VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

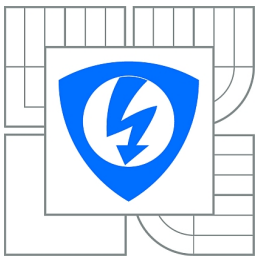
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

INDIVIDUÁLNÍ ZÁSKOK PŘÍVODNÍCH POLÍ ROZVODNY 6 KV ENERGETIKA TŘINEC

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. ROMAN BORSKI
AUTHOR

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student:	Bc. Roman Borski	***ID:***	115156
Ročník:	2	***Akademický rok:***	2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Individuální záskok přívodních polí rozvodny 6 kV Energetika Třinec

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zhodnocení stávajícího stavu rozvodny vlastní spotřeby 6 kV včetně možných provozních stavů
2. Teoretický rozbor problematiky
3. Výpočet zkratových poměrů a přechodových stavů provozu rozvodny
4. Návrh řešení dle nejlepší možné kriteriální analýzy
5. Zhodnocení možných nastavení ochranných automatik rozvodny
6. Posouzení možností realizace provedení záskoku
7. Zhodnocení návrhu z pohledu efektivity řešení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání:	11.2.2013	***Termín odevzdání:***	24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. David Topolánek, Ph.D.
Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Individuální záskok přívodních polí rozvodny 6 kV Energetika Třinec jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

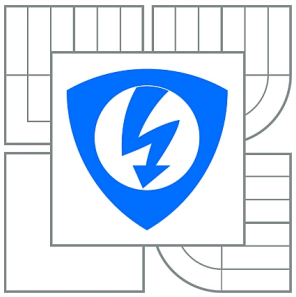
Brno ....

(podpis autora)

BORSKI R. *Individuální záskok přívodních polí rozvodny 6 kV Energetika Třinec*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektroenergetiky, 2012. Počet stran 60 s., Počet stran příloh 22 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce byl Ing. David Topolánek,Ph.D.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

INDIVIDUÁLNÍ ZÁSKOK PŘÍVODNÍCH POLÍ ROZVODNY 6 KV ENERGETIKA TŘINEC

INDIVIDUAL STAND-BY OF INCOMING FEEDER OF ENERGETIKA TRINECS´ 6 KV SUBSTATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. ROMAN BORSKI

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. DAVID TOPOLÁNEK, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2013

ABSTRAKT

Práce s názvem Individuální záskok přívodních polí rozvodny 6 kV Energetika Třinec je teoreticky i prakticky koncipovanou prací, která nabízí souhrnné informace o oblasti automatických záskoků se zaměřením na vybraný provoz Energetiky Třinec, a.s..

V současnosti je záskok v režimu ověřování a práce řeší vypínání transformátoru T5 při zapůsobení záskoku. Z výpisu automatiky záskoku vyplývá jeho bezproblémový chod a práce se tedy zaměřuje na vývodové ochrany pro transformátor T5.

Teoretická část nabízí přehled o problematice vlastní spotřeby elektráren, automatickém záskoku a ochranách elektrických zařízení. Dále práce popisuje nastavování ochran, které je podloženo výpočtem zkratových proudů.

Praktickou část tvoří návrh řešení v souladu se současnými kritérii a zhodnocení možných nastavení ochranných automatik společně s posouzením možnosti realizace záskoku.

Cílem práce je provést analýzu individuálního záskoku a vyhodnotit vlivy způsobující odstavení části vlastní spotřeby.

Závěrečná část zhodnocuje stávající nastavení ochran s vypočtenými hodnotami. Stávající ochrany jsou nevhodné a je doporučeno nasazení vícestupňové digitální ochrany jako náhrada za nynější reléové ochrany.

KLÍČOVÁ SLOVA

rozvodna, vlastní spotřeba, záskok, ochrana

ABSTRACT

The thesis titled Individual stand-by of incoming feeder of Energetika Třinec 6 kV substantion is theoreticaly and practically concived work that offers comprehensive information on automatic standby focused on the selected operation of Energetika Třinec.

At present, the standby is in authention mode and thesis solves shutdown of transformer T5. The extract of automatic device indicates trouble-free operation and thesis focus on the power take-off for transformer T5.

The theoretical part provides information about problems of own comsumption of power plants, automatic device of standby and protection of electrical equipment. Thesis also sloves the protection settings, which is supported by calculations of short-circuit currents.

The practical part is formed from the suggestion of solution in accordance to current criteria and the evaluation of possible settings of protective automatic devices together with an assessment of implementation option of standby.

The aim of the thesis is to perform analysis of standby and evaluate effects which causes shutdown of own comsumption part.

The final part assesses current settings of protection based on calculated values. Existing protections are unsuitable and it is recomennded to deploy digital multi-stage protections as a replacement for present relay protections.

KEYWORDS

substation, own consumption, stand-by, protection

OBSAH

Seznam symbolů, veličin a zkratek **12**

Úvod **15**

1 Energetika Třinec, a.s. **16**
1.1 Provoz tepláren . . . 16
1.1.1 Teplárna E2 . . . 16
1.1.2 Teplárna E3 . . . 17
1.1.3 Elektrorozvod . . . 17
1.1.4 Chemická úpravna vody . . . 18
1.1.5 Popis rozvodny vlastní spotřeby teplárny E2 . . . 18
1.2 Vlastní spotřeba teplárny E2 . . . 19
1.2.1 Automatika záskoku . . . 20
1.2.2 Transformátor T5 . . . 20
1.2.3 Přístrojový transformátor proudu . . . 22
1.3 Zhodnocení stávajícího stavu rozvodny . . . 22

2 Teoretické nastínění problematiky **24**
2.1 Vlastní spotřeba elektráren . . . 24
2.1.1 Hlavní elektrické schéma . . . 25
2.1.2 Provedení vlastní spotřeby elektrárny . . . 26
2.2 Transformátory ve vlastní spotřebě . . . 29
2.3 Automatiky ve vlastní spotřebě . . . 30
2.4 Ochrany . . . 30
2.4.1 Základní požadavky na ochrany . . . 31
2.5 Ochrany v rozvodně R3 - Vlastní spotřeba E2 . . . 33
2.5.1 AT 31X1 . . . 33
2.5.2 A15 . . . 33
2.5.3 Siprotec 7SJ80 . . . 33
2.6 Nastavení ochran . . . 34
2.6.1 Nastavení ochran podle odborné literatury . . . 35
2.6.2 Nastavení ochran v praxi . . . 36
2.6.3 Nastavení ochranného terminálu 7SJ80 . . . 36
2.7 Kontrola přístrojových transformátorů proudu . . . 36
2.7.1 Výpočet pomocí skutečného nadproudového čísla . . . 36
2.7.2 Výpočet pomocí limitního napětí a proudu . . . 37

3 Výpočet zkratových poměrů **39**
3.1 Průběh zkratového proudu 39
3.2 Předpoklad pro výpočet zkratu 40
3.3 Výpočet zkratového proudu podle ČSN 41
3.3.1 Výpočet minimálního zkratového proudu 42
3.3.2 Parametry soustavy 42
3.4 Oteplení vodičů 44

4 Návrh řešení **45**
4.1 Výpočet minimálního zkratového proudu 45
4.1.1 Impedance soustavy 46
4.1.2 Impedance transformátoru 47
4.1.3 Impedance kabelu 47
4.1.4 Impedance obvodu 48
4.1.5 Výpočet zkratových proudů 48
4.2 Kontrola oteplení kabelu 49
4.3 Kontrola PTP 49
4.4 Nastavení ochrany AT 31X1 a A15 50
4.4.1 Nastavení nadproudové ochrany 51
4.4.2 Nastavení zkratové ochrany 51
4.5 Kontrola rozběhových proudů 51

5 Zhodnocení možných nastavení **53**
5.1 Porovnání hodnot 53
5.1.1 Nadproudová ochrana 53
5.1.2 Zkratová ochrana 53
5.2 Nastavení digitální ochrany 54

6 Posouzení realizace **55**
6.1 Posouzení záskoku 55
6.2 Nastavení ochran 55
6.2.1 Stávající ochrany 55
6.2.2 Digitální ochrana 56
6.3 Posouzení kontroly PTP 56

7 Závěr **57**

Literatura **59**

Seznam příloh **61**

A Průběh automatického záskoku **62**

B Elektrické schema ET a.s. **66**

C Liniové schema rozvodny R3 **68**

D Nastavení digitální ochrany v programu digsi **70**

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1 Liniové znázornění provozu ET. 17
1.2 Liniové znázornění rozvodny vlastní spotřeby E2. 19
1.3 Liniové znázornění rozvodny E2. 20
2.1 Principy hlavních elektrických schémat elektrárny. 26
2.2 Příklady napájení vlastní spotřeby. 27
2.3 schéma pro výpočet napětí ve vlastní spotřebě. 28
2.4 schéma jednoduchého obvodu. 32
2.5 Ukázka ochrany Siprotec. 34
3.1 Symetrický a) a nesymetrický b) průběh zkratového proudu. [17] . . . 39
3.2 Schema soustavy.[18] 41
4.1 Blokové schéma transformátoru, kabelu a ochrany. 45
4.2 Schéma obvodu při poruše a jeho náhradní schéma. 46

SEZNAM TABULEK

1.1 Parametry zátěže transformátoru T5 [2]. 21
1.2 Parametry transformátoru T5 [2, 3]. 21
1.3 Parametry přívodního kabelu. 21
1.4 Parametry PTP v kobce č.4 - rozvodny R3[2]. 22
2.1 Procentní hodnoty vlastní spotřeby některých typů elektráren. 24
2.2 Rozdělení ochran transformátorů. 31

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

n^* Skutečné nadproudové číslo[-]

n_n jmenovité nadproudové číslo[-]

S_{in} ztráty vinutí PTP[VA]

S_n jmenovitý výkon transformátoru[VA]

S_a ztráty mezi PTP a ochranou[VA]

I_{2n} Jmenovitá hodnota sekundárního proudu transformátoru[A]

R_{in} odpor vinutí transformátoru[Ω]

R_{ochr} vnitřní odpor ochrany[Ω]

R_{svorek} odpor připojovacích svorek[Ω]

R_{vodic} odpor propojovacího vodiče[Ω]

U_{lim} limitní napětí[V]

I_k ustálený zkratový proud[A]

X/R poměr reaktance a činného odporu[-]

I_{lim} limitní proud[A]

δ chyba úhlu[rad]

I_{ks} souměrný zkratový proud[A]

I_k'' rázový zkratový proud[A]

I_{k0}'' počáteční rázový zkratový proud[A]

I_k' přechodný zkratový proud[A]

I_{k0}' počáteční přechodný zkratový proud[A]

$\overline{I}_{L1}$ proud fází L1[A]

$\overline{I}_{L2}$ proud fází L2[A]

$\overline{I}_{L3}$ proud fází L3[A]

$\overline{I}_{(1)}$ sousledná složka proudu[A]

$\overline{I}_{(2)}$ zpětná složka proudu[A]

$\overline{I}_{(0)}$ netočivá složka proudu[A]

$\overline{a}$ komplexní konstanta[-]

I''_{k3} zkratový proud při trojfázovém zkratu[A]

I''_{k2} zkratový proud při dvoufázovém zkratu[A]

I''_{k1} zkratový proud při jednofázovém zkratu[A]

c napěťová konstanta[-]

Z_S absolutní impedance soustavy[Ω]

X_S reaktance soustavy[Ω]

R_S činný odpor soustavy[Ω]

U_n jmenovité napětí

S''_{ks} zkratový výkon sítě[VA]

Z_T absolutní impedance transformátoru[Ω]

X_T reaktance transformátoru[Ω]

R_T činný odpor transformátoru[Ω]

u_k poměrné napětí nakrátko[%]

ΔP_k ztráty nakrátko[W]

$\bar{Z}_K$ impedance vedení nebo kabelového vedení[Ω]

R_K rezistance vedení nebo kabelového vedení[Ω]

X_K reaktance vedení nebo kabelového vedení[Ω]

R_k měrná rezistance vedení nebo kabelového vedení[Ω]

X_k měrná reaktance vedení nebo kabelového vedení[Ω]

l délka vedení nebo kabelového vedení[m]

k_p přídržný poměr[-]

k_b koeficient bezpečnosti[-]

k_c koeficient citlivosti[-]

I_{rn} vybavovací proud nadproudové ochrany[-]

I_{rz} vybavovací proud zkratové ochrany[-]

k koeficient oteplení kabelu při zkratu[A$\cdot s^{0,5} \cdot mm^{-2}$]

$I_{n18,5}$ jmenovitý proud motorem o výkonu 18,5 kW[A]

I_{n20} jmenovitý proud motorem o výkonu 20 kW[A]

I_{n130} jmenovitý proud motorem o výkonu 130 kW[A]

i_z rozběhový proud[-]

xI_n násobek jmenovitého proudu[-]

ÚVOD

Výpadek dodávky elektrické energie může mít rozsáhlé ekonomické či ekologické dopady, a také může ohrožovat lidské životy. To jsou hlavní důvody, které jsou zohledňovány při řešení spolehlivosti elektráren. Na spolehlivost, zejména v části strojní a elektrické, jsou tedy kladeny maximální nároky.

Spolehlivost elektrické části elektrárny je dána spolehlivostí vlastní spotřeby elektrárny a její rozvodnou. Ta se vyskytuje převážně v podobě kobkových rozvoden nebo přívodních polí.

Do těchto rozvoden jsou umístěny odbočky z přípojnic. Přívodní pole a kobkové rozvodny slouží k zapínání, přepínání nebo odpínání odboček do rozvodné soustavy. K zajištění jejich bezchybného provozu je potřeba zavést do rozvodny kobku s automatickým záskokem. Ten pak bude schopen zajistit bezproblémový provoz celé soustavy i při ztrátě napětí z jednoho přívodu.

V třinecké teplárně E2 byla zjištěna proudová neselektivita jednoho ze čtyř transformátorů vlastní spotřeby při zapůsobení automatického záskoku napájení. Tím dochází ke ztrátě napětí a odstavení asi čtvrtiny vlastní spotřeby teplárny E2.

Přestože nejsou tyto výpadky příliš časté, dochází při nich k ekonomickým ztrátám provozu. Proto je nutné těmto výpadkům zabránit.

1 ENERGETIKA TŘINEC, A.S.

Hlavní činnost akciové společnosti ENERGETIKA TŘINEC (dále jen ET) spočívá ve výrobě, rozvodu a prodeji elektrické energie, horké vody, technologické páry, dmýchaného a stlačeného vzduchu, provozní a koupelenské vody a distribuci, úpravě topných plynů získávaných jako vedlejší produkt při hutní výrobě, a také zemního plynu.

Historie této společnosti sahá do první poloviny 19. století, kdy se založením Třineckých železáren vznikla společnost Energetika. Od té doby prošla společnost řadou změn až do dnešní podoby, kdy je tvořena třemi provozy, které se člení na střediska: [1]

1. Provoz tepelné energetiky
   (a) vodní a vzduchové
   (b) plynové
   (c) tepelné
2. Provoz tepláren
   (a) teplárna E2
   (b) teplárna E3
   (c) elektrorozvod
   (d) chemická úpravna vody
3. Řídicí odborné útvary
   (a) finanční a obchodní úsek
   (b) technický úsek
   (c) odbor strategie

1.1 Provoz tepláren

Provoz tepláren tvoří čtyři střediska, Teplárna E2, Teplárna E3, Elektrorozvod a Chemická úpravna vody.[1]

1.1.1 Teplárna E2

Středisko Teplárna E2 (dále jen E2) budováno od roku 1948 vyrábí vysokotlakou páru na čtyřech kotlích (K1 - K4). Celkový instalovaný výkon je zde 235,75 MW tepelných, palivem jsou hutní plyny (vysokopecní, koksárenský a konvertorový) a zemní plyn. Elektrická energie je vyráběna na dvou turbogenerátorech (TG2 a TG3) o celkovém instalovaném výkonu 39,5 MW elektrických.

Toto středisko zajišťuje distribuci technologické středotlaké páry v areálu TŽ. Stlačený vzduch pro potřeby výroby kyslíku ve firmě LINDE Gas, respektive do sítě

TŽ, je dodáván třemi parními turbokompresory o výkonu 3 $\times$ 30 000 m^3/h. Stroje jsou vybaveny parními odběry pro výrobu horké vody.

Na teplárně je instalována výměníková stanice pro výrobu horké vody k vytápění o výkonu 58 MW tepelných.[2]

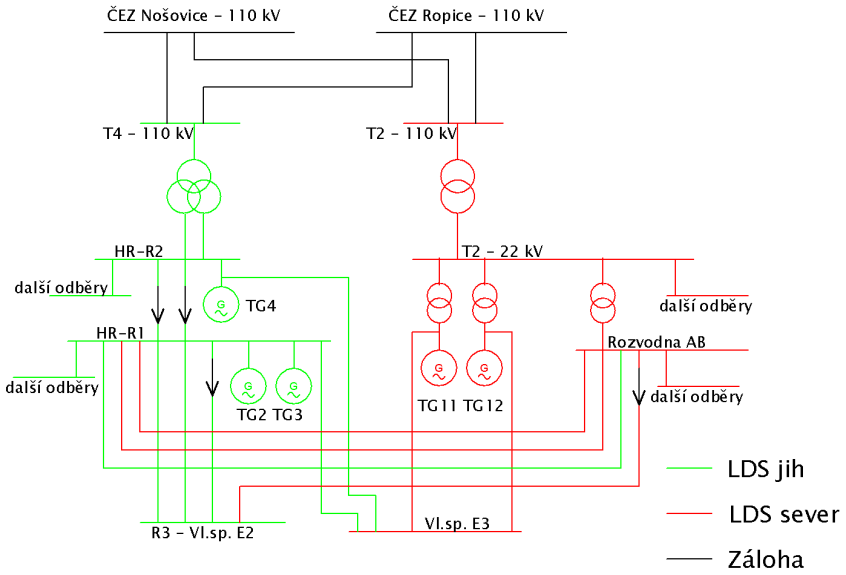
1.1.2 Teplárna E3

V 60. letech vybudovaná Teplárna E3 je tvořena dvěma fluidními kotly (K11, K12), které zajišťují výrobu vysokotlaké páry a jedním granulačním kotlem (K14). Celkový instalovaný tepelný výkon je 347 MW. Palivem je zde černé a hnědé uhlí popřípadě přebytky hutních plynů. Turbíny jsou propojeny se čtyřmi turbogenerátory (TG11, TG12, TG14, TG15), jejichž celkový instalovaný elektrický výkon je 62 MW.

Na dodávce dmýchaného vzduchu pro vysoké pece se podílejí tři turbodmychadla (TD11 - TD13) a rovněž je zde instalovaná výměníková stanice pro výrobu horké vody o instalovaném výkonu 115 MW tepelných.[2]

1.1.3 Elektrorozvod

Středisko elektrorozvodu zajišťuje distribuci elektrické energie jednotlivým rozvodnám, které jsou spravovány dvěma lokálními distribučními soustavami (LDS-sever a LDS-jih).



Obr. 1.1: Liniové znázornění provozu ET.

LDS-sever je soustava rozdělující výkon Teplárny E3, rozvoden *Mlýnice strusky, Horní odval, Dolní odval, Válcovna AB* a další. Podstatná většina z těchto rozvoden

spadá do druhého stupně dodávky, a proto jsou tyto rozvodny z velké části dvousystémové. Primární výkon je do této soustavy dodáván rozvodnou *ČEZ Ropice* linkou 110 kV, respektive rozvodnou *Albrechtice*. Do této soustavy pracují turbogenerátory s přímým vývodem do rozvodny vlastní spotřeby a další (zálohovou) dodávku zde zajišťuje LDS-jih. Stejně tak i LDS-sever je jedním ze záložních zdrojů pro LDS-jih.

LDS-jih je soustava spravující především Teplárnu E2 a rozvodny jako jsou Kyslikárna, Dusíkárna, Kyslíková konvertorová ocelárna (KKO) a další. Stejně jako LDS-sever spadá i tato část do druhého stupně dodávky, takže podstatná většina rozvoden je zde tvořena dvojitým systémem přípojnic. Primární výkon je do této soustavy dodáván rozvodnou *Nošovice* linkou 110 kV, popřípadě je doplněn o výkon od polského dodavatele. Do této soustavy pracují dva turbogenerátory, jejichž výkon je vyveden do rozvodny HR-R1 (hlavní rozvodna E2), která následně napájí rozvodnu R3 vlastní spotřeby E2.[2]

Oba provozy (LDS-sever, LDS-jih) jsou rozděleny z důvodu stálosti dodávky. V případě výpadku severního provozu je možné ho zásobit energií z jižního provozu a udržet tak důležité spotřebiče v chodu, ty mohou nadále zajišťovat chod vysoké pece.

1.1.4 Chemická úpravna vody

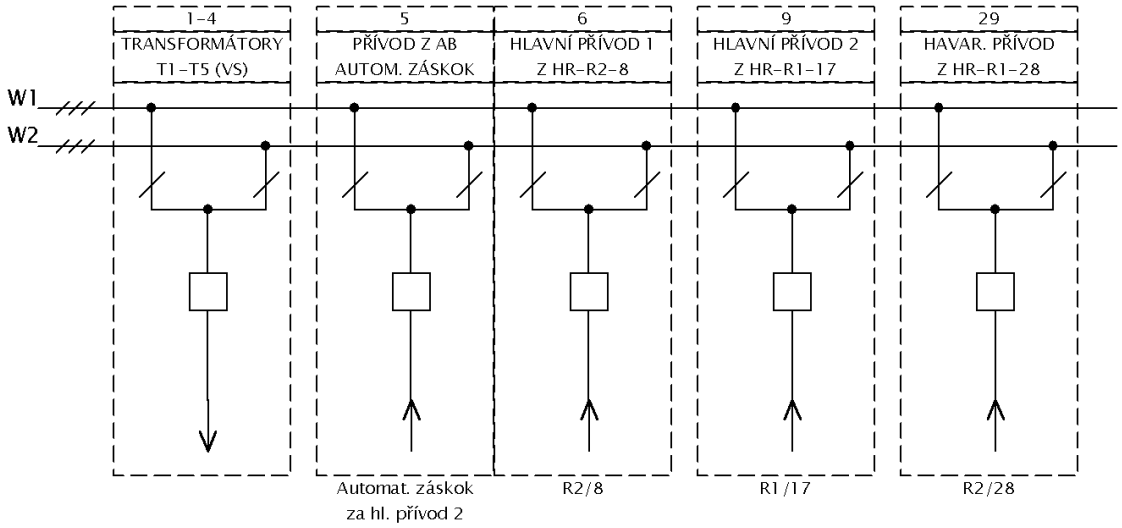
Posledním střediskem na provozu tepláren je chemická úpravna vody. Ta zabezpečuje zásobování tepláren a Třineckých železáren napájecí a chladící (demineralizovanou) vodou s celkovou výrobní kapacitou 240 t/h.[1]

1.1.5 Popis rozvodny vlastní spotřeby teplárny E2

Dvousystémová rozvodna R3 slouží pro napájení vlastní spotřeby teplárny E2 (kotelny, velín, strojovna a další). Rozvodna je příčně dělená v kobce č. 8. Kobky v rozvodně jsou vybaveny výkonovými vypínači SION 3AE a VF12. Odpojovače jsou ovládány elektrickými motory.

Rozvodna je primárně napájena třemi přívody (kobky: 6, 9, 29 - viz Obrázek 1.2) z hlavní rozvodny HR-R2. Čtvrtý přívod zajišťující napájení při výpadku napětí jde z LDS-sever konkrétně z rozvodny Válcovna-AB.

Jak je z obrázku 1.2 patrné, za běžného provozu je vlastní spotřeba napájená ze dvou přívodů, které se nacházejí v kobkách č. 6 a 9. Ty jsou napájeny z hlavní rozvodny HR-R2. Havarijní přívod z hlavní rozvodny je přiveden do kobky č. 29. Ten je určen především pro nenadálé situace popřípadě revize jednoho ze dvou zmíněných přívodů.



Obr. 1.2: Liniové znázornění rozvodny vlastní spotřeby E2.

Stálost dodávky je zde zajištěna z LDS-sever, přesněji z rozvodny Válcovna-AB. Ta ústí do kobky č. 5 a slouží jako záložní napájení vlastní spotřeby E2 s automatickým zapnutím. Tento přívod se zapíná v případě ztráty napětí anebo zhoršení parametrů jednoho z napájecích napětí. Jinými slovy kobka č. 5 může zaskočit pouze za jednu z dvojice hlavních přívodů (k.č. 6 nebo 9). Volbu provádí manipulant přepínačem umístěným na dveřích kobky. V současné době je přepínač navolen na *HLAVNÍ PŘÍVOD 2 Z HR - R1-17* tj. kobka č. 9.

Kobka č. 5 *PŘÍVOD Z AB AUTOM. ZÁSKOK* je vybavena ochranou Siprotec 7SJ64 od společnosti Siemens. Ta měří potřebné veličiny v reálném čase a pokud je splněna některá z nastavených podmínek, tak za pomocí funkce synchrocheck přepne navolený hlavní přívod na přívod záskokový. Tím je zajištěno napájení vlastní spotřeby teplárny E2.[2]

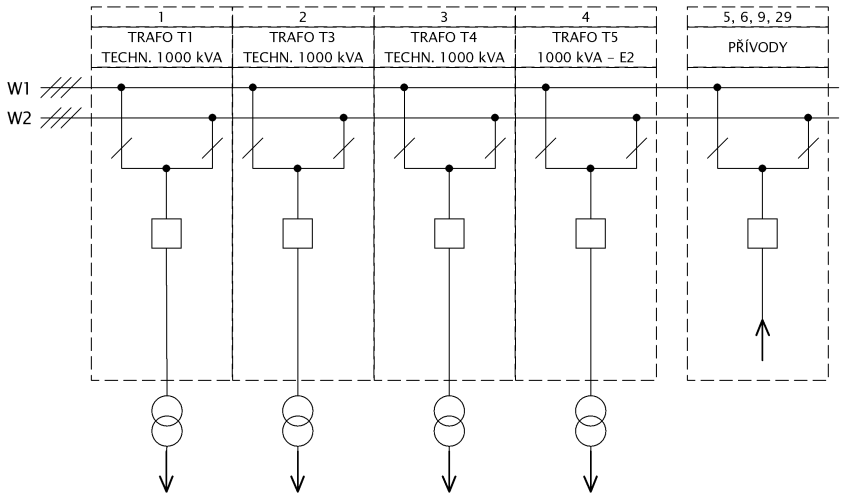
1.2 Vlastní spotřeba teplárny E2

Při běžném provozu vyrábí teplárna E2 asi 2/3 požadovaného výkonu. Zbytek je dodáván linkami 110 kV. Pro zajištění bezproblémového chodu teplárny je nutné zajistit bezproblémový chod vlastní spotřeby.

Vlastní spotřebu v teplárně E2 zajišťují čtyři transformátory. Každý z nich o výkonu 1 000 kVA a převodu $6/0,4\ kV$. První tři transformátory jsou olejové, čtvrtý potom suchý.

Transformátory T1 - T5 jsou propojeny s rozvodnou kabelovým vedením $6-AYKCY\ 3\times120$ a jsou připojeny v kobkách 1 - 4. Současný stav chrání transformá-

tory a kabelová vedení nadproudovými ochranami AT 31X1 a mžikovými ochranami A15, které pracují přes přístrojové transformátory proudu (dále jen PTP) jejichž převod je $p = 100/5\ A$.



Obr. 1.3: Liniové znázornění rozvodny E2.

1.2.1 Automatika záskoku

Automatiku záskoku zajišťuje ochrana 7SJ64, která neustále sleduje napětí, které napájí vlastní spotřebu teplárny. Záskok působí jak synchronizovaně, tak i nesynchronizovaně.

Synchronizovaný záskok (automatický režim) je přechod s krátkým sepnutím přívodů a trvá asi 60 ms. Dochází k němu jsou-li splněny podmínky pro přifázováni, potom je zapnut přívod z *Válcovny-AB*. Přesné podmínky pro přifázováni jsou v provozním předpisu teplárny.

Naopak nesynchronizovaný záskoku nastává pokud fázování trvá déle jak 30 s, anebo pokud nejsou splněny parametry dané podnikovou normou (hluboký pokles napětí na přípojnici, pokles frekvence, tepelné přetížení hlavního přívodu). Cyklus trvá řádově 250 ms (doba cyklu zap-vyp).[2]

1.2.2 Transformátor T5

Z kobky č. 4 je vyveden výkon, který přes kabel a transformátor napájí část vlastní spotřeby. Všechny napájené spotřebiče jsou asynchronní motory. Převážnou část tvoří tři motory pro chladičky o výkonu 3 × 130 kW a tři motory pro kondenzační čerpadla o výkonu 2 × 20 kW a 1 × 18,5 kW. Další zařízení napájené z tohoto

transformátoru nejsou ve stálém provozu a jejich výkon není tak velký jako výkon již zmíněných motorů. Parametry motorů jsou uvedeny v tabulce 1.1

Tab. 1.1: Parametry zátěže transformátoru T5 [2].

P (kW)	$\eta(\%)$	$\cos\varphi$
18,5	88,6	0,8
20	90,1	0,81
130	94	0,86

Transformátor, který předává výkon těmto motorům je BEZ Bratislava - aTS 792/10A. Parametry transformátoru jsou uvedeny v tabulce 1.2. [2]

Tab. 1.2: Parametry transformátoru T5 [2, 3].

Jmenovitý výkon S_n	1 000 kVA
Ztráty naprázdno ΔP_0	1 900 W
Ztráty nakrátko ΔP_k	12 000 W
Napětí nakrátko u_k	$5,78$ %
Proud naprázdno i_0	$0,35$ %
Zapojení	Dyn1
Primární napětí U_{prim}	$6000 \pm 5\%$ V
Sekundární napětí U_{sek}	$400/231$ V
Primární proud I_{prim}	$96,3$ A
Sekundární proud I_{sek}	1444 A

Kabel, který propojuje rozvodnu a transformátor je asi 150 m dlouhý. Typ kabelu je $3 \times$ 120 $6 - AYKCY$. Výrobce tohoto kabelu je firma NKTcables, která udává pro tento typ kabelu následující parametry. [4]

Tab. 1.3: Parametry přívodního kabelu.

Činný odpor	R_k	$0,253\ \Omega \cdot km^{-1}$
Indukčnost	L_k	$0,3\ mH \cdot km^{-1}$
Časová oteplovací konstanta	τ	890 s
Zatížitelnost v zemi	I_z	240 A
Zatížitelnost na vzduchu	I_z	210 A

Tento transformátor je na primární straně jištěn souborem reléových ochran. Nadproudová časově nezávislá ochrana je AT 31X1 a zkratová ochrana je A15. Sekundární strana je jištěna jističem SE-BL-1600-MTV 8, který funguje jako časově závislá nadproudová ochrana a zkratová ochrana sekundárního vinutí.

1.2.3 Přístrojový transformátor proudu

Přístrojový transformátor proudu (dále jen PTP) je zařízení provádějící změnu rozsahu střídavého proudu. Primární vinutí se zapojí sériově do obvodu se zátěží, do které teče měřený proud. Sekundární vinutí předává změněnou hodnotu potřebnému přístroji. [5]

Tab. 1.4: Parametry PTP v kobce č.4 - rozvodny R3[2].

TSR 61.1-k	10/15 VA	tř.0,5/10p, n=10	
L1 převod	100//5/5 A	č.v.	050402
L2 převod	100//5/5 A	č.v.	050390
L3 převod	100//5/5 A	č.v.	050389
vnitřní odpor	$0,13/0,16\ \Omega$		

Tento typ PTP má dvě sekundárního vinutí. První vinutí je měřící a je nejpřesnější při nominálním zatížení. Druhé vinutí je ochranné. To se připojuje, jak už název napovídá, k ochraně. Jeho nejvyšší přesnost je v násobku nominálního proudu podle nadproudového čísla.

Ve výše uvedené tabulce 1.4 jsou některé hodnoty uvedené dvakrát a oddělené lomítkem. Hodnoty před lomítkem označují hodnoty pro měřící vinutí a hodnoty za lomítkem označují ochranné vinutí.

Při kontrole PTP se používají tolerance dané normou. Norma ČSN 33 3051 předepisuje dovolené chyby proudu, úhlu a celkové chyby amplitudy. Pro přesnost 10p jsou uvedeny následující tolerance:

- $\pm\epsilon_I = 3\% \cdots$ chyba proudu při nominálním zatížení,
- $\pm\delta_I = -\% \cdots$ chyba proudu při nominálním zatížení není uvedena,
- $\epsilon_c = 10\% \cdots$ celková chyba amplitudy při jmenovitém nadproudu.

Tento PTP je propojen s měřící jednotkou kabelem $4 \times 4\ CYKY$ dlouhým 5 metrů a připojen pomocí svorek. Pro tento kabel výrobce udává činný odpor [6]:
$R_k = 4,61\ \Omega \cdot km^{-1}$
Odpor svorek se podle Gryma a kol. [7] uvažuje: $R_{svorek} = 0,05\ \Omega$

1.3 Zhodnocení stávajícího stavu rozvodny

Automatický záskok je v současné době v režimu ověřování. Pro jeho bezchybný chod by musel vykazovat bezporuchový přechod z jednoho napájení na druhé, bez jakýchkoli negativních vlivů na vývody všech transformátorů vlastní spotřeby.

Při pravidelných zkouškách nařízených podnikovým předpisem se ověřuje působení a dopad záskoku na vývody napájené z rozvodny. Zkoušky probíhají v automatickém nebo v ručním režimu a musí vyhovět podmínkám daným předpisem.

Při jednom z ověřování záskoku byl vytvořen protokol z automatiky záskoku a pomocí programu *SIGRA 4.3* byl zpracován, viz příloha A.

V příloze je vidět symetrické kolísání napětí ve všech fázích. K tomu došlo při výpadku napájení. Jakmile automatika zaregistrovala pokles napětí pod 80 %, spustila záskokový proces. Výsledkem tohoto procesu byl přechod na záložní napájení přes vapínač *QM1*. Z přílohy není úplně jasné při jakém zatížení záskok proběhl, samotný záskok ale proběhl správně s malým proudovým nárazem jehož doba byla asi 0,1 s.

Fakt, že automatika záskoku funguje podle předpisu potvrzuje i skutečnost, že při špatném nastavení automatiky by nebyla vybavena pouze ochrana jednoho ze čtyř transformátorů.

Další možností chybného zapůsobení je špatné nastavení nebo zvýšená citlivost stávající nadproudové ochrany AT 31X1 a mžikové ochrany A15 při přechodném ději záskoku na straně 6 kV. To by mohlo mít vliv na jejich nežádoucí vybavování při zapůsobení automatického záskoku.

Pro tento případ byl zadán projekt na posouzení nastavení nadproudového a mžikového článku stávajících ochran. V případě, že by byla prokázaná jejich zvýšená citlivost a tím nevhodnost pro stávající používání bezproblémového chodu záskoku, bude nutné tuto ochranu vyměnit za již zvolenou nadproudovou ochranu Siprotec 7SJ80.

Tato práce se tedy nadále bude zabývat posouzením stávajícího jištění mezi nastavenými a vypočítanými hodnotami nasazených ochran. K tomu budou nutné teoretické znalosti potřebné nejen pro tento výpočet, ale i pro zohlednění možných provozních stavů.

Stěžejní literaturou budou publikace zabývající se chráněním elektrických zařízení podle Janíčka a kol. [5], Gryma a kol. [7] a článek uvedený v časopise Elektro [8], který se věnuje již zmíněnému posouzení jištění transformátorů.

2 TEORETICKÉ NASTÍNĚNÍ PROBLEMATIKY

Tato část seznamuje čtenáře s teorií, která je nezbytná pro pochopení a zpracování problematiky. Čtenář se zde seznámí s vlastní spotřebou elektráren a jejími typy. Dále mu pak bude představena problematika transformátorů ve vlastní spotřebě a následně pak i problematika automatik ve vlastní spotřebě takzvaných automatických záskoků. To vše bude doplněno o stručný úvod do ochranných zařízení transformátorů, použité ochrany, a také o teorii kontroly PTP.

2.1 Vlastní spotřeba elektráren

Vlastní spotřeba elektrárny je elektrická energie, kterou elektrárna potřebuje pro zajištění činnosti hlavních výrobních zařízení při její výrobě, včetně všech jejich ztrát a ztrát v rozvodech. Do vlastní spotřeby se však nezapočítává spotřeba v nevýrobních objektech a ve vedlejších provozech, která se započítává do odběrů elektrárny.

Vlastní spotřeba elektrické energie se udává pro celou elektrárnu v průměru za rok nejčastěji v MWh, nebo v % vyrobené energie. Vlastní spotřeba závisí na druhu elektrárny, na faktorech jako je výkon bloku, provozní režim a využití elektrárny, účinnosti jednotlivých zařízení, kvalitě fosilního paliva a dalších. Procentní hodnoty vlastní spotřeby některých typů elektráren jsou znázorněny v tabulce 2.1.[9]

Tab. 2.1: Procentní hodnoty vlastní spotřeby některých typů elektráren.

Typ elektrárny	Vybavení elektrárny	Vlastní spotřeba (%)
Fosilní elektrárna	s turbonapaječkou	$4 \div 6$
	bez turbonapaječky	$6 \div 12$
Paroplynová elektrárna	s turbonapaječkou	$2,5 \div 3,5$
	bez turbonapaječky	$5 \div 6,5$
Jaderná elektrárna		$5 \div 8$
Vodní		*cca* 1
Teplárna		$14 \div 18$

Koncepce elektrické části elektrárny vychází z technicko-ekonomických rozborů respektujících vlastnosti použitých technologií a důležitost dodávek elektrárny v elektrizační soustavě. V průběhu let prošla vlastní spotřeba elektráren několika zásadními změnami. Od používání samostatných parních strojů pro vlastní spotřebu, přes přídavný alternátor poháněný turbínou a pomocný alternátor na společné hřídeli se soustrojím, až po dnešní napájení vlastní spotřeby odbočkou od generátoru bloku.

Galvanické oddělení a možnost různých napětí generátorů a obvodů vlastní spotřeby zajišťuje blokový transformátor. Dalším důležitým požadavkem ve vývoji finálního uspořádání byl růst výkonu jednotek a s tím související požadavek přenosu výkonu na větší vzdálenosti, který vyžaduje co nejvyšší hladinu napětí. Požadované zvýšení hladiny napětí realizuje blokový transformátor.

Výpadek dodávky elektrické energie může mít ekonomické či ekologické dopady a může také ohrozit životy lidí. Proto se na spolehlivost elektráren kladou vysoké nároky, zejména pak na její strojní a elektrickou část.[10]

2.1.1 Hlavní elektrické schéma

Elektrické schéma elektrárny řeší propojení elektrických zařízení elektrárny a jejich vazby na ES. Jeho prvořadým úkolem je spolehlivé a hospodárné vyvedení výkonu elektrárny a zajištění spolehlivého napájení elektrických pohonů pomocných zařízení, nezbytných pro výrobní proces.

Hlavní elektrické schéma potom závisí na:

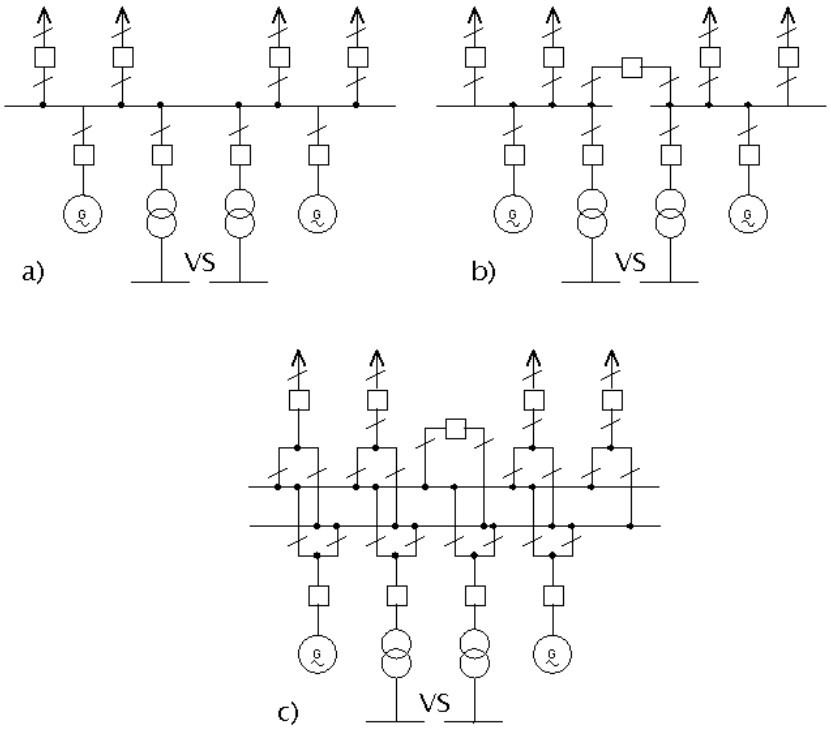
- typu elektrárny a její technologii,
- celkovém výkonu elektrárny, a s tím souvisejícím počtu turbosoustrojí,
- počtu spojovacích vedení se soustavou,
- schématatu a napětí sítě ES včetně zkratových výkonů,
- dispozici zařízení a jejich spolehlivosti,
- struktuře odběru a její vzdálenosti.

Hlavní elektrické schéma musí splňovat:

- spolehlivost provozu,
    1. stupeň důležitosti: Krátké přerušení dodávky má za následek ohrožení lidských životů. Napájení je zajištěno ze dvou na sobě nezávislých zdrojů.
    2. stupeň důležitosti: Krátké přerušení dodávky může způsobit hospodářské škody, avšak ne ve vyšším rozsahu než v prvním stupni důležitosti. Napájení je zajištěno ze dvou na sobě nezávislých zdrojů.
    3. stupeň důležitosti: Nedochází k výrazným hospodářským škodám. Napájí se převážně z jedné strany.
- operativnost schématu: Schopnost dodávat elektrickou energii z paralelně pracujících zdrojů při běžných, ale i při mimořádných stavech,
- hospodárnost.[11]

Na obrázku 2.1 jsou naznačena tři hlavní elektrická schémata elektráren.

- a) Schéma s jednoduchým systémem přípojnic. Mezi jeho přednosti patří jednoduchost a s tím spojené nízké investiční náklady i dobrá operativnost. Nevýhodou je, že při poruše nebo opravě je nutné odstavit celou elektrárnu.



Obr. 2.1: Principy hlavních elektrických schémat elektrárny.

- b) Schéma s podélným dělením jednoduchého systému přípojnic. Zlepšuje provozní ukazatele a při opravách či poruchách dojde k odstavení pouze jedné části.
- c) Schéma s dvojitým systémem přípojnic. Největší výhodou je možnost přepínání odboček za provozu na jiné přípojnice. Jednná se o nejpoužívanější, ale zároveň o investičně nejnáročnější schéma.

2.1.2 Provedení vlastní spotřeby elektrárny

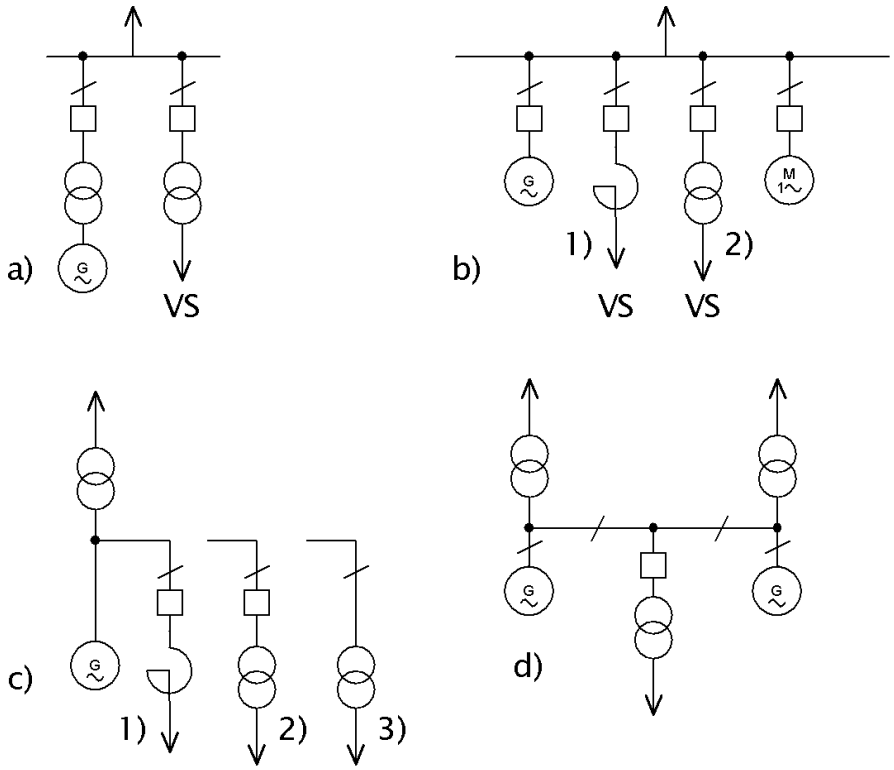
Na obrázku 2.2 jsou znázorněny některé typy napájení vlastní spotřeby [11].

- a) Napájení ze síťové rozvodny.
- b) Napájení napětím alternátoru.
- c) Napájení odbočkou od alternátoru.
- d) Napájení odbočkou přepínající dva alternátory.

Rezervní zdroje

Kromě pracovního napájení musí být vlastní spotřeba vybavena i rezervním zdrojem. Ten má za úkol zajistit napájení VS při výpadku pracovních zdrojů. Jako

rezervní zdroj se většinou volí síťová rozvodna. V případě poruchy dojde k vypnutí normálního napájení VS, které automaticky přebírá rezervní zdroj. Princip rezervního zdroje je na obrázku 2.2d).



Obr. 2.2: Příklady napájení vlastní spotřeby.

V uvedeném způsobu má každý blok samostatné napájení. V případě výpadku VS u jednoho bloku zůstává napájení ostatních bloků provozuschopné. Podobně by se mělo zachovávat napájení alespoň poloviny výrobních bloků pro případ, že dojde ke zkratu v rozvodně VS tohoto bloku. Proto se dělí přípojnice VS na sekce, které zajišťují samostatné napájení každé sekce z pracovního a rezervního zdroje.

Návrh elektrického schématu VS musí:

- být rozděleno na sekce
- být vybavena automatikou pro možnost samočinného záskoku (VS)

Aby automatický záskok zapůsobil správně, musí být správně provedeno nastavení nadproudových ochran a taky se musí kontrolovat pokles napětí na přípojnicích VS při opětovném rozběhu pohonů během obnovení napětí.

Hlavním požadavkem na rezervní zdroje je výkon totožný s výkonem pracovního zdroje. Společný rezervní zdroj je dimenzován jako největší pracovní zdroj, který tvoří rezervu. Pokud tvoří vzájemnou rezervu více zdrojů, dimenzují se zdroje na součet výkonů spotřeby v nejméně příznivém případě.

Dimenzování zdrojů VS

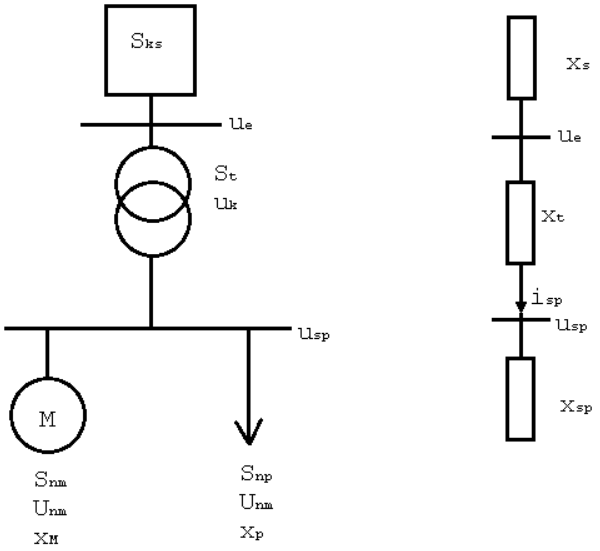
Dimenzování pracovních zdrojů VS se určuje z příkonu všech elektrárenských spotřebičů, které zajišťují chod hlavního technologického zařízení, při maximálním výkonu daného úseku. Tento výkon je nutno obohatit o ztráty v transformovnách a rozvodnách. Takto stanovený výkon se kontroluje na:

- krátkodobou přetížitelnost zdrojů,
- napěťové poměry při spouštění motoru největšího výkonu, kdy napětí na přípojnicích nemá klesnout pod $0,85\ U_n$ a nesmí klesnout pod $0,8\ U_n$,
- nepěťové poměry při samonajíždění, kdy napětí na přípojnicích nemá klesnout pod $0,65\ U_n$ a nesmí klesnout pod $0,6\ U_n$,
- funkci ochran zdroje při dlouhém samonajíždění.

Napěťové poměry ve VS

Z hlediska poklesu napětí se napěťové poměry ve VS počítají pro dva základní stavy:

1. rozběh největšího motoru
2. samonajíždění



Obr. 2.3: schéma pro výpočet napětí ve vlastní spotřebě.

Maximální přípůstná hodnota úbytku napětí, kterou uvádí norma, se porovnává s úbytkem napětí při počátku rozběhu. Výpočet úbytku slouží pro kontrolu výkonu napájecího zdroje, protože nedostatečný výkon napájení nemůže zajistit plynulý rozběh pohonů. Podle schématu 2.3 se výpočet napětí na přípojnici v poměrných jednotkách provede:

$$\frac{u_{SP}}{x_{SP}} = \frac{u_e}{x_t + x_{SP}} \tag{2.1}$$

Na přípojnice u_{SP} jsou připojeny všechny asynchronní motory a spotřebiče VS o výkonu S_{np} a spouští se největší asynchronní motor S_{mn}. Napětí na přípojnici VS bude podle Ondráška [11]:

$$u_{SP} = \frac{u_e \cdot x_{SP}}{x_t + x_{SP}} \tag{2.2}$$

$$x_{SP} = \frac{x_P \cdot x_M}{x_P + x_M} \tag{2.3}$$

kde:

x_P je poměrná reaktance předběžné zátěže

$$x_P = \frac{1}{\sin \varphi_P} \cdot \frac{S_t}{S_P} \cdot \frac{U_P^2}{U_{VZ}^2} \tag{2.4}$$

x_M je poměrná reaktance spouštěného motoru

$$x_M = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{S_t}{S_{mn}} \cdot \frac{U_{mn}^2}{U_{VZ}^2} \tag{2.5}$$

2.2 Transformátory ve vlastní spotřebě

Transformátory vlastní spotřeby zajišťují výkon vlastní spotřeby elektrické energie bloku. Jsou to transformátory transformující napětí alternátoru na napětí vlastni spotřeby. Jejich instalovaný výkon musí zajistit bezproblémový provoz a spouštění bloku.

Základní požadavky kladené na tyto transformátory jsou dva:

1. nízké napětí nakrátko pro zabezpečení vhodných provozních vlastností,
2. omezení zkratových proudů.

To je v rozporu s prvním požadavkem ovšem často pomůže rozdělení sekundárního vinutí na dva stejné bloky.[12]

Transformátory v sekcích vlastní spotřeby mění napětí vn na nn. Napěťová hladina bývá 0,4 kV. Ovšem může být i vyšší anebo jich může být víc. Soustavy s vícero napěťovými hladinami mohou být napájeny různými transformátory nebo i transformátory s rozštěpeným vinutím.

Důležité údaje jsou u transformátoru uvedeny na štítku. Jsou to hlavně výkon, převod, účinnost, účiník, napětí nakrátko a ztráty. Tyto hodnoty obvykle slouží pro výpočty zkratových proudů z čehož se následně odvíjí hodnota pro nastavení ochran.[12]

2.3 Automatiky ve vlastní spotřebě

Základním požadavkem na vlastní spotřebu elektráren je zajištění jejího bezpečného a bezporuchového provozu. Spolehlivě zajištěno musí být především samočinné přepínání napájení na náhradní zdroj a samonajíždění pohonů po krátkých, ale hlubokých poklesech napájení.[11]

V případě, že dojde k přerušení napájení, anebo k jiné situaci, která si žádá přechod na záložní zdroj, dochází k tomuto přechodu automaticky. Záskok musí být realizován spolehlivě, tak aby nedocházelo k zbytečným proudovým nárazům. Ty by mohly mít za následek, zapůsobení nadproudové ochrany transformátoru. Tím by došlo k selhání automatického záskoku.

Kobky, respektive pole s automatickým záskokem, jsou proto vybaveny ochranami, které měří nejen velikost napětí, ale také fázový posun a frekvenci. Díky těmto měřením jsou schopny určit okamžik, ve kterém je možné připojit náhradní zdroj a předejít tak nežádoucímu zapůsobení nadproudové ochrany transformátoru.[12]

2.4 Ochrany

V elektrizační soustavě je mnoho zařízení, které je nutno chránit. Z pohledu zajištění spolehlivosti dodávky je chránící systém nedílnou částí elektrizační soustavy. Úlohou elektrické ochrany je rozhodování o poruchovém nebo dovoleném stavu dodávky. Na základě měření poruchového stavu, musí ochrana detekovat tento poruchový stav. Tím ochrany eliminují následky poruch na minimum.[5]

Elektrické ochrany je možné dělit podle mnoha kritérií. Nejčastější dělení jsou podle:

1. druhu poruchy,
2. principu činnosti,
3. doby působení.

Dále je možné elektrické ochrany dělit podle konstrukce na:

1. elektromechanické,
2. elektronické,
3. digitální.

Elektromechanické ochrany jsou vývojově nejstarší analogové ochrany. Konstrukčně jsou řešené pomocí elektromagnetických relé. Tento typ ochran představuje soubor jistících relé v elektromechanické spolupráci. Elektromechanická ochrana sleduje pouze jednu veličinu, takže každá část vykonává pouze jednu funkci.

Elektronické ochrany jsou analogové ochrany pracující pomocí polovodičových prvků. Běžně se sestavují z funkčních jednotek a nemají pohyblivé části. Díky tomu

se často nazývají ochranami statickými. Hlavní přednosti tohoto typu ochran jsou: kratší operační časy, vysoká citlivost, menší požadavky na údržbu a další.

Již zmíněná vysoká citlivost působení mívá i opačný vliv, a to v případech, kdy ochrana reaguje na rušivé jevy v ES v době normálních provozních stavů.

Digitální ochrany mají nepřeberné množství výhod jako zejména dokonalejší funkčnost, přesnost, selektivitu anebo lepší uživatelské rozhraní. Velice důležitou funkcí je autokontrola umožňující prodlužování intervalů mezi ručně vykonávanými revizemi až na několik let.

Jejich největším nedostatkem je cena, která nutí řadu podniků, aby setrvali u stávajících zařízení.

V tabulce 2.2 je ukázáno běžné rozdělení ochran transformátorů.[5]

Tab. 2.2: Rozdělení ochran transformátorů.

Druh poruchy		Druh ochrany
Průchozí poruchy	Přetížení	Nadproudová časově závislá Tepelný model
	Vnější zkrat	Nadproudová časově nezávislá Distanční
Vnitřní poruchy	Zkraty ve vinutí	Rozdílová
	Zkraty vinutí na nádobu	Kostrová
	Špatné galvanické styky	Plynové relé
	Špatná izolace plechu	
	Způsobující oblouky v nádobě	
	Poruchy chlazení	

2.4.1 Základní požadavky na ochrany

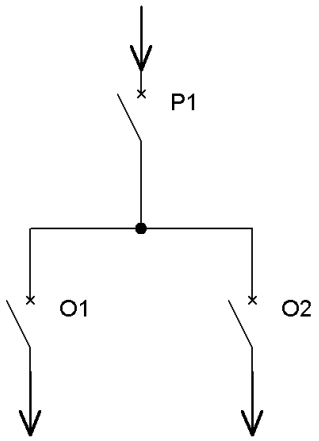
Složitá zařízení, jako jsou ochrany elektrických zařízení, musejí z bezpečnostního, ekonomického, ale i ekologického hlediska splňovat následující požadavky:

Spolehlivost

Spolehlivostí elektrické ochrany, se rozumí schopnost vykonávaní operací podle daného algoritmu ve stanoveném čase a s požadovanými parametry. Vysoké spolehlivosti lze docílit splněním následujících zabezpečení:

- vysokou technickou kvalitou všech součástek,
- optimalizací konstrukce schématu chránění,
- nepřetržitou autokontrolou jednotlivých obvodů.[5]

Selektivita



Obr. 2.4: schéma jednoduchého obvodu.

Selektivitou se myslí vypnutí pouze poškozené části obvodu tak, aby zařízení bez poruchy zůstalo stále v chodu. Pokud bude porucha na odbočce *O2* z obrázku 2.4, selektivita bude dodržena, zapůsobí-li pouze ochrana na této odbočce. Pokud by ochrana zapůsobila na přívodu *P1*, byly by odpojeny od dodávky všechny odbočky a obvod by nebyl selektivní.

Lepší selektivity chránění lze dosáhnout:

- časovým odstupňováním,
- porovnáním proudů na obou chráněných koncích,
- určením směru toku výkonu na obou chráněných koncích,
- kombinací výše uvedených metod.[13]

Rychlost působení

Rychlost působení je čas působení ochrany od doby detekce poruchy až po vyslání povelu k výkonovému vypínači. Kvůli identifikaci poruchy se však činnost ochrany zpomaluje.

Jinými slovy, každý typ ochran pracuje ve svém časovém pásmu a v tomto pásmu by měly být kvalitní ochrany vybaveny.

Citlivost působení

Citlivost působení definujeme jako nejmenší hodnotu stavové veličiny, při které ochrana spolehlivě zapůsobí. Jde o schopnost reagovat na poruchy bez ohledu na rušení normálního chodu. Proto je pro zaručení bezpečnosti nastavená ochrana na nižší hodnotu stavové veličiny než je její hodnota při poruše.[5]

2.5 Ochrany v rozvodně R3 - Vlastní spotřeba E2

Automatický záskok je v současnosti ověřován. Nespolehlivost vykazují nasazené ochrany AT 31X1 a A15, které by měly být podrobeny kontrole. V případě, že neprojdou kontrolním výpočtem budou nahrazeny novou ochranou 7SJ80.

2.5.1 AT 31X1

V současné době jsou v kobkách vyvádějící výkon do vlastní spotřeby použity nadproudové ochrany AT 31X1. Jsou to nadproudové, sekundární, časově nezávislé ochrany elektrických zařízení při přetížení.

Jejím primárním určením jsou systémy, ve kterých je požadovaná nízká spotřeba v proudovém obvodu a vysoký přídržný poměr. Spolehlivé působení a selektivitu zaručuje přesný elektronický časový článek a také proudové články s širokým rozsahem proudového nastavení. Spotřeba koncového relé této ochrany je $P = 5\ W$.

Ochrana je provedená jako třífázové relé, která jsou vestavěna do normalizovaných skříněk. Ochrana je sestavena ze tří měřících článků [14].

1. Nadproudové měřící články - elektromagnetická relé s otočnou kotvou.
2. Časový článek - pracuje na elektronickém principu.
3. Koncové relé - pomocné ss relé, které je schopno přepínání, zapínání a aretace.

2.5.2 A15

Reléová ochrana A15 se používá jako přesná mžiková ochrana proti zkratům a kombinuje se společně s nadproudovou ochranou AT 31X1.

Ochrany AT 31X1 a A15 jistí napájecí kabel vn a transformátor proti nadproudům a zkratům vzniklým na trase kabelu, tedy vstupu primárního vinutí nebo výstupu sekundárního vinutí.[8]

2.5.3 Siprotec 7SJ80

Vzhledem k problémům, které vyvolávají stávající ochrany AT 31X1 a A15 v kobce č. 4, byl zadán projekt na její kontrolu a případnou výměnu za novou nadproudovou ochranu Siprotec 7SJ80.

7SJ80 je digitální ochrana vhodná pro přímo uzemněné, nepřímo uzemněné, izolované nebo kompenzované sítě. Jako doplněk k rozdílové ochraně transformátoru plní přístroj všechny úkoly záložní ochrany. Nasazuje se jako přístroj pro chránění, řízení a monitorování vývodů z přípojnic. Zařízení nabízí flexibilní ochranné funkce zejména nadproudový a mžikový člen, které je možno obohatit o dalších 20 ochranných funkcí, například ochrana při změně frekvence nebo zpětná výkonová ochrana.

Obr. 2.5: Ukázka ochrany Siprotec.

Hodí se pro jednostranně napájené radiální sítě, otevřené nebo uzavřené kruhové sítě i pro oboustranně napájená vedení.

Integrovaná programovatelná logika (CFC) umožňuje uživateli pro automatizaci svých manipulací (blokování) přidat vlastní funkce. K tomu mohou uživatelé vytvořit uživatelská hlášení. Kromě automatizační funkce podporuje toto zařízení ovládaní vypínačů a dalších spínacích přístrojů.

Zařízení Siprotec nabízí vysokou flexibilitu při připojení do standardní průmyslové a energetické automatizace. Koncept komunikačních modulů, na kterých běží protokoly, umožňuje zaměnitelnost a možnost doplnění. Přístroje se tak dají v budoucnu optimálně přizpůsobit na změněnou komunikační infrastrukturu.[15]

Tato ochrana bude nasazena především jako vícestupňová. Základními stupni budou nadproudový a zkratový člen. V případě potřeby je možno zohlednit rozběhové proudy motorů.

2.6 Nastavení ochran

Tato část představí problematiku nastavování nadproudových a zkratových ochran. Konkrétně bude představeno nastavení pro elektromechanické ochrany, nadproudovou AT 31X1 a zkratovou (mžikovou) A15. Následně bude uvedeno nastavování digitální ochrany od společnosti Siemens pomocí programu DIGSI.

2.6.1 Nastavení ochran podle odborné literatury

Ochrany typu AT jak nadproudové, tak i zkratové jsou nastavovány manuálně pomocí otočných tlačítek. Ty ukazují nastavený proud. Proto je nutné vypočítat tento nastavený proud.

Grym a kol. [7] udává pro nastavení nadproudové ochrany koeficient bezpečnosti k_b a koeficient citlivosti k_c pro nastavení zkratové ochrany. Tyto koeficienty mají eliminovat nežádoucí zapůsobení ochrany. V případě nadproudové ochrany bude tento koeficient vypočtenou hodnotu nadproudu povyšovat a v případě zkratu jí naopak musí ponížit. Hodnota jednotlivých koeficientů bývá následující [7]:
$k_b \ \cdots \ 1,1 \ - \ 1,35$
$k_c \ \cdots \ 1,5$

Nastavení nadproudové ochrany transformátoru

Nadproudová ochrana transformátoru musí zajistit včasné vypnutí nadproudu, který by mohl svými tepelnými účinky chráněné zařízení poškodit. Tento nadproud musí kontrolovat nadproudová ochrany podle následujícího vztahu:

$$I_{rn} \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p} \quad (A; -, A, -, -) \tag{2.6}$$

kde:
I_{rn} je nastavený proud ochrany,
k_b je koeficient bezpečnosti podle Janíčka a kol. [5] a Gryma a kol. [7] se volí 1,2,
I_n je nominální proud transformátoru,
k_p je přídržný poměr ochrany,
p je převod PTP.

Nastavení zkratové ochrany transformátoru

Zkratová ochrana transformátoru musí zajistit včasné vypnutí zkratu, který by mohl svými tepelnými a dynamickými účinky chráněné zařízení poškodit. Tato ochrana musí reagovat mžikově na jakýkoli zkratový proud. Proto se zkratové ochrany nastavují podle nejmenšího možného zkratového proudu. Tím je myšlen dvojfázový zkratový proud, do kterého nepřispívá tvrdá síť (elektrárna v ostrovním režimu).

$$I_{rz} \leq \frac{I''_{kmin}}{k_c \cdot p} \quad (A; A, -, -) \tag{2.7}$$

kde:
I_{rz} je nastavený proud ochrany,
I''_{kmin} je minimální zkratový proud,

k_c je koeficient citlivosti podle Janíčka a kol. [5] a Gryma a kol. [7] se volí 1,5,
p je převod PTP.

2.6.2 Nastavení ochran v praxi

V roce 2008 byl v časopisu *Elektro*[8] uveřejněn článek zabývající se obdobným problémem jako je ten, zde řešený. Autor článku Lukáš v něm uvádí podrobný výpočet pro konkrétní nastavení ochran. Po výpočtu zkratového proudu z impedance napájecího kabelu a impedance transformátoru, řeší vypočítané proudy pomocí koeficientů útlumu sítě. Ty mají za následek snížení hodnoty zkratového proudu pro lepší citlivost ochrany.

Pro trojpólový zkrat udává koeficient útlumu 0,95 a pro dvojpólový zkrat udává jeho hodnotu 0,8. Z takto vypočteného minimálního zkratového proudu potom nastavuje ochrany.

2.6.3 Nastavení ochranného terminálu 7SJ80

Terminálová ochrana Siprotec 7SJ80 je plně digitální. Její nastavení se provádí pomocí programu DIGSI, který umožňuje nastavování v primárních či sekundárních hodnotách.

Dále je program obohacen o přiřazovací matici, ve které je jednoznačně vidět konfiguraci ochrany. Nastavují se zde například popudové hodnoty proudů ve třech stupních I>, I> >, I> > > a časové odstupňování pro tyto proudy.

Další možností je programování pomocí CFC. Tím je umožněno programování bez znalostí softwaru. Programování zde probíhá v grafickém rozhraní kreslením technických postupů a blokování. K dispozici jsou různé logické prvky jako AND, OR, časové členy a podobně.

2.7 Kontrola přístrojových transformátorů proudu

Při výměně ochrany je nutné překontrolovat PTP, přes který je ochrana připojena. Mohlo by totiž dojít k podstatné změně břemene, což by mohlo mít za následek předčasné přesycení PTP a tím by mohlo dojít k nezapůsobení ochrany.

Pro kontrolu PTP se používá několik způsobů. Dva nejčastěji uváděné se používají se skutečným nadproudovým číslem a s limitním napětím a proudem.

2.7.1 Výpočet pomocí skutečného nadproudového čísla

Tento výpočet vychází z manuálu SPAD 346 C3 [16] a podle Grym a kol.[7] je použitelný i pro jiné ochrany. Důležité je ale rozhodnutí výrobce, ten udá, jaké

skutečné nadproudové číslo ochrana potřebuje.

Skutečné nadproudové číslo vyjadřuje poměr výsledného budícího proudu k jmenovitému proudu, při kterém se magnetický obvod transformátoru přesytí. Jinými slovy, pokud by bylo nadproudové číslo 5, tak při průchodu pětinásobku jmenovitého proudu se transformátor přesytí a vznikne chyba převodu.

Skutečné nadproudové číslo se podle Grym a kol. [7] vypočítá následovně:

$$n^* = n_n \cdot \frac{S_{in} + S_n}{S_{in} + S_a} \quad (-; -, VA, VA, VA) \tag{2.8}$$

kde:
n^* je skutečné nadproudové číslo,
n_n je jmenovité nadproudové číslo,
S_{in} jsou ztráty vinutí PTP,
S_n je jmenovitý výkon PTP,
S_a jsou ztráty mezi PTP a ochranou.
S_{in} se vypočítá jako:

$$S_{in} = I_{2n}^2 \cdot R_{in} \quad (VA; A, \Omega) \tag{2.9}$$

kde:
I_{2n} je jmenovitá hodnota sekundárního proudu PTP,
R_{in} je odpor vinutí PTP.

S_a se vypočítá jako:

$$S_a = I_{2n}^2 \cdot (R_{ochr} + R_{svorek} + R_{vodic}) \quad (VA; A, \Omega, \Omega, \Omega) \tag{2.10}$$

kde:
I_{2n} je jmenovitá hodnota sekundárního proudu PTP,
R_{ochr} je vnitřní odpor ochrany,
R_{svorek} je odpor připojovacích svorek,
R_{vodic} je odpor propojovacího vodiče.
Obdobný výpočet lze praktikovat pomocí činných odporů. Ty se vypočítají jako podíl zatížení a čtverce proudu.

2.7.2 Výpočet pomocí limitního napětí a proudu

Další kontrolou PTP je kontrola limitního napětí a proudu. Aby se PTP nepřesytil musí být splněny následující podmínky:

$$U_{lim} = 0,7 \cdot I_k \cdot \frac{X}{R} \cdot \sum R_2 \quad (V; A, \Omega, \Omega, \Omega) \tag{2.11}$$

$$U_{lim} = 2 \cdot I_{lim} \cdot \frac{X}{R} \cdot \sum R_2 \quad (V; A, \Omega, \Omega, \Omega) \tag{2.12}$$

kde:
I_k je největší průchozí zkratový proud, přepočtený na sekundár PTP,
X/R je poměr reaktance a činného odporu chráněného zařízení,
$\sum R_2$ je součet všech odporů v sekundáru PTP,
I_{lim} je limitní proud PTP.

Pokud není známo limitních hodnot proudu a napětí, je možné je odhadnout jak uvádí Grym a kol. [7] podle následujících vztahů:

$$U_{lim} = n_n \cdot \left(\frac{S_n}{I_{2n}} + R_2 \cdot I_{2n} \right) \quad (V; -, VA, A, \Omega, A) \tag{2.13}$$

kde:
n_n je jmenovité nadproudové číslo,
S_n je jmenovitý výkon PTP,
I_{2n} je jmenovitý proud sekundárního vinutí PTP.

$$I_{lim} = n_n \cdot I_{2n} \cdot \delta \quad (A; -, A, rad) \tag{2.14}$$

kde:
δ je chyba úhlu, podle ČSN 35 1360.

Při kontrole PTP vládnou rozpory zejména v době odeznění stejnosměrné složky při přesycení. V případě vysokého napětí jsou konstanty přesycení poměrně krátké. Samotné přesycení odeznívá v řádech *ms*. Proto konstanta n^* vystačí pro zkratové a nadproudové ochrany.

Grym a kol. [7] uvádí, že pokud výpočet vychází s dostatečnou rezervou, pak je možné pokládat výpočet za vyhovující. V případě jiných ochran by se měla kontrola přenechat zavedené firmě, nejlépe výrobci. Dále je nutné počítat u nadproudového čísla s 10% rezervou.

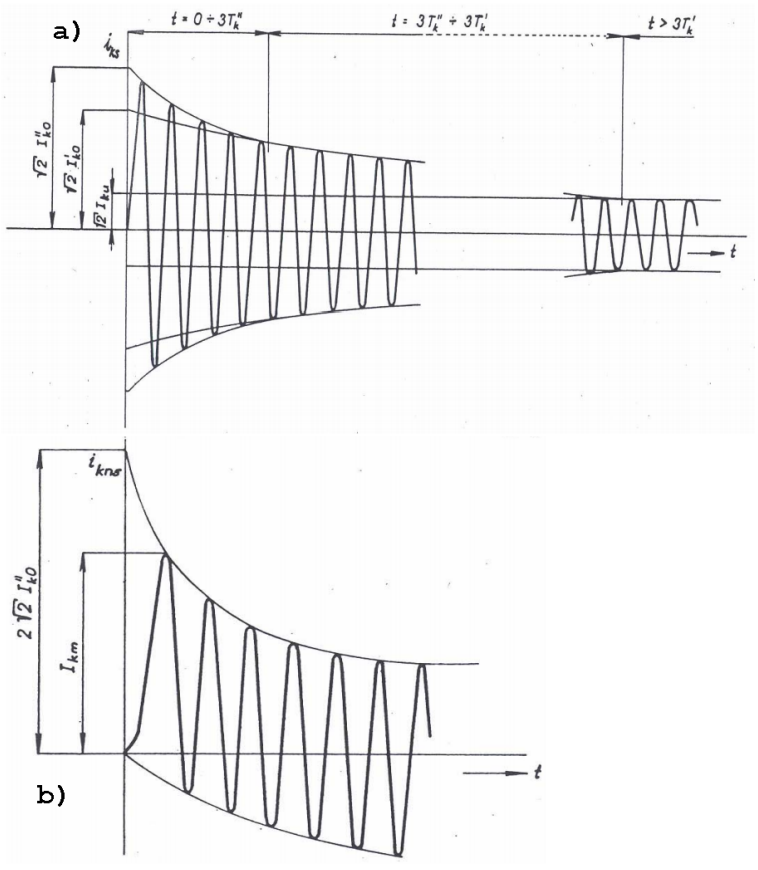
Pokud zkratový proud neprojde kontrolou PTP, je možnost dané PTP vyměnit za přístroj s vyšším rozsahem. Přitom je nutné znovu provést výpočet, jelikož nový PTP bude mít jiný vnitřní odpor.

3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ

Velice rozšířenou poruchou v elektrizační soustavě jsou zkraty. Při jejich vzniku dochází k výraznému zmenšení celkové impedance soustavy. Zmenšení impedance vyvolá nárůst proudu a v místech poblíž zkratu dochází ke snížení napětí. Takto vzniklý proud je potom nazýván proudem zkratovým.

Zkraty lze dělit na souměrné a nesouměrné. Zástupce souměrných zkratů je pouze trojfázový zkrat, který vzniká při současném postižení všech tří fází. Zbylé zkraty jsou nesouměrné a to konkrétně: jednofázový zkrat, dvoufázový zkrat a dvoufázový zemní zkrat. Nejčastěji se trojfázové zkraty vyskytují v kabelových sítích, naopak u venkovních vedení nebývají tak častým jevem. [7]

3.1 Průběh zkratového proudu



Obr. 3.1: Symetrický a) a nesymetrický b) průběh zkratového proudu. [17]

Podobně jak typ zkratu, tak i jeho průběh může být symetrický anebo nesymetrický. K symetrickému průběhu zkratu dochází, když napětí prochází svým

maximem. Díky tomu začíná zkratový proud ze své nulové hodnoty. K nesymetrickému průběhu zkratového proudu dochází, když napětí prochází nulou. Tím vyvolaný zkratový proud začíná ze své maximální hodnoty a vytváří se tak další složky zkratového proudu jako například stejnosměrná složka I_{ka} a počáteční stejnosměrná složka I_{ka0}. [17]

Složky zkratového proudu:

- souměrný zkratový proud I_{ks},
- rázový zkratový proud $I_k^{''}$
- počáteční rázový zkratový proud $I_{k0}^{''}$
- přechodný zkratový proud $I_k^{'}$
- počáteční přechodný zkratový proud $I_{k0}^{'}$
- ustálený zkratový proud I_k

3.2 Předpoklad pro výpočet zkratu

Výpočet zkratových proudů určuje proudy jako funkci času v místě zkratu, a to od jeho počátku až do konce.

Pro praktické využití se nejčastěji využívá efektivní hodnota souměrné střídavé složky a nárazový zkratový proud i_p po vzniku zkratu. Největší hodnota i_p je závislá na časové konstantě zanikající aperiodické složky a kmitočtu, tedy na R/X nebo X/R zkratové impedance Z_k. S určitým přiblížením lze říct, že je jí dosaženo právě, když zkrat začíná v napěťové nule.[18]

Pro výpočet zkratového proudu se uvažují následující zjednodušení [18]:

1. po celou dobu trvání zkratu se typ zkratu nemění,
2. po celou dobu trvání zkratu nedochází ke změnám v síti,
3. impedance transformátorů s přepínači odboček v základní poloze,
4. odpory oblouku se neuvažují,
5. zanedbávají se všechny kapacity vedení, paralelní admitance a netočivé statické zátěže, kromě paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Výpočet zkratového proudu zajišťuje dostatečnou přesnost, ikdyž tato zjednodušení neodpovídají reálné soustavě.

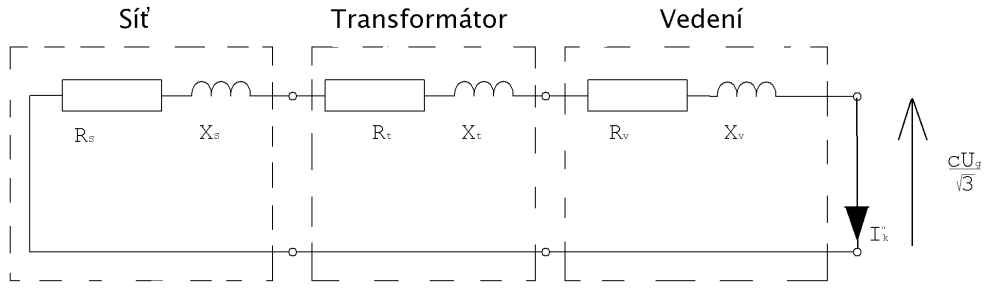
Pokud se zkratový proud počítá v soustavách s rozdílnou napěťovou hladinou, je nutné impedance přepočíst. Obvykle se přepočet provádí na napěťovou hladinu, ve které dochází ke zkratu. Impedance zařízení v síti se přepočítávají pomocí čtverce převodu transformátoru. Napětí a proudy se přepočítají pomocí jmenovitého převodu transformátoru.[18]

3.3 Výpočet zkratového proudu podle ČSN

Pro výpočet zkratů se používá dvou základních metod.

Metoda ekvivalentního napěťového zdroje je metoda, která zavádí v místě zkratu *ekvivalentní napěťový zdroj.* Ten se chová jako jediné aktivní napětí v soustavě. Všechny prvky sítě (transformátory, napáječe, odběry, kabely) jsou nahrazovány vnitřní impedancí.

Obrázek 3.2 zobrazuje příklad ekvivalentního napěťového zdroje, napájeného transformátorem jakožto jediného aktivního napětí soustavy. Všechna další aktivní napětí soustavy jsou nulová. Nadřazenou soustavu definuje její vlastní vnitřní impedance $\bar{Z}$, která je přepočtena na stranu transformátoru, kde se nachází zkrat.[18]



Obr. 3.2: Schema soustavy.[18]

Koeficient c je napěťový součinitel představující odchylku od napětí v běžném stavu. Nepředpokládá se, že by se toto napětí lišilo (o více jak 5 % na straně nižšího napětí a o 10 % na straně vyššího napětí) od jmenovité hodnoty napětí.

Metoda souměrných složek vychází z předpokladu, že elektrická zařízení mají symetrickou strukturu. Například vedení, které není transponované se s přijatelnou přesností počítá jako vedení transponované.

Při použití této metody se vypočítá proud v každé fázi superponováním tři souměrných složkových soustav.

- Proud sousledné složkové soustavy $\bar{I}_{(1)}$
- Proud zpětné složkové soustavy $\bar{I}_{(2)}$
- Proud netočivé složkové soustavy $\bar{I}_{(0)}$

$$\bar{I}_{L1} = \bar{I}_{(1)} + \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} \quad (A; A, A, A) \tag{3.1}$$

$$\bar{I}_{L2} = \bar{a}^2 \cdot \bar{I}_{(1)} + \bar{a} \cdot \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} \quad (A; A, A, A) \tag{3.2}$$

$$\bar{I}_{L3} = \bar{a} \cdot \bar{I}_{(1)} + \bar{a}^2 \cdot \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} \quad (A; A, A, A) \tag{3.3}$$

kde:

$$\bar{a} = -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} \tag{3.4}$$

$$\bar{a}^2 = -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} \tag{3.5}$$

Hodnoty sousledných a zpětných impedancí se liší jen u točivých strojů. Při výpočtu elektricky vzdálených zkratů se často předpokládá: $\bar{Z}_{(1)} = \bar{Z}_{(2)}$.[18]

3.3.1 Výpočet minimálního zkratového proudu

Minimální zkratový proud se uvažuje jako jedna z limitujících hodnot pro nastavování ochran. Pro výpočet minimálního zkratového proudu je nutné dodržet následující zásady:

- pokud není příslušná národní norma, musí se použít koeficient c_{min},
- konfigurace soustavy a příspěvky z napáječů sítě se volí tak, aby byl zkratový proud v místě zkratu minimální,
- vliv motorů se zanedbává,
- rezistance vedení a kabelů se uvažuje při nejvyšší teplotě.

Počáteční rázové zkratové proudy se potom vypočítají následovně [18]:

Zkratový proud při trojfázovém zkratu

$$I''_{k3} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}_{(1)}|} \quad (A; -, V, \Omega) \tag{3.6}$$

Zkratový proud při dvoufázovém zkratu

$$I''_{k2} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{|\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)}|} \approx \frac{c_{min} \cdot U_n}{|2 \cdot \bar{Z}_{(1)}|} \quad (A; -, V, \Omega, \Omega) \tag{3.7}$$

Zkratový proud při jednofázovém zkratu

$$I''_{k1} = \frac{c_{min} \cdot \sqrt{3} U_n}{|\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)} + \bar{Z}_{(0)}|} \approx \frac{c_{min} \cdot \sqrt{3} U_n}{|3 \cdot \bar{Z}_{(1)}|} \quad (A; -, V, \Omega, \Omega, \Omega) \tag{3.8}$$

3.3.2 Parametry soustavy

Tato část se bude věnovat pouze parametrům potřebným pro tuto práci. Ochrana bude chránit transformátor, který je připojen pomocí kabelu do rozvodny 6 kV. Proto se zde budou popsány výpočty impedance soustavy, kabelu a transformátoru.

V této části se omezíme pouze na parametry nutné pro tuto práci. Ochrana bude chránit transformátor, který je připojen pomocí kabelu do rozvodny 6 kV. Proto se zde omezíme pouze na výpočet impedance soustavy, kabelu a transformátoru. [18,19]

Napáječe soustav

Impedance soustavy se vypočítá:

$$Z_S = \frac{c_{min} \cdot U_n^2}{S''_{ks}} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_k} \quad (\Omega; -, V, VA) \tag{3.9}$$

Reaktance a rezistance soustavy je pro sítě do 35 kV podle [18]dána vztahem:

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S \quad (\Omega; -, \Omega) \tag{3.10}$$

$$R_S = 0,1 \cdot Z_S \quad (\Omega; -, \Omega) \tag{3.11}$$

kde:
c_{min} je napěťový koeficient pro soustavy do 35 kV je podle [18] roven 1,
U_n je jmenovité napětí sítě,
I''_k je počáteční souměrný rázový zkratový proud,
S''_{ks} je zkratový výkon sítě,
X_S je reaktance soustavy,
R_S je rezistance soustavy,
$\bar{Z}_{(1)}$ je sousledná impedance,
$\bar{Z}_{(2)}$ je zpětná impedance,
$\bar{Z}_{(0)}$ je netočivá impedance.

Transformátory dvouvinuťové

Impedance dvouvinuťových transformátorů a její složky jsou dle ČSN [18]:

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (\Omega; -, V, VA) \tag{3.12}$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_n^2} \quad (\Omega; W, A) \tag{3.13}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \tag{3.14}$$

kde:
U_n je jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí,
I_n je jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí,
S_n je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru,
u_k je jmenovité napětí nakrátko v procentech.

Venkovní vedení a kabely

Impedance sousledné a zpětné složkové soustavy jsou jak u venkovních vedení, tak i u kabelů stejné.

$$\bar{Z}_K = R_K + j \cdot X_K \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \tag{3.15}$$

Impedance venkovních vedení a kabelů se vypočítají pomocí průřezů a roztečí vodičů. Činná rezistance na jednotku délky se vypočítá z rezistivity vodiče ρ a jeho jmenovitého průřezu S_n:

$$R_k = \frac{\rho}{S_n} \quad (\Omega \cdot m^{-1}; \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}, mm^2) \tag{3.16}$$

Reaktance na jednotku délky X_k se vypočítá jako:

$$X_k = \omega \cdot l \cdot 0,46 log \frac{d}{r} + 0,05 \quad (mH; rad \cdot s^{-1}, km, m, m) \tag{3.17}$$

kde:
l je délka vedení,
d je střední vzdálenost mezi vodiči vypočítaná jako:

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} \quad (m; m, m, m) \tag{3.18}$$

r je poloměr vodiče.

U kabelů se sousledná impedance uvádí v jejich dokumentaci. Netočivá složka impedance závisí na mnoha vlivech.

3.4 Oteplení vodičů

Účinky zkratového proudu jsou jak dynamické, tak i tepelné. Tepelné namáhání může během krátké doby poškodit zařízení tak, že nebude schopno dalšího provozu. Proto je nutné kontrolovat zařízení na dobu trvání zkratu. Tuto dobu je možné do jisté míry regulovat vypínacím časem ochrany.

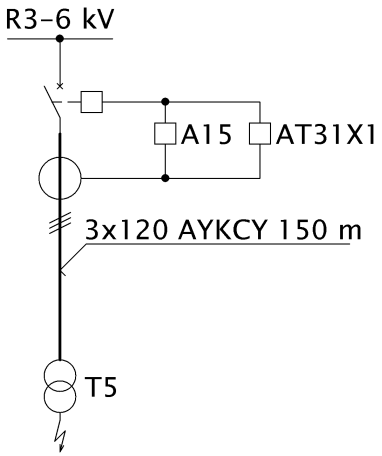
Výpočet oteplení bude představen na oteplení kabelu (následně bude použito v praktické části). Norma [20] udává oteplení vodiče vztahem:

$$t = \left(\frac{S \cdot k}{I_{th}} \right)^2 \quad (s; mm^2, A \cdot s^{0,5}/mm^2, A) \tag{3.19}$$

kde:
t je doba trvání zkratu,
k je koeficient pro výpočet oteplení při zkratu pro potřebný typ kabelu; jeho hodnota je 76 $A \cdot s^{0,5}/mm^2$,
S je průřez vodiče,
I_{th} je ekvivalentní oteplovací proud.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ

Jak už bylo popsáno v části 1.3 některá z vývodových ochran transformátoru vlastní spotřeby nepracuje přesně tak jak by měla. Konkrétně vývodová ochrana pro transformátor T5 a jeho přívodní kabel. V této kapitole bude vypočítán zkratový proud, který by vznikl při kovovém zkratu za sekundárním vinutím transformátoru tak, jak to naznačuje obrázek 4.1.



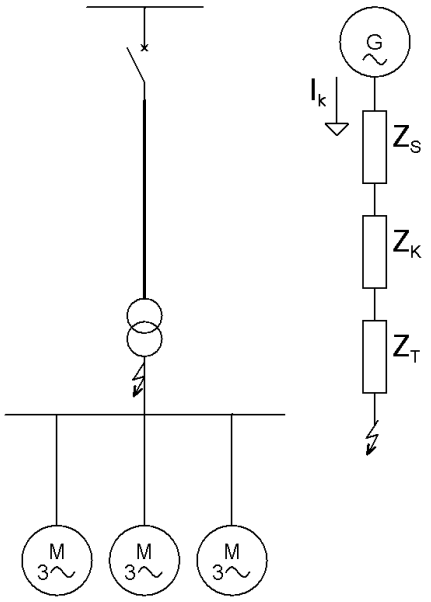
Obr. 4.1: Blokové schéma transformátoru, kabelu a ochrany.

4.1 Výpočet minimálního zkratového proudu

Výpočet minimálního zkratového proudu bude proveden podle příslušné normy tak, aby jeho hodnota byla minimální.

Z obrázku 4.2 by se mohlo zdát, že minimální zkratový proud nastane u motorů, které jsou napájeny transformátorem T5. Ovšem sekundární strana transformátoru je jištěna samostatně jističem *SE-BL-1600-MTV 8*. Proto se pro výpočet minimálního zkratu bude uvažovat pouze impedance přívodního kabelu a transformátoru. Z těchto hodnot se následně určí impedance celková. Z té bude vypočítána velikost minimálního zkratového proudu.

Na obrázku 4.2 je naznačena síť, ve které došlo ke zkratu za transformátorem. Tento zkrat je na jeho počátku napájen jak ze sítě proudem I_k, tak asynchronními motory proudem. Podle normy [18] se při výpočtu minimálního zkratového proudu neuvažuje příspěvek motorů. Celkovou impedanci proto bude tvořit impedance soustavy $\bar{Z}_S$, přívodního kabelu $\bar{Z}_K$ a impedance transformátoru $\bar{Z}_T$.



Obr. 4.2: Schéma obvodu při poruše a jeho náhradní schéma.

4.1.1 Impedance soustavy

Z výše uvedených vzorců je patrné, že musí výt zvolena jednotná napěťová hladina. Je zvykem, že se zkratový proud počítá na napěťové hladině, kde došlo ke zkratu. V tomto případě bude potřeba znát proud, který bude téct přes PTP ke kterému je připojena ochrana. PTP je připojen v kobce, kde dochází k propojení sítě a kabelu. Napěťová hladina proto bude zvolena na 6 kV.

Zkratový proud vzniká při významném zmenšení impedance obvodu jehož minimální hodnota se vypočítá za předpokladu ostrovního režimu elektrárny, kdy do zkratu nebude přispívat tvrdá síť.

Absolutní impedance soustavy

Impedance soustavy závisí na zkratovém výkonu sítě popřípadě dvoufázovém zkratovém proudu sítě, který představuje nejmenší příspěvek sítě do zkratu. Jeho hodnota je ve schematu rozvodny (přípoha C) $I''_{ks} = 10,7\ kA$.

$$|\bar{Z_S}| = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{ks}} = \frac{1 \cdot 6\ 000}{3 \cdot 10\ 700} = 0,324 \quad (\Omega; -, V, A) \tag{4.1}$$

Reaktance soustavy

$$X_S = 0,995 \cdot |\bar{Z_S}| = 0,995 \cdot 0,324 = 0,322 \quad (\Omega; -, \Omega) \tag{4.2}$$

Činný odpor soustavy

$$R_S = 0,1 \cdot X_S = 0,1 \cdot 0,322 = 0,0322 \quad (\Omega; -, \Omega) \tag{4.3}$$

Kmplexní impedance soustavy

$$\bar{Z_S} = (R_S + j \cdot X_S) = (0,0322 + j \cdot 0,322) \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \tag{4.4}$$

4.1.2 Impedance transformátoru

Transformátor T5 má parametry uvedené v tabulce 1.2, z nich se vypočítají prvky pro výpočet celkové impedance.

Jmenovitá impedance nakrátko

$$|\bar{Z_T}| = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{6\ 000^2}{1\ 000\ 000} = 2,16 \quad (\Omega; -, V, VA) \tag{4.5}$$

Činný odpor nakrátko

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} = \frac{12\ 000 \cdot 6\ 000^2}{1\ 000\ 000^2} = 0,432 \quad (\Omega; W, V, VA) \tag{4.6}$$

Reaktance nakrátko

$$X_T = \sqrt{|\bar{Z_T}|^2 - R_T^2} = \sqrt{2,16^2 - 0,432^2} = 2,1164 \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \tag{4.7}$$

Komplexní impedance transformátoru

$$\bar{Z_T} = (R_T + j \cdot X_T) = (0,432 + j \cdot 2,1164) \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \tag{4.8}$$

4.1.3 Impedance kabelu

Přívodní kabel 3× 120 AYKCY měří 150 m a jeho parametry jsou v tabulce 1.4.

Činný odpor kabelu

$$R_K = R_k \cdot l = 0,253 \cdot 0,15 = 0,03795 \quad (\Omega; -, V, VA) \tag{4.9}$$

Reaktance kabelu

$\mathrm{X}_k = \omega \cdot L_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} =$

$$0,09425 \quad (\Omega \cdot km^{-1}; rad \cdot s^{-1}, H \cdot km^{-1}, Hz) \tag{4.10}$$

$$X_K = X_k \cdot l = 0,09425 \cdot 0,15 = 0,01414 \quad (\Omega; \Omega \cdot km^{-1}, km) \tag{4.11}$$

Komplexní impedance kabelu

$$\bar{Z}_K = (R_K + j \cdot X_K) = (0,03795 + j \cdot 0,01414) \quad (\Omega;\Omega,\Omega) \tag{4.12}$$

Celková impedance obvodu potom bude dána součtem komplexních impedancí transformátoru a kabelu. Pro výpočet třífázového proudu bude stačit pouze velikost impedance.

4.1.4 Impedance obvodu

$\bar{Z}_c = \bar{Z}_S + \bar{Z}_T + \bar{Z}_K = (R_S + R_T + R_K) + j \cdot (X_S + X_T + X_K)$
$= (0,0322 + 0,432 + 0,03795) + j \cdot (0,322 + 2,1164 + 0,01414)$

$$= (0,502 + j \cdot 2,453) \quad (\Omega;\Omega,\Omega) \tag{4.13}$$

$$\frac{X}{R} = \frac{2,453}{0,502} = 4,884 \quad (-;\Omega,\Omega) \tag{4.14}$$

$\mathrm{Z}_c = \left|\bar{Z}_S + \bar{Z}_T + \bar{Z}_K\right| = \sqrt{(R_S + R_T + R_K)^2 + (X_S + X_T + X_K)^2}$
$= \sqrt{(0,0322 + 0,432 + 0,03795)^2 + (0,322 + 2,1164 + 0,01414)^2}$

$$= 2,503 \quad (\Omega;\Omega,\Omega) \tag{4.15}$$

4.1.5 Výpočet zkratových proudů

Zkratový proud je přechodný děj jehož ustálená hodnota závisí na zvolené napěťové hladině a impedanci obvodu.

Ustálený dvoufázový zkratový proud

Dvoufázový zkrat vytváří nesymetrické zatížení, které se zohledňuje zavedením zpětné impedance. Ta závisí na příspěvcích točivých strojů, které se v tomto případě neuvažují. Při jednofázovém zkratu by za předpokladu $\bar{Z}_{(1)} = \bar{Z}_{(2)} = \bar{Z}_{(0)}$ byl zkratový proud podle rovnice 3.8 větší než zkratový proud dvoufázový. Díky tomu bude dvoufázový zkratový proud reprezentovat nejmenší možnou hodnotu zkratového proudu tak, jak to uvádí Grym a kol.[7].

$$I''_{k2min} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{2 \cdot Z_c} = \frac{1 \cdot 6\ 000}{2 \cdot 2,503} = 1\ 198,56 \quad (A;-,V,\Omega) \tag{4.16}$$

S přihlédnutím k útlumu sítě bude minimální zkratový proud podle Lukáše [8]:

$$I''_{kmin} = 0,8 \cdot I''_{k2min} = 0,8 \cdot 1\ 198,56 = 958,85 \quad (A;-,A) \tag{4.17}$$

4.2 Kontrola oteplení kabelu

Před samotným nastavením ochrany je nutné zkontrolovat přívodní kabelové vedení na tepelné účinky zkratového proudu. Jak už bylo uvedeno, zkratový proud působí jak tepelnými, tak dynamickými účinky. Tepelné i dynamické účinky zkratu mohou trvale kabel poškodit. Je proto nutné ověřit, jak dlouho může zkratový proud působit na vodič, aby nedošlo k trvalému poškození.

Při výpočtu doby oteplení na maximální provozní teplotu během zkratu budou použity parametry kabelu stanoveny výrobcem (tabulka 1.4), normou a parametry rozvodny R3. Výrobce uvádí průřez vodiče $3 \times 120\ mm^2$, norma ČSN 33 2000-4-43 pro tento průřez udává konstantu $K = 76$ a z parametrů rozvodny byl zjištěn ekvivalentní oteplovací proud $I_{th} = 16\ 000\ A$ [C].

Norma [20] udává výpočet doby oteplení vodiče vztahem:

$$t = \left(\frac{S \cdot k}{I_{th}}\right) = \left(\frac{3 \cdot 120 \cdot 76}{16\ 000}\right)^2 = 2,924 \quad (s; mm^2, A \cdot s^{0,5}/mm^2, A) \tag{4.18}$$

Doba za kterou se kabel ohřeje na nebezpečnou teplotu je $2,924\ s$. Po této době by nastalo poškození kabelu. Vypínací čas stávající zkratové ochrany je dán pouze rychlostí vypínače a to je podle [21] 75 ms. Kabel tedy vyhovuje tepelným účinkům zkratového proudu.

4.3 Kontrola PTP

Kontrola PTP se provádí dvěma způsoby. Oba způsoby by v případě příznivých výsledků měly zabránit přesycení PTP stejnosměrnou složkou. První výpočet kontroluje skutečné nadproudové číslo transformátoru. Druhý výpočet hlídá limitní napětí a proud. Zde bude kontrola omezena pouze na kontrolu skutečného nadproudového čísla. Pro porovnání limitních hodnot by bylo potřeba znát i limitní napětí, které v tomto případě není známo. Lze jej sice odhadnout podle rovnice 2.13, to by ovšem způsobilo další nepřesnosti.

Pro výpočet skutečného nadproudového čísla je nutné zjistit odpor přívodního kabelu (hodnoty viz část 1.2.3).

$$R_{vodic} = R_k \cdot l = 2 \cdot 4,61 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,0461 \quad (\Omega; \Omega \cdot km^{-1}, km) \tag{4.19}$$

Dále pak odpor ochrany, který je vyjádřen z výkonu vybavovacího relé.

$$R_{ochr} = \frac{P}{I_{sec}^2} = \frac{5}{5^2} = 0,2 \quad (\Omega; W, A) \tag{4.20}$$

S jejich pomocí se dopočítá odpor celého přívodu a z něj se vypočítá zatížení na přívodu.

$$\mathrm{S}_a = I_{2n}^2 \cdot (R_{ochr} + R_{svorek} + R_{vodic})$$

$$= 5^2 \cdot (0,2 + 2 \cdot 0,05 + 0,0461) = 8,6525 \quad (VA; A, \Omega, \Omega, \Omega) \tag{4.21}$$

Potom je nutné dopočítat zátěž vinutí pomocí vnitřního odporu vinutí PTP (viz tabulka 1.4).

$$S_{in} = I_{2n}^2 \cdot R_{iPTP} = 5^2 \cdot 0,16 = 4 \quad (VA; A, \Omega) \tag{4.22}$$

Z vypočítaných hodnot se dopočítá skutečné nadproudové číslo.

$$n^* = n_n \cdot \frac{S_{in} + S_n}{S_{in} + S_a} = 10 \cdot \frac{4 + 15}{4 + 8,6525} = 15,02 \quad (-; -, VA, VA, VA) \tag{4.23}$$

Skutečné nadproudové číslo udává, jakým násobkem jmenovitého proudu může být přetíženo PTP. Při výpočtu je nutné zohlednit 10% rezervu. Maximální proud bude:

$$I_{max} = 0,9 \cdot n^* \cdot I_{1n} = 0,9 \cdot 15,02 \cdot 100 = 1\ 351,51 \quad (A; -, -, A) \tag{4.24}$$

K přesycení transformátoru dojde při zkratu, jehož proud by dosahoval víc jak 1350 A na primární straně transformátoru. Pokud tedy bude zkratový proud větší, dojde k přesycení PTP a jeho jistící vinutí nebude předávat ochraně korektní hodnotu průchozího proudu. To ovšem nemá vliv na vybavení zkratové ochrany, jelikož proud který je nutný pro její řádné vybavení je $I''_{kmin} = 958,85\ A$.

V případě výměny ochrany za novější typ 7SJ80 je nutné porovnat výkony ochran. Výkon stávajících relé je 5 W, výkon novějšího typu je podle manuálu ochrany [15] totožný. Díky tomu budou při výpočtu skutečného nadproudového čísla zachovány stejné podmínky.

Přestože skutečné nadproudové číslo je poměrně nízké a k přesycení PTP dojde při poměrně nízkých zkratových poměrech, nebude mít přesycený PTP vliv na vybavení zkratové ochrany. Při jeho případném přesycení, bude jistící vinutí PTP předávat ochraně dostatečné popudové hodnoty proudu pro její vybavení. Následně bude odpojeno přívodní napájení a přesycení odezní v desítkách milisekund.

4.4 Nastavení ochrany AT 31X1 a A15

Nadproudová ochrana AT 31X1, která v současné době vykazuje problémy, je připojena do obvodu nepřímo přes PTP. Ten měří proud tekoucí do kabelu a jeho ekvivalent přímo úměrný převodu tohoto transformátoru je předáván ochraně. Tato ochrana je potom nastavena na vypočítaný nadproud, respektive na zkratový proud podle převodu PTP. Převod PTP je 100/5, což je po vyčíslení 20.

4.4.1 Nastavení nadproudové ochrany

Vybavení nadproudové ochrany AT 31X1 je vyvoláno průchodem nadproudu. Pro bezproblémové vybavení se zavádí koeficient bezpečnosti, který bývá u transformátorů podle Gryma a kol. [7] a Janíčka a kol.[5] okolo 1,2 a taky musí být zohledněn přídržný poměr dané ochrany viz manuál AT 31X1 [14]. Jmenovitý proud transformátorem přepočtený na stranu vyššího napětí je $I_{prim} = 96,3\ A$ vit tabulka 1.2.

$$I_{rn} = \frac{k_b \cdot I_{prim}}{k_p \cdot p} = \frac{1,2 \cdot 96,3}{0,85 \cdot 20} = 6,8 \quad (A; -, A, -, -) \tag{4.25}$$

4.4.2 Nastavení zkratové ochrany

Pro bezproblémové vypnutí zkratu musí být zkratová ochrana A15 nastavená tak, aby zapůsobila na ten nejnižší možný zkratový proud. K tomuto zkratu dochází při ostrovním režimu elektrárny, kdy do něj nepřispívá tvrdá síť. Jakýkoli jiný zkratový proud bude větší a ochrana nastavená na ten nejnižší možný zkratový proud jej bezpečně vypne.

$$I_{rz} = \frac{I''_{kmin}}{k_c \cdot p} = \frac{958,85}{1,5 \cdot 20} = 31,96 \quad (A; A, -, -) \tag{4.26}$$

Hodnota proudu nastavená na zapůsobení zkratové ochrany musí být nižší, než vypočítaná hodnota například 31 A. Tento výpočet je nutné porovnat s rozběhovými proudy motorů, aby nedocházelo k nežádoucímu zapůsobení při najíždění.

4.5 Kontrola rozběhových proudů

Rozběhový proud asynchronního motoru je krátkodobý proud, který dosahuje několikanásobku jmenovitého proudu. Velký rozběhový proud může způsobit vybavení mžikové ochrany. Proto je nutné zkontrolovat jeho maximální hodnotu a porovnat ji s hodnotou výchozí pro nastavení mžikové ochrany.

Ve výpisu pro jmenovité zatížení rozvodny byl rozběhový proud $xI_n = 9$. Jmenovité zatížení transformátoru bude dáno součtem všech jmenovitých proudů asynchronních motorů. Ty se vypočítají:

$$I_{n18,5} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{18\ 500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,886 \cdot 0,8} = 37,67 \quad (A; W, V, -, -) \tag{4.27}$$

$$I_{n20} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{20\ 000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,901 \cdot 0,81} = 39,55 \quad (A; W, V, -, -) \tag{4.28}$$

$$I_{n130} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{130\ 000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,94 \cdot 0,83} = 240,5 \quad (A; W, V, -, -) \tag{4.29}$$

Jmenovité sekundární zatížení transformátoru T5:
$\mathrm{I}_{n-sec} = 1 \times I_{n18,5} + 2 \times I_{n20} + 3 \times I_{n130}$

$$= 1 \times 37,67 + 2 \times 39,55 + 3 \times 240,5 = 838,27 \quad (A; A, A, A) \tag{4.30}$$

Jmenovité primární zatížení transformátoru T5:

$$I_{n-prim} = I_{n-sec} \cdot \frac{1}{p} = 838,27 \cdot \frac{400}{6\ 000} = 55,88 \quad (A; A, -) \tag{4.31}$$

Z těchto hodnot lze vypočítat maximální rozběhový proud na primární straně transformátoru, který nastane v nejhorším možném případě, a to bude-li připojena celá zátěž najednou, bez postupného najíždění.

$$I_z = i_z \cdot I_{n-prim} = 9 \cdot 55,88 = 502,96 \quad (A; -, A) \tag{4.32}$$

kde:
i_z je poměrná hodnota rozběhového proudu,
I_{n-prim} je jmenovitý proud motorů, přepočtený na stranu 6 kV.

Tato hodnota je ve srovnání s minimální hodnotou zkratového proudu menší. To znamená, že při najíždění celé zátěže najednou by nedošlo k zapůsobení zkratového stupně ochrany. Zkratovou ochranu je proto možné nastavit v poměrně širokém rozsahu až na 31 A.

5 ZHODNOCENÍ MOŽNÝCH NASTAVENÍ

V předchozích částech byl představen problém špatného působení záskoku v rozvodně vlastní spotřeby teplárny E2. Bylo zjištěno, že nahodilé odstavování čtvrtiny vlastní spotřeby teplárny by mohlo způsobit špatné nastavení stávajících ochran. Tato část posoudí vypočítané hodnoty pro nastavení nadproudové AT 31X1 a mžikové ochrany A15 podle zkušebního protokolu, vytvořeného společností *D5 a.s.*

5.1 Porovnání hodnot

Ve zkušebním protokolu jsou uvedeny štítkové hodnoty transformátoru, PTP, hodnoty nastavené na ochranách a vypínací hodnoty proudů ochran.

5.1.1 Nadproudová ochrana

Hodnoty nastavené na nadproudové ochraně jsou pro xI_n:
$L1 - 0,85$
$L2 - 0,85$
$L3 - 0,85$
Výrobce ochrany uvádí na rohu štítku velikost proudu, kterým se údaj násobí. Vypínací hodnoty proudů jednotlivých fází jsou:
$L1 - 8,5\ A$
$L2 - 8,5\ A$
$L3 - 8,5\ A$
Nadproudová ochrana je časově nezávislá. To znamená, že pokud by došlo k přetížení a ochranou by po dobu $t = 0,6\ s$ procházel proud $I = 8,5\ A$, došlo by k jejímu vybavení. Vypočítaný proud pro nastavení této ochrany byl 6,8 A. Nadproudová ochrana je tedy nastavena správně s dostatečnou rezervou.

To znamená, že pokud právě tato ochrana způsobuje nahodilé vypínání transformátoru T5, je to způsobeno její chybnou funkcí a je nutné tuto ochranu vyměnit.

Před vynesením závěru je nutné posoudit i nastavení mžikové ochrany.

5.1.2 Zkratová ochrana

Hodnoty nastavené na zkratové ochraně jsou pro xI_n:
$L1 - 1,1$
$L2 - 1,1$
$L3 - 1,1$
Hodnoty proudů, při kterých je ochrana skutečně vybavena, jsou podle zkušebního

protokolu:
$L1 - 25\ A$
$L2 - 25\ A$
$L3 - 25\ A$
Pokud by došlo ke zkratu a ochranou by procházel proud $I = 25\ A$, došlo by k zapůsobení ochrany.

Vypočítaný proud pro nastavení této ochrany byl 31,96 A. Zkratová ochrana je nastavená znovu správně na minimální zkratový proud. Ovšem na nižší hodnotu a je možné, že právě tato nízká hodnota způsobuje nežádoucí vypínání části vlastní spotřeby.

Nastavená hodnota zkratové ochrany je 25 A a proud, na který ochrana reaguje se vypočítá vyjádřením ze vzorce (4.26) jako:

$$I_{rz} = \frac{I''_{kmin}}{k_c \cdot p} \Rightarrow I''_{kmin} = I_{rz} \cdot k_c \cdot p = 25 \cdot 1,5 \cdot 20 = 750 \quad (A; A, -, -) \tag{5.1}$$

Při porovnání této hodnoty s rozběhovými proudy z rovnice (4.32), ve které rozběhové proudy vyšly $I_z = 502,96\ A$ se dá usoudit, že rozběh zátěže transformátoru T5 nemá vliv na vybavení zkratové ochrany.

Pokud by ovšem koeficient citlivosti k_c uváděný podle Gryma a kol. [7] a Janíčka a kol. [5] nebyl správný, mohlo by dojít ke kolizi s rozběhovým proudem.

Lze tedy doporučit nastavení zkratové ochrany na vyšší hodnotu k $I_{rz} = 31\ A$. Pokud se i toto nastavení prokáže jako neúčinné, je jasné, že jsou ochrany chybné.

V opačném případě, pokud se přenastavením zkratové ochrany zabrání neplánovanému vypínání transformátoru T5, mohlo by to znamenat, že původní nastavení ochrany reagovalo na rozběhové proudy motorů a zkušební protokol společně s technickou dokumentací obsahoval nepřesné informace.

5.2 Nastavení digitální ochrany

Velmi pravděpodobnou variantou pro vyřešení bezproblémového chodu záskoku je výměna stávajících ochran za digitální ochranu Siprotec 7SJ80. Její nastavení se provádí softwarově v programu Digsi. Součástí této práce byla parametrizace této ochrany podle vypočtených hodnot. Nastavení bylo zvoleno dvojstupňové. První stupeň byl nadproudový časově nezávislý. Druhý stupeň byl zkratový. Parametrizace této ochrany je uvedena v příloze D.

6 POSOUZENÍ REALIZACE

Tato část je věnována možným realizacím, které tento projekt vyřešil a jak k těmto řešením dospěl. Posuzuje jak samotný záskok, tak i ochrany, které se nacházejí v kobce číslo 4 a vykazují neselektivní chování.

6.1 Posouzení záskoku

Při zapůsobení automatiky záskoku vlastní spotřeby teplárny E2 je nahodile vypínán jeden ze čtyř transformátorů vlastní spotřeby. Ověření bezproblémového přechodu z jednoho napájecího přívodu na druhý bylo provedeno pomocí výpisu z ochrany, viz příloha A.

Tento výpis nevykazuje žádné chybné působení. Sekvence vypínačů je správná a symetrie fázových napětí a proudů je podobná. Proto se od posuzování záskoku odstoupilo s tím, že jeho funkce nevykazuje žádné nesrovnalosti a chyba záskoku je jinde.

6.2 Nastavení ochran

Samotné nastavení jak nadproudové, tak i zkratové ochrany, by nemělo vykazovat problémy ve vybavování ochrany. Nastavené hodnoty nadproudového a zkratového stupně odpovídají správnému nastavení.

6.2.1 Stávající ochrany

Vzhledem k tomu, že není známo, která ochrana dává popud k přerušení napájení, bylo nutné zkontrolovat oba stupně chránění. V přiloženém výpisu (příloha A) je pouze sekvence záskoku (kobka č.4). Poruchový záznam vývodových ochran (kobka č.5) není k dispozici.

Nadproudová ochrana nastavená na hodnotu vypnutí při 8,5 A po době 0,6 s je časově nezávislá. Vypočítaná hodnota nadproudu je 6,8 A. Nastavení je sice správné, ovšem mohlo by dojít k zbytečnému přetížení transformátoru a k následné poškození jeho izolace. Proto bych doporučil nastavení na nižší hodnotu, a to 7 A

Zkratový člen nastaven na vypínací proud 25 A, byl opět vyhodnocen jako správně nastavený s ohledem na maximální možný rozběhový proud. Jeho doba vypnutí je omezena pouze vypínací dobou výkonového vypínače který je podle manuálu [21] 75 ms. Zde lze doporučit nastavení zkratového členu na vyšší hodnotu, a to k 31 A. Při tom nebude ohrožena schopnost vypínání minimálních zkratových proudů.

6.2.2 Digitální ochrana

V případě, že by i po přenastavení stávajících ochran došlo k vypnutí transformátoru T5 lze s jistotou říct, že stávající ochrany jsou příliš citlivé a jejich další nastavování by nemohlo být korektní. Bylo by tedy nutné je vyměnit za novou ochranu 7SJ80, která je schopna nahradit jak nadproudový, tak i zkratový člen stávajícího souboru ochran.

Nastavení zkratového členu by vycházelo z již vypočtených, hodnot a to nejvýše $I_{rz} = 31,9\ A$.

U nadproudového stupně by musela být zohledněna vyšší kvalita ochrany, která se projeví v přídržném poměru, který je $k_p = 0,95$.

$$I_{rn} = \frac{k_b \cdot I_{prim}}{k_p \cdot p} = \frac{1,2 \cdot 96,3}{0,95 \cdot 20} = 6,08 \quad (A; -, A, -, -) \tag{6.1}$$

S ohledem na stejný koeficient citlivosti bude nastavená hodnota nadproudu o něco nižší u digitální ochrany než u reléové ochrany. Nadproudový člen digitální ochrany tedy bude nastaven na 6,1 A. Tato hodnota je podstatně nižší než u stávajících ochran.

6.3 Posouzení kontroly PTP

Při kontrole PTP bylo zjištěno jeho přesycení při poměrně nízkých zkratových proudech. Toto přesycení nebude mít vliv na vybavovací schopnost ochran. Pokud totiž dojde k takovémuto zkratu, bude chráněný objekt odpojen od napájení v časech rovným vypínacím schopnostem systému vypínání a přesycení PTP odezní v desítkách milisekund.

Přestože je tato kontrola vyhovující, je zde pouze malá rezerva pro chybu. Je proto nutné tuto kontrolu provádět při každé změně parametrů břemene PTP (např. přívodní kabel, svorky, ochrana). Pokud by při následujících kontrolách výpočtu vyšlo skutečné nadproudové číslo pod minimální hranicí, bylo by nutné vyměnit PTP. Například za PTP s vyšším výkonem anebo s větším převodem. Potom by bylo nutné opět přepočítat nastavení ochran.

7 ZÁVĚR

Současný stav rozvodny vlastní spotřeby 6 kV vyžaduje zvýšenou pozornost automatice záskoku napájení. Tato automatika je v současnosti v režimu ověřování, jelikož při zapůsobení záskoku je nepravidelně odstavován jeden ze čtyř transformátorů vlastní spotřeby. Výpadek ochran byl prověřen techniky, kteří vytiskli průběhy záskokového terminálu a sekundárně odzkoušeli ochranu, která nevykazovala poškození. Z průběhu záskoku byla zjištěna jeho bezproblémovost. Proto se práce dále zabývá vývodovými ochranami pro transformátor T5.

Výpočet nastavení ochran proběhl ve dvou stupních, a to jak pro stávající ochrany, tak pro digitální ochrany. Vypočtená hodnota nadproudového stupně u stávající ochrany je 6,8 A. V současné době je nastavená hodnota je 8,5 A. U zkratové ochrany je vypočítaná hodnota 31,93 A a nastavená hodnota 25 A. Z těchto hodnot vyšlo doporučení pro přenastavení zejména zkratového členu k hodnotě 31 A.

Možné nastavení digitální ochrany bylo provedeno dle obdobných výpočtů. Hodnota pro zkratový člen se nemění. Hodnota pro nadproudový člen je vypočítána na 6,08 A. Digitální ochranu lze nastavit na nižší hodnotu a zvýšit ochranu zařízení.

Časové odstupňování je zvoleno podobně jako u stávajících ochran pro nadproudový stupeň. Doba zpoždění je tedy 0,6 s. Zkratový stupeň u stávajících ochran je omezen pouze vypínací schopností vypínače. U digitální ochrany bude zvolen na 0,1 s podle proudového nárazu patrného z přílohy A.

Dále byla provedena kontrola vlivu tepelných účinků na kabel. Doba, po kterou by mohl kabelem procházet zkratový proud, se blížila 3 s. Během této doby musí zapůsobit ochrana. Kabel tedy vyhovuje.

Kontrola PTP byla provedena pomocí skutečného nadproudového čísla. Přitom vyšlo, že proud, při kterém bude PTP přesyceno, je 1 351,51 A. Při porovnání této hodnoty s minimálním zkratovým proudem, který je 958,85 A, je jasné, že přesycení PTP nebude mít vliv na vybavení ochran. Z toho vyplývá, že PTP vyhovuje.

Pro kontrolu rozběhových proudů na vybavení ochran, byla zvolená situace, kdy všechny motory najíždějí najednou. Rozběhový proud asynchronních motorů přepočítaný na primární stranu transformátoru je 502,96 A. Tato hodnota by neměla mít vliv na současné nastavení ochran. Kontrola rozběhových proudů tedy vyhovuje.

Průběh práce byl zaměřen na posouzení stávajícího nastavení vývodových ochran s vypočtenými hodnotami. Přitom byla použita literatura zabývající se touto problematikou společně s ČSN. Výpočty ukazují, že stávající ochrany jsou nastaveny špatně, zejména zkratový člen. Lze doporučit přenastavení tohoto členu na vyšší popudovou hodnotu. Konkrétně až k 31 A. Nadproudový člen by měl být nastaven správně. Ovšem lze jej nastavit na nižší hodnoty, a to k 7 A se stávájícím časovým zpožděním 0,6 s.

Dále byla práce zaměřena na zdokonalení se softwarem Digsi místně unifikovaných ochran Siemens Siprotec. S jeho pomocí bylo provedeno možné nastavení nově nasazené ochrany. V průběhu posuzování byl také používán program na vyhodnocování zápisů z digitálních ochran Sigra.

Nastavení digitálních ochran bylo provedeno podle vypočtených hodnot z kapitoly 5. Nadproudový stupeň byl nastaven na hodnotu 6,1 A a zkratový stupeň na hodnotu 31 A. Zvolené nastavení bylo dvoustupňové s časovým odstupňováním, viz příloha D. Toto nastavení zohledňuje vypínací dobu vypínače a současné zvyklosti v nastavování digitálních ochran.

LITERATURA

[1] ENERGETIKA TŘINEC, a.s., *oficiální stránky* [online]. c2012 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z WWW: <http://www.etas.trz.cz/>.

[2] Firemní podklady společnosti Energetika Třinec, a.s..

[3] BEZ TRANSFORMÁTORY *Trojfázové suché výkonové transformátory.* 1989, 5 s.

[4] NKT CABLES. *6-AYKCY: Kabely jednožilové s Al jádrem.* 2005, 2 s. Dostupné z: <http://katalog.variapraha.cz/kl/KK/6-AYKCY.pdf>

[5] JANÍČEK, František. *Digitálné ochrany v elektrizačnej sústave.* 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004, 360 s. ISBN 80-227-2135-2.

[6] NKT CABLES. *CYKY: Izolační kabely.* 2005, 2 s. Dostupné z: <http://www.nktcables.com/cz/products/low-voltage-cables/building-wires/ /media/Files/NktCables/Products/CZ/LV%20cables/CYKY.ashx>

[7] GRYM, Rudolf, Petr HOCHMAN, Josef MACHOŇ a Břetislav CICHOŇ. *Chránění II*: Elektrická zařízení vysokého napětí. Havířov: IRIS, 2004. ISBN 80-903540-0-9.

[8] LUKÁŠ, Bernard. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. *Posouzení jištění transformátoru proti nadproudům.* 2008, č. 12, s. 2. DOI: 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38197.pdf>

[9] DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny.* Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 259 s. ISBN 978-80-01-04936-5.

[10] ČSN EN 381120, Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren, ČNI, 1994

[11] ONDRÁŠEK, Milan. *Elektrárny II.* 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 240 s.

[12] DOČEKAL, Antonín a Stanislav BOUČEK. *Elektrárny II: přednášky.* Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995, 263 s. ISBN 80-01-01279-4.

[13] KOORDINACE JISTÍCÍCH PŘÍSTROJŮ NN *Selektivita a kaskádování.* 2005, 125 s. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/documents/designers/top-downloads/kaskadovani_selektivita.pdf>

[14] DOHNÁLEK. *AT 12 X1 . 21 X1 . 31 X1: Nadproudové časové ochrany.* Pardubice, 1988. Dostupné z: <http://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-AT_X1.pdf>

[15] SIPROTEC Overcurrent Protection 7SJ80, Manual E50417-G1140-C343

[16] SPAD 346 C3 *Differential Protection.* 2005, 30 s. Dostupné z: <http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/3c515ac3f932e2f0c22570150025f7df/$file/application_settingguide_SPAD346C3_ENa.pdf>

[17] Http://www.pslib.cz/. Časový průběh zkratového proudu [online]. Liberec, 2005 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/zkrat/dokumenty/REE_pr_zkraty.pdf>

[18] ČSN EN 60909-0, Zkratové proudy v trojfázových soustavách – výpočet proudů, ČNI, 2002

[19] ORSÁGOVÁ, J. Elektrické stanice a vedení. VUT v Brně: 2010. s. 142 (s.).

[20] ČSN 33 2000-4-43. *Elektrické instalace budov: Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy.* 1994. vyd.

[21] VYPÍNAČ VF *VYPÍNAČE S PLYNEM SF6 PRO VNITŘNÍ MONTÁŽ.* 2000, 20 s. Dostupné z: <http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/282ebc727eaa8b7dc12578bf003d452c/$file/VF%20katalog%20cs,en%202000.pdf>

[22] ORSÁGOVÁ, J. Rozvodná zařízení. 2008. s. 106 (s.)

[23] ČSN 33 3051 (333051) A, Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení = Electric engineering regulations. Protection equipment of electric machines and distribution switch gear

[24] LUKÁŠ, Bernard. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. *Závady v jištění výkonových transformátorů.* 2008, č. 11, s. 3. DOI: 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38057.pdf>

[25] Měřící transformátory proudu. In: *Elektrika.cz* [online]. 2004 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/terminolog/merici-transformator-trafo-proudu>

SEZNAM PŘÍLOH

A Průběh automatického záskoku **62**

B Elektrické schema ET a.s. **66**

C Liniové schema rozvodny R3 **68**

D Nastavení digitální ochrany v programu digsi **70**

A PRŮBĚH AUTOMATICKÉHO ZÁSKOKU

Name: Vl sp E2 k.č.05 př.AB 7SJ645 V4.8 Var

Filename: C:\SIEMENS\DIGSI4\D4PROJ\VL_SP_E2\P7DI\GV\ST\00000006\SAMPLES\FAULT\FR000005

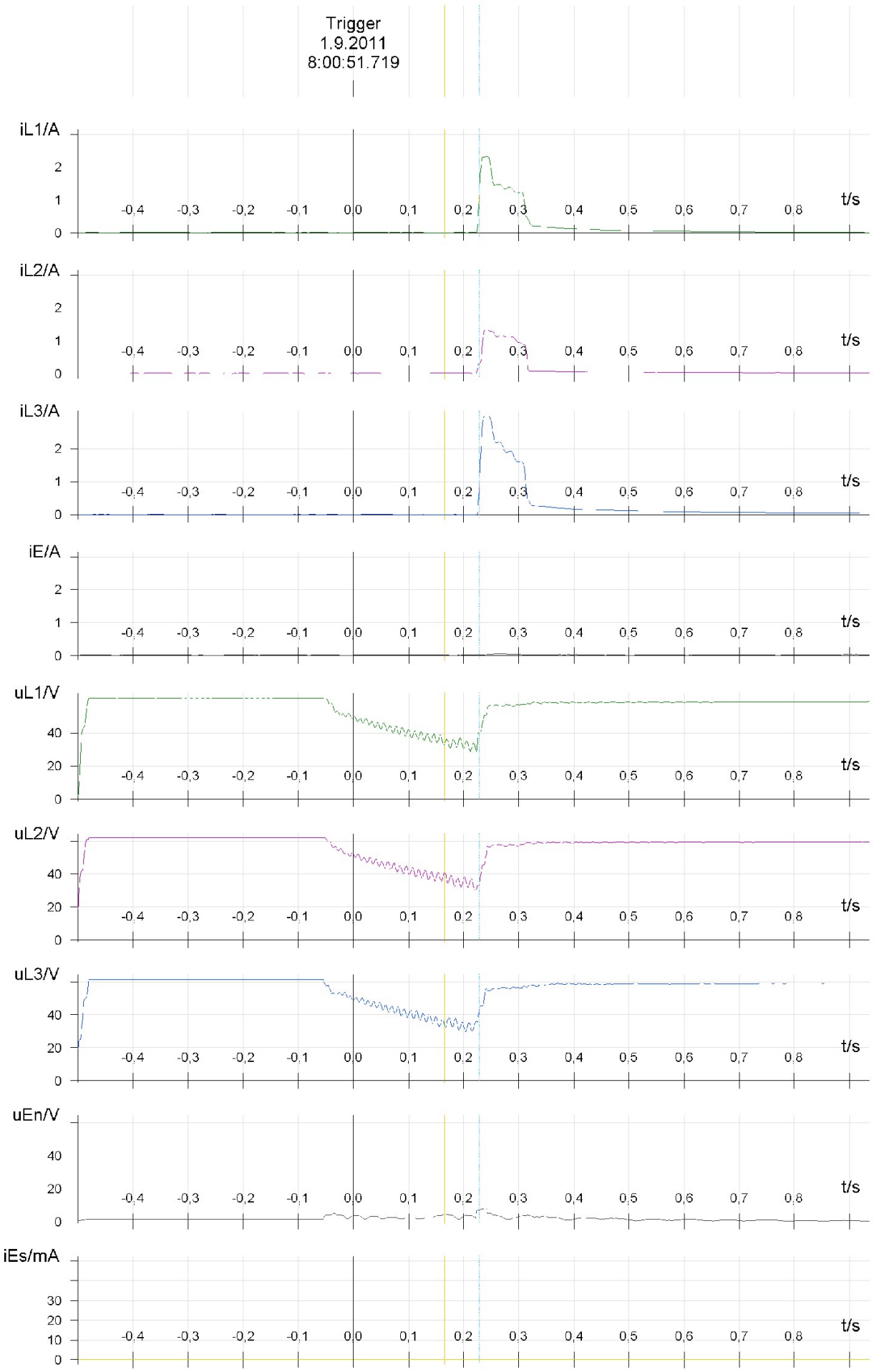
Fault start: 1.9.2011 8:00:51.219

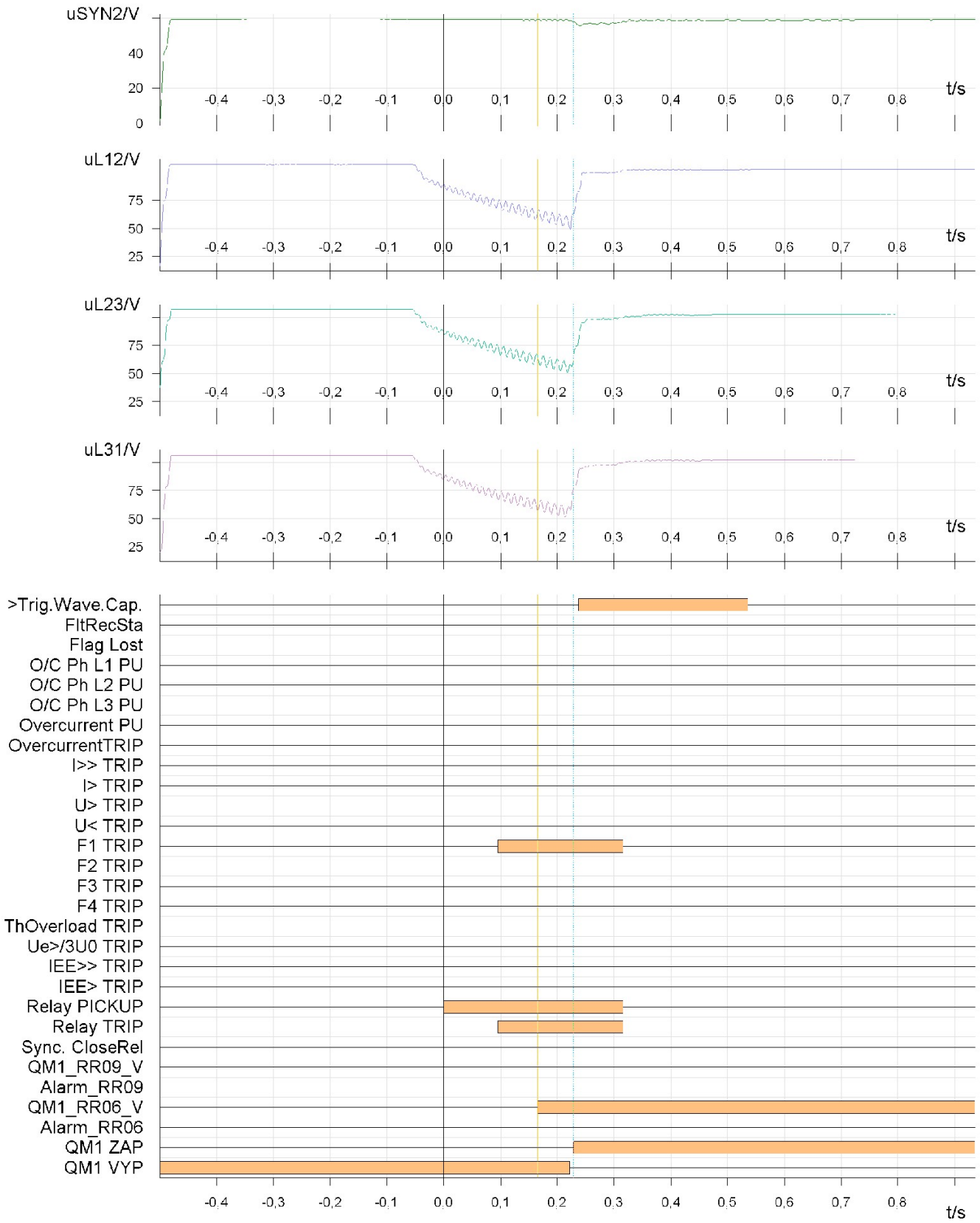
Scanning frequency: 797 Hz

Cursor 1: 166 ms

Cursor 2: 228 ms

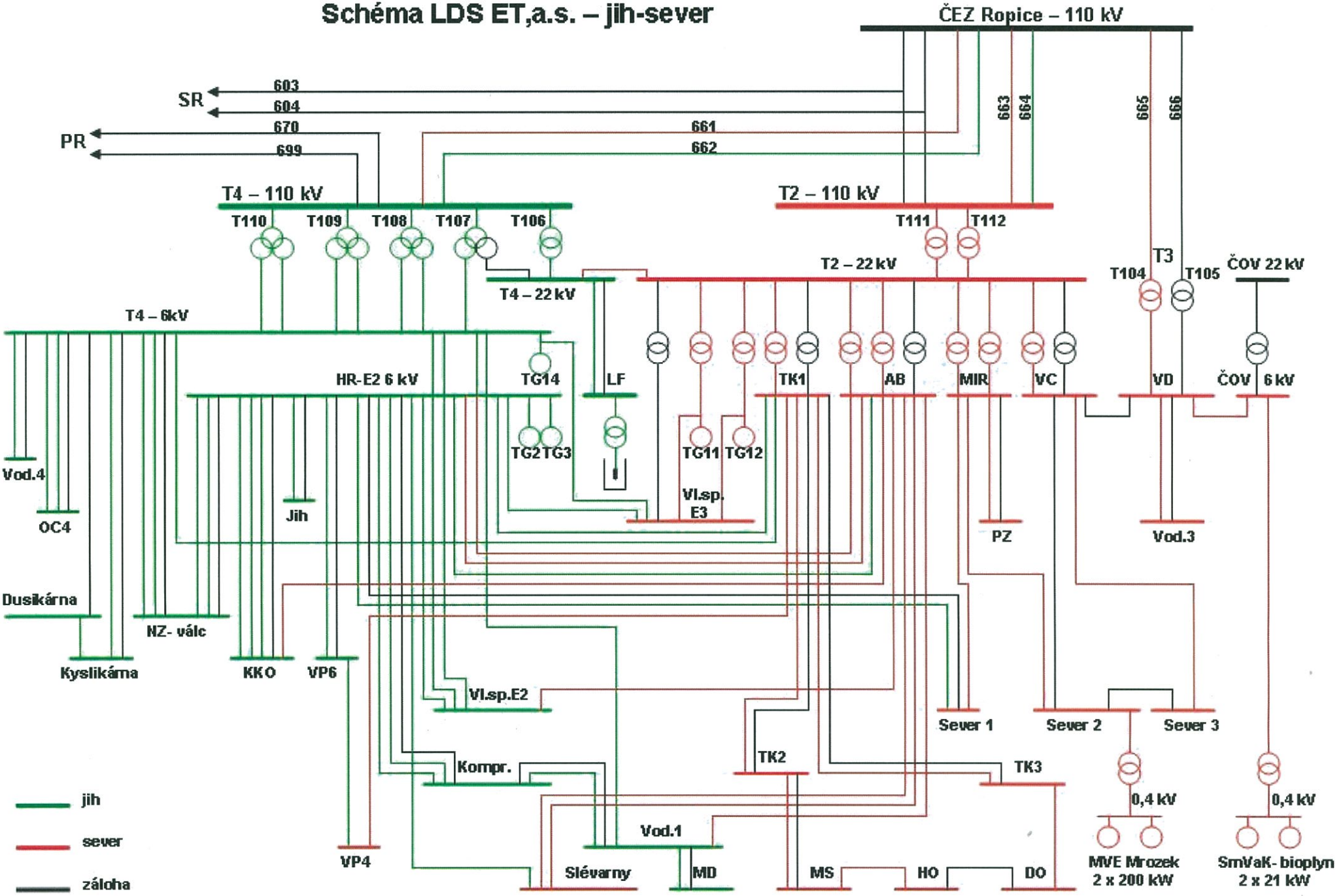
Representation: secondary


Trigger
1.9.2011
8:00:51.719
iL1/A
iL2/A
iL3/A
iE/A
uL1/V
uL2/V
uL3/V
uEn/V
iEs/mA
t/s
-0,4 -0,3 -0,2 -0,1 0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8


uSYN2/V
40
20
0
uL12/V
75
50
25
uL23/V
75
50
25
uL31/V
75
50
25
-0,4 -0,3 -0,2 -0,1 0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8
t/s
>Trig.Wave.Cap.
FltRecSta
Flag Lost
O/C Ph L1 PU
O/C Ph L2 PU
O/C Ph L3 PU
Overcurrent PU
OvercurrentTRIP
I>> TRIP
I> TRIP
U> TRIP
U< TRIP
F1 TRIP
F2 TRIP
F3 TRIP
F4 TRIP
ThOverload TRIP
Ue>/3U0 TRIP
IEE>> TRIP
IEE> TRIP
Relay PICKUP
Relay TRIP
Sync. CloseRel
QM1_RR09_V
Alarm_RR09
QM1_RR06_V
Alarm_RR06
QM1 ZAP
QM1 VYP

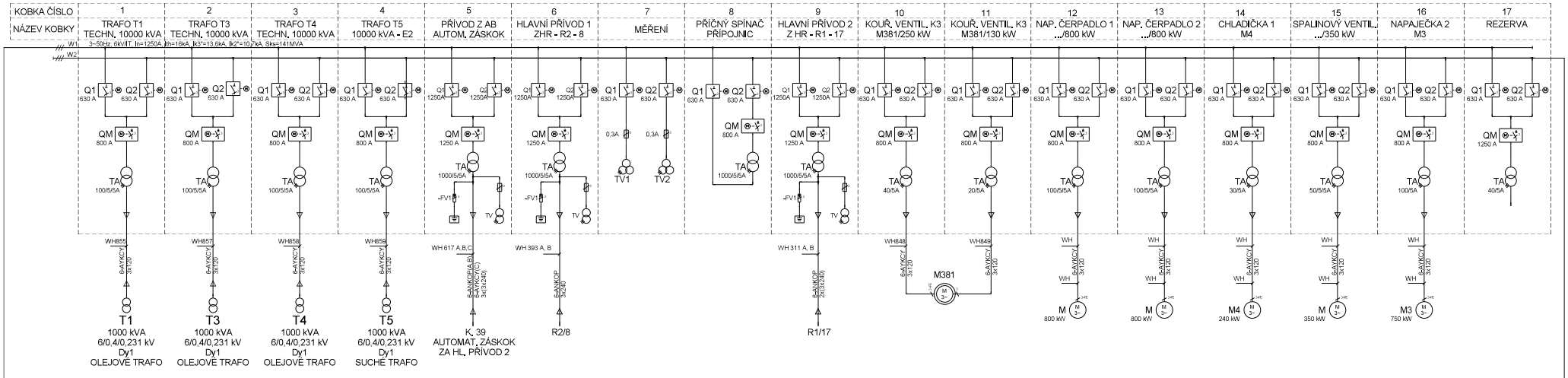
B ELEKTRICKÉ SCHEMA ET A.S.

Schéma LDS ET,a.s. – jih-sever

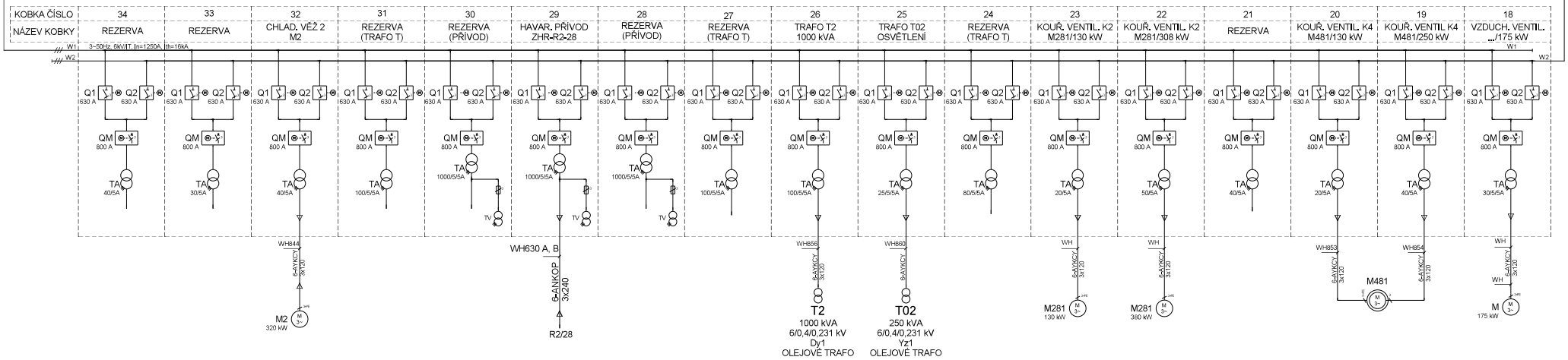


C LINIOVÉ SCHEMA ROZVODNY R3

ROZVODNA 6 kV EII R3 VLASTNÍ SPOTŘEBA - ČÁST 1, 2



ROZVODNA 6 kV EII R3 VLASTNÍ SPOTŘEBA - ČÁST 3, 4



NAPĚŤOVÉ SOUSTAVY

3PE ~ 50 Hz 6,3 kV AC/IT
2 - 220 V DC/IT
3N ~ 50 Hz 100 V AC/TT

			Datum	30.3.2013	VUT Brno	Energetika Třinec a.s.	Rozvodna 6 kV EII R3 - Vlastní spotřeba	=
			Zprac.	Roman Borski				+
			Zkontr.		Schéma rozvodny R3 6 kV ET a.s.		001	List 1
Změna	Datum	Název	Pův.		Náhrada z	Nahrazeno čím		List 3

D NASTAVENÍ DIGITÁLNÍ OCHRANY V PROGRAMU DIGSI

R3-VS / k.c.4-T5 / 7SJ801 V4.6

MLFB: 7SJ80121*B001FA0
Parameter set version: V04.62.04
Device path: C:\Siemens\Digsi4\D4PROJ\R3-VS\P7DI\GV\SD\00000006
Author:
Creation date: 17.05.13 13:33:25
Last modified: 22.05.13 00:40:12
Operating mode: Offline
Comment:
Setting values in: Secondary value description

P R I N T - C O N T E N T S

1 Device Configuration 3
2 Configuration - complete (sorted by line) 4
2.1 Measured values 4
2.1.1 Measurement 4
2.2 Metered values 5
2.2.1 Energy 5
2.2.2 Statistics 5
3 Configuration - short (column-oriented) 6
4 Interfaces 7
4.1 Serial interface on PC: 7
4.2 VD addresses 7
4.3 Operator Interface 7
5 General Device Settings 8
5.1 Group Device; Group General 8
6 Power System Data 1 9
6.1 Group Power System Data 1; Group Power System 9
6.2 Group Power System Data 1; Group Prot.Op. quant. 9
6.3 Group Power System Data 1; Group CT's 9
6.4 Group Power System Data 1; Group Breaker 9
6.5 Group Power System Data 1; Group Threshold BI 9
7 Oscillographic Fault Records 10
7.1 Group Oscillographic Fault Records; Group Osc. Fault Rec. 10
8 Settings groups 11
8.1 Group Power System Data 2; Group General 11
8.2 Group DMT / IDMT Phase/Earth Overcurrent; Group General 11
8.3 Group DMT / IDMT Phase/Earth Overcurrent; Group DMT Ph 11

8.4 Group Thermal Overload; Group General 11
8.5 Group Thermal Overload; Group Therm Over Load 11
8.6 Group Measurement Supervision; Group General 12
8.7 Group Measurement Supervision; Group MeasSupervision 12
8.8 Group Energy; Group Measurement 12

1 Device Configuration

No.	Function	Scope
0103	Setting Group Change Option	Disabled
0104	Oscillographic Fault Records	Enabled
0112	DMT / IDMT Phase	Definite Time only
0113	DMT / IDMT Earth	Disabled
0127	DMT 1Phase	Disabled
0117	Cold Load Pickup	Disabled
0122	2nd Harmonic Inrush Restraint	Disabled
0131	(sensitive) Earth fault	Disabled
0140	Unbalance Load (Negative Sequence)	Disabled
0142	Thermal Overload Protection	Without ambient temperature measurement
0170	Breaker Failure Protection	Disabled
0172	Circuit Breaker Wear Monitoring	Disabled
0182	Trip Circuit Supervision	Disabled
	Flexible Function	

2 Configuration - complete (sorted by line)

No filter

2.1 Measured values

2.1.1 Measurement

I L1
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

I L2
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

I L3
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

IN
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

I1 (positive sequence)
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

I2 (negative sequence)
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

3I0 (zero sequence)
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

Frequency
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

Senstive Earth Fault Current
Type: MV - Measured value

Thermal Overload
Type: MV - Measured value
Configured to destination:
CFC

2.2 Metered values

2.2.1 Energy

Pulsed Energy Wp (active)
Type: PMV - Pulse metered value

Pulsed Energy Wq (reactive)
Type: PMV - Pulse metered value

2.2.2 Statistics

Number of TRIPs=
Type: PMV - Pulse metered value

3 Configuration - short (column-oriented)

4 Interfaces

4.1 Serial interface on PC:

Address (operator interface device): 1
Frame: 8 E(ven) 1
Baud rate: 38400
COM interface: 1
Frame, Baud Rate and Address settings:
-> Apply from "Operator Interface" tab

4.2 VD addresses

VD address: 3
SIPROTEC SYS VD address: 10001
Proxy VD address: 4
SIPROTEC T103 VD address: 0

4.3 Operator Interface

DIGSI link address: 1
Frame: 8 E(ven) 1
Baud rate: 38400
Max. telegram gap (0...50): 0
IP address: 192.168.1.1
Subnet mask: 255.255.255.0
Link layer: PPP (point-to-point, serial)
Access authorization at interface for
-> parameter settings
-> and test and diagnostics
Access rights: Full access

5 General Device Settings

5.1 Group Device; Group General

No.	Settings	Value	Group
0610	Fault Display on LED / LCD	Display Targets on every Pickup	All
0611	Spontaneous display of flt.annunciations	NO	All

6 Power System Data 1

6.1 Group Power System Data 1; Group Power System

No.	Settings	Value	Group
0214	Rated Frequency	50 Hz	All
0209	Phase Sequence	L1 L2 L3	All
0201	CT Starpoint	towards Busbar	All
0251A	CT Connection	IL1, IL2, IL3, (IE)	All
0235A	Storage of th. Replicas w/o Power Supply	YES	All

6.2 Group Power System Data 1; Group Prot.Op. quant.

No.	Settings	Value	Group
0250A	Time Overcurrent with 2 phase prot.	ON	All

6.3 Group Power System Data 1; Group CT's

No.	Settings	Value	Group
0204	CT Rated Primary Current	100 A	All
0205	CT Rated Secondary Current	5A	All
0217	IE-CT rated primary current	100 A	All
0218	IE-CT rated secondary current	5A	All

6.4 Group Power System Data 1; Group Breaker

No.	Settings	Value	Group
0210A	Minimum TRIP Command Duration	0,15 sec	All
0211A	Maximum Close Command Duration	1,00 sec	All
0212	Closed Breaker Min. Current Threshold	0,20 A	All

6.5 Group Power System Data 1; Group Threshold BI

No.	Settings	Value	Group
0220	Threshold for Binary Input 1	Threshold for Binary Input: 19V	All
0221	Threshold for Binary Input 2	Threshold for Binary Input: 19V	All
0222	Threshold for Binary Input 3	Threshold for Binary Input: 19V	All

7 Oscillographic Fault Records

7.1 Group Oscillographic Fault Records; Group Osc. Fault Rec.

No.	Settings	Value	Group
0401	Waveform Capture	Save with Pickup	All
0402	Scope of Waveform Data	Fault event	All
0403	Max. length of a Waveform Capture Record	2,00 sec	All
0404	Captured Waveform Prior to Trigger	0,25 sec	All
0405	Captured Waveform after Event	0,10 sec	All
0406	Capture Time via Binary Input	0,50 sec	All

8 Settings groups

8.1 Group Power System Data 2; Group General

No.	Settings	Value	Group
1102	Measurement: Full Scale Current (100%)	100 A	A
1107	Motor Start Current (BLK OVL,Start Mon.)	5,00 A	A
1108	P,Q operational measured values sign	not reversed	A

8.2 Group DMT / IDMT Phase/Earth Overcurrent; Group General

No.	Settings	Value	Group
1201	Phase Time Overcurrent	ON	A
1213A	Manual Close Mode	I>> instantaneously	A
1215A	Dropout Time Delay DMT Phase	0,00 sec	A

8.3 Group DMT / IDMT Phase/Earth Overcurrent; Group DMT Ph

No.	Settings	Value	Group
1219A	I>>> measurement of	Fundamental component	A
1216A	I>>> active	Always	A
1217	I>>> Pickup	oo A	A
1218	T I>>> Time Delay	0,00 sec	A
1220A	I>> measurement of	Fundamental component	A
1214A	I>> active	Always	A
1202	I>> Pickup	31,00 A	A
1203	T I>> Time Delay	0,10 sec	A
1221A	I> measurement of	Fundamental component	A
1204	I> Pickup	6,10 A	A
1205	T I> Time Delay	0,60 sec	A

8.4 Group Thermal Overload; Group General

No.	Settings	Value	Group
4201	Thermal overload protection	OFF	A

8.5 Group Thermal Overload; Group Therm Over Load

No.	Settings	Value	Group
4202	K-Factor	0,90	A
4203	Time Constant	10,0 min	A
4204	Thermal Alarm Stage	90 %	A
4205	Current Overload Alarm Setpoint	5,00 A	A
4207A	Kt-FACTOR when motor stops	1,0	A
4208A	Emergency time	100 sec	A

8.6 Group Measurement Supervision; Group General

No.	Settings	Value	Group
8101	Measurement Supervision	OFF	A

8.7 Group Measurement Supervision; Group MeasSupervision

No.	Settings	Value	Group
8104	Current Balance Monitor	2,50 A	A
8105	Balance Factor for Current Monitor	0,50	A

8.8 Group Energy; Group Measurement

No.	Settings	Value	Group
8315	Meter resolution	Standard	A