecí schéma celého areálu



B – Schéma napájení severní věž



C – Schéma napájení jižní věž

