

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Miroslav Dostál

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kontrola zkratových poměrů v průmyslu
Control of Short Circuit Conditions in Industrial
Company

2015

Bc. Miroslav Dostál

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Dostál**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Kontrola zkratových poměrů v průmyslovém podniku**
Control of Short Circuit Conditions in Industrial Company

Zásady pro vypracování:

1. Problematika napájení průmyslových podniků
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových poměrů
3. Popis provozního zapojení sítě průmyslového podniku
4. Výpočet zkratových poměrů na určených rozvodnách
5. Kontrola zařízení z hlediska účinků zkratového proudu

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Trojánek Z., Hájek J., Kvasnica P.: Přechodové jevy v elektrizačních soustavách, SNTL Praha, 1987
2. Hradílek Z.: Elektroenergetika I a II. Skripta VŠB-TU, 1992 a 1993
3. Normy ČSN
4. Další literatura podle pokynů vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne: 31. 7. 2015

podpis: Dabál

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za odbornou pomoc, připomínky a vstřícnost při zpracování této diplomové práce.

Děkuji panu Ing. Marku Tinkovi, Ph.D. za poskytnutí potřebných podkladů a za cenné rady při zpracování této diplomové práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby:

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne: 15.6.2015

podpis: 

Abstrakt

Ve své diplomové práci se zabývám výpočtem a kontrolou zkratových poměrů na hladině VN průmyslového podniku. Daná problematika je zde řešena jak teoreticky tak prakticky.

Teoretická část rozebírá hlouběji problematiku napájení průmyslových podniků, následuje teorie k rozboru výpočtových metod zkratových poměrů a popis provozního zapojení sítě průmyslového podniku.

V praktické části práce početně řeším zkratové poměry pro určité možnosti zapojení provozních schémat. V poslední části této práce blíže popisují kontrolu VN kabelů z hlediska účinků zkratového proudu.

Abstract

In his diploma thesis deals with calculation and control of short-circuit conditions at the surface VN industrial enterprise. The issue here is addressed both theoretically and practically.

The theoretical part discusses the deeper issues of supply of industrial enterprises, followed by the theory of computational methods for the analysis of short-circuit conditions and a description of the operational involvement of an industrial enterprise networks.

In the practical part I solve numerically short ratios for some possible connections operation schemes. In the last part of this work describes the control of MV cables in terms of the effects of short-circuit current.

Klíčová slova

Zkrat, zkratové poměry, zkratový proud, zkratový výkon, impedance, napájení v průmyslu, rozvody v průmyslu

Key Words

Short-circuit, short-circuit conditions, the short circuit current, short-circuit power, impedance, power industry, distribution industry

Seznam použitých symbolů a zkratk:

ČSN	označení českých technických norem
EN	převzaté (harmonizované) evropské normy
tzv.	takzvaný
NN	nízké napětí
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
ZVN	zvláště vysoké napětí
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise
Ing.	akademický titul inženýr
EU	Evropská unie
GW	gigawatt
kW	kilowatt
UPS	zdroj nepřerušovaného napájení
AlFe	ocelovo-hliníkové vodiče, pro venkovní elektrické vedení
V	volt
kV	kilovolt
Hz	hertz
A	ampér
kA	kiloampér
MVA	megavoltampér
viz	možno vidět
mm ²	milimetr čtvereční
m	metr
SF ₆	fluorid sírový - dielektrický plyn pro vysokonapěťové aplikace
atd.	a tak dále
RL	obvod obsahující sériově řazený zdroj napětí, odpor a cívku
UCTE	Union for the Coordination of Transmission of Electricity - Sdružení pro koordinaci přenos u elektrické energie

Poznámka: Význam dalších symbolů a zkratk je kvůli přehlednosti popsán přímo v textu této práce.

Obsah

Úvod	1
1. Problematika napájení průmyslových podniků	4
1.1 Požadavky na elektrický silnoproudý rozvod	4
1.1.1 Provozní spolehlivost	4
1.2 Elektrizáční soustava	7
1.2.1 Struktura elektrizáční soustavy	7
1.3 Řešení různých napěťových soustav z hlediska spojení uzlů vinutí transformátorů	12
1.3.1 Způsoby provozu uzlu transformátoru	12
1.4 Elektrické stanice	15
1.4.1 Dělení elektrických stanic dle různých hledisek:	16
1.4.2 Zařízení elektrických stanic	16
1.4.3 Základní prvky rozvodného zařízení jsou:	18
1.4.4 Podle konstrukčního systému rozvodného zařízení rozlišujeme	18
1.4.5 Schéma elektrických rozvodných zařízení	19
1.4.6 Provozní požadavky	19
1.4.7 Bezpečnostní požadavky	19
1.4.7 Schéma rozvodného zařízení může být:	19
1.4.8 Hlavním parametrem schémat elektrických rozvodných zařízení je:	20
1.4.9 Konstrukční řešení:	24
1.4.10 Přístroje:	24
1.4.11 Transformátory	24
1.5 Rozvod elektrické energie pro průmysl	26
1.5.1 Umístění transformátorů a rozváděčů	26
1.5.2 Společné zásady pro všechny transformovny v průmyslovém rozvodu	27
1.5.3 Volba druhu transformátoru a rozváděčů	27
1.5.4 Způsob uložení kabelových vedení	28
1.5.5 Modernizace průmyslového rozvodu	29
1.5.6. Technologie projektu průmyslového závodu	29
1.5.7 Elektrické ochrany a jištění v průmyslovém podniku	30
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových poměrů	32
2.1 Zkrat	32
2.2 Příčiny zkratů	32
2.3 Účinky	32
2.4 Hlavní pojmy	33

2.5 Typy zkratů.....	36
2.5.1 Jednofázový zkrat	36
2.5.2 Dvoufázový zkrat	37
2.5.3 Dvoufázový zemní zkrat.....	37
2.5.4 Trojfázový zkrat	37
2.6 Typy zkratů dle způsobu spojení vodivých částí.....	38
2.7 Zkratové impedance v místě zkratu.....	39
2.8 Metodika výpočtu zkratových poměrů dle EN 60909	39
2.8.1 Předpoklady výpočtu	40
2.8.2 Metoda ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu.....	40
2.8.3 Metoda souměrných složek.....	40
2.8.4 Maximální zkratové proudy.....	41
2.8.5 Minimální zkratové proudy.....	41
2.8.6 Zkratové impedance elektrických zařízení soustavy.....	42
2.8.7 Síťové napáječe.....	43
2.9 Transformátory.....	44
2.9.1 Dvouvinuťové transformátory	44
2.9.2 Trojvinuťové transformátory	44
3. Popis provozního zapojení sítě průmyslového podniku.....	48
3.1 Provozní varianta zapojení č.1.....	48
3.1.1 Popis zapojení dle provozní varianty č.1	48
3.2 Provozní varianta zapojení č.2.....	50
3.2.1 Popis zapojení dle provozní varianty č.2	50
3.3 Provozní varianta zapojení č.3.....	51
3.3.1 Popis zapojení dle provozní varianty č.3	51
4. Výpočet zkratových poměrů na určených rozvodnách.....	52
4.1 Příspěvky motorů na rozvodny VN	52
4.2 Maximální zkratové poměry na rozvodnách	58
5. Kontrola zařízení z hlediska účinků zkratového proudu.....	99
Závěr:.....	100
Použité prameny:.....	101

Úvod

Co je to vlastně zkrat

Zkrat je definován platnou normou ČSN EN 609009-0 jako „náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi, vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule“.

Je však možné narazit i na jiné definice nebo popisy tohoto jevu. Obvodem protékají při zkratu tzv. zkratové proudy, jež mají v místě zkratu oproti běžnému provozu několikanásobně vyšší hodnotu – to má za následek pokles napětí v síti. V místě působení zkratu často vzniká elektrický oblouk, popřípadě se zkrat může projevat i jinými efekty... [1] [2]

Proč zkraty počítáme?

Obvykle se provádějí výpočty zkratů v souvislosti s těmito činnostmi:

- dimenzování elektrických zařízení vzhledem k tepelným a silovým (dynamickým) účinkům zkratových proudů
- s ohledem na průběh zkratového proudu se zkoumají vypínače a parametry zotaveného napětí
- navrhování uzemňovacích soustav, určení dotykových napětí (včetně krokových napětí) a zavlčených napětí
- navrhování a přezkoumání činnosti elektrických ochranných a jističích prvků
- přezkoumání stabilního chodu paralelně pracujících synchronních strojů
- kontrola napětíových poměrů, při rozběhu pohonů s asynchronními motory a při zkratových stavech
- určení napětí indukovaných soustavami VVN nebo ZVN v pláštích kabelů, v kovových potrubích uložených v zemi nebo na povrchu a ve sdělovacích vedeních
- posouzení vlivu šíření vyšších harmonických v elektrizační soustavě
- zvažování vzniku přepětí při zemních spojeních a zkratech
- kontrola způsobilosti provozního zapojení dílčích částí elektrizační soustavy [2]

Z historie norem pro výpočet zkratů

Již počátkem elektrizace vznikla problematika zkratů, v souvislosti s návrhem hlavních parametrů elektrického zařízení a s jeho dimenzováním. Výpočty počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k v jednoduchém obvodu spočívají v aplikaci Ohmova zákona na

výpočtovou impedanci, při znalosti vnitřní impedance a napětí napájecího zdroje. V průběhu času byla pro potřebu techniků připravena celá řada praktických postupů, lišících se nejen různými zjednodušeními. Výpočet většinou býval prováděn pomocí využití procentních nebo poměrných hodnot impedancí při zvoleném vztažném výkonu, jeho výstupní hodnoty pak byly zkratové proudy nebo zkratové výkony. Sjednocení rozdílných přístupů užívaných jednotlivými subjekty v rozličných oblastech hospodářství znamenalo postupnou standardizaci výpočtu zkratů - **ČSN 305** (z února 1952), **ČSN 38 1754** (Stavba transformoven a rozvoden VN z roku 1957). Podle normy **ČSN 38 0411** (Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě - dále doplněné a upravené o změnu v roce 1970) byla navržena celá řada dosud provozovaných zařízení. Tato norma byla v technické praxi využívána i po jejím zrušení, až do 90. let 20. století. Výpočet se prováděl procentními či poměrnými impedancemi, nebo se řešil pomocí skutečných hodnot impedancí. K tehdejšími jmenovitým napětím sítí a přístrojů (0,220 - 0,380 - 0,500 - 3 - 6 - 10 - 15 - 22 - 35 - 110 - 220 - 380 a později 400 kV) norma definovala řadu výpočtových napětí (0,23 - 0,400 - 0,525 - 3,15 - 6,3 - 10,5 - 15,75 - 23,00 - 36,75 - 115 - 230 - 400 kV). Imaginární převody transformátorů souhlasily s výpočtovým napětím, takže přepočet impedancí z jedné napěťové hladiny na druhou se velmi zjednodušil. Pro letný výpočet bylo možné provádět výpočty pouze s činnými odpory nebo reaktancemi. Odvození nárazového zkratového proudu I_{km} se řešilo z počátečního souměrného rázového zkratového proudu dle poměru R/X zkratového obvodu, nebo pro různá místa zkratu pomocí tabulkového součinitele K . Obdobným způsobem se dal určit i ekvivalentní oteplovací proud, jehož hodnota závisela na místě a délce trvání zkratu. Pouze při výpočtu nárazového (dynamického) zkratového proudu se uvažovalo s příspěvkem od asynchronních motorů. V soustavách NN byly redukce vypočtených hodnot zkratových proudů 15 až 25 %, s ohledem na spoje NN zařízení a vnitřní impedanci přístrojů. Pro stanovení průběhů zkratových proudů a zkraty upřesňujících výpočtů obsahovala norma tabulky a křivky hodnot poměrově odvozených pro typové hydro- a turbo alternátory. Norma též obsahovala vztahy pro zjednodušování náhradních schémat a řadu řešených příkladů.

V roce 1981 zveřejnil k ověření doc. Ing. František Němeček, CSc. návrh normy **ČSN 33 3020** (Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě). Tímto návrhem přetvořil velice zásadně a komplexně již starou **ČSN 38 0411**. Pro elektricky vzdálené zkraty byla použita metoda součinitelů a pro zkraty elektricky blízké synchronnímu stroji byly v normě vypočtené tabulky pro typy generátorů. Výpočtová napětí a fiktivní převody transformátorů ponechával, požadoval však podrobnější zahrnutí vlivu asynchronních motorů. Výpočty podle této normy sloužily k rychlému zjištění zkratových poměrů. V případě nedostačujících výsledků se daly použít výpočty podle některé z přesnějších metod (matematický model respektující zatížení v soustavě před poruchou, výpočty vycházející z řešení soustavy diferenciálních rovnic). Z hlediska praktického použití se návrh neuchytil. Pro většinu techniků byl asi, ve srovnání s platnou **ČSN 38 0411**, málo uživatelsky přívětivý a nedotažený.

V roce 1988 vznikla **ČSN 33 3020** (Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě). Tato norma zpracovaná Ing. Vladislavem Reimarem (Energoprojekt - Praha), dle tehdy platného systému ČSN, byla normou závaznou. Norma byla oproti předchozímu návrhu podstatně upravena, došlo v ní k zahrnutí některých postupů podle návrhu mezinárodní normy IEC 909. Pro řešení výpočtu zkratu elektricky blízkého alternátoru byly v normě analytické vzorce tzv. „zkratových násobitelů“. Při reálném používání této normy byly zjištěny některé nedostatky v pracovních postupech a řada tiskových chyb. Převážná část tiskových chyb byla odstraněna ve druhém vydání normy, nedostatky v pracovních postupech však zůstaly. Z nedostatků např. vynikly - způsob respektování asynchronních motorů jedním ekvivalentním motorem, jehož zkratový příspěvek se uplatňuje společně s příspěvkem z nadřazené sítě, vliv společné cesty zkratových příspěvků různého charakteru, použití fiktivních převodů transformátorů odpovídajících jmenovitému napětí sítě, výpočet zjednodušenými vzorci při stanovování hodnoty Jouleova integrálu a chyby ve vztazích pro výpočet parametrů elektricky blízkého zkratu.

V roce 1989 zpracoval Ing. Josef Vokál (Energoprojekt Praha) návrh změny **ČSN 33 3020** z roku 1988, jenž sledoval tyto cíle:

- opravit tiskové chyby
- vytvořit metodické úpravy s důrazem na praktické zkušenosti při provádění výpočtů
- dát do pořádku způsob respektování asynchronních motorů
- zdůraznit v textu místa a normy, kde může být různým způsobem prováděn výpočet v souladu s jeho účelem a použitými výpočetními prostředky
- podle možností prověřit platnost některých vztahů, upřesnit a doplnit hrubé hodnoty koeficientů a parametrů
- uvést postupy výpočtů podle vztahů z normy IEC 909,
- zpracovat provádění výpočtu podle zásad IEC 909 a IEC 865

Tento návrh změn však musel respektovat členění a uspořádání ČSN 33 3020 z roku 1988. Konečný návrh normy byl zpracován po připomínkovém řízení po zapracování všech změn. Roku 1990 v září byl předán Úřadu pro normalizaci a měření. Ten ji následně vydal jako revidovanou normu v září 1992. Platnost této normy byla až do 1. 7. 2004. Po jejím zrušení se v této oblasti plně přešlo na normy IEC a EU, zavedené do soustavy ČSN překladem. [2]

1. Problematika napájení průmyslových podniků

Mezi nejvznešenější a vůbec nejpoužívanější druhy energií v dnešní době patří elektrická energie. Tento výrok je podložen převážně výhodami, mezi něž patří především užití v běžném životě lidí i v různých oblastech výroby, možnost jednoduché zpětné transformace na jiné různé druhy energií, transport na velké vzdálenosti nebo výroba elektrické energie z jakýchkoliv primárních energetických zdrojů. Na stranu nevýhod patří zejména téměř nemožné skladování (nebo jen s obtížemi v podobě akumulátorů a přečerpávacích elektráren), neblahý vliv na lidský organismus (dochází ke znečišťování životního prostředí), dlouhodobá návratnost investovaných nákladů a malá účinnost převažujících tepelných elektráren (cca 30%).

Na území České republiky se vyrábí a v sítích energetiky přenáší elektrický výkon o hodnotě blížící se 10 GW [3] [6]

1.1 Požadavky na elektrický silnoproudý rozvod

V souladu s předpisy mezinárodní i národní platnosti a s platnými elektrotechnickými normami musí veškerá elektrická rozvodná zařízení i elektrické přístroje vyhovovat následujícím požadavkům:

1.1.1 Provozní spolehlivost

Provozní spolehlivost elektrického silnoproudého rozvodu a rozvodného zařízení znamená schopnost předat a přenést elektrickou energii v požadované kvalitě a množství na určité místo v daném časovém horizontu. Tomuto nároku musí být uzpůsobena přístrojová výstroj i provedení elektrického silnoproudého rozvodu. To pro mnohé případy znamená nutnost zvláštních požadavků na provedení rozvodu, kdy je potřeba zabezpečit dodávku elektrické energie důležitým spotřebičům i nezávislým záložním zdrojem. Z tohoto stanoviska děláme rozdíly v takzvaných stupních důležitosti spotřeby.

1.1.1.1 Spotřeba 1. stupně důležitosti

Spotřebič 1. stupně důležitosti je především spotřebič, nebo skupina spotřebičů, u nichž by mohlo v případě výpadku napájení dojít k ohrožení zdraví nebo i života, popřípadě k velkým národohospodářským ztrátám vlivem částečného narušení či zničení technologického procesu. U takovýchto spotřebičů je nutné zabezpečit za jakýchkoliv okolností dodávku elektrické energie – a to pomocí rezervního zdroje, jenž bude nezávislý na pracovním zdroji. V tomto případě můžeme zařadit mezi nezávislé zdroje: záskokový UPS zdroj, dieselagregát, silový transformátor napájený vedením VVN z jiné strany.

Příklad spotřebičů 1. stupně důležitosti – odvětrávání chráněných únikových cest pomocí ventilace (požární bezpečnost staveb), zdravotnické zařízení s nepřetržitým provozem, zařízení pro zpracování a přenos dat, tavicí pec nebo důlní zařízení.

1.1.1.2 Spotřeba 2. stupně důležitosti

Pro tuto kategorii spotřeby se výpadek napájení projeví omezením nebo zastavením chodu. Nedochází k narušení technologických procesů, ohrožení zdraví či životů lidí. Dodávku elektrické energie u tohoto druhu spotřebičů je třeba pokud možno zajistit, není však vyžadováno zvláštních zařízení či opatření pro náhradní napájení, a to ani za pomoci záskokového zdroje elektrické energie. Napájení je provedeno zálohováním nebo je určeno místními poměry.

Příklad spotřebičů 2. stupně důležitosti - obráběcí stroje, průmyslové provozy, různé mechanické dílny.

1.1.1.3 Spotřeba 3. stupně důležitosti

V této kategorii jsou zahrnuty všechny ostatní spotřebiče a odběratelé, u kterých nemusí být zajištěna dodávka elektrické energie speciálními prostředky. Napájení je provedeno bez zálohy pouze jedním zdrojem.

Příklad spotřebičů 3. stupně důležitosti – školy, úřady, bytové jednotky.

Je třeba si uvědomit, že v rámci jednoho objektu (komplexu) je obvykle více zařízení o různých stupních důležitosti. Náhradní zdroje elektrické energie se potom navrhují jen pro pokrytí spotřeby prvního stupně důležitosti.

1.1.1.4 Snadná orientace v provozu

Kvůli potřebám rychlé lokalizace a případného odstranění poruchy je požadováno přehledné uspořádání rozvodných zařízení. To je důležité u elektrických stanic a rozvodů, kde je rozmístěno značné množství elektrických zařízení, přístrojů a předmětů. K větší přehlednosti přispívá např. tablo se schématem zapojení, tablo vzniklých závad nebo monitor, na kterém je možno vidět okamžité údaje o vybraném zařízení.

1.1.1.5 Přizpůsobitelnost rozvodného aparátu

Přizpůsobitelnost je důležitá zejména v provozech průmyslu, kde dochází v průběhu pracovní činnosti ke změnám polohy či stanoviště některých strojů a spotřebičů nebo svým charakterem patří ke spotřebičům pohyblivým, převozným či nějakým způsobem přenosným. Tomuto musí odpovídat i koncept rozvodného zařízení, v němž bude zajištěno napájení spotřebičů na každém stanovišti i při různých podmínkách činnosti. V těchto případech má velký

význam určitý stupeň všestrannosti rozmístění rozvodného zařízení, které poskytuje možnost rychlého připojení uvedených spotřebičů k rozvodné soustavě. V průmyslovém závodě je příkladem takového uspořádání přípojnicový rozvod. Na staveništích se s podobnými požadavky setkáváme i u rozvodných zařízení prozatímní povahy.

1.1.1.6 Rychlé odstranění závad

Závady znamenají pro rozvod elektrické energie nežádoucí stav. Dochází ke zhoršení přísunu elektrické energie odběratelům. Preventivními opatřeními lze jejich množství snížit na menší míru, ale nelze je z provozu rozvodných zařízení zcela vyloučit. Kvůli tomu je v rozvodech užíváno elektrických ochran, jež zajistí nejrychlejší odpojení postižené části rozvodu od zdrojů elektrické energie. Schopností elektrických ochran je zjistit místo a druh poruchy a následně v co nejkratším časovém intervalu odepnout poškozený úsek. Čím rychleji se postižené místo odpojí, tím menší jsou i následky.

1.1.1.7 Ekonomika provozu

Díky univerzálnosti a možnostem užití elektrické energie došlo ke značnému rozšíření elektrických strojů, přístrojů a spotřebičů různých typů. Provoz takových zařízení však musí být vykonáván tak, aby pracovala s co nejmenšími ztrátami a s co největší účinností. Při plánování rozvodných zařízení je nutné, aby zdroje elektrické energie, průřezy napájecích cest i elektrické přístroje řazené v rozvodu korespondovaly s úrovní zatížení a využitím elektrických spotřebičů. V tomto smyslu tvoří úsporu v elektrickém rozvodu vhodné využití průřezů vodičů i jmenovitých výkonů elektrických přístrojů. Pokud v době životnosti vodiče nedojde k významnému nárůstu zatížení, je zbytečné navrhovat vodiče a kabely s velkou rezervou zatížení. Přenosová schopnost materiálu vodičů není hospodárně využita a dochází ke zbytečnému zvyšování investičních nákladů. Nehospodárné jsou i předimenzované výkonové rezervy u navrhovaných elektrických spotřebičů.

1.1.1.8 Ekonomické využití opakovaných celků

V silnoproudých elektrických rozvodech se vyskytují v různých typizovaných velikostech jednotlivé elektrické přístroje a zařízení. Mezi ně patří svítidla, vodiče, vypínače, rozvaděče nebo i transformátory. Při konstruování elektrických rozvodů musí být výběr těchto zařízení a přístrojů takový, aby bylo zaručeno jejich ekonomické využití v provozu a aby nevznikaly zbytečně velké výkonnostní rezervy v užitých materiálech přenosových cest, normalizovaných zařízeních a přístrojích.

1.1.1.9 Ekonomika užití barevných kovů

V silnoproudém elektrickém rozvodu se jako elektrovedné materiály pro vodiče používají především hliník, měď a ocel. Užití oceli má význam u venkovních elektrických vedení jakožto nosné médium části vodičů AlFe a závěsných kabelů. Pro malé průřezy ve vnitřních rozvodech bývá užito měděných vodičů, případně větších průřezů kabelových vedení hliníku. Průřezy vodičů je nutné navrhovat tak, aby nedocházelo k nadbytku spotřeby barevných kovů, jejich přenosová schopnost odpovídala stupni zatížení a zároveň byly provozně dobře využity.

1.1.1.10 Estetické nároky

Dle účelu a povahy interiéru se mohou lišit požadavky na uložení vodičů, rozvodných krabic, zásuvek a vypínačů. Dále mohou být různé nároky na umístění vhodných svítidel pro určitý prostor. Světelné zdroje a rozvodná zařízení, včetně jejich polohy, musí být v harmonii s celkovým řešením interiéru. Je třeba, aby na daném řešení byly koordinovány investice pro elektrotechnické a architektonické práce. [3] [7] [10]

1. 2 Elektrizační soustava

1.2.1 Struktura elektrizační soustavy

Z místa výroby elektrizační soustava přenáší a rozvádí elektrickou energii až do místa její spotřeby. Obvykle se skládá z přenosových a rozvodných (distribučních) soustav. Soustavy přenosové přenáší velké výkony mezi hlavními uzly soustavy elektrizační. Soustavy rozvodné rozdělují elektrickou energii z napájeného uzlu do jednotlivých skupin, oblastí spotřebičů a k jednotlivým spotřebičům. K napájení oblasti terciální sféry slouží tzv. veřejné rozvodné soustavy, ze kterých jsou napájeny rozvodné sítě průmyslové, dopravní a zemědělské.

Za účelem plnění úkolů vyplývajících z rozvoje hospodářství musí elektrizační soustava i každá její část plnit určité požadavky:

- zaručovat ochranu osob
- zajišťovat kvalitní, spolehlivou a postačující dodávku elektrické energie spotřebitelům
- výrazně snižovat namáhavost prací při údržbě a provoz soustavy
- pracovat s co nejvyšší efektivností
- pracovat s vysokými parametry, s větším počtem zdrojů a s větším počtem elektrických stanic
- užívat odpadního tepla

- umožnit řízení odběru elektrické energie
- být materiálově nenáročná (zejména v případě deficitních materiálů)
- zabraňovat škodlivým vlivům soustavy na okolí (životní prostředí) [5]

Elektrizační soustavy tvoří: jednotlivé výroby, sítě (přenosové, rozvodné), elektrické stanice (základní spojovací prvek) a spotřebiče elektrické energie. Elektrické sítě jsou souhrny všech galvanicky spojených částí stejného napětí. V rámci elektrizační soustavy mluvíme o sítích 110 kV, 22 kV atd. Sítě různých napěťových a proudových soustav jsou od sebe odděleny měnírnami nebo transformovny. U nás se přenáší elektrická energie soustavami 3 ~ 50 Hz 400 kV a 3 ~ 50 Hz 220kV, obě s uzemněným uzlem. Části s napětím 220 kV se dále nerozvíjejí. Vyšší napětí na území České Republiky není dosud použito. [5]

1.2.1.1 Napěťové úrovně přenosové soustavy

1.2.1.1.1 Střídavé napětí

Pomocí technicko-ekonomické rozvahy je volena velikost přenosového a rozvodného napětí. Jejich volba závisí na velikosti a vzdálenosti přenášeného výkonu. V počátcích elektrifikace se volilo napětí technicko-ekonomickým výpočtem, příslušná zařízení byla vyráběna přímo k němu na míru = různá řada napětí v jednotlivých státech. Z důvodu stoupající mezinárodní spolupráce bylo potřeba utvořit jednotnou řadu napětí- I přesto se normalizované řady některých států liší. Pro příklad rozdíl mezi českou a francouzskou řadou:

Tab. 1 Řady napětí [11]

ŘADA NAPĚTÍ	
ČESKÁ [kV]	FRANCOUZSKÁ [kV]
400	380
220	225
110	123
22	22

Vzhledem k malým rozdílům lze používat stejná zařízení v různých státech. Pro použití však tato zařízení musí být vyrobena s určitou tolerancí. Napěťové úrovně mají danou **jmenovitou hodnotu** a **provozovací hodnotu**, tzn. nejvyšší napětí, při kterém lze ještě síť trvale provozovat.

S evropskou sítí UCTE je propojena napěťová soustava 400 kV. Uzlové stanice 400 kV (220 kV) / 110 kV, přenosové soustavy a částečně zdroje menších výkonů napájí distribuční (rozvodnou) soustavu. Její základní napětí je VVN 110 kV. Dále pokračuje přes úrovně VN, které jsou dány velikostí území a rozsahem odběru. V regionech s 35 kV sítí jsou menší obce napájeny 10 kV, u regionů s 22 kV se napájí 6 kV. Hodnota nízkého napětí bývá

převážně 400 V, ostatní hodnoty napětí uvedené v tabulce jsou využívány vzácně. Distribuční soustava je převážně přirovnávána k městskému nebo venkovskému rozvodu. Veřejná distribuční soustava napájí též elektrické trakce a průmyslové závody. [8] [11]

1.2.1.1.2 Stejnoseměrné napětí

Napájení dopravního prostředku, jako je vlak, tramvaj, trolejbus, metro:

3000; 1500; 750; (600) [V]

Napájení malých prostředků jako, jako jsou malé motory, nouzová osvětlení, automatiky, signalizace, ovládání atd.:

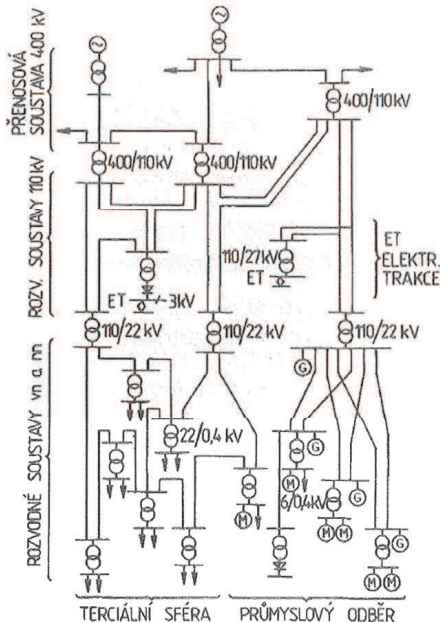
600; 440; 220; 110; 60; 48; 24; 12 [V]

Přenos velkých výkonů při 500 kV stejnosměrných se v České republice nepoužívá

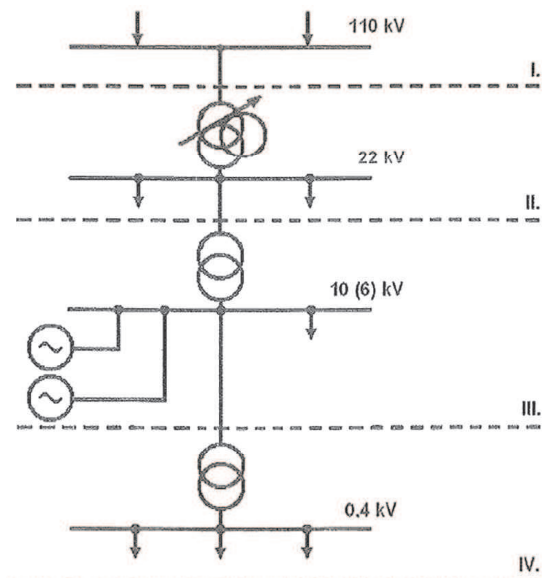
V normalizované stupnici jsou uvedena **sdružená napětí**, viz příložená tabulka v kilovoltech. [11]

Tab. 2 Napěťové úrovně v elektrizační soustavě [11]

Nízké napětí (NN) [kV]	jmenovité	0,4/0,23			0,50	0,69
	max. provozovací	0,42/0,241				0,73
Vysoké napětí (VN) [kV]	jmenovité	3	6	10	22	35
	max. provozovací	3,6	7,2	12	25	37
Velmi vysoké napětí (VVN) [kV]	jmenovité	110		220	400	-
	max. provozovací	123		245	420	-
Zvlášť vysoké napětí (ZVN) [kV]	jmenovité	750				
	max. provozovací	787 (předp. se zvýšení na 800)				



Obr. 1 Struktura elektrizační soustavy [5]



Obr. 2 Znárodnění návaznosti jednotlivých hladin napětí distribučních rozvodných soustav [5]

1.2.1.1.2 Užití napěťových soustav

Na hladinách 400 kV a částečně i na 220 kV jsou realizovány nadřazené soustavy. V naší republice bylo v padesátých letech nejvyšší napětí 220 kV, avšak od šedesátých let se vybudováním 400kV sítě soustava 220kV dále nerozvíjela, začala se používat jako doplněk nadřazené soustavy.

Sítě 110 kV, sítě VN a NN se označují za distribuční a jsou obhospodařovány „rajónními energetikami“. [11]

1.2.1.2 Principiální uspořádání elektrických sítí

1.2.1.2.1 Síť přenosové

Hlavním posláním přenosových sítí je propojení uzlů, do kterých je elektrická energie zavedena z elektráren a uzlů. Z hlediska nákladů na výrobu a přenos je rozložení výkonů zoptimalizováno pro celou oblast. Kvůli svému převažujícímu postavení je tato síť nazývána soustavou přenosovou - nadřazenou. [8]

1.2.1.2.2 Síť distribuční

Distribuční - rozvodné sítě poskytují elektrickou energii spotřebitelům. Do distribučních sítí se připojují pouze výrobní zdroje malých výkonů, jež jsou označovány jako „distribuované“. Mohou to být obnovitelné zdroje využívající energii vody, větru, biomasy, slunce, malé průmyslové elektrárny, kogenerační jednotky a jiné. Zdrojem elektrické energie pro distribuční sítě je nadřazená soustava. [8]

1.2.1.2.3. Hledisko propojení a provozu základních druhů sítí

Základní dva druhy jsou:

- Otevřený rozvod - elektrická energie je spotřebiči dodávána jednou cestou.

Mezi rozvody otevřené patří rozvod paprskový (radiální) a průběžný.

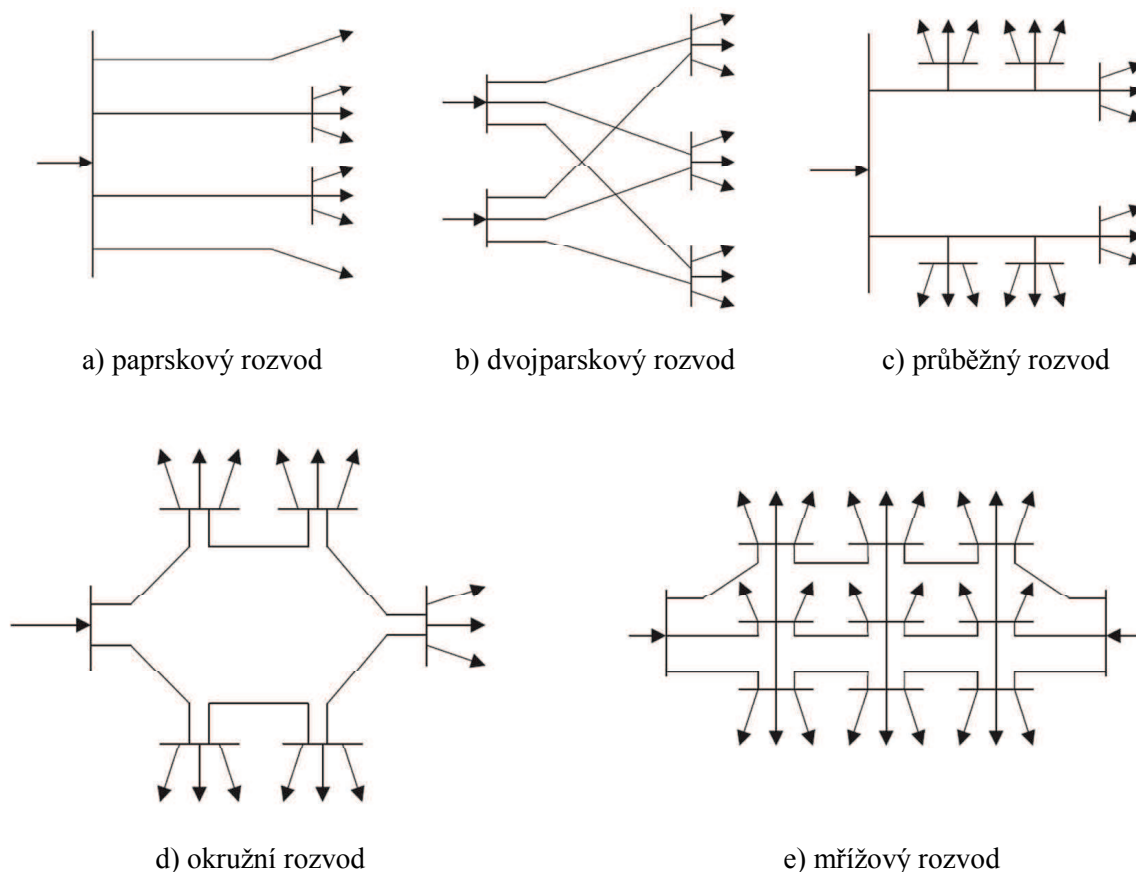
- Uzavřený rozvod - napájení je zajištěno minimálně ze dvou nebo z více stran.

K rozvodu uzavřenému patří okružní rozvod a mřížová síť. Z hlediska bezpečnosti, hospodárnosti a rozdělování výkonu se vybírá vhodný druh rozvodu, záleží však na způsobu provozu řešené soustavy. [8] [11]

Nadřazená soustava 400 kV a 220 kV - konstrukčně i provozně je řešena okružní sítí, do té jsou připojeny vnitrostátní zdroje velkých výkonů, tato soustava je dále propojena se zahraničními soustavami. Její funkcí je rozložit rovnoměrně výkony s jistými ekonomickými a spolehlivostními zásadami. [8] [11]

Distribuční soustava 110 kV a VN - provozovaná paprskově, formou průběžného rozvodu. Výhodou je možnost propojení vedení do dvojpaprskového či okružního rozvodu [8] [11]

Distribuční síť NN - husté sítě jsou konstruovány jako síť mřížové, jinak se ve většině případů provozují jako paprskový nebo průběžný rozvod. Provozně nejlacinější a nejjednodušší rozvod je paprskový, bohužel jistota zásobování je nejnižší. Přerušení dodávky elektrické energie trvá několik hodin. [8] [11]



Obr. 3 Druhy rozvodů [11]

Síť 110 kV - konstrukčně paprsková - záložní propojení velkých napájecích rozvodů. Pro připojení větších měst a velkých průmyslových závodů. [8]

Síť VN - zpravidla řešeny jako paprskové nebo paprskové s možností propojení. Provozovány jako síť paprskové. Síť VN připojují menší města a menší průmyslové závody. [8]

Způsoby připojení dle rozdílných spolehlivostí:

- napájení ze dvou různých transformoven 110 kV/VN
- průběžným vedením napájení z jedné transformovny 110 kV/VN
- paprskovým vedením napájení z jedné transformovny 110 kV/VN [8]

Tab. 3 Řešení sítí jednotlivých napěťových úrovní [11]

	Napěťová úroveň	Jmenovité napětí	Uspořádání rozvodu	Spojení uzlu transformátoru
Nadřazená soustava	vvn	400 kV	Okružní	Účinně uzemněný
		220 kV		
Distribuční soustava	vn	110 kV	Průběžný, paprskový, dvojpaprskový (obvykle s možností spojení do okružního)	Neúčinně uzemněný - většinou kompenzovaný
		22 kV, 35 kV		
		10 kV		
	nn	6 kV	Průběžný, paprskový, mřížová síť	Izolovaný
		500 V		
		400/230 V		
				Účinně uzemněný s vyvedeným středním vodičem

1.3 Řešení různých napěťových soustav z hlediska spojení uzlů vinutí transformátorů

1.3.1 Způsoby provozu uzlu transformátoru

Uzly jsou vlastně nulové body soustavy. Spojení uzlu vinutí transformátoru se zemí je jeden z nejdůležitějších technicko-ekonomických ukazatelů. Vinutí transformátorů v přenosové i distribuční soustavě VVN má uzly účinně uzemněny. V distribučních sítích VN České republiky převažují venkovní vedení. Pro tento případ se provádí zemnění uzlu přes zhášecí tlumivku. S izolovaným uzlem jsou prováděny distribuční sítě VN malého rozsahu, VN sítě průmyslových závodů, vlastní spotřeby elektráren a tepláren. U VN kabelových sítí velkých měst je rozšířeno používání uzemnění uzlu přes rezistanci. Síť NN – 0,4 kV má uzemněn uzel a současně má vyveden nulový vodič. U zdravých symetrických sítí se spojení uzlu se zemí prakticky nijak neprojeví. Rozdíly nastanou až při zemní poruše. Ty jsou závislé na napětí fází proti zemi a charakteru a velikosti poruchových zemních proudů. Posuzování proudových velikostí vede k rozhodnutí o způsobu navrhování a chránění soustavy. Velikost napětí mezi vodičem a zemí si klade různé nároky na izolaci. Při normálním chodu sítě neteče zemní proud. Mezi fázemi je napětí sdružené, u fáze a uzlu je napětí fázové. Jinak je tomu při spojení jedné či více fází se zemí. Chování sítě během vodivého spojení jedné fáze se zemí je ovlivněno způsobem spojení uzlu. To má vliv na:

- velikost proudu při poruše
- velikost napětí mezi fázovým vodičem a zemí.

Při posuzování jednotlivých sítí nás zajímají pouze poměry v síti, které nastávají při nepřerušném spojení jedné fáze se zemí. Z tohoto hlediska rozeznáváme: [8] [11]

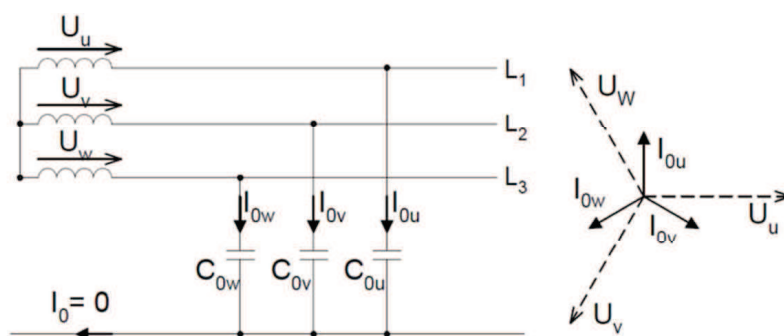
1.3.1.1 Sítě s izolovaným uzlem

Na uvažované straně není uzel vinutí transformátoru spojen se zemí. Při fázovém spojení se zemí vzroste napětí uzlu vinutí transformátoru proti zemi na napětí fázové (před spojením jedné fáze se zemí bylo nulové) na zdravých fázích vzroste napětí vůči zemi na napětí sdružené.

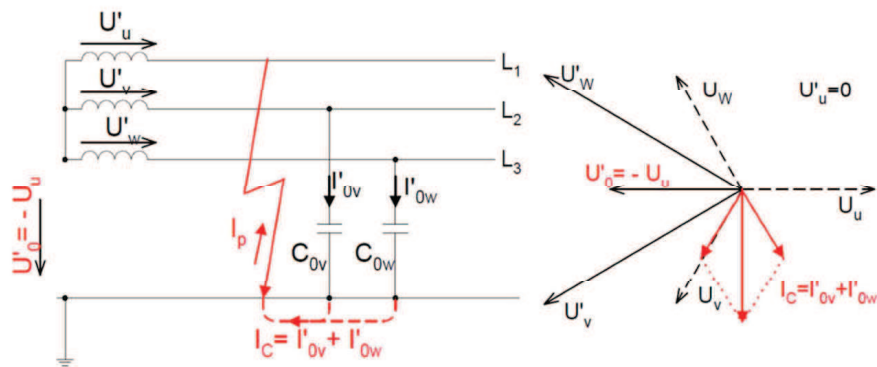
Výhody: Při poruchovém spojení jedné fáze se zemí, lze síť dále provozovat.

Nevýhody: Izolace této sítě musí být dimenzována na sdružené napětí, protože při tomto poruchovém stavu je napětí na zdravých fázích sdružené. Při provozu v tomto poruchovém stavu teče místem spojení se zemí proud kapacitního charakteru. Při vzniku zemního spojení (v horším případě, je-li přerušované) vznikají na zdravých fázích značná přepětí. Tato přepětí mohou způsobit dvojitě zemní spojení (rovno dvoufázovému zkratu) a vedení musí být následně odpojeno.

Jako izolované sítě jsou provozovány pouze sítě VN malého rozsahu, u kterých hodnota kapacitního proudu nepřesáhne 20A. [11]



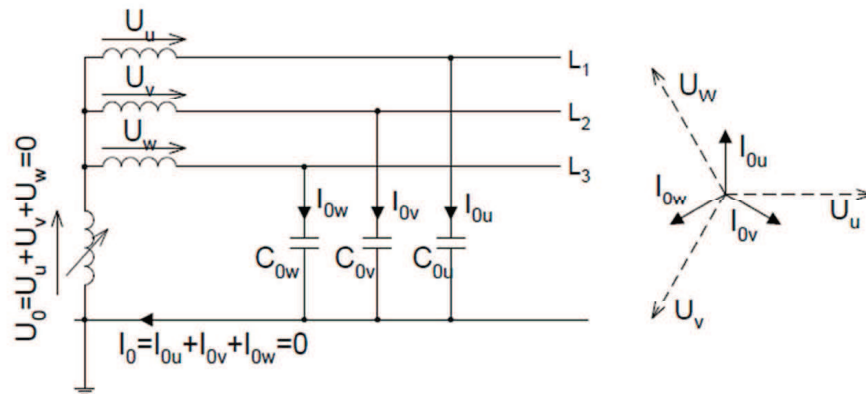
Obr. 3 Izolovaná síť [11]



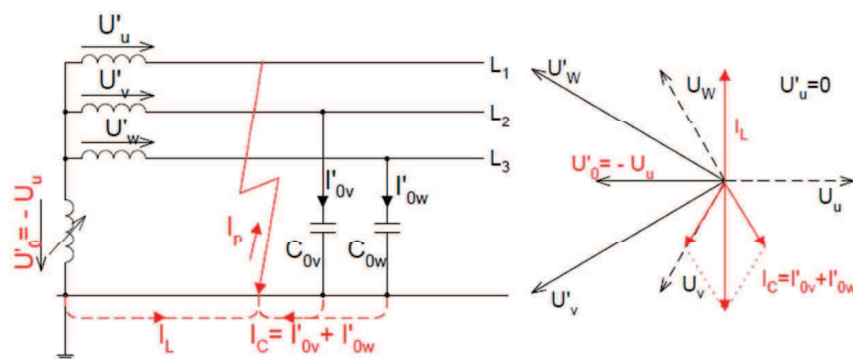
Obr. 4 Rozložení proudů v izolované síti při zemním spojení [11]

1.3.1.2 Kompenzovaná síť VN

Uzel sítě je spojen se zemí přes zhášecí tlumivku. Při nesymetrii fázových napětí proti zemi protéká zhášecí tlumivkou proud, který má induktivní charakter. U vhodné velikosti indukčnosti zhášecí tlumivky její proud při zemní poruše snižuje výsledný proud procházející místem zemní poruchy a kompenzuje součet proudů fázových kapacit. Výsledný poruchový proud má složku danou rozdílem kapacitního proudu sítě a induktivního proudu zhášecí tlumivky. Zhášecí tlumivka se používá v sítích, kde převažuje venkovní vedení. [8]



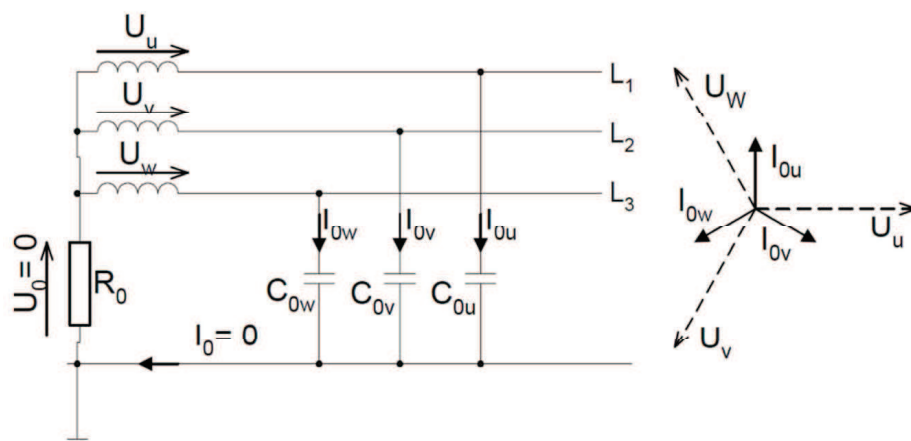
Obr. 5 Kompenzovaná síť [11]



Obr. 6 Rozložení proudů v kompenzované síti při zemním spojení [11]

1.3.1.3 Uzemnění uzlu VN přes rezistanci.

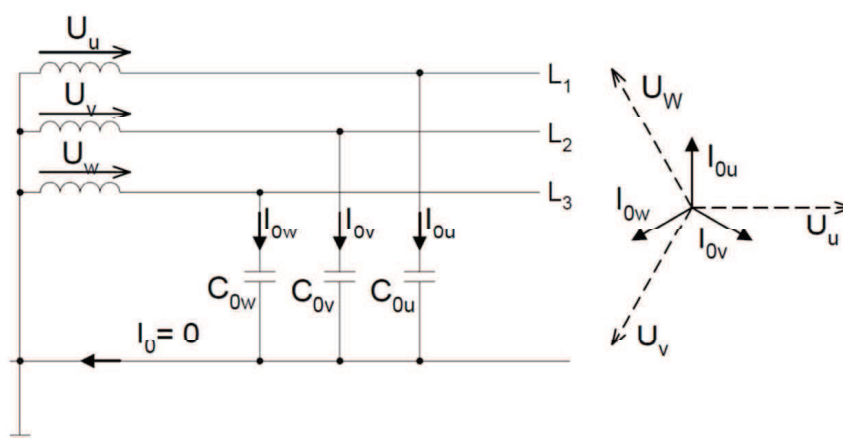
Výhody kompenzace zemních kapacitních proudů se u kabelových sítí VN neprojevují tak jednoznačně jako u sítí venkovních. Zmenšení poruchového proudu se nemůže projevit v „samozhášení“ poruch jako při obloukových poruchách u venkovních vedení, protože většina poruch je trvalá. Tyto důvody mají za následek použití uzemnění uzlu přes rezistanci v kabelových sítích. Velikost rezistance se volí tak, aby omezovala proudy zemních poruch na hodnoty akceptovatelné s ohledem na účinky poruchových proudů. Tato metoda přitom zajišťuje omezení přepětí při zemních poruchách a umožňuje použití jednoduchých zemních ochran. Nevýhodou je nutnost vypnutí vedení postiženého zemním spojením. [8] [11]



Obr. 7 Síť uzemněná přes rezistanci [11]

1.3.1.4 Síť s přímo uzemněným uzlem

Tato síť má všechny nulové body transformátorů propojeny přímo se zemí, nebo přes malou impedanci. V České republice se nulové body transformátorů uzemňují přímo. Výjimečně máme příležitost u některých transformátorů v sítích 110kV odpojit nulové body, kvůli snížení jednofázových zkratových proudů. Napětí uzlů vinutí transformátorů zůstává při přímém uzemnění proti zemi prakticky nulové. Napětí na zdravých fázích zůstává proti zemi na hodnotě fázové. Z tohoto důvodu se izolace na těchto vedeních dimenzují na jmenovitá fázová napětí – ekonomická výhoda. Při spojení jedné fáze se zemí musí být vedení této sítě v krátkém čase, protože tento jednofázový zkratový proud nabývá značných hodnot. [11]



Obr. 8 Účinně uzemněná síť [11]

1.4 Elektrické stanice

Elektrické stanice tvoří tzv. uzly přenosové soustavy. Jejich funkcí je spínat různé větve soustavy, popř. v téže stanici transformovat elektrickou energii na distribuční napětí 110kV.

Převodní poměr je 400kV/110kV nebo 220kV/110kV. Ve specifických případech mohou provádět přeměnu střídavého napětí na stejnosměrné a naopak. Tyto stanice poté napájejí rozvodné soustavy. Důležitou funkcí elektrických stanic v elektrizační soustavě je sběr a předávání dat, realizace konfigurace sítě a rychlé řešení poruchových stavů.

[5] [8]

1.4.1 Dělení elektrických stanic dle různých hledisek:

a) Podle účelu:

Transformovny - zajišťují rozdělování elektrické energie a transformují na potřebné napětí

Spínací stanice - rozdělují elektrickou energii o stejném napětí

Měnírny - přeměňují střídavé napětí na stejnosměrné a naopak, rozdělují stejnosměrnou elektrickou energii

b) Podle umístění:

Elektrické stanice výroben – transformovny převádějí vyrobenou energii do přenosové sítě VVN a transformují napětí alternátorů na napětí přenosové sítě

Elektrické stanice v přenosové soustavě rozlišujeme:

- **Uzlové elektrické stanice** - spínací stanice, které tvoří společný bod mezi větvemi okružní přenosové sítě a rozdělují elektrickou energii o stejném napětí
- **Transformační stanice** - transformují elektrickou energii soustav o různém napětí [8]

1.4.2 Zařízení elektrických stanic

- **Střídavé elektrické rozvodné zařízení**, tzn. rozvodny, rozvaděče, rozvodnice, plní důležité úkoly elektrické stanice – rozvádí elektrickou energii o stejném napětí.

Rozvodné zařízení je dimenzováno pomocí základních veličin:

- **největšího provozovacího napětí** příslušící k normalizované hodnotě. Na základě jmenovité hodnoty napětí jsou stanoveny bezpečné vzdálenosti mezi živými částmi rozvodného zařízení a též mezi živou částí a zemí [8] [11]

Tab. 4 Nejkratší vzdušné vzdálenosti živých částí v rozvodných zařízeních v hladinách 1kV až 52kV [11]

Nejvyšší napětí [kV]	Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu [kV]		Vzdálenost mezi fázemi a k zemi [mm]				Vzdálenost mezi systémy přípojnic [mm]			
			vnitřní prostředí		venkovní prostředí		vnitřní prostředí		venkovní prostředí	
	mezi fázemi a k zemi	mezi systémy	v klidu	po zkrat	v klidu	max. vítr nebo zkrat	v klidu	při zkrat	v klidu	max. vítr nebo zkrat
1	2 ¹⁾	3	4 ¹⁾	5	6 ²⁾	7	8	9	10	11
3,6	20 40	60	40 60	30	- 130	90	100	40	170	100
7,2	40 60	75	60 100	40	- 170	100	130	50	200	120
12	60 75	95	110 130	70	- 210	140	160	80	240	160
17,5	75 95	125	130 160	90	- 240	160	210	110	290	190
25	95 125	150	190 210	130	- 290	200	270	150	350	230
38,5	155 180	210	270 320	200	- 400	270	400	250	480	330

¹⁾Nižší hodnoty lze použít jen pro sítě bez atmosférického přepětí („neexponované“)

- zkratové odolnosti

Tab. 5 Normalizovaná řada zkratových odolností [11]

Jmenovitý vypínací proud I_{vyp} [kA]	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý krátkodobý proud I_{ke} [kA]	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý dynamický proud I_{dyn} [kA]	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160

- **Společná zařízení:** zařízení vlastní spotřeby, střídavá i stejnosměrná část, nouzové zdroje, akumulátorové baterie, střídače, výroba a rozvod stlačeného vzduchu, frekvenční měniče, dozorna, ochrany, měření a signalizace, stroje a přístroje užívané při revizích, udržovacích pracích apod.

- **Pomocná zařízení:** revizní věž, olejové hospodářství, dílny, garáže, sklady, vrátnice.

- **Komunikace:** příjezdová silnice, komunikace v objektu, vlečka.

- **Zařízení proti vzniku požáru**

- **Prostředky a zařízení pro ochranu zdraví a hygienu práce:** jak pro personál rozvodny, tak i pro revizní a pracovní čety.

- **Ochranné a bezpečnostní pomůcky:** dielektrické rukavice, zkoušečky, záchranné háky výstražné tabulky atd.

V některých elektrických stanicích je dále instalováno:

- **Kompenzační zařízení:** statické kompenzátory, kompenzační tlumivky s veškerým příslušenstvím nebo rotační kompenzátory.

- **HDO:** vysílač, automatika.

Trasformační elektrické stanice obsahují:

- Transformátory s veškerým příslušenstvím

- Měničny

- Usměrňovače

- Stejnoseměrná rozvodná zařízení [8]

1.4.3 Základní prvky rozvodného zařízení jsou:

- **Přípojnice** jsou holé - tuhé nebo lanové vodiče, jejichž průřez a profil je dán požadavky na pevnost, zkratové poměry a proudovou zátěž. K těmto vodičům se energie přivádí přívodními odbočkami a odváděna vývodovými odbočkami ke spotřebičům. Přípojnicový systém je soubor n fází přípojnic. [8]
- **Odbočky** tvoří soubor propojených přístrojů sloužících ke spínání, měření a ochraně vývodů nebo přívodů elektrické energie, spínačů přípojnic, vývodů k měřícím transformátorům napětí, k bleskojistkám a tak podobně.

Základní zařízení odboček jsou:

- **Spínače** - zapínají a vypínají odbočky bez, nebo pod zátěží, dle důležitosti to může být: vypínač, odpínač, odpojovač, stykač a omezeně jistič či pojistka.
- **Přípojnicový odpojovač** - zajišťuje viditelné oddělení přípojnicového systému od odbočky.
- **Vývodový odpojovač** - viditelně odděluje venkovní, nebo kabelové vedení od rozvodny. Doplnkovou výbavou jsou zemní nože.
- **Měřící transformátory** – měří napětí a proud, umisťují se dle důležitosti a charakteru odbočky, nebo požadavku měření a ochrany odbočky.
- **Měřící a signalizační zařízení**
- **Elektrické ochrany** [11]

1.4.4 Podle konstrukčního systému rozvodného zařízení rozlišujeme

- **Rozvodnu** - zařízení kompletované a zkoušené přímo na místě užití. Vyžaduje zvláštní stavební úpravy prostoru.

- **Rozváděč** - zařízení, v němž nosná konstrukce a přístroje tvoří celek. Instaluje se zkompletovaný a vyzkoušený přímo na místo užití. Není potřeba zvláštních stavebních úprav, pouze kabelové prostupy a kanály.
- **Rozvodnici** - zařízení NN, např. rozvodná deska NN s pojistkami, elektroměrová deska apod. [11]

1.4.5 Schéma elektrických rozvodných zařízení

Schéma rozvodného zařízení je voleno tak, aby vyhovovalo požadavkům provozu (způsobu zapojení do elektrizační soustavy), bezpečnosti (před úrazem) a hospodárnosti (spotřeba materiálu i zastavěného prostoru má být co nejmenší). Také je třeba co nejvíce omezit zkratový výkon v jednotlivých úsecích stanice. [8]

1.4.6 Provozní požadavky

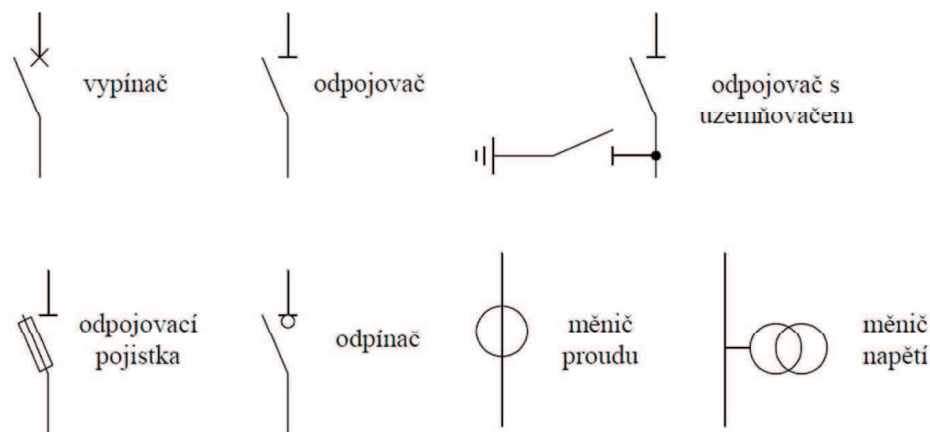
Provozní požadavky jsou dány především zapojením elektrických stanic do elektrizační soustavy (rozložení, počet, velikost a druh stanic a výroben, stupeň důležitosti odběru). Základní schéma by mělo být zvoleno co nejjednodušší a přehledné. [8]

1.4.7 Bezpečnostní požadavky

- bezpečnost před úrazem – opatření zajišťující ochranu osob před elektrickým proudem, bezpečnost osob, zařízení a okolí před účinky zkratu, oblouku, výbuchu či požáru
- bezpečnost provozní – jednoduché přehledné a spolehlivé zařízení, jištěné proti chybám v manipulacích - blokováním zvláště u odpojovačů, aby jimi nebylo možné manipulovat (zapínání a vypínání) pod zkratem nebo zatížením [11]

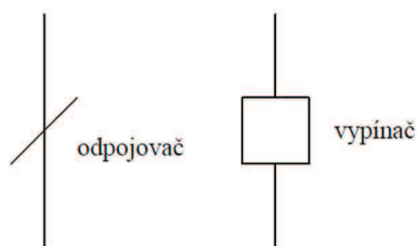
1.4.7 Schéma rozvodného zařízení může být:

- **Jednopolové** - základní popis zařízení.



Obr. 9 Základní schématické značky [11]

- **Trojpolové** (dvojpolové) - konstrukce (montáž) zařízení, je obvykle nazýváno montážní. [8]



Obr. 10 Značky pro zjednodušená schémata [11]

Zjednodušených schémat se používá při popisu rozvodných zařízení.

1.4.8 Hlavním parametrem schémat elektrických rozvodných zařízení je:

- množství přípojnicových systémů a jejich uspořádání
- množství odboček a jejich přístrojová náplň. [8]

1.4.8.1 Přípojnicové systémy

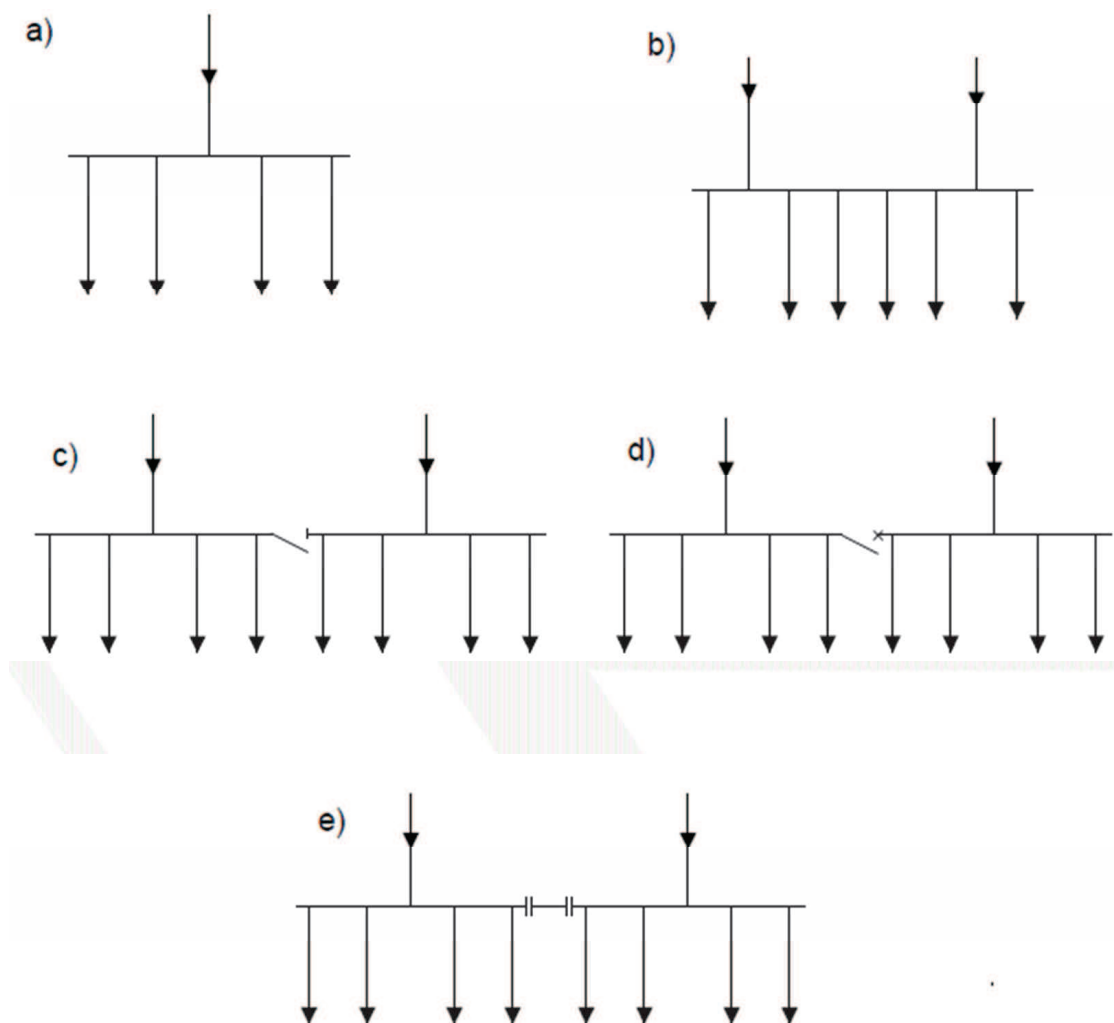
Vodiče přípojníc v rozvodných zařízeních NN a VN – holé ploché tyče. Materiál je elektrovodný hliník EA1. Je možné použít i tyče jiného profilu (kruhový, „U“ profil atd.) Přípojnice v rozvodných zařízeních VVN u venkovního provedení jsou nejčastěji ocelohliníková lana AlFe s průřezem větším než 350 mm², popřípadě svazkové vodiče s rozpěrkami. U vnitřních provedení jsou nejčastěji vodiče profilové. V nově budovaných venkovních rozvodnách VVN se přechází na vodiče trubkové. U značných proudových zatížení se používá paralelních plochých tyčí, které jsou zpevněny výztužnými vložkami. U zařízení NN mají přípojnice odstupňovaný průřez odvíjející se od skutečného proudu, který jimi v jednotlivých úsecích protéká. Zmenšený průřez v tomto případě není jištěn. [11]

Rozvodné zařízení s přímými přípojnicemi

Jednoduchý systém přípojníc

- použití tam, kde není požadavek na nepřerušovaný provoz při revizích a opravách. Používají se zásadně v rozvodných zařízeních, z nichž jsou napájeny spotřebiče třetí kategorie, tj. takové spotřebiče, jejichž vyřazení z chodu neznamena snížení bezpečnosti osob ani národohospodářské ztráty.

- při potřebě zajištění napájení je možné přípojnice dělit podélně na sekce. Podélný spínač je spínán v případě výpadku jedné z přívodních odboček. V rozvodnách, které nejsou dimenzovány na paralelní spolupráci zdrojů, musí být podélný spínač přípojníc blokován proti oběma zapnutým přívodním vypínačům. Pro rozvodná zařízení s jednoduchým systémem přípojníc se používají tato schémata:



Obr. 11 Schémata rozvodných zařízení s jednoduchým systémem přípojníc [11]

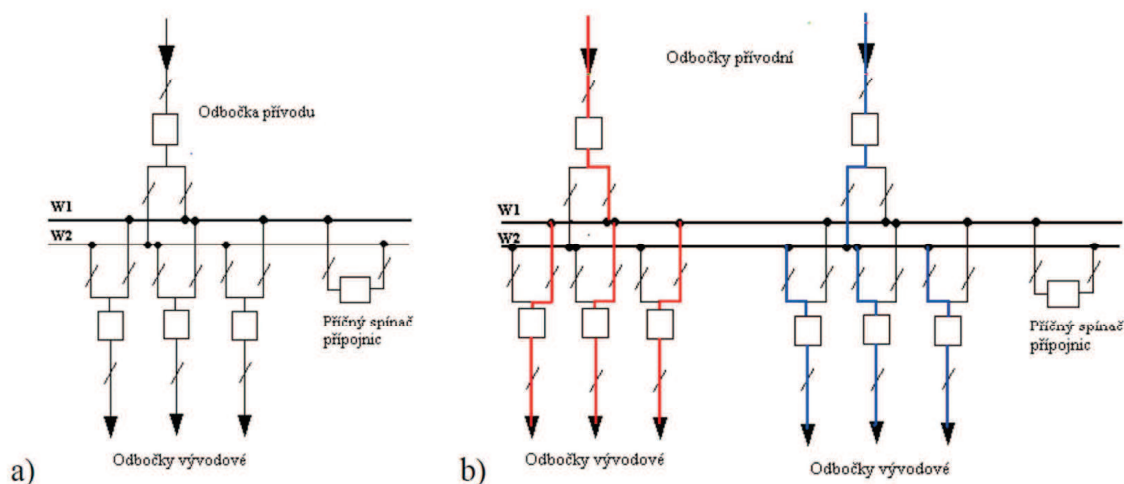
- a) Napájení s jedním zdrojem - při poruše bez rezervy.
- b) Nedělený systém přípojníc se dvěma zdroji - při poruše jednoho zdroje je okamžitá částečná nebo plná rezerva (závisí na dimenzování). Vyměnit nebo revidovat zdroj je možno bez přerušení provozu.
- c) Podélně dělený přípojnícový systém s odpojovačem. Spínání pouze bez zatížení. Každá sekce má zdroj a doba přerušení je dána dobou potřebnou k sepnutí. Údržba a revize možná u části zařízení.
- d) Podélně dělený přípojnícový systém s vypínačem. V případě poruchy zdroje je možno provozovat bez přerušení. Údržba a revize je možná u části zařízení.
- e) Podélně dělený přípojnícový systém se šroubovými spojkami. Všechny sekce mají svůj zdroj, při poruše zdroje je zde částečná rezerva. Při montáži spojek je nutné přerušení provozu. Údržba a revize je možná u části zařízení. [11]

Dvojitý systém přípojnic

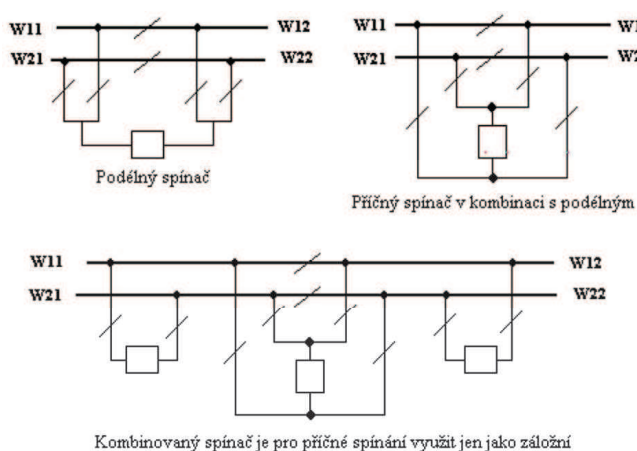
Dvojité přípojnice bývají použity:

- tam, kde není přijatelné při revizi přípojnic ani krátkodobé přerušování dodávky
- tam, kde je nutno provoz odboček rozdělit do dvou skupin z některého z následujících důvodů:
 - rozdělení zdrojů k omezení zkratových proudů
 - současné napájení ze dvou nespolupracujících zdrojů
 - oddělení spotřebičů kolísavého příkonu od spotřebičů, které vyžadují stálé napětí
 - oddělení venkovní sítě od kabelové
 - zajištění důležitých odběrů i v případě výpadku některých napáječů zbývajícími napáječi menšího výkonu

Dvojitý systém přípojnic musí být vybaven příčným spínačem, při přepojování odboček na druhý nedochází k přerušování provozu. Manipulovat s přípojnicovými odpojovači v sepnutých odbočkách lze pak pouze se sepnutým spínačem přípojnic. [11]



Obr. 12 Dvojitý systém přípojnic – var. a) jeden zdroj, var. b) dva zdroje [11]



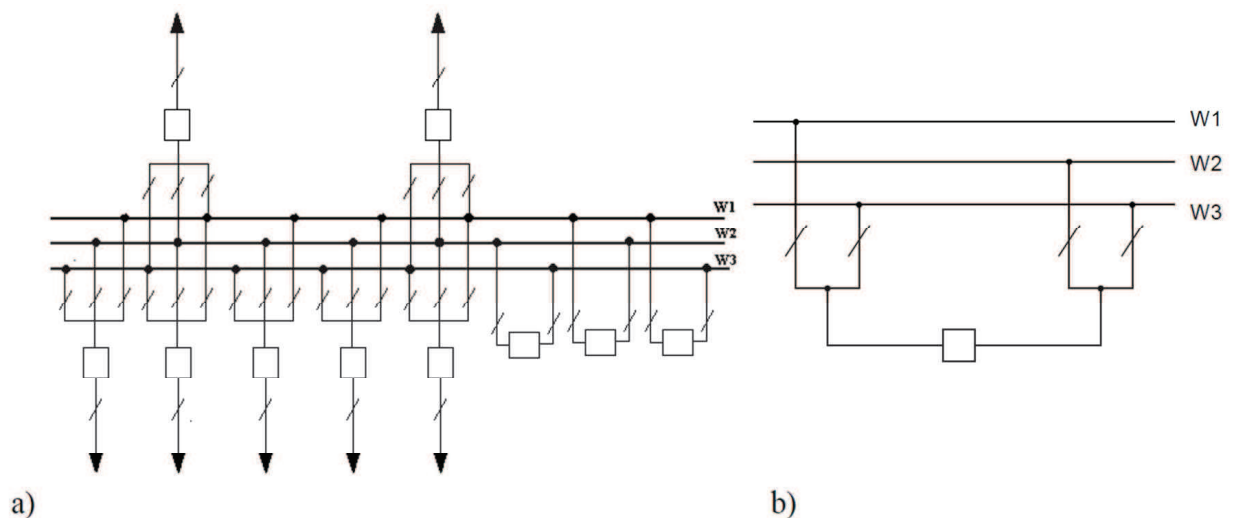
Obr. 13 Spínání přípojnic [11]

Trojité systém přípojnic

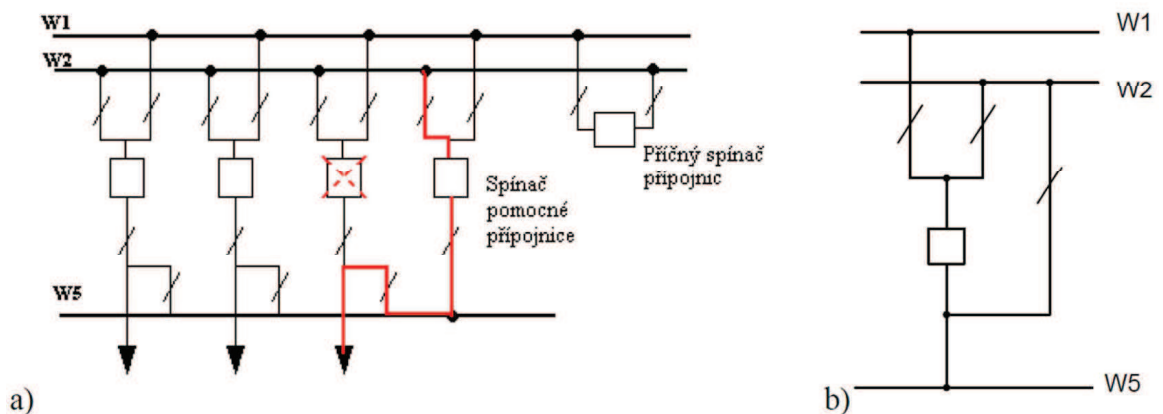
Trojitého systému přípojnic je užito tam, kde

- dvojitý systém přípojnic musí být trvale v odděleném provozu a pro revizi přípojnic není přípustné ani krátkodobé přerušení dodávky
- provoz musí být rozdělen do tří skupin v některém z těchto případů:
 - kde je nutno rozdělit zdroje k omezení velkých zkratových nebo provozních proudů
 - kde je nutné provozovat odděleně sítě stejného napětí s ohledem na důležitost provozu

[11]



Obr. 14 a) Trojitý systém přípojnic b) Kombinovaný příčný spínač trojitých přípojnic [11]



Obr. 15 a) System s pomocnou přípojnou b) Kombinace spínače pomocné přípojnice s příčným spínačem [11]

1.4.8.2 Průřez a uspořádání přípojnic

Vzdálenost fází a uložení vodičů je dáno provozním stavem, zatěžovacím proudem, jmenovitým napětím a poruchovým stavem (odolnost proti tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů).

Množství a způsob zapojení přípojnicového systému je dán provozními požadavky a stupněm důležitosti napájených spotřebičů. [8]

1.4.9 Konstrukční řešení:

- *Rozvodny VN* řešeny jako skříňové, veškeré vybavení odbočky (přístroje a propojení) i přípojnice jsou umístěny v plechových skříních. Vypínače maloolejové, se zhašecím médiem SF₆ a vakuové.

- *Rozvodny VVN* jsou řešeny vzhledem k použití izolačního média - SF₆ nebo vzduch při atmosférickém tlaku. Řešení každé rozvodny je dáno schématicky. Provedení se liší podle toho, jakými vodiči jsou realizovány přípojnice a propojení mezi přístroji v odbočce. [8]

1.4.10 Přístroje:

Vypínač – převážně tlakovzdušné, v menší míře maloolejové, se zhašecím médiem SF₆

Odpojovač – přípojnicový, vývodový, k pomocné přípojnici nebo přemostovací

Přístrojové transformátory proudu a napětí

[8]

1.4.11 Transformátory

Transformátor je v energetice nenahraditelným strojem ve střídavém rozvodu energie. Umožňuje zvyšovat nebo snižovat napětí pro dálkové přenosy i místní rozvod střídavé energie. [5]

1.4.11.1 Hlavní transformátory

Mohou být čistě blokové, přímo spojené s alternátorem, nebo spojovací - sloužící pro spojení soustav dvou napětí. Blokové uspořádání se užívá ve velkých tepelných kondenzačních elektrárnách, jaderných elektrárnách a některých vodních elektrárnách, které předávají celý svůj výkon do elektrizační soustavy. Spojovací transformátory se používají v elektrárnách s odběrem na generátorovém napětí jako např. u tepláren, závodních elektráren a některých vodních elektráren. [5]

1.4.11.1.1 Blokové transformátory

Výkon blokových transformátorů je udáván výkonem alternátoru. Tam, kde je vlastní spotřeba bloku napájena odbočkou ze svorek alternátoru, se doporučuje výkon transformátoru volit $(93\div 95)\%$ výkonu alternátoru.

Počet blokových transformátorů je zpravidla shodný s počtem alternátorů. Zásadně se používají trojfázové transformátory. Tři jednofázových transformátorů lze použít pro bloky o velkých výkonech (několika set MVA).

Propojení vinutí blokových transformátorů je „hvězda-trojúhelník“, přičemž trojúhelník je přednostně na straně alternátoru. Vyloučí se třetí harmonická napětí na výstupu transformátoru (sinusovost napětí), dojde ke zlepšení rozdělení zatížení na jednotlivé fáze alternátoru, zejména u nesouměrných zkratů nebo nesouměrném zatížení v síti (trojúhelník vytváří pro netočivou složkovou soustavu zkrat). V neposlední řadě je vinutí do trojúhelníka vhodné i proto, že fáze je na plné sdružené napětí, čímž při daném výkonu vycházejí nižší proudy, což dává možnost použít slabší průřez vodiče. [5]

1.4.11.1.2 Spojovací transformátory

Volba množství a výkonu transformátorů se provádí na základě porovnání odběru z generátorových přípojníc S_Z a instalovaného výkonu elektrárny S_G .

Při $S_Z \approx S_G$ slouží spojovací transformátor jako rezerva pro případ výpadku některého z generátorů. Možno tedy instalovat pouze jeden transformátor o výkonu stejném jako výkon největšího alternátoru. Při $S_Z \neq S_G$ se instalují dva transformátory. Jejich výkon se volí tak, aby přenesly přebytečný nebo nedostávající se výkon na generátorových přípojnících při normálním zatížení alternátorů a přípojníc. Při $S_Z \neq S_G$ se dále kontroluje výkon transformátorů pro případ výpadku největšího alternátoru nebo jednoho z transformátorů, transformátory musí přenést chybějící výkon s využitím dovoleného havarijního přetížení. [5]

1.4.11.2 Transformátory pro vlastní spotřebu

Správný chod technologických úseků každé elektrárny zajišťují pomocná zařízení. Tato zařízení mají nejčastěji elektrický pohon a tvoří tzv. vlastní spotřebu. Výkon pracovních zdrojů vlastní spotřeby se určuje v zásadě z příkonu všech spotřebičů, které musí být v chodu při maximálním výkonu hlavního bloku. [5]

1.4.11.3 Síťové transformátory

Velké síťové transformátory se vyrábějí s chlazením vinutí i jádra olejem. Malé síťové transformátory s převodem 6 kV/NN jsou vzduchové, a to pro výkony od 800 kVA do 1600 kVA, nebo od 2,5 MVA do 30 MVA.

Výkony síťových transformátorů mohou být větší než u transformátorů blokových. Rozdíly napětí mezi vstupem a výstupem bývají menší.

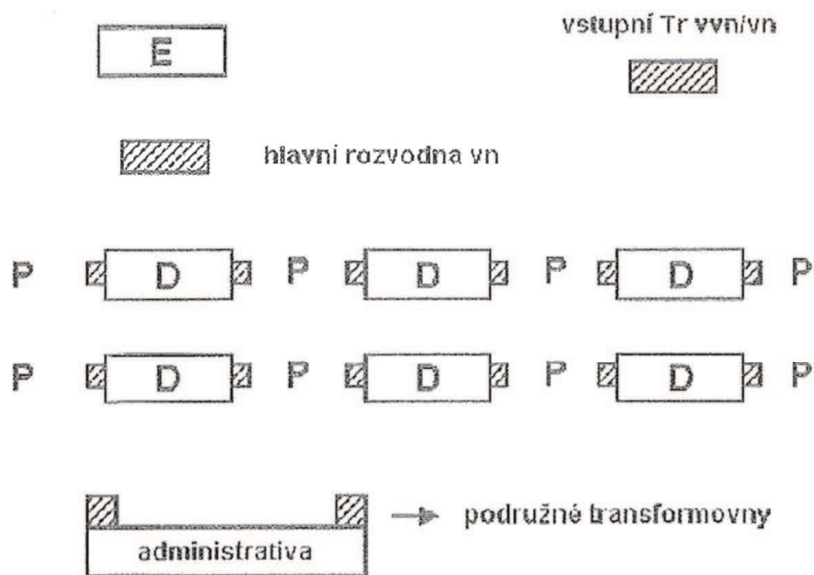
Uzlové body těchto transformátorů se vyvádějí tak, aby se v síti VVN mohly uzemnit, kdežto v síti VN se musí vyvést se zesílenou izolací pro připojení kompenzačního zařízení. [5]

1.5 Rozvod elektrické energie pro průmysl

1.5.1 Umístění transformátorů a rozváděčů

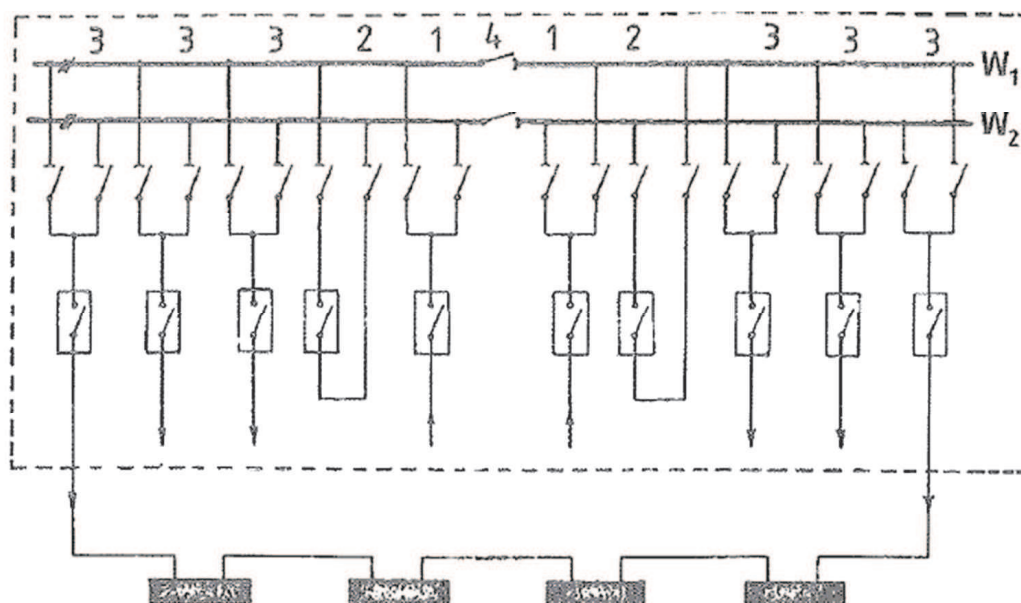
1.5.1.1 Vstupní a hlavní transformovna průmyslového závodu

- Podnikatelé a malé průmyslové závody – transformátory 2 x 1 MVA, jedna transformovna 22kV / NN
- Středně velké závody s příkonem 2-10 MVA – hlavní a vstupní transformovna sloučená 22 / 6 kV, 6 kV / NN
- Velké průmyslové závody s příkonem nad 10 MVA – vstupní transformovna umístěná v nevhodnějším místě pro připojení. Kromě vstup. transformovny je v závodě ještě několik hlavních rozvodů – u provozoven s největšími odběry elektrické energie. Podružné transformovny – umístěny co nejbližší spotřebičům. 110 / 22 kV, 22 / 6 kV, 6kV / NN (230, 400, 500, 690, 1000 V)



Obr. 16 dispozičního schématu rozvoden

V závodech s velkou rozlohou, umísťujeme rozvody do podružných transformoven. Podružné rozvodny jsou připojeny na okružní kabelový rozvod VN. Z podružných rozvoden může být napájena buďto mřížová průmyslová síť, nebo paprskový rozvod.



Obr. 17 Hlavní rozvodna VN

- | | |
|-------------------|------------------------------|
| 1 – přívodní pole | 2 – příčný spínač přípojnic |
| 3 – vývodní pole | 4 – podélný spínač přípojnic |

1.5.2 Společné zásady pro všechny transformovny v průmyslovém rozvodu

Transformovny se budují co nejbližší k největší spotřebě elektrické energie. VN napětí se musí přivést do nejbližší vzdálenosti k spotřebičům. U přívodů provedených venkovním vedením, je třeba dbát předpisových vzdáleností od budov i pro výstavbu v budoucnu. Transformátorové komory se stavějí k severní straně objektu řádným klimatickým podmínkám dle ČSN 38 1753. Příjezdové cesty musí být co nejméně nákladné. U malých závodů bývá většinou pouze jedna transformovna VN / NN. Pro tento případ je výhodné ji umístit do středu největší spotřeby. Budování jediné trafostanice je omezeno přenosovou schopností kabelových rozvodů NN. Za limitní hodnotu se považuje přenos 70 000 kW.m. Tj. 700 kW na vzdálenost 100 m nebo 350 kW na 200 m atd.

1.5.3 Volba druhu transformátoru a rozváděčů

Olejoyé transformátory při převodech 35, 22 kV / NN musejí být umístěny mimo provoz závodu v oddělených trafokobkách.

Suché nebo bezolejové transformátory (Clophen, Sovtol) lze umístit přímo v provozovnách, ve vyšších poschodích nebo na střechách budov. Jedná se o transformaci 6 kV / NN. Tím bude splněna ekonomická zásada - přivést energii co nejbližší ke spotřebičům.

1.5.3.1 Hlavní rozváděče NN

Každý transformátor má svůj hlavní rozváděč NN. Ten napájí příslušný úsek přípojnic. Nejrozšířenějšími jsou rozváděče panelové a skříňové. Pokud musí být příslušný úsek přípojnic napájen větším transformátorem nebo teplárenským turbogenerátorem, pak je potřeba použít rozváděč kobkový. Hlavní rozváděč NN umísťujeme v transformovnách. Návrh hlavních rozváděčů řešíme s minimální odlišností výzbroje jednotlivých odboček a přibližně stejnou výkonností.

1.5.3.2 Podružné rozváděče

Bývají napájeny z hlavních rozváděčů a jsou umístěny přímo v provozovnách, kde napájejí jednotlivé větší stroje nebo motorové větve se skupinou strojů. V poschodových budovách se osazují rozváděče etážové, které jsou umístěny u vchodu do poschodí. Každý etážový a podružný rozváděč musí mít hlavní výkonový vypínač, který umožní vypnutí výroby z provozu.

1.5.4 Způsob uložení kabelových vedení

- výkopy
- kanály
- kabelové mosty

1.5.4.1 Křížování kabelů

Při křížování kabelů NN a VN se musí kabely NN uložit vždy nad kabely VN. V případě souběhu nebo při křížování elektrických kabelů se slaboproudými kabely platí minimální vzdálenost v průmětu křížení 30cm.

Kabely je nutno chránit před mechanickým poškozením uložením do tvárnic nebo trub.

Souběh elektrického kabelu s tepelným potrubím není dovolen, pokud nejde o průchozí energetický kanál.

Energetický kanál se běžně používá u velkých průmyslových závodů. Podle provedení označujeme energokanály:

- A...shora přístupné
- B...průchozí, umožňující průchod vzpřímené osobě
- C...průlezný

Kabelové kanály vyúsťují obvykle do prostorů pod rozvodnami VN, NN a dozornami.

1.5.4.2 Postup při návrhu kabelových kanálů a jejich výzbroje

- Určení typu kabelového kanálu v závislosti na počtu kabelů, určení výšky a šířky.
- Podle průměru kabelu se určí rozteč ložení na roštu.

- Stanovení potřebného množství materiálu na 1 m délky kabelového kanálu podle výzbroje. [5]

1.5.5 Modernizace průmyslového rozvodu

1.5.5.1 Zásady modernizace:

- Náhrada zastaralých a málo bezpečných zařízení.
- Rozšiřování zařízení elektrického rozvodného systému na základě nových požadavků.
- Nový projekt se vypracovává zásadně tak, jako by šlo v obou případech o novou stavbu.
- Ohledy na staré zařízení působí často nepříznivě na nově navrhovanou koncepci.
- Nejvyšších úspor hospodárnosti rozvodu dosáhneme zvýšením rozvodného napětí (snížení ztrát) a umístěním transformátoru do místa největšího odběru.

Hlavními požadavky kladenými na moderní zařízení rozvodu VN jsou:

- Navýšení provozní spolehlivosti,
- Prodloužení doby bezrevizního chodu,
- Automatizované nebo programové zařízení,
- Účelná miniaturizace rozměrů.

1.5.6. Technologie projektu průmyslového závodu

V průmyslovém závodě je možno rozdělit elektrická zařízení takto:

- transformovna VVN/ VN, VN / VN
- hlavní rozvodna VN
- podružné spínací stanice VN
- transformovna VN / NN
- průmyslová měnírna (zvláštní zdroje energie)
- napájecí rozvod VN a NN
- provozní rozvod VN a NN
- rozvod pro měření, kontrolu, signalizace a ovládání
- dozorna, velín
- výroba a rozvod stlačeného vzduchu
- akumulátorovna

Rozsah jednotlivých uvedených souborů bývá uveden v technické zprávě projektu, která zdůvodňuje navržené elektrotechnické řešení (volbu napětí, bilance odběru a dodávky, zkratové poměry, volbu ochran a jištění atd.). [5]

1.5.7 Elektrické ochrany a jištění v průmyslovém podniku

V provozu silnoproudého elektrického rozvodu se vyskytují i takové stavy, které narušují bezpečnost provozu. Přitom může dojít k elektrickému, tepelnému i mechanickému ohrožení bezpečnosti osob, obsluhujících tato zařízení. Tyto stavy jsou nežádoucí a nazýváme je poruchami.

Poruchy v provozu elektrických zařízení:

Přepětí

- atmosférická, způsobená přímým úderem blesky do vedení či do nekrytých částí elektrických zařízení, nebo způsobená indukci při úderu blesku v blízkosti vodičů nebo jiných částí rozvodných zařízení.
- provozní, způsobena spínacími pochody v obvodech s velkými indukčnostmi nebo kapacitami. Přepětí mohou mít za následek proražení izolace či nežádoucí přeskoky mezi živými částmi elektrických zařízení.

Přetěžování vodičů - elektrické spotřebiče a zařízení zatížená proudem větším než je hodnota proudu jmenovitého. Může být krátkodobé či dlouhodobé.

- Krátkodobé nebo přechodné přetěžování nemusí být nebezpečné, pokud při něm teplota vodičů či jiných částí silnoproudého rozvodu nedosáhne nejvyšší dovolené provozní teploty, odpovídající trvalému zatěžování jmenovitým proudem.
- Dlouhodobé přetěžování je nebezpečné téměř vždy, a proto je nežádoucí!

Zkraty a zemní spojení - nastávají v jedné, dvou či všech třech fázích a projevují se zvýšením zatěžovacího proudu v rozvodných zařízeních na několikanásobek jmenovité hodnoty. Současně dojde k poklesu napětí v takové míře, jenž je nepřímo úměrná elektrické vzdálenosti od místa zkratu. Při zkratech dochází ke zvýšenému tepelnému namáhání i namáhání dynamickými silami. Tato namáhání jsou způsobena značnými hodnotami zkratových proudů a mohou mít nepříznivé následky, jak pro vodiče elektrického silnoproudého rozvodu, tak i pro spotřebiče a ostatní rozvodná zařízení.

Znečištění izolace vodičů a rozvodného zařízení – může mít za následek zmenšení hodnoty elektrické pevnosti na povrchu izolace. Na povrchu znečištěných izolátorů svorek a dalších silnoproudých zařízení se při větší vlhkosti prostředí vytváří částečně vodivá vrstva, která může vést až k přeskokům po povrchu izolace. Po jediném či více přeskocích se může toto místo stát i trvale vodivým. Poruchu je možno odstranit až dokonalým vyčištěním izolace.

Následky této poruchy jsou pak podobné jako u zkratů či zemních spojení. Projevuje se zhoršené chlazení.

Náhodné poruchy - (např. námraza, pád větví, stromů, apod.) vznikají buď selháním technického zařízení, vlivem neočekávaných klimatických změn, nebo chybným zásahem člověka či zásahem zvířat u zařízení venkovního provedení.

Všechny uvedené druhy poruch se vyskytují v elektrickém silnoproudém rozvodu nepravidelně, nahodile a nelze je zcela vyloučit, i když účinnými preventivními opatřeními lze jejich četnost snížit. Dojde-li ovšem k poruše v rozvodném zařízení, pak je potřeba co nejrychleji odpojit tuto část elektrického rozvodu od všech zdrojů elektrické energie, aby následky poruchy byly co nejmenší. K tomu slouží v elektrickém silnoproudém rozvodu elektrické ochrany, které samočinně a ve velmi krátké době odpojí porušené místo, vodič, elektrický obvod či spotřebič od zdroje elektrické energie. Elektrické ochrany v silnoproudém rozvodu NN do 500 V se nejčastěji nazývají jistící přístroje. Jsou to uměle vytvořená nejslabší místa v silnoproudém rozvodu, která jsou dimenzovaná tak, aby se při přetěžování porušila dříve než všechna ostatní zařízení rozvodu a aby zároveň odpojila všechna zařízení, pro která by nadměrné zatěžování mohlo znamenat poškození či ohrožení jejich funkce. Ne vždy dochází k odpojení zařízení. [5]

2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových poměrů

2.1 Zkrat

Poruchové vodivé spojení tzv. „dokrátka“ mezi vodiči dvou nebo tří fází a v určitém případě i spojením jedné nebo dvou fází se zemí (respektive středním vodičem). Projevuje se nadměrným zkratovým proudem, který svými dynamickými a tepelnými účinky může způsobit vážnou provozní poruchu.

- Zkrat 3 fázový (všechny fáze do sebe)
- Zkrat 2 fázový (2 fáze do sebe)
- Zkrat 1 fázový (1 fáze do středního vodiče)
- Zkrat proti zemi (fáze do země)

Projevy

klesá impedance obvodu – proměnná – nedokonalý (odporový) zkrat

téměř 0 – dokonalý (kovový) zkrat

vzrůstá proud, klesá napětí

2.2 Příčiny zkratů

U venkovních vedení

Jevy při atmosférických přepětích, znečištění izolátorů průmyslovými exhalacemi, vniknutí cizích těles do vedení, povětrnostní poměry (námraza), poryvy větru, přetržení vodiče.

U kabelových vedení

Překopy, sesedání půdy, chyby při spojování, pokládání a odpláštěvání kabelů, hlodavci. Nelze zanedbat ani stárnutí izolace, svévolný zásah a chyby manipulace.“

2.3 Účinky

bezprostřední – dynamické, tepelné (ulámání podpěrných izolátorů, deformace přípojníc, poškození vinutí, přetavení vodičů, spečení kontaktů).

Poruchy provozu zařízení

pokles napětí (vliv na výkon připojených spotřebičů), odpojení zkratů (výpadek dodávky elektrické energie).

Ohrožení osob a okolí

krokové napětí u zemního zkratu, působení zkratových proudů na souběžná vedení.

Zvýšení proudu nad jmenovitou hodnotu

se nazývá nadproud. Krajiní hodnota nadproudu se nazývá zkratový proud. Zkrat je vodivé spojení dvou nebo více fází. Je buď bezodporový (fáze jsou spojeny nulovým odporem), nebo obloukový (fáze jsou spojeny přes určitou impedanci). Při zkratu klesá napětí, klesá impedance postiženého obvodu a vzrůstá proud.

2.4 Hlavní pojmy

Mezifázový zkrat

Úmyslné nebo náhodné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodiči se spojením na zem nebo bez něj.

Jednofázový zkrat – zkrat mezi fází a zemí

Úmyslné nebo náhodné vodivé spojení mezi vodičem a zemí v soustavě s uzlem uzemněným přímo nebo přes malou impedanci.

Zkratový proud

Nadproud v důsledku zkratu v elektrické soustavě

Předpokládaný zkratový proud

Proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení.

Souměrný zkratový proud

Efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbatelnou eventuální aperiodickou složkou proudu

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k

Efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.

Počáteční souměrný zkratový výkon S_k

Pomyslná hodnota definovaná jako součin počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k jmenovitého napětí sítě U_n a součinitele $\sqrt{3}$

Stojnosměrná (aperiodická) složka $i_{d.c.}$ zkratového proudu

Střední hodnota obalových křivek průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule.

Nárazový zkratový proud i_p

Maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu.

Souměrný zkratový vypínací proud I_b

efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení.

Ustálený zkratový proud I_k

Efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodového jevu.

Záběrový proud I_{LR}

Největší souměrný efektivní proud asynchronního motoru se zabrzděným rotorem, který je napájen jmenovitým napětím U_{rM} při jmenovitém kmitočtu.

Ekvivalentní elektrický obvod

Model složený ze sítě ideálních prvků, který slouží k popisu chování obvodu.

Jmenovité napětí sítě U_n

Sdružené napětí, kterým je síť označena a k němuž se vztahují provozní charakteristiky.

Napětí ekvivalentního zdroje $cU_n/\sqrt{3}$

Napětí ideálního zdroje přiloženého v místě zkratu v sousledné složkové soustavě.

Napět'ový součinitel c

Poměr mezi napětím ekvivalentního napět'ového zdroje a jmenovitým napětím sítě U_n děleným $\sqrt{3}$.

Pozn.: Uvedený napět'ový součinitel c je nutný z následujících důvodů:

- kolísání napětí v závislosti na čase a místě,
- přepínání odboček transformátoru,
- zanedbání zátěže a kapacitních reaktancí při výpočtu,
- chování generátorů a motorů při přechodném ději.

Minimální doba vypnutí t_{\min}

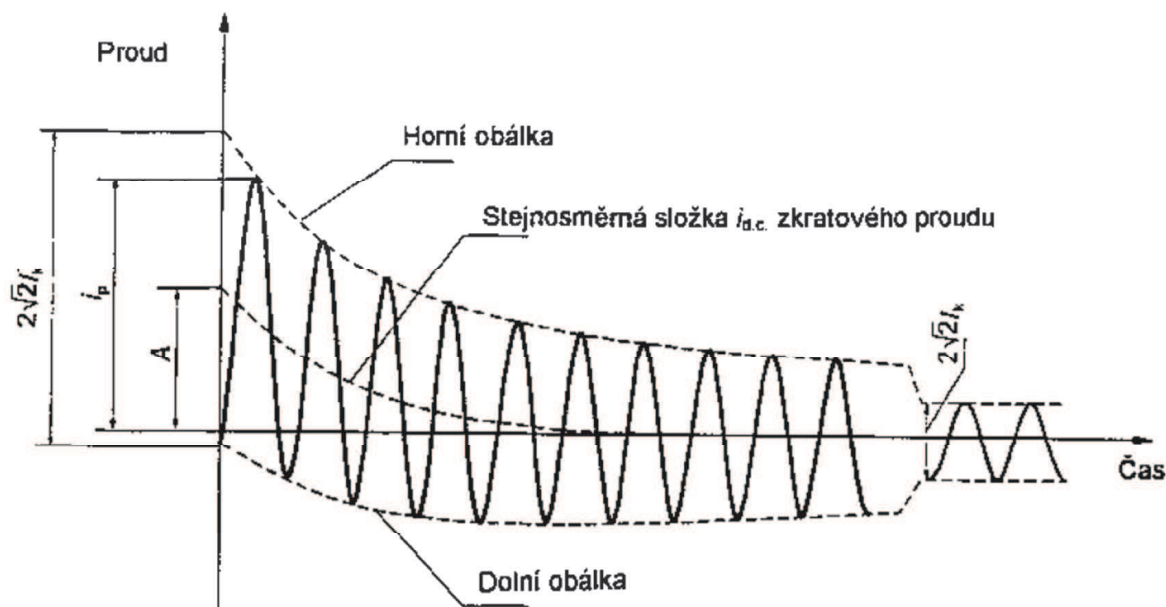
Nejkratší čas mezi počátkem zkratového proudu a přerušením kontaktu prvního vypínacího pólu spínacího přístroje.

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th}

Efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění.

Elektricky blízký zkrat

Zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5 % počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' .



Obr. 18 Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou

I_k'' počáteční souměrný rázový zkratový proud

i_p nárazový zkratový proud

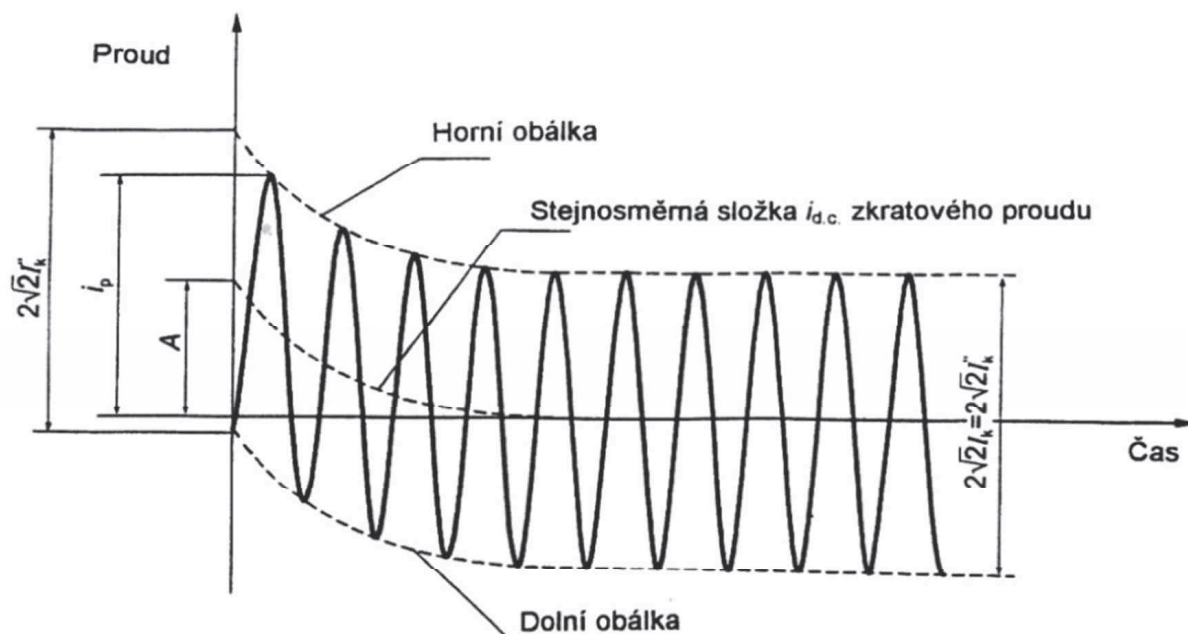
I_k ustálený zkratový proud

$i_{d.c.}$ stejnosměrná složka zkratového proudu

A počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$

Elektricky vzdálený zkrat

Zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatně konstantní.

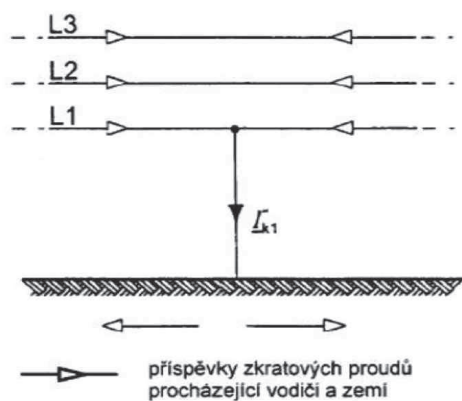


Obr. 19 Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou
 I_k počáteční souměrný rázový zkratový proud
 i_p nárazový zkratový proud
 I_k ustálený zkratový proud
 $i_{d.c.}$ stejnosměrná složka zkratového proudu
 A počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$
 [1] [4] [9]

2.5 Typy zkratů

2.5.1 Jednofázový zkrat

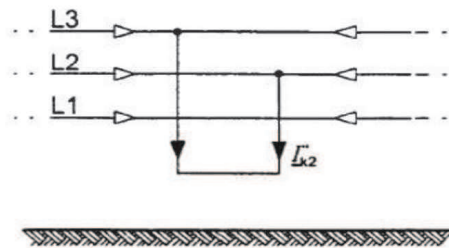
Jednofázový zkrat nastává při spojení jedné z fází se středním vodičem, pouze pokud jde o soustavu se středním vodičem, nebo při spojení jedné z fází se zemí.



Obr. 20 Jednofázový zkrat

2.5.2 Dvoufázový zkrat

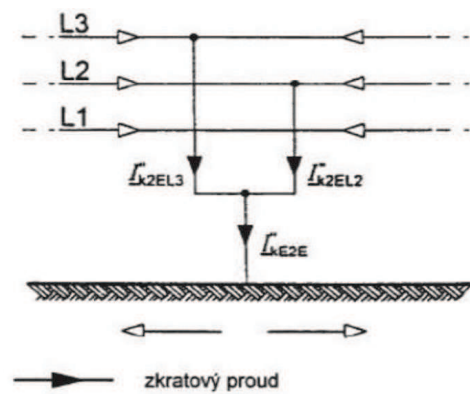
Dvoufázový zkrat nastane, pokud dojde k doteku dvou libovolných fází.



Obr. 21 Dvoufázový zkrat

2.5.3 Dvoufázový zemní zkrat

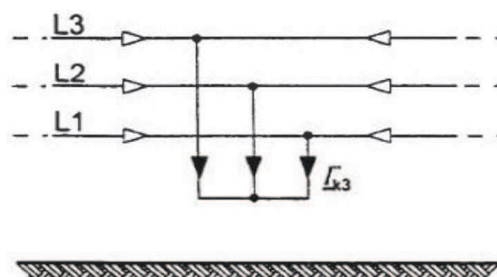
Dvoufázový zemní zkrat nastane, pokud jsou současně spojené dvě fáze spojené se zemí.



Obr. 22 Dvoufázový zemní zkrat

2.5.4 Trojfázový zkrat

Trojfázový zkrat nastane při vzájemném doteku všech tří fází v jednom místě.



Obr. 23 Trojfázový zkrat

2.6 Typy zkratů dle způsobu spojení vodivých částí

Dokonalý zkrat (kovový)

O dokonalý zkrat se jedná tehdy, je-li impedance v místě styku fází nebo fází a země rovna nebo se blíží nule.

Nedokonalý zkrat

vznikne nedokonalým spojením vodivých částí různého potenciálu. Impedance spojení je poměrně vysoká a ovlivňuje velikost zkratového proudu.

Obloukový zkrat

nastane v případě, kdy se dva vodiče přiblíží na tolik, že mezi nimi dojde k průrazu prostředí a zapálí se oblouk.

Účinky zkratového proudu

V elektrizačních zařízeních se zkraty projevují působením vysokých zkratových proudů a mnohými nepříznivými účinky, které ohrožují bezpečnost provozu, zařízení a vážně ohrožují i bezpečnost obsluhy elektrických zařízení. Ohrožení bezpečnosti může být způsobeno:

- Přímo zkratovým proudem (silové, tepelné a indukční účinky)
- Poklesem napětí ve zkratovém obvodu (působí na spotřebiče a ohrožuje stabilitu rozvodné soustavy)
- Elektrickým obloukem (pokud se jedná o zkrat obloukový)

Hluboké poklesy napětí vznikající při zkratech mohou působit rušivě na chod mnoha elektrických spotřebičů. Mohou zapříčinit narušení stability paralelního chodu alternátorů a tím ohrozit provoz celé elektrizační soustavy.

Při zemních zkratech mohou vzniknout nebezpečné vlivy působící na paralelní komunikaci vedení i na zařízení uložená v zemi. Zemní spojení jsou nebezpečná zejména pro izolaci vodičů, protože při něm se na vodiči místo fázového napětí objevuje napětí sdružené a napětí nulového uzlu transformátoru vzrůstá na velikost fázového napětí. Pokud jde o přerušované zemní spojení, pak se napěťové namáhání izolace několikanásobně zvětšuje.

[4]

2.7 Zkratové impedance v místě zkratu

Sousledná zkratová impedance $Z_{(1)}$ trojfázové střídavé soustavy

Impedance sousledné složky viděná z místa zkratu.

Zpětná zkratová impedance $Z_{(2)}$ trojfázové střídavé soustavy

Impedance zpětné složky viděná z místa zkratu.

Netočivá zkratová impedance $Z_{(0)}$ trojfázové střídavé soustavy

Impedance netočivé složkové soustavy viděná z místa zkratu. Zahrnuje trojnásobek impedance Z_N mezi uzlem transformátoru a zemí.

Zkratová impedance Z_k trojfázové střídavé soustavy

Zkrácené označení pro souslednou zkratovou impedanci $Z_{(1)}$ pro výpočet proudů při trojfázovém zkratu.

Zkratové impedance elektrických zařízení

Sousledná zkratová impedance $Z_{(1)}$ elektrického zařízení

Poměr fázového napětí a zkratového proudu příslušné fáze elektrického zařízení při napájení ze souměrné sousledné složkové soustavy napětí.

Zpětná zkratová impedance $Z_{(2)}$ elektrického zařízení

Poměr fázového napětí a zkratového proudu příslušné fáze elektrického zařízení při napájení ze souměrné zpětné složkové soustavy napětí.

Netočivá zkratová impedance $Z_{(0)}$ elektrického zařízení

Poměr napětí proti zemi a zkratového proudu jedné fáze elektrického zařízení při napájení ze střídavého napětového zdroje, přičemž tři paralelní fázové vodiče jsou použity pro proud vycházející ze zdroje a čtvrtý vodič nebo zem tvoří společné zpětné vedení.

2.8 Metodika výpočtu zkratových poměrů dle EN 60909

Kompletní výpočet zkratových proudů určuje proudy jako funkce času v místě zkratu od počátku zkratu až do jeho konce. Zkratové proudy odpovídají okamžité hodnotě napětí na počátku zkratu (viz Obr). Ve většině praktických případů takový výpočet není nutný. [1]

2.8.1 Předpoklady výpočtu

Pro výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů vycházíme z následujících zjednodušení:

- Typ zkratu zůstává stejný po celou dobu trvání zkratového proudu, tzn. zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu trvání zkratu zkratem mezi fází a zemí
- Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance KT pro síťové transformátory.
- Odpory oblouku se neuvažují.
- Všechny kapacity vedení, paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány kromě paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Přestože tyto předpoklady výpočtu elektrické soustavy neodpovídají zcela přesně dané skutečnosti, zajišťují dostatečnou přesnost výsledků.

2.8.2 Metoda ekvivalentního napět'ového zdroje v místě zkratu

Tato výpočetní metoda je založena na zavedení ekvivalentního napět'ového zdroje v místě zkratu. Veškeré síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny pouze svou vnitřní impedancí. Ekvivalentní napět'ový zdroj je jediným aktivním napětím v soustavě.

Ve všech případech se k určení zkratového proudu v místě zkratu použije ekvivalentní napět'ový zdroj. Provozní údaje o odběrech, o poloze přepínače odboček transformátorů, buzení generátorů, atd. jsou postradatelné, odpadá nutnost provádět výpočty toků výkonů v různých stavech před zkratem.

2.8.3 Metoda souměrných složek

Použitím souměrných složek se zjednoduší výpočet hodnot proudů v trojfázových střídavých soustavách při souměrných a nesouměrných zkratech. Předpokládá se, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu, například v případě transponovaných vedení. Takto vypočtené hodnoty proudů mají přijatelnou přesnost i pro netransponované vedení. Při použití této metody se vypočítá proud v každé fázi superponováním tří souměrných složkových soustav. Proud sousledné složky soustavy, proud zpětné složky soustavy, proud netočivé složky soustavy.

Souslednou zkratovou impedanci $Z_{(1)}$ určíme, když souměrnou soustavu napětí sousledné složky přiložíme do místa zkratu, všechny synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny jejich vnitřní impedancí.

Zpětnou zkratovou impedanci $Z_{(2)}$ určíme, když souměrnou soustavu napětí zpětné složky přiložíme do místa zkratu.

Hodnoty sousledných a zpětných impedancí se mohou lišit jen u točivých strojů. Při výpočtu elektricky vzdálených zkratů se může uvažovat $Z_{(1)} = Z_{(2)}$

Netočivou zkratovou impedanci $Z_{(0)}$ určíme přiložením střídavého napětí mezi tři zkratované fáze a společné zpětné vedení. (např. zemnicí soustava, vodič PEN, zemnicí vodič)

Při výpočtu nesouměrných zkratů v soustavách vysokého a velmi vysokého napětí s použitím ekvivalentního napěťového zdroje se musí uvažovat kapacita netočivé složky vedení u soustav s izolovaným uzlem, rezonančně uzemněných, a u soustav s uzemněným uzlem se zemnicím faktorem vyšším než 1,4. Zanedbáním netočivé složky kapacit vedení v uzemněných soustavách vedou hodnoty zkratových proudů k výsledkům, které jsou mírně vyšší než skutečné hodnoty zkratových proudů. Odchylka je závislá na uspořádání sítě. Jen ve zvláštních případech je netočivá složka impedance v místě zkratu stejná jako sousledná a zpětná impedance.

2.8.4 Maximální zkratové proudy

Při výpočtu maximálních zkratových proudů je nutné vycházet z nejnejpříznivějšího stavu elektrizační soustavy.

- Pro výpočet maximálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{max} podle tabulky 1.
- Vybrat konfiguraci soustavy a maximální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu.
- Vliv asynchronních motorů se musí uvážit podle potřeby, ale v souladu se **souslednou zkratovou impedanci $Z_{(1)}$ elektrického zařízení**.
- Uvažují se odpory RL vedení (venkovních vedení a kabelů) při teplotě 20°C.

2.8.5 Minimální zkratové proudy

Při výpočtu minimálních zkratových proudů volíme následující podmínky:

- Pro výpočet se musí použít napěťový součinitel c_{min} podle tabulky 1.
- Vybrat konfiguraci soustavy a minimální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k minimální velikosti zkratového proudu.
- U stanic, které jsou za normálního provozu napájené dvěma transformátory nebo dvěma vedeními, se minimální zkratové proudy určí při odpojení jednoho transformátoru nebo vedení.

- Vliv asynchronních motorů se zanedbává.
- Odpor R_L venkovního vedení nebo kabelů se musí uvažovat při nejvyšší teplotě

$$R_L = [1 + \alpha \cdot (\theta_e - 20^\circ C)] R_{L20} \quad (2.1)$$

kde:

R_{L20} rezistance při teplotě $20^\circ C$

θ_e teplota vodiče ve $^\circ C$ na konci zkratu (uvažuje se maximální dovolená provozní teplota vodičů).

α součinitel rovný $0,004/K$, platný pro praktické účely pro měď, hliník, slitiny hliníku.

Tab. 6 Napěťový součinitel c

Jmenovité napětí U_N	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{\max} ¹⁾	minimálních zkratových proudů c_{\min}
Nízké napětí 100V až 1000V	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Vysoké napětí ²⁾ >1kV až 35kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí >35kV		
1) $c_{\max} U_N$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav. 2) Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{\max} U_N = U_m$ nebo $c_{\min} U_N = 0,9 \times U_m$ 3) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +6%. 4) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +10%.		

[4]

2.8.6 Zkratové impedance elektrických zařízení soustavy

U síťových napáječů, transformátorů, venkovních vedení, kabelů, reaktorů a podobných zařízení je sousledná impedance rovna zpětné zkratové impedanci.

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} \quad (2.2)$$

Netočivá zkratová impedance $Z_{(0)} = Z_{(0)}/I_{(0)}$ se určuje ze střídavého napětí uvažovaného mezi třemi paralelními vodiči a zpětným vodičem např. (nulovým vodičem, zemnicím vodičem,

zemí...). V tomto případě protéká společným zpětným vedením trojnásobek proudu netočivé složky. Impedance generátorů (G), síťových transformátorů (T) se musí vynásobit impedančními korekčními součiniteli K_G , K_T , pokud se zkratové proudy počítají metodou ekvivalentního zdroje v místě zkratu.[4]

2.8.7 Síťové napáječe

Je-li trojfázový zkrat, u kterého je znám počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě připojení napáječe Q, pak ekvivalentní impedance Z_Q - sousledná zkratová impedance sítě v bodě připojení napáječe Q se určí:

$$Z_{(Q)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} = \frac{c \cdot U_{nQ}^2}{S_{kQ}} \quad (\Omega; -; \text{kV}; \text{kA}; \text{MVA}) \quad (2.3)$$

V případě kdy je zkrat napájen transformátorem ze sítě VN nebo VVN, u kterého je znám pouze počáteční souměrný rázový zkratový proud I''_{kQ} , nebo souměrný rázový zkratový výkon S''_{kQ} v místě napojení napáječe Q, lze ekvivalentní zkratovou impedanci vztáženou ke straně nižšího napětí transformátoru určit takto:

$$Z_{(Q)} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \cdot \frac{1}{t_r^2} \quad (\Omega; -; \text{kV}; \text{kA}; \text{MVA}) \quad (2.4)$$

Kde:

U_{nQ} je jmenovité napětí soustavy v bodě připojení napáječe Q

I''_{kQ} je počáteční souměrný rázový zkratový proud v bodě připojení napáječe Q

c je napěťový součinitel (dle tabulky 1) napětí

t_r je jmenovitý převod transformátoru (přepínač v základní poloze)

V případě napáječů napájených venkovním vedením se jmenovitým napětím nad 35kV je možné ekvivalentní impedanci Z_Q považovat za reaktanci (činná složka impedance Z_Q je nulová). V jiných případech, pokud není pro činné odpory R_Q síťových napáječů známa žádná přesná hodnota, je možné dosadit kde $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$ kde $X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$

Minimální a maximální hodnotu počátečního souměrného rázového zkratového proud nebo souměrný rázový zkratový výkon na straně vyššího napětí musí udat provozovatel soustavy nebo se musí určit výpočtem dle normy ČSN EN 60909-0.

Ve zvláštních případech, v závislosti na konfiguraci vinutí a uzemnění uzlu transformátoru, můžeme uvažovat také netočivou zkratovou impedanci síťových napáječů soustavy.

2.9 Transformátory

2.9.1 Dvouvinut'ové transformátory

Sousledné zkratové impedance dvouvinut'ových transformátorů $Z_T = R_T + jX_T$ s odbočkami regulovatelnými při zatížení nebo bez nich se mohou vypočítat ze štítkových údajů transformátoru pomocí vztahů:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (\Omega; \%; \text{kV}; \text{MVA}) \quad (2.5)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad (\Omega; \text{MW}; \text{kV}; \text{MVA}) \quad (2.6)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (\Omega; \Omega; \Omega) \quad (2.7)$$

kde:

U_{rT} jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

I_{rT} jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

S_{rT} jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

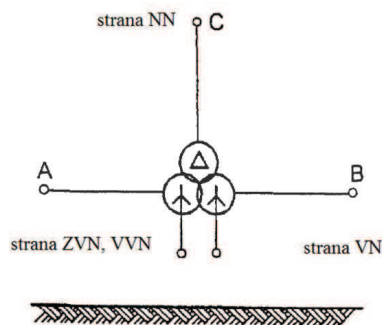
P_{krT} jmenovité ztráty nakrátko transformátoru

u_{kr} je jmenovité napětí nakrátko transformátoru v procentech

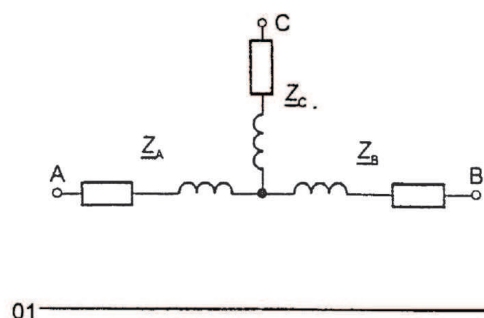
u_{Rr} je činná složka u_{kr} v procentech

Poměr složek sousledné zkratové impedance R_T/X_T se zvětšuje s velikostí transformátoru. U velkých transformátorů je činná složka tak malá, že je možné při výpočtu zkratového proudu ji zcela zanedbat a uvažovat pouze reaktanci transformátoru X_T . Odpor je nutné uvažovat pouze tehdy pokud počítáme velikost nárazového zkratového proudu i_p nebo velikost stejnosměrné složky $i_{d.c.}$.

2.9.2 Trojvinut'ové transformátory



Obr. 24 Trojvinut'ový transformátor – s označeným zapojení vinutí



Obr. 25 Trojvinut'ový transformátor – schéma (sousledné složkové soustavy)

Sousledné zkratové impedance Z_A , Z_B , Z_C trojvintu'ových transformátorů, lze vypočítat pomocí tří zkratových impedancí (vztažených na stranu A transformátoru):

$$\underline{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (\text{strana C rozpojena}) \quad (\Omega) \quad (2.8)$$

$$\underline{Z}_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (\text{strana B rozpojena}) \quad (\Omega) \quad (2.9)$$

$$\underline{Z}_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (\text{strana A rozpojena}) \quad (\Omega) \quad (2.10)$$

$$s \quad u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 - u_{Rr}^2}$$

Dále pomocí vzorců:

$$\underline{Z}_A = \frac{1}{2} \cdot (\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{AC} - \underline{Z}_{BC}) \quad (\Omega; \Omega; \Omega) \quad (2.11)$$

$$\underline{Z}_B = \frac{1}{2} \cdot (\underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{AB} - \underline{Z}_{AC}) \quad (\Omega; \Omega; \Omega) \quad (2.12)$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{2} \cdot (\underline{Z}_{AC} + \underline{Z}_{BC} - \underline{Z}_{AB}) \quad (\Omega; \Omega; \Omega) \quad (2.13)$$

kde: U_{rTA} je jmenovité napětí na straně A,

S_{rTAB} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a B,

S_{rTAC} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a C,

S_{rTBC} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami B a C.

u_{RrAB} , u_{XrAB} jsou jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech

mezi stranami A a B,

u_{RrAC} , u_{XrAC} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a C,

u_{RrBC} , u_{XrBC} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami B a C.

Korekční součinitelé pro impedance dvou- a trojvlnových síťových transformátorů:

Síťový transformátor je transformátor spojující dvě nebo více sítí s rozdílným napětím. U dvouvlňových transformátorů s přepínačem odboček při zatížení i bez něj se musí navíc k impedancím zavést korekční součinitel K_T : $\underline{Z}_{TK} = K_T \cdot \underline{Z}_T$ kde $\underline{Z}_T = Z_T + jX_T$

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_T} \quad (-)$$

kde x_T je poměrná reaktance transformátoru $x_T = X_T / (U_{rT}^2 / S_{rT})$ (2.14)

a c_{\max} (viz Tab. *Napěťový součinitel c*) odpovídá jmenovitému napětí sítě připojené ke straně nižšího napětí síťového transformátoru. Tento korekční součinitel se nesmí použít pro blokové transformátory.

U trojvlnových transformátorů s přepínačem odboček při zatížení a bez něho se tři impedanční korekční součinitelé mohou určit použitím poměrných hodnot reaktancí transformátorů:

$$K_{TAB} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_{TAB}} \quad (-) \quad (2.15)$$

$$K_{TAC} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_{TAC}} \quad (-) \quad (2.16)$$

$$K_{TBC} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_{TBC}} \quad (-) \quad (2.17)$$

Vedení

Souslednou zkratovou impedanci $\underline{Z}_L = R_L + jX_L$ lze dopočítat z parametrů vodiče, jako jsou průřez a rozteč vodičů.

Pro výpočet rezistancí a reaktancí

$$X_K = X_k \cdot l \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}; \text{km}) \quad (2.18)$$

$$R_K = R_k \cdot l \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}; \text{km}) \quad (2.19)$$

kde X_k je reaktance sousledné složky kabelu,

R_k odpor sousledné složky kabelu,

l délka kabelu.

Tlumivky (reaktory) omezující zkratový proud

Tlumivky omezující zkratový proud se považují za součást zkratové impedance.

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100\%} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{rR}} \quad \text{a} \quad R_R \ll X_R \quad (\Omega; \% ; \text{V}; \text{A}) \quad (2.20)$$

kde u_{kR} je impedanční napětí reaktoru,

I_{rR} jmenovitý proud reaktoru,

U_n jmenovité napětí soustavy.

Rezistanci reaktoru můžeme proti jeho reaktanci zanedbat, neboť je nepatrná ($R = 0,001 X$), takže $Z_R = X_R$.

Asynchronní motory

Motory vysokého napětí i nízkého napětí přispívají k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu I''_k , nárazovému zkratovému proudu i_p , k souměrnému zkratovému vypínacímu proudu I_b a u nesouměrných zkratů také k ustálenému zkratovému proudu I_k .

Impedance $Z_M = R_M + jX_M$ asynchronních motorů v sousledné a zpětné složkové soustavě lze určit pomocí:

$$Z_R = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (\Omega) \quad (2.21)$$

kde U_{rM} je jmenovité napětí motoru,

I_{rM} jmenovitý proud motoru,

S_{rM} jmenovitý zdánlivý příkon motoru ($S_{rM} = P_{rM} / \eta_{rM} \cos \varphi_{rM}$)

I_{LR} / I_{rM} poměr záběrného proudu ke jmenovitému proudu při zabrzděném motoru.

Jestliže je znám R_M/X_M , pak X_M se vypočítá následovně:

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + (R_M/X_M)^2}} \quad (\Omega) \quad (2.22)$$

Následující vztahy lze použít s dostatečnou přesností:

$R_M/X_M = 0,10$ s $X_M = 0,995 \cdot Z_M$ pro motory vysokého napětí o výkonu P_{rM} na dvojici pólů ≥ 1 MW,

$R_M/X_M = 0,15$ s $X_M = 0,989 \cdot Z_M$ pro motory vysokého napětí o výkonu P_{rM} na dvojici pólů < 1 MW,

$R_M/X_M = 0,42$ s $X_M = 0,922 \cdot Z_M$ pro skupiny nízkonapěťových motorů včetně připojovacích kabelů.

Výpočet parametrů jednotlivých prvků na napěťovou hladinu v místě zkratu:

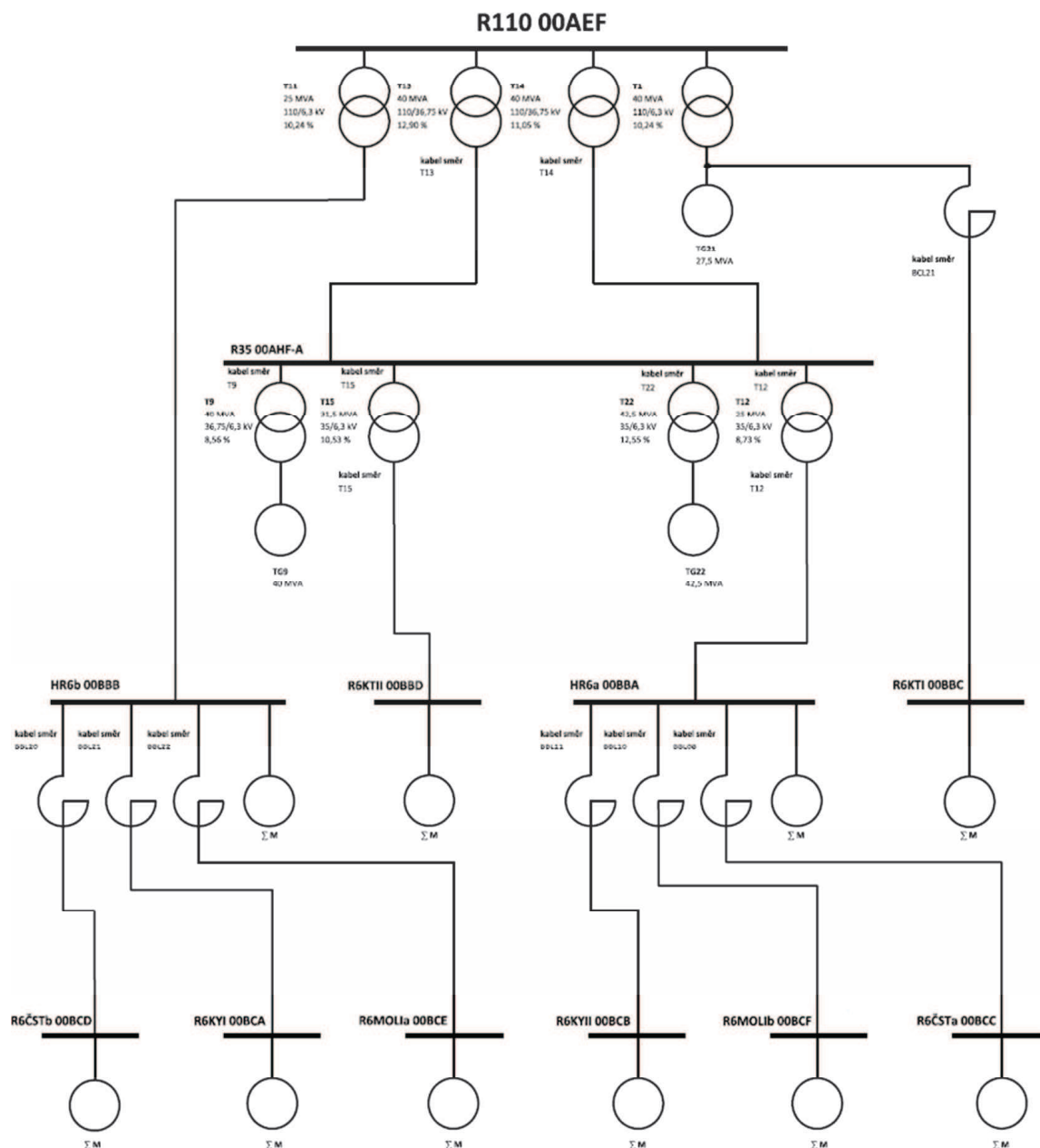
$$Z_2 = Z_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (\Omega; \Omega; \text{kV}; \text{kV}) \quad (2.23)$$

kde Z_2 je impedance přepočtena na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu, Z_1 impedance na napěťové hladině U_1 .

[1] [12] [13]

3. Popis provozního zapojení sítě průmyslového podniku

3.1 Provozní varianta zapojení č.1



Obr. 26 Provozní varianta zapojení č.1

3.1.1 Popis zapojení dle provozní varianty č.1

U toho zapojení je hlavní napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R110 00AEF“. Odtud je transformováno napětí z hladiny 110 kV pomocí transformátorů – T11 na napětí 6,3 kV pro rozvodu HR6b 00BBB, T13 a T14 na napětí 36,75 kV pro rozvodnu R35 00AHF-A, a T1 na napětí 6,3 kV pro rozvodnu R6KTI 00BBC. Dále je celý průmyslový podnik napájen (popřípadě může dodávat

do sítě elektrickou energii) ze 3 generátorů: TG9 – přes transformátor T9 (36,75/6,3 kV), TG22 - přes transformátor T22 (35/6,3 kV), TG21 přes transformátor T1.

Transformátor T1 (110/6,3 kV) rozvodny R110 00AEF napájí, přes reaktor, rozvodnu R6KTI 00BBC - odtud je napájena skupina motorů.

Z rozvodny HR6b 00BBB:

jsou napájeny, přes reaktory, rozvodny: R6ČSTb 00BCD, R6KYI 00BCA, R6MOLa 00BCE a skupina motorů.

Z rozvodny R35 00AHF-A:

je napájen transformátor T15 (35/6,3 kV), jenž napájí rozvodnu R6KTII 0BBD – odtud je napájena skupina motorů.

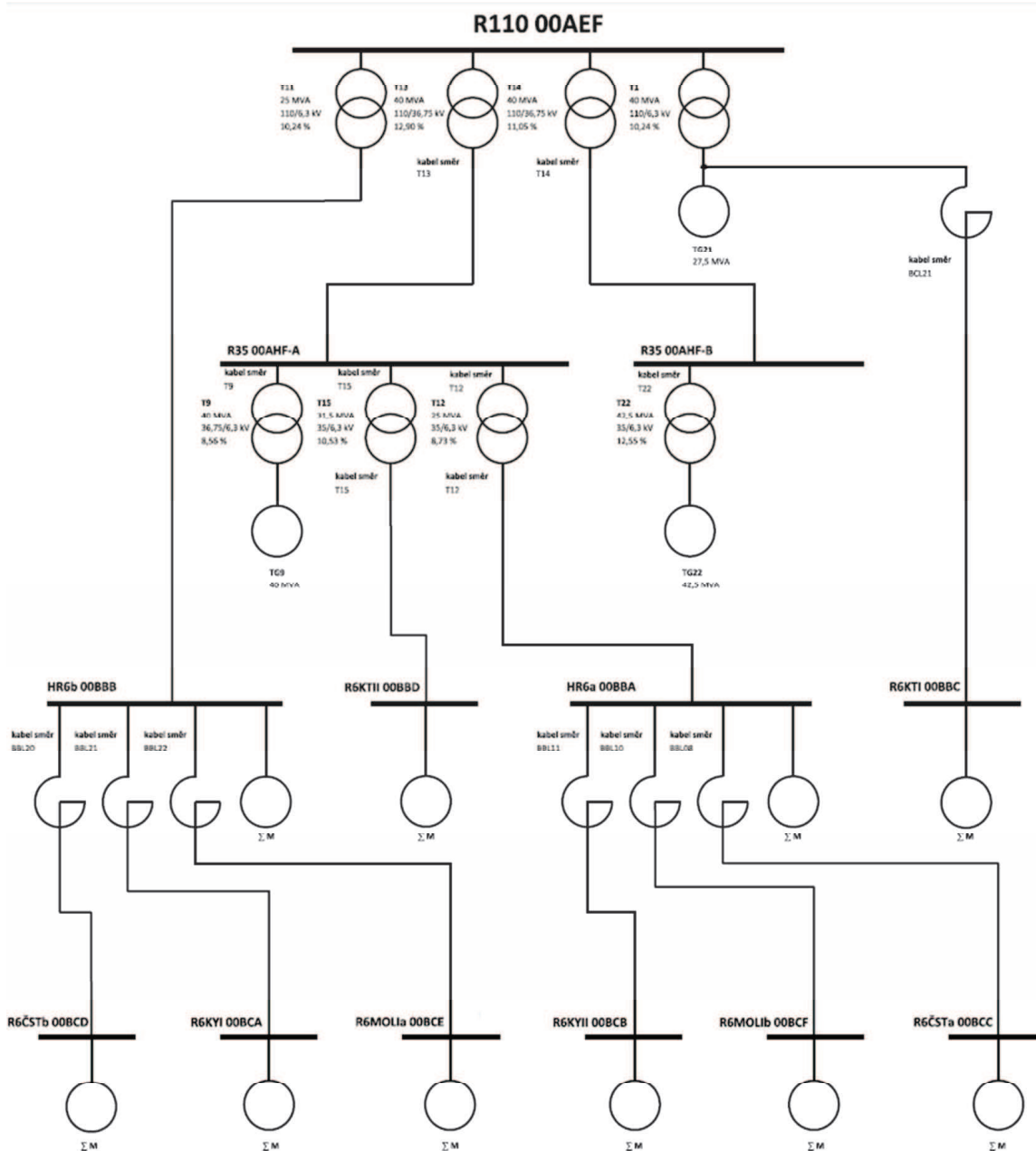
Dále je v této variantě zapojení napájena přes transformátor T12 (35/6,3 kV) rozvodna HR6a 00BBA.

Z rozvodny HR6a 00BBA:

jsou napájeny, přes reaktory, rozvodny: R6KYII 00BCB, R6MOLb 00BCF, R6ČSTa 00BCC a skupina motorů.

POZN.: Všechny propoje od transformátorů k rozvodnám jsou provedeny kabelovým vedením. Výjimkou je propoj mezi transformátorem T11 a rozvodnou HR6b 00BBB, jenž je proveden krátkým pásovým vodičem zanedbatelných hodnot.

3.2 Provozní varianta zapojení č.2



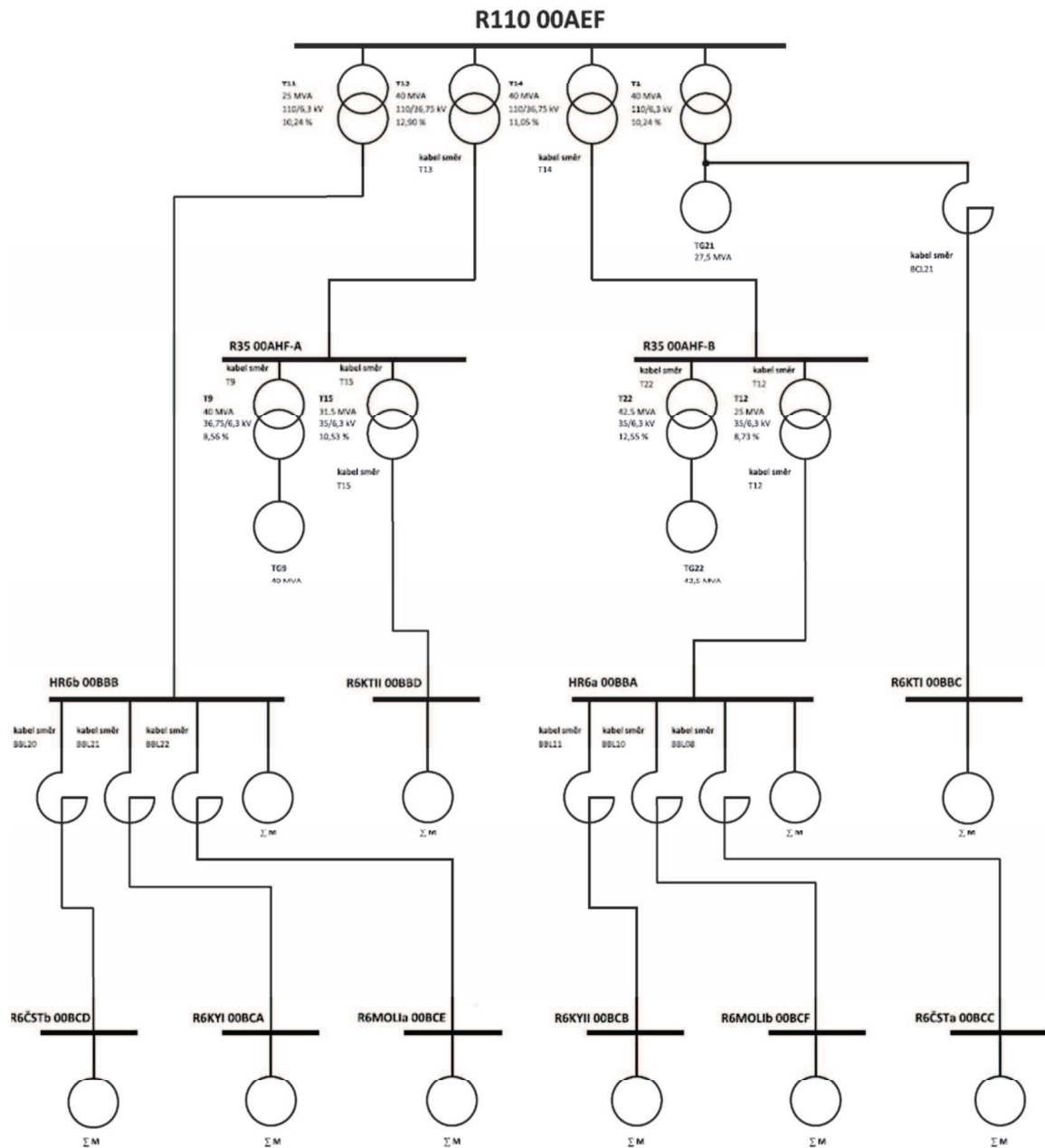
Obr. 27 Provozní varianta zapojení č.2

3.2.1 Popis zapojení dle provozní varianty č.2

Změnou v tomto provozním zapojení od varianty č.1 je, že transformátory T13, T9, T15 a T12 jsou připojeny na přípojnici „A“ rozvodny R35 00AHF. Transformátory T14 a T22 jsou připojeny na přípojnici „B“ rozvodny R35 00AHF.

POZN.: Všechny propoje od transformátorů k rozvodnám jsou provedeny kabelovým vedením. Výjimkou je propoj mezi transformátorem T11 a rozvodnou HR6b 00BBB, jenž je proveden krátkým pásovým vodičem zanedbatelných hodnot.

3.3 Provozní varianta zapojení č.3



Obr. 28 Provozní varianta zapojení č.3

3.3.1 Popis zapojení dle provozní varianty č.3

Změnou v tomto provozním zapojení od varianty č.1 je, že transformátory T13, T9 a T15 jsou připojeny na přípojnici „A“ rozvodny R35 00AHF. Transformátory T14, T22 a T12 jsou připojeny na přípojnici „B“ rozvodny R35 00AHF.

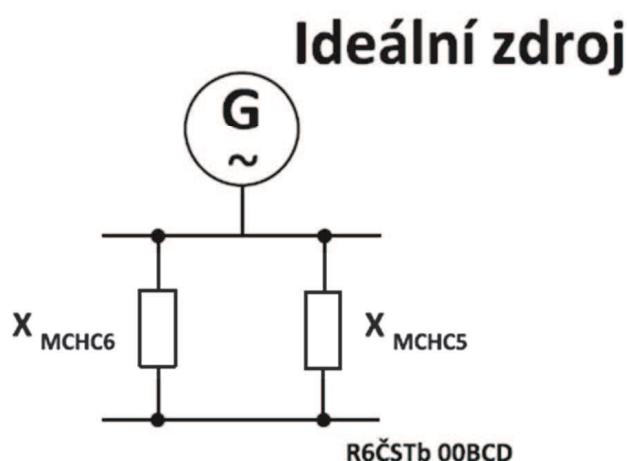
POZN.: Všechny propoje od transformátorů k rozvodnám jsou provedeny kabelovým vedením. Výjimkou je propoj mezi transformátorem T11 a rozvodnou HR6b 00BBB, jenž je proveden krátkým pásovým vodičem zanedbatelných hodnot.

4. Výpočet zkratových poměrů na určených rozvodnách

Databáze vstupních hodnot potřebných pro výpočet zkratových poměrů na určených rozvodnách je přiložena viz PŘÍLOHA A.

4.1 Příspěvky motorů na rozvodny VN

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6ČSTb:



Obr. 29 schéma motorů přispívajících na rozvodnu R6ČSTb

Příklad výpočtu rezistance a reaktance kabelů:

Rezistance a reaktance kabelů je pro tento případ zanedbána, motory jsou připojeny přímo na šínu rozvodny.

Příklad výpočtu reaktance motorů:

$$Z_{MCHC\ 6} = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} = \frac{U_{rM}^2}{i_z \cdot S_{rM}} = \frac{6,3^2}{5 \cdot 0,36414} = 21,7993 \ \Omega \quad (4.1)$$

$$Z_{MCHC\ 5} = \frac{U_{rM}^2}{i_z \cdot S_{rM}} = \frac{6,3^2}{5 \cdot 0,36414} = 21,7993 \ \Omega \quad (4.2)$$

$$X_{MCHC\ 6} = 0,989 \cdot Z_{MCHC\ 6} = 0,989 \cdot 21,7993 = 21,560 \ \Omega \quad (4.3)$$

$$X_{MCHC\ 5} = 0,989 \cdot Z_{MCHC\ 5} = 0,989 \cdot 21,7993 = 21,560 \ \Omega \quad (4.4)$$

Příklad výpočtu výsledné impedance:

$$Z_{MR\ 6\ ČSTb} = \frac{1}{\frac{1}{0 + X_{MCHC\ 6}} + \frac{1}{X_{MCHC\ 5}}} = \frac{1}{\frac{1}{0 + j21,560} + \frac{1}{0 + j21,560}} = \underline{\underline{0 + j10,8\ \Omega}} \quad (4.5)$$

Absolutní hodnota:

$$|Z_{MR6\check{C}Stb}| = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} = \sqrt{0^2 + 10,8^2} = \underline{\underline{10,8\Omega}} \quad (4.6)$$

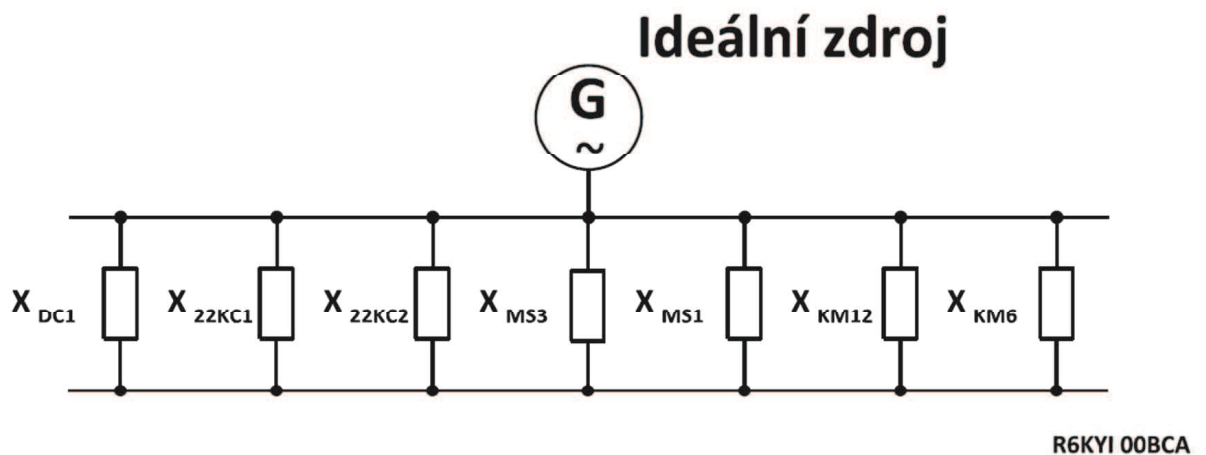
Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového proudu na rozvodnu R6ČStb:

$$I''_{k3\max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{MR6\check{C}Stb}|} = \frac{1,1 \cdot 6,3}{\sqrt{3} \cdot 10,8} = \underline{\underline{0,3705 \text{ kA}}} \quad (4.7)$$

Příspěvek maximálního zkratového výkonu od motorů na rozvodnu R6ČStb:

$$S''_{k3\max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3\max} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,3705 = \underline{\underline{4,0425 \text{ MVA}}} \quad (4.8)$$

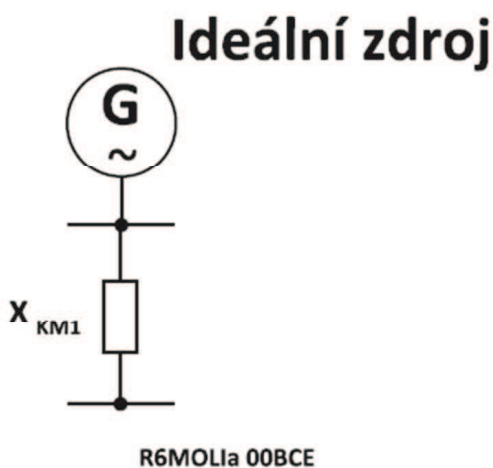
U ostatních rozveden s motory jsou výpočty obdobné. V další části budou uvedeny vždy jen náhradní schémata a výsledný příspěvek motorů na rozvodnu.

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6KYI:

Obr. 30: Schéma motorů přispívajících na rozvodnu R6KYI

Tab. 7 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu R6KYI

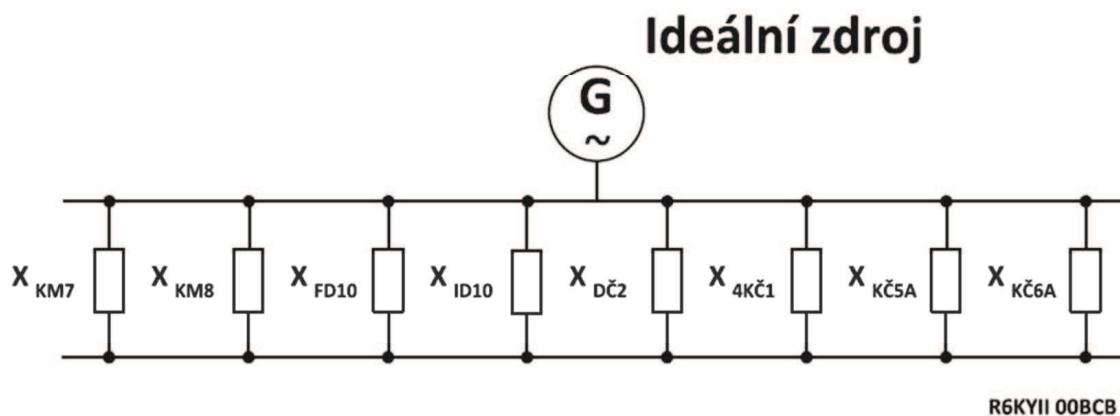
Rozvodna	Z_{MR6KYI}	$ Z_{MR6KYI} $	$I''_{k3\max}$	$S''_{k3\max}$
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6KYI (00BCA)	j4,2372	4,2372	0,9443	10,3037

Výpočet příspěvku motoru na rozvodnu R6MOL1a:

Obr. 31: Schéma motoru přispívajícího na rozvodnu R6MOL1a

Tab. 8 Vypočtené hodnoty příspěvku motoru na rozvodnu R6MOL1a

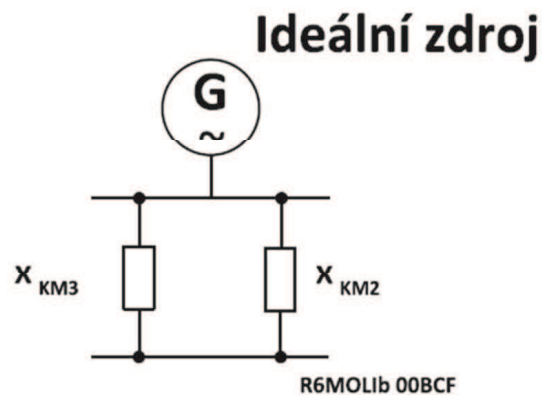
Rozvodna	$Z_{MR6MOL1a}$	$ Z_{MR6MOL1a} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6MOL1a (00BCE)	$j8,901$	8,901	0,4495	4,9050

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6KYII:

Obr. 32: Schéma motorů přispívajících na rozvodnu R6KYII

Tab. 9 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu R6KYII

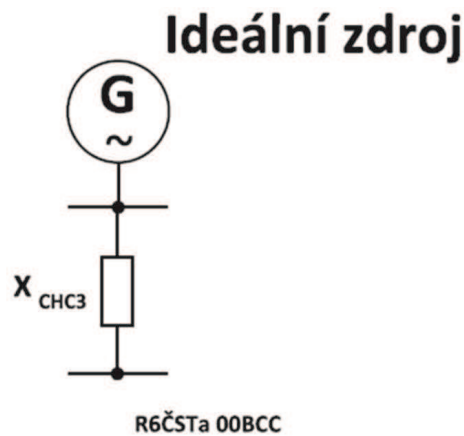
Rozvodna	$Z_{MR6KYII}$	$ Z_{MR6KYII} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6KYII (00BCB)	$j2,707$	2,707	1,4780	16,1282

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6MOLib:

Obr. 33 schéma motorů přispívajících na rozvodnu R6MOLib

Tab. 10 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu R6MOLib

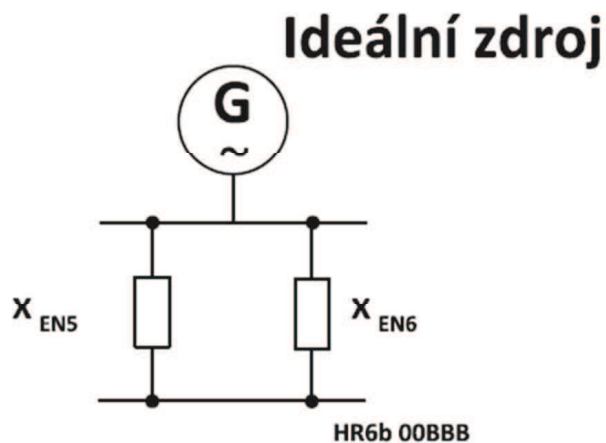
Rozvodna	$Z_{MR6MOLib}$	$ Z_{MR6MOLib} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6MOLib (00BCF)	j4,985	4,985	0,8026	8,7581

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6ČSTa:

Obr. 34: Schéma motoru přispívajícího na rozvodnu R6ČSTa

Tab. 11 Vypočtené hodnoty příspěvku motoru na rozvodnu R6ČSTa

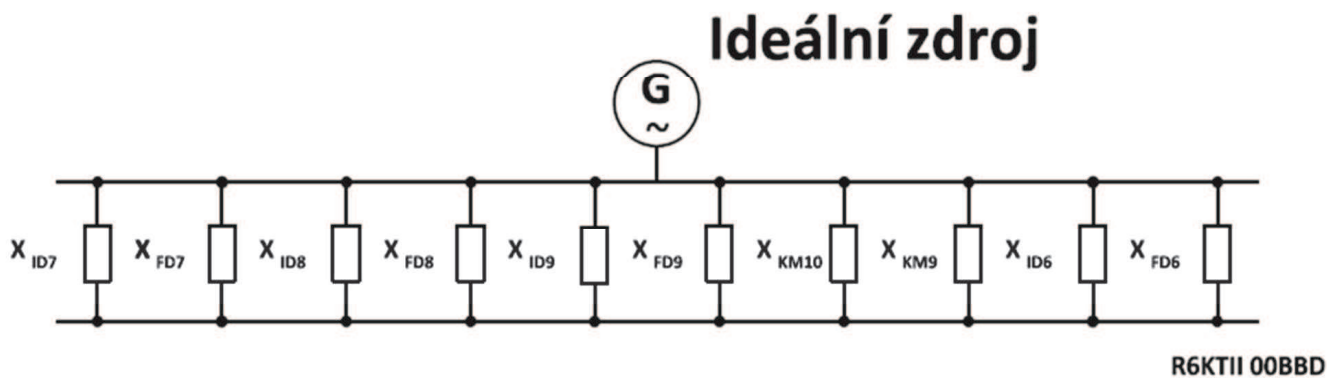
Rozvodna	$Z_{MR6ČSTa}$	$ Z_{MR6ČSTa} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6ČSTa (00BCC)	j21,560	21,560	0,1856	2,0250

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu HR6b:

Obr. 35: Schéma motorů přispívajících na rozvodnu HR6b

Tab. 12 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu HR6b

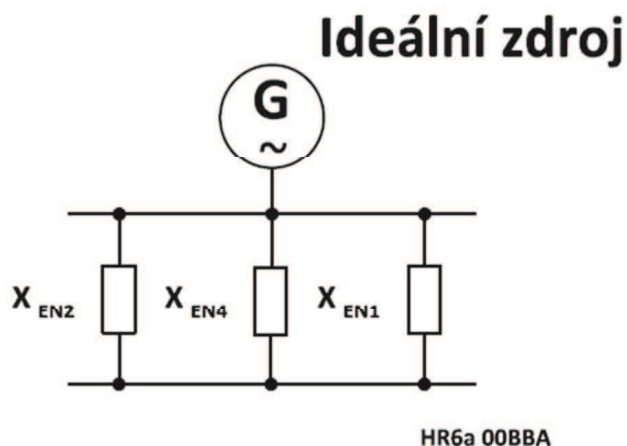
Rozvodna	Z_{MHR6b}	$ Z_{MHR6b} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
HR6b (00BBB)	$j3,621$	3,621	1,1050	12,0572

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6KTII:

Obr. 36: Schéma motorů přispívajících na rozvodnu R6KTII

Tab. 13 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu R6KTII

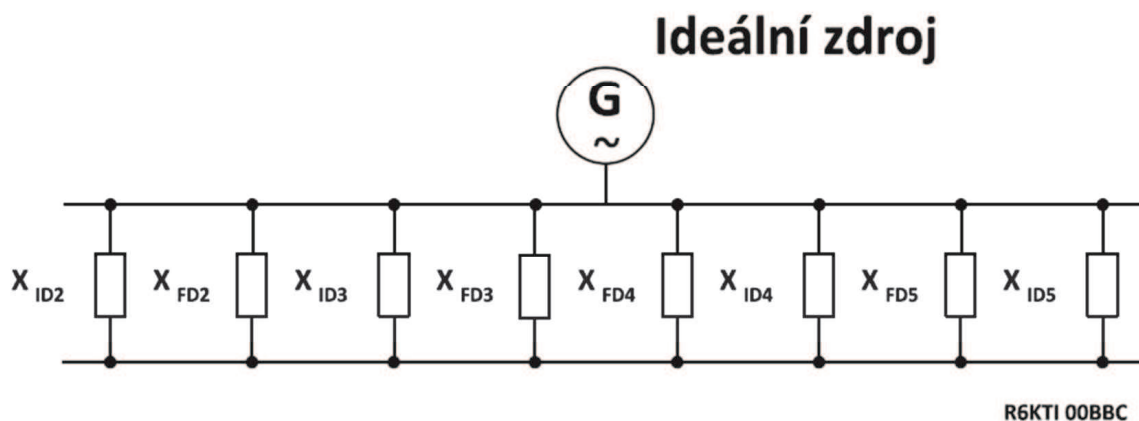
Rozvodna	$Z_{MR6KTII}$	$ Z_{MR6KTII} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6KTII (00BBD)	$j1,261$	1,261	3,1729	34,6225

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu HR6a:

Obr. 37 schéma motorů přispívajících na rozvodnu HR6a

Tab. 14 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu HR6a

Rozvodna	Z_{MHR6a}	$ Z_{MHR6a} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
HR6a (00BBA)	$j2,352$	2,352	1,7011	18,5625

Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu R6KTI:

Obr. 38: Schéma motorů přispívajících na rozvodnu R6KTI

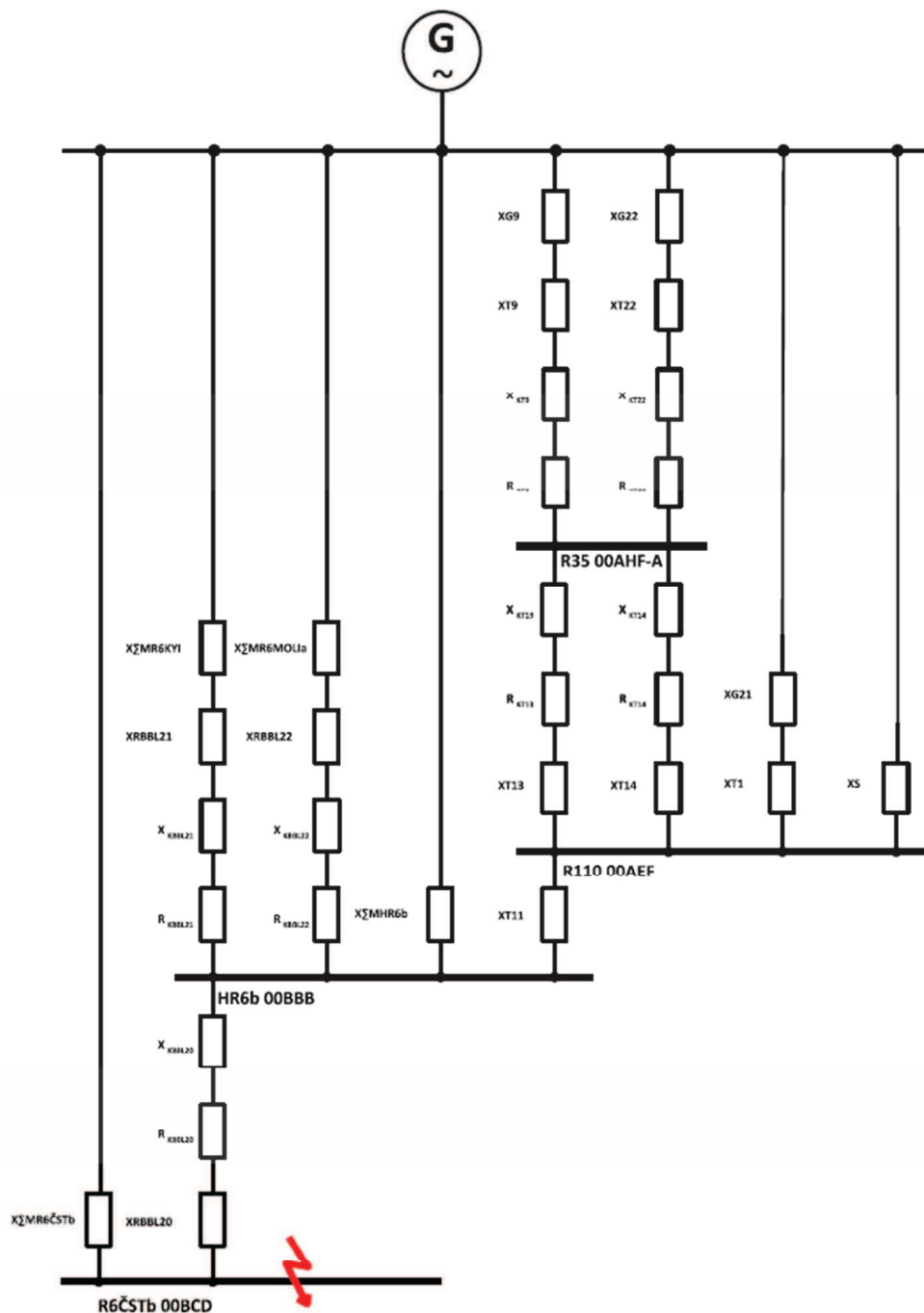
Tab. 15 Vypočtené hodnoty příspěvků motorů na rozvodnu R6KTI

Rozvodna	Z_{MR6KTI}	$ Z_{MR6KTI} $	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[Ω]	[kA]	[MVA]
R6KTI (00BBC)	$j1,437$	1,437	2,7843	30,3820

4.2 Maximální zkratové poměry na rozvodnách

Pomocí náhradních schémat pro různé varianty místa zkratu na rozvodnách se postupným zjednodušováním určí výsledná impedance, ze které lze vypočítat výsledné zkratové poměry. Pro větší přehlednost jsem varianty místa zkratu rozlišil znaky VX/X – první číslo znamená variantu zapojení, druhé číslo znamená místo zkratu.

Varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)



Obr. 39 Varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

Příklad výpočtů rezistancí a reaktancí prvků náhradního schématu:

Kvůli lepší přehlednosti je uveden pouze postup při výpočtu jednoho z členů schématu, ostatní výpočty jsou obdobné. Vstupní hodnoty a výsledky všech prvků viz příloha.

Reaktance nadřazené soustavy 110kV:

Maximální zkratový příspěvek z nadřazené soustavy do rozvodny R110 00AEF je $S_{k\max}=3587,6$ MVA.

$$X_S = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3\max}''} = \frac{1,1 \cdot 110^2}{3587,6} = 3,71 \Omega \quad (4.9)$$

po přepočtení na napět'ovou hladinu v místě zkratu:

$$X_S = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3\max}''} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110^2}{3587,6} \cdot \left(\frac{6,3}{110} \right)^2 = \underline{\underline{0,01217 \Omega}} \quad (4.10)$$

Reaktance reaktorů:

Rezistanci reaktoru můžeme proti jeho reaktanci zanedbat, neboť je nepatrná ($R=0,01 \cdot X$), platí tedy

$$X_{(1)}=Z_{(1)}$$

$$X_{KBBL\ 20} = Z_{KBBL\ 20} = \frac{u_{kR}}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{BBL\ 20}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{6,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = \underline{\underline{0,546 \Omega}} \quad (4.11)$$

Reaktance rezistance a reaktance kabelu:

$$R_{KBBL\ 20} = R_{KBBL\ 20} \cdot l_{BBL\ 20} = 0,125 \cdot 0,480 = \underline{\underline{0,06 \Omega}} \quad (4.12)$$

$$X_{KBBL\ 20} = X_{KBBL\ 20} \cdot l_{BBL\ 20} = 0,08796 \cdot 0,480 = \underline{\underline{0,04222 \Omega}} \quad (4.13)$$

Impedance kabelu:

$$Z_{KBBL\ 20} = \sqrt{R_{KBBL\ 20}^2 + X_{KBBL\ 20}^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,04222^2} = \underline{\underline{0,07337 \Omega}} \quad (4.14)$$

Impedance dvou paralelních kabelů:

$$Z_{KBBL\ 20_PARALEL} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{KBBL\ 20}} + \frac{1}{Z_{KBBL\ 20}}} = \frac{1}{\frac{1}{0,07337} + \frac{1}{0,07337}} = \underline{\underline{0,03668 \Omega}} \quad (4.15)$$

Reaktance (impedance) transformátorů:

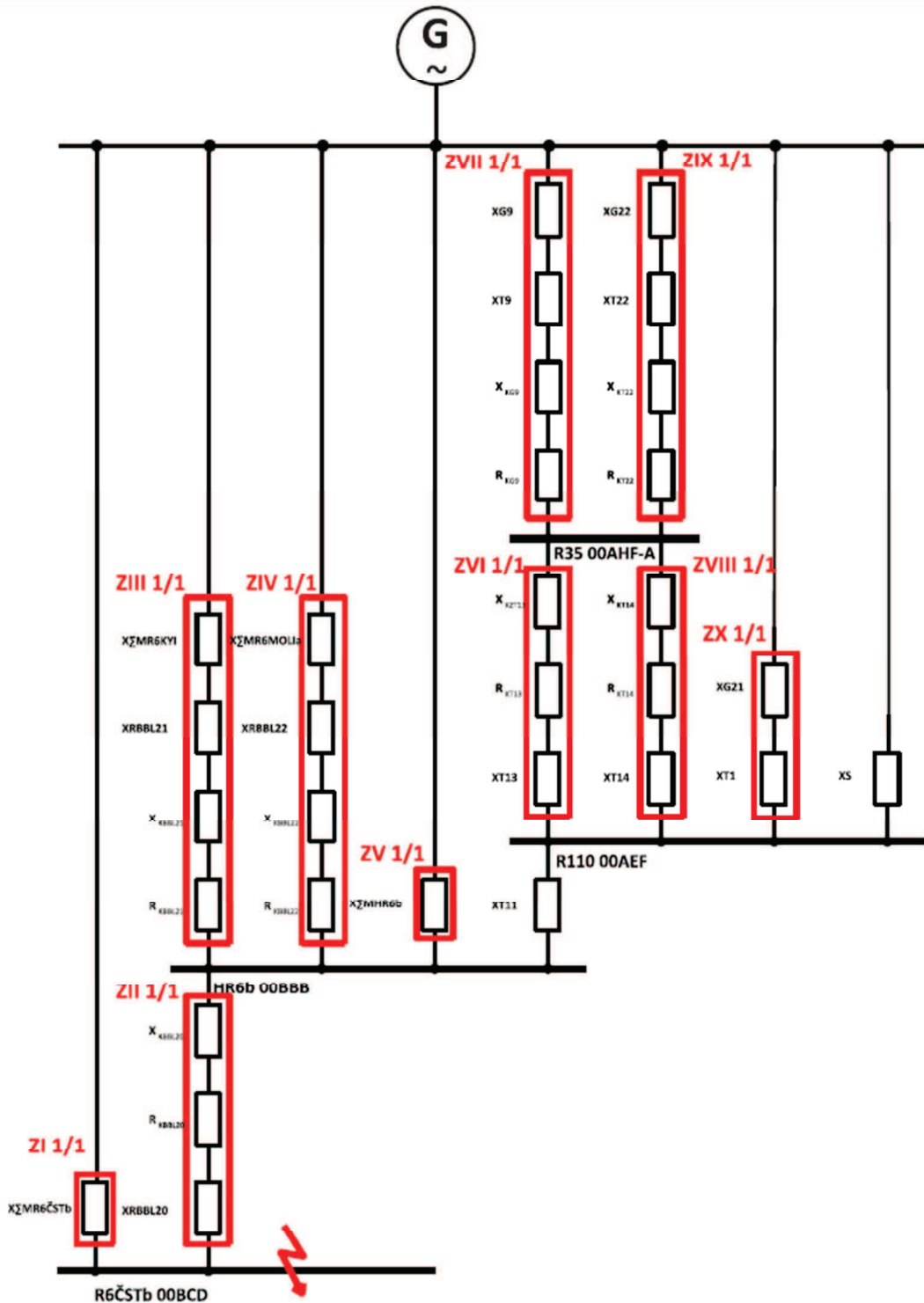
Při běžném výpočtu lze uvažovat $X_{(1)}=Z_{(1)}$

$$X_{T11} = Z_{T11} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{10,24 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 25} = \underline{\underline{0,1626 \Omega}} \quad (4.16)$$

Reaktance generátoru:

$$X_{G9} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{13,4 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 40} = \underline{\underline{0,133 \Omega}} \quad (4.17)$$

Výpočet celkové impedance:



Obr. 40 Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

$$Z_{I\ 1/1} = Z_{\Sigma MR\ 6\ \check{C}STb} = \underline{10,8\ \Omega} \quad (4.18)$$

$$Z_{II\ 1/1} = Z_{RBBL\ 20} + Z_{KBBL\ 20_PARALEL} = 0,546 + 0,03668 = \underline{0,5827\ \Omega} \quad (4.19)$$

$$Z_{III\ 1/1} = Z_{KBBL\ 21_PARALEL} + Z_{RBBL\ 21} + Z_{\Sigma MR\ 6\ KYI} = 0,0056 + 0,218 + 4,2372 = \underline{4,4608\ \Omega} \quad (4.20)$$

$$Z_{IV\ 1/1} = Z_{KBBL\ 22_PARALEL} + Z_{RBBL\ 22} + Z_{\Sigma MR\ 6\ MOLa} = 0,00955 + 0,218 + 8,901 = \underline{9,1285\ \Omega} \quad (4.21)$$

$$Z_{V\ 1/1} = Z_{\Sigma MHR\ 6b} = \underline{3,621\ \Omega} \quad (4.22)$$

$$X_{T11} = Z_{T11} = \underline{0,1626 \Omega} \quad (4.23)$$

$$Z_{VI\ 1/1} = Z_{T13} + Z_{KT\ 13_PARALEL} = 0,1161 + 0,0021 = \underline{0,1182 \Omega} \quad (4.24)$$

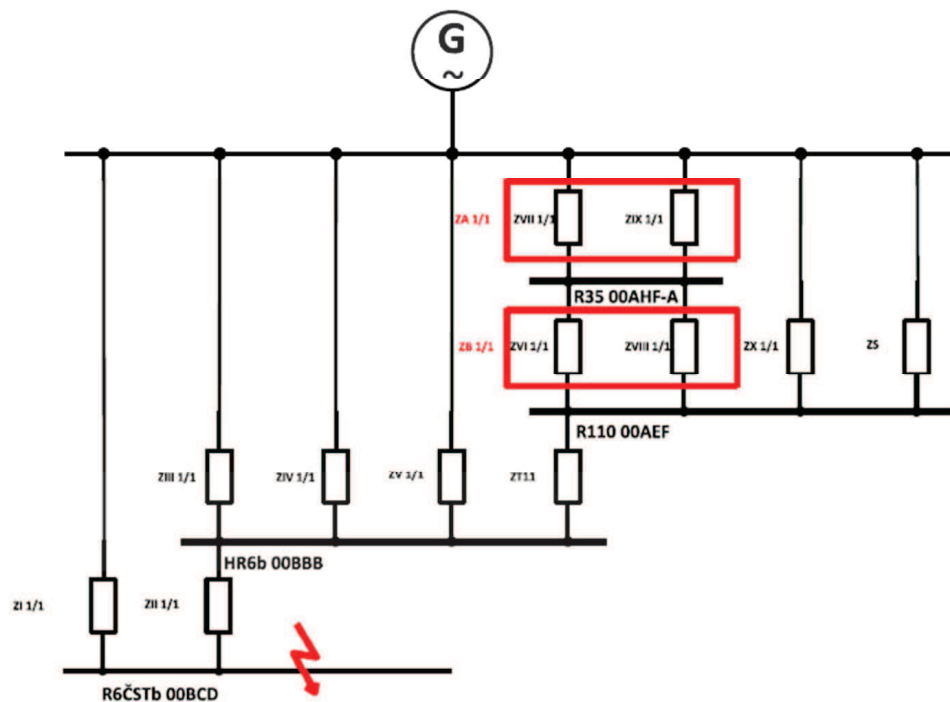
$$Z_{VII\ 1/1} = Z_{KT\ 9_PARALEL} + Z_{T9} + Z_{G9} = 0,0058 + 0,0849 + 0,1330 = \underline{0,2237 \Omega} \quad (4.25)$$

$$Z_{VIII\ 1/1} = Z_{T14} + Z_{KT\ 14_PARALEL} = 0,09945 + 0,0059 = \underline{0,10535 \Omega} \quad (4.26)$$

$$Z_{IX\ 1/1} = Z_{KT\ 22_PARALEL} + Z_{T22} + Z_{G22} = 0,0162 + 0,1172 + 0,1191 = \underline{0,2525 \Omega} \quad (4.27)$$

$$Z_{X\ 1/1} = Z_{T1} + Z_{G21} = 0,1131 + 0,1934 = \underline{0,3065 \Omega} \quad (4.28)$$

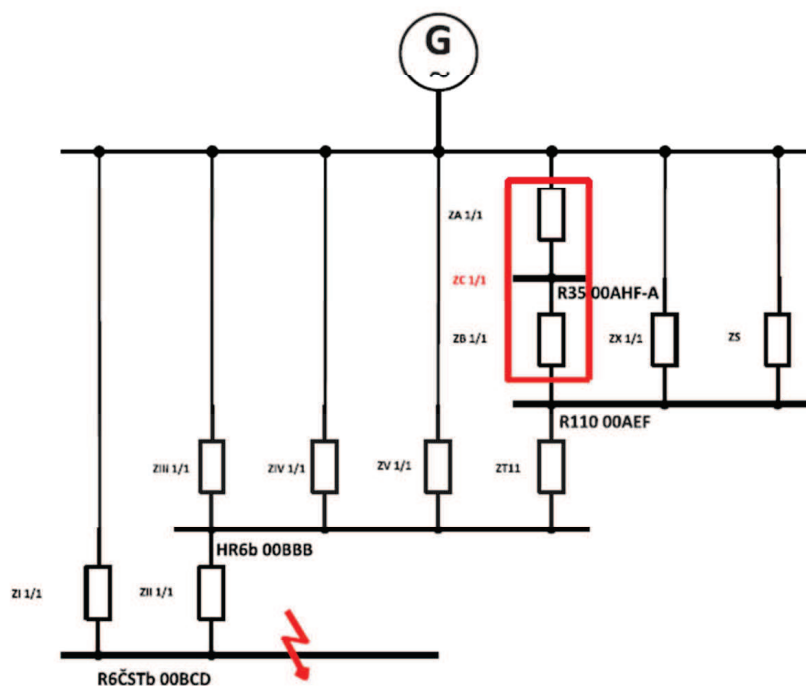
$$Z_S = \underline{0,012169 \Omega} \quad (4.29)$$



Obr. 41 Zjednodušené schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

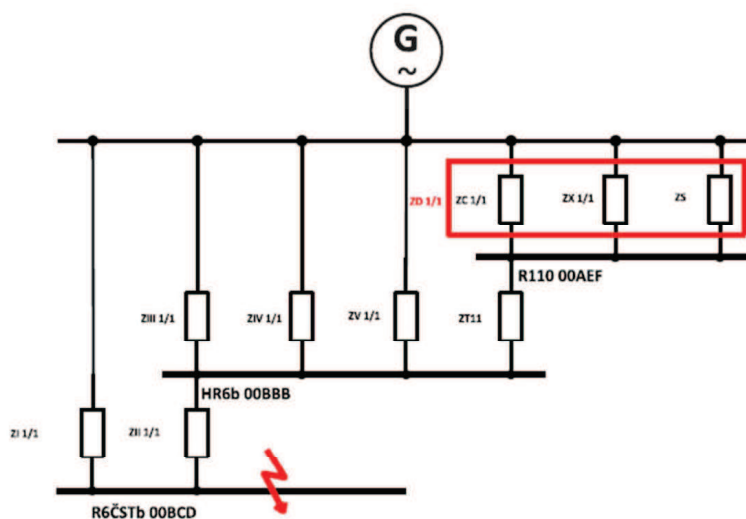
$$Z_{A1/1} = \frac{Z_{VII\ 1/1} \cdot Z_{IV\ 1/1}}{Z_{VII\ 1/1} + Z_{IV\ 1/1}} = \frac{0,2237 \cdot 0,2525}{0,2237 + 0,2525} = \underline{0,1186 \Omega} \quad (4.30)$$

$$Z_{B1/1} = \frac{Z_{VI\ 1/1} \cdot Z_{VIII\ 1/1}}{Z_{VI\ 1/1} + Z_{VIII\ 1/1}} = \frac{0,1182 \cdot 0,10535}{0,1182 + 0,10535} = \underline{0,0557 \Omega} \quad (4.31)$$



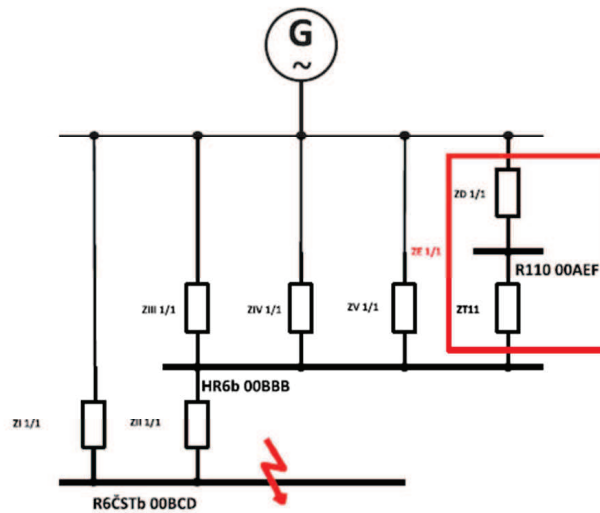
Obr. 42 Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

$$Z_{C1/1} = Z_{A1/1} + Z_{B1/1} = 0,1186 + 0,0557 = \underline{\underline{0,1743 \Omega}} \quad (4.32)$$



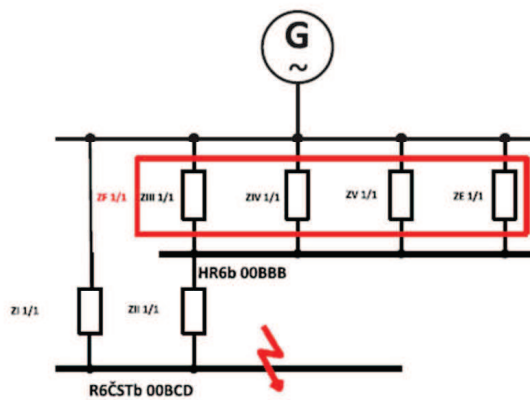
Obr. 43 Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

$$Z_{D1/1} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{C1/1}} + \frac{1}{Z_{X1/1}} + \frac{1}{Z_S}} = \frac{1}{\frac{1}{0,1743} + \frac{1}{0,3065} + \frac{1}{0,012169}} = \underline{\underline{0,01097 \Omega}} \quad (4.33)$$



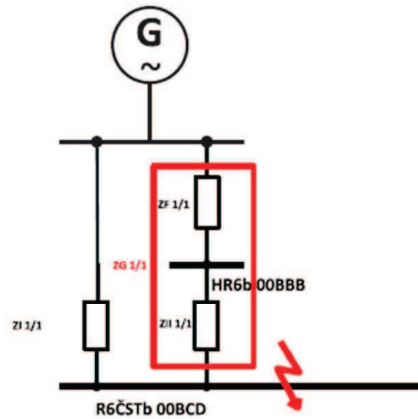
Obr. 44 Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČStb (00BCD)

$$Z_{E1/1} = Z_{D1/1} + Z_{T11} = 0,01097 + 0,1626 = \underline{\underline{0,17357 \ \Omega}} \quad (4.34)$$



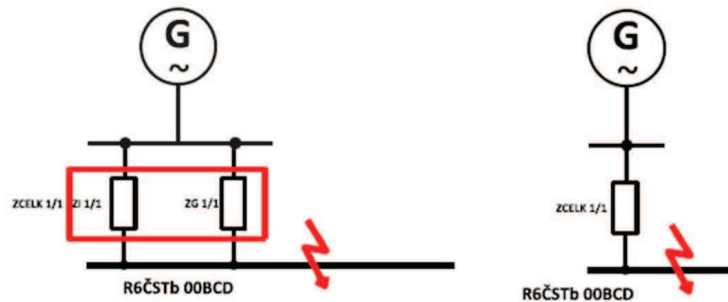
Obr. 45 Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČStb (00BCD)

$$Z_{F1/1} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{III\ 1/1}} + \frac{1}{Z_{IV\ 1/1}} + \frac{1}{Z_{V\ 1/1}} + \frac{1}{Z_{E1/1}}} = \frac{1}{\frac{1}{4,4608} + \frac{1}{9,1285} + \frac{1}{3,621} + \frac{1}{0,17357}} = \underline{\underline{0,1569 \ \Omega}} \quad (4.35)$$



Obr. 46: Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

$$Z_{G1/1} = Z_{F1/1} + Z_{II1/1} = 0,1569 + 0,5827 = \underline{\underline{0,7396 \Omega}} \quad (4.36)$$



Obr. 47 Zjednodušení schéma varianta místa zkratu V1/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

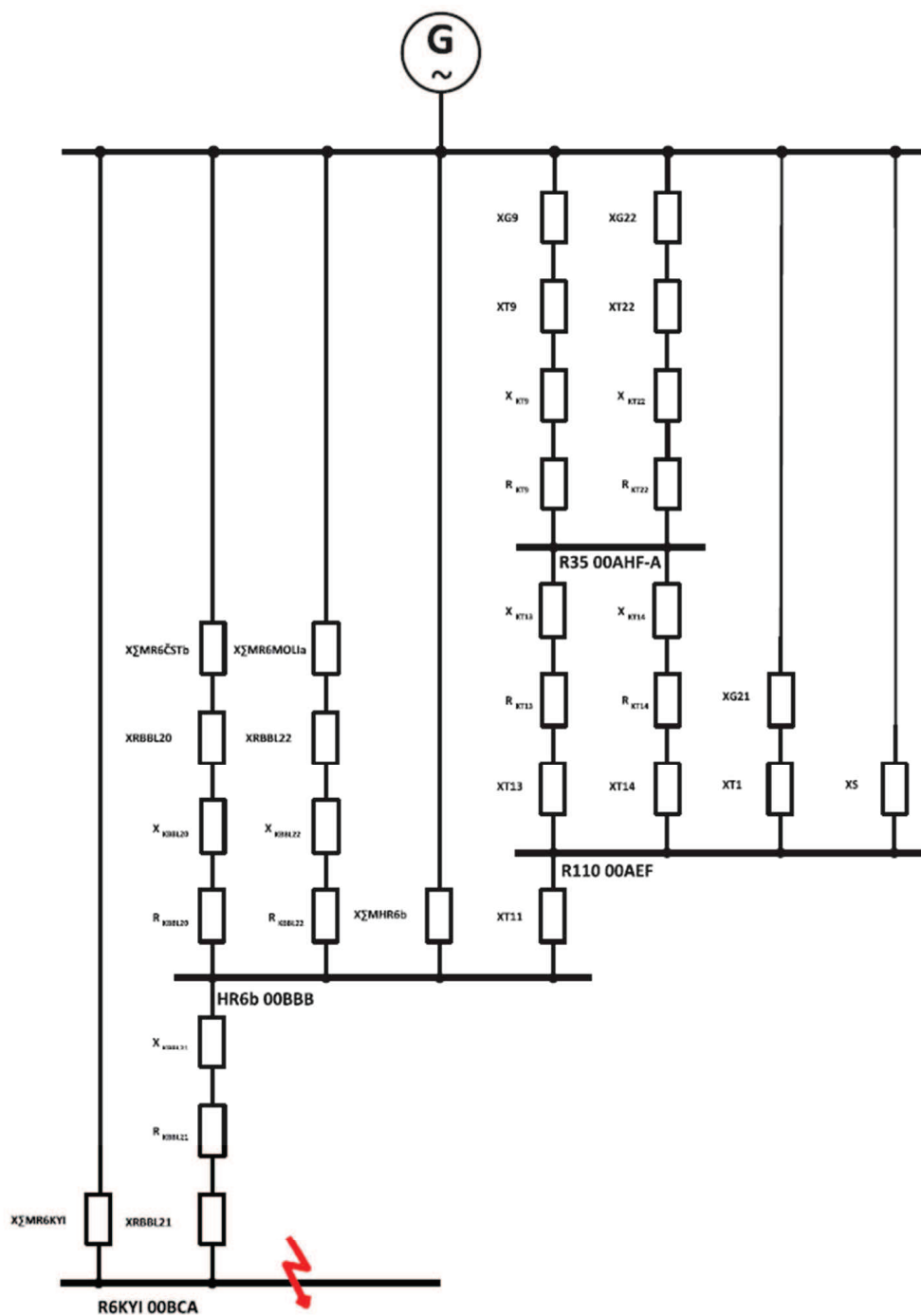
$$|Z_{CELK1/1}| = \frac{Z_{I1/1} \cdot Z_{G1/1}}{Z_{I1/1} + Z_{G1/1}} = \frac{10,8 \cdot 0,7396}{10,8 + 0,7396} = \underline{\underline{0,6919 \Omega}} \quad (4.37)$$

Maximální počáteční rázový zkratový proud pro třífázový zkrat:

$$I_{k3 \max}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} = \frac{1,1 \cdot 6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,6919} = \underline{\underline{5,78 \text{ kA}}} \quad (4.38)$$

Maximální zkratový výkon zkratového obvodu při trojfázovém zkratu:

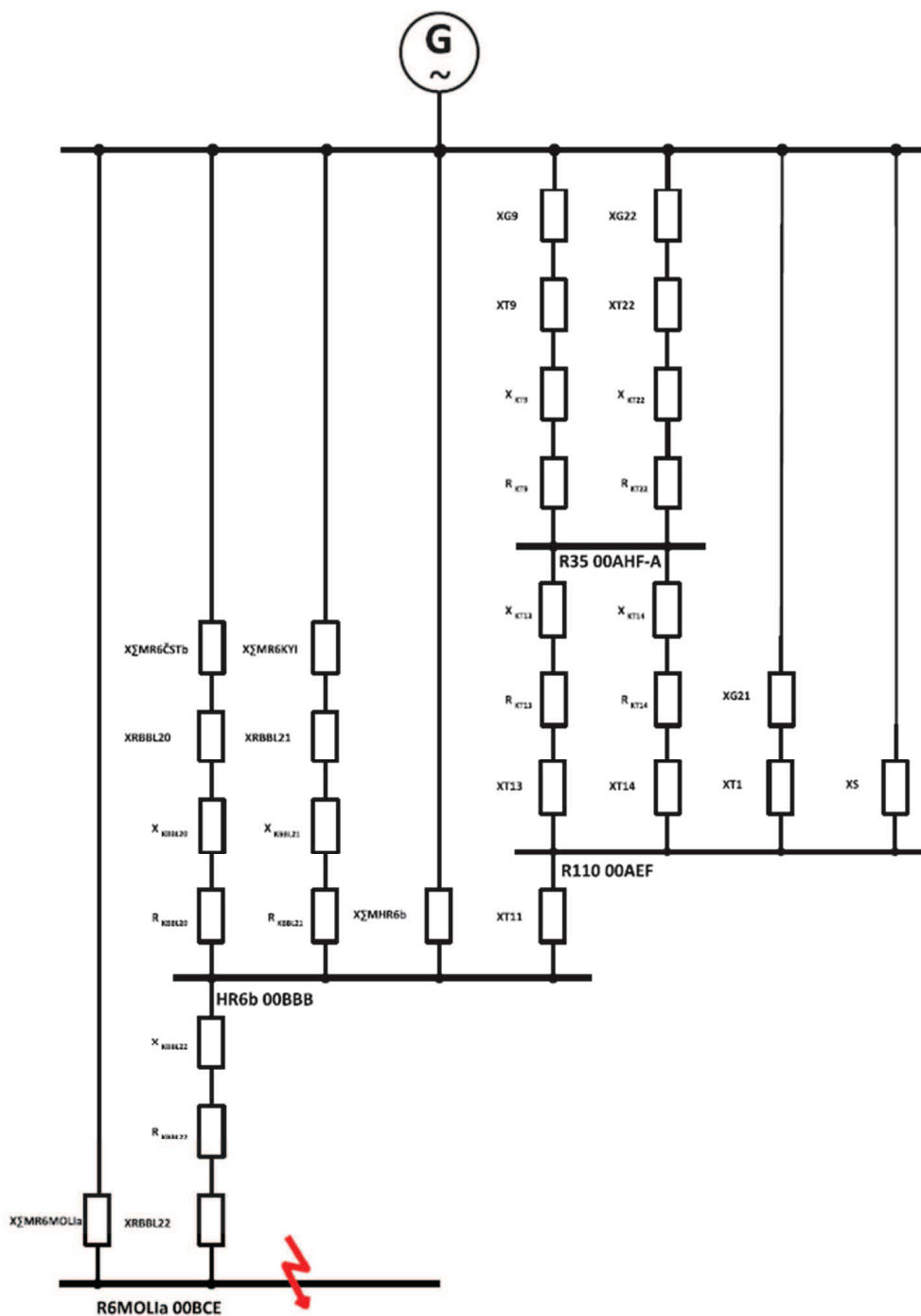
$$S_{k3 \max}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3 \max}'' = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 5,78 = \underline{\underline{63,1 \text{ MVA}}} \quad (4.39)$$

Varianta místa zkratu V1/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

Obr. 48 Varianta místa zkratu V1/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

Tab. 16 Vypočtené hodnoty V1/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

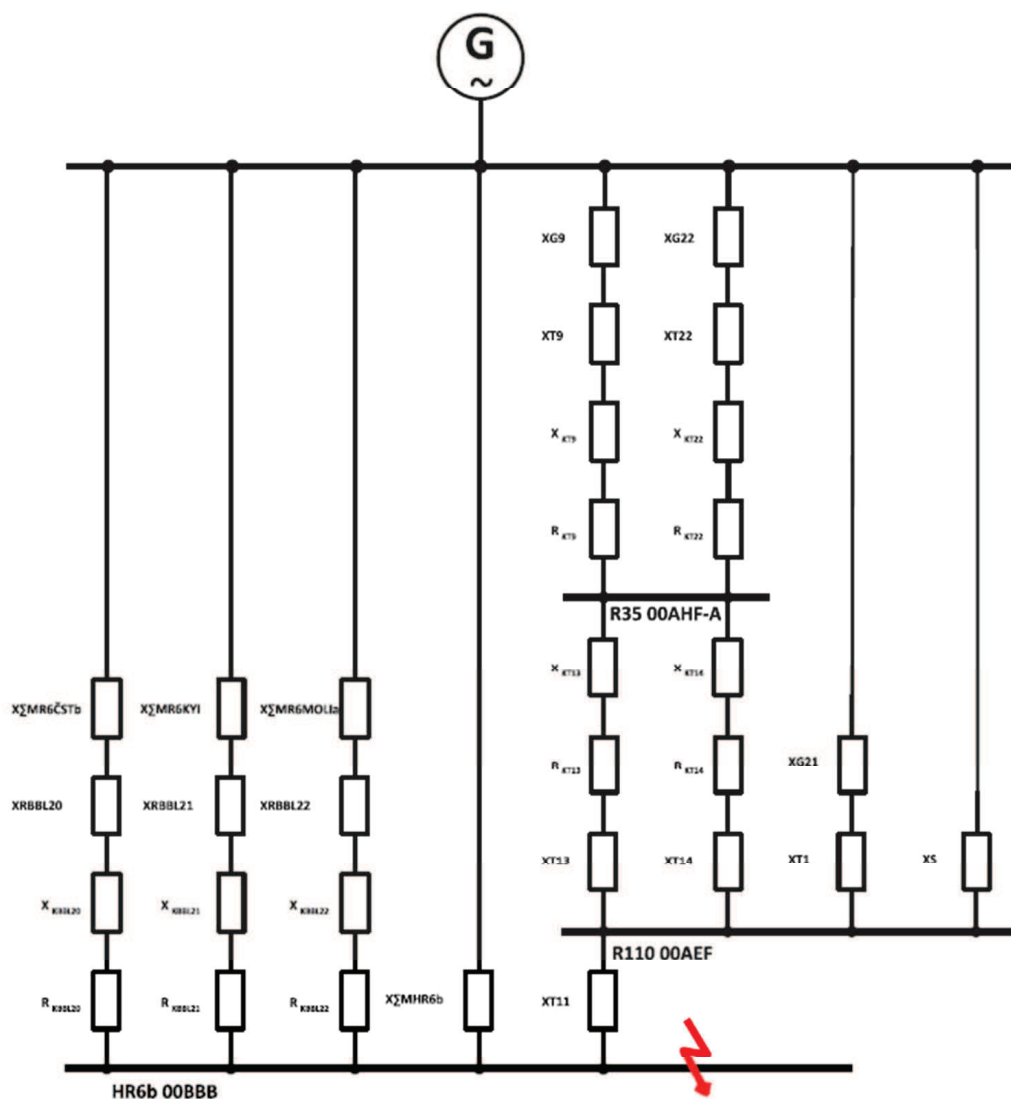
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/2	0,35229	6,3	11,3571	123,9282

Varianta místa zkratu V1/3 – rozvodna R6MOLiA (00BCE)

Obr. 49 Varianta místa zkratu V1/3 – rozvodna R6MOLiA (00BCE)

Tab. 17 Vypočtené hodnoty V1/3 – rozvodna R6MOLiA (00BCE)

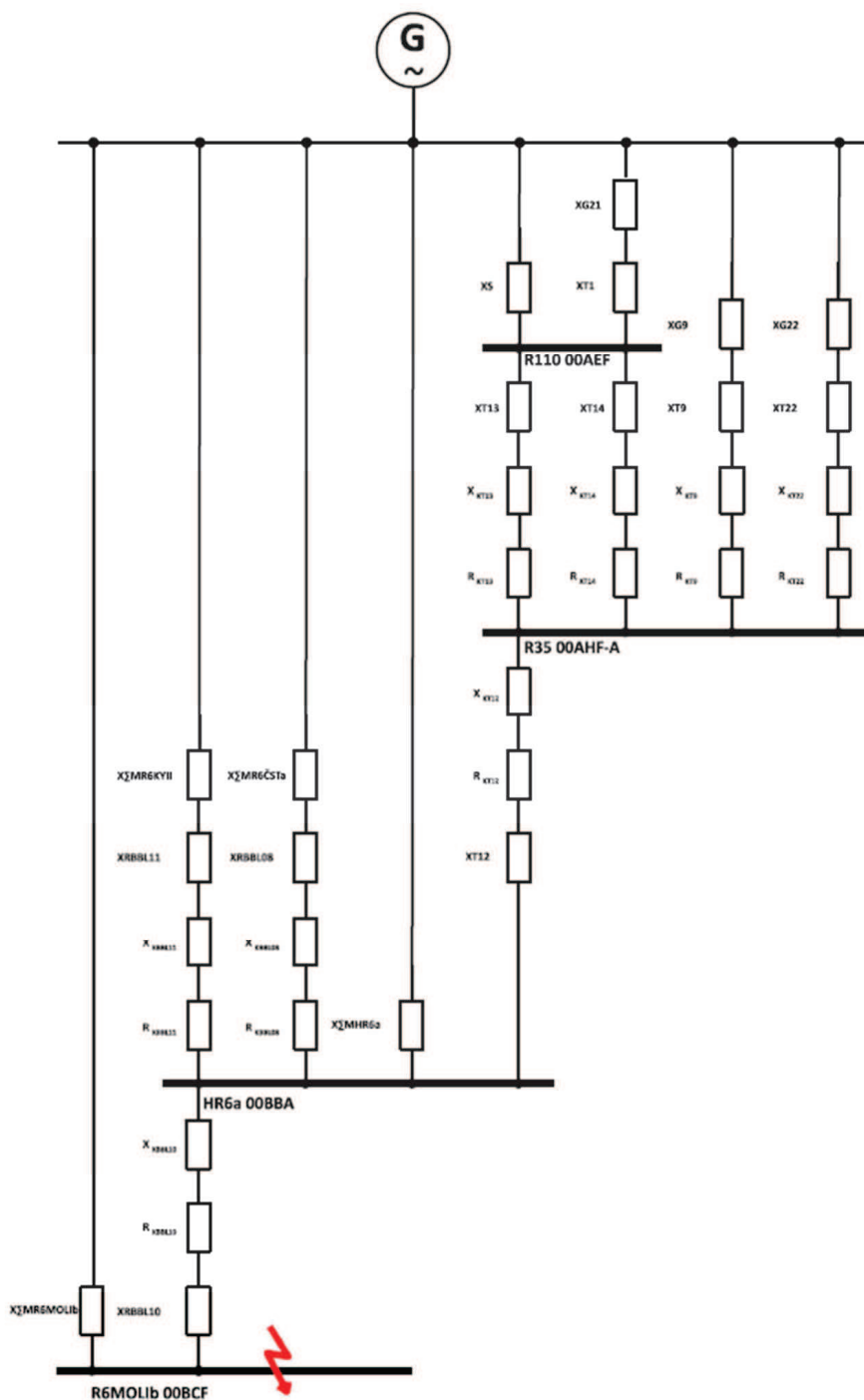
Varianta zapojení	$ Z_{\text{CELK}} $	$U_{\text{MÍSTA ZKRATU}}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/3	0,36931	6,3	10,8339	118,2189

Varianta místa zkratu V1/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Obr. 50 Varianta místa zkratu V1/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Tab. 18 Vypočtené hodnoty V1/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

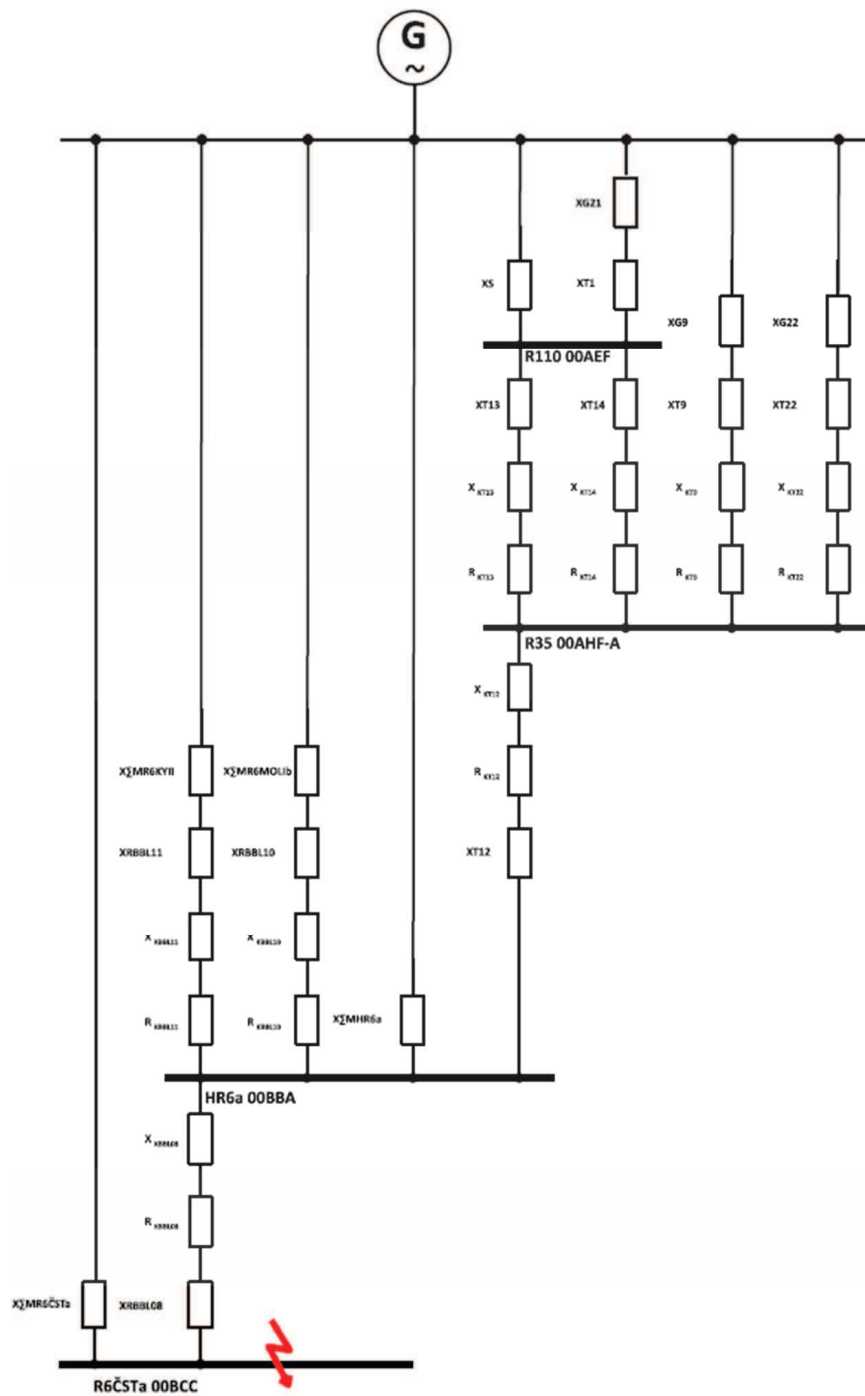
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/4	0,15483	6,3	25,8415	281,9808

Varianta místa zkratu V1/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

Obr. 52 Varianta místa zkratu V1/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

Tab. 20 Vypočtené hodnoty V1/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

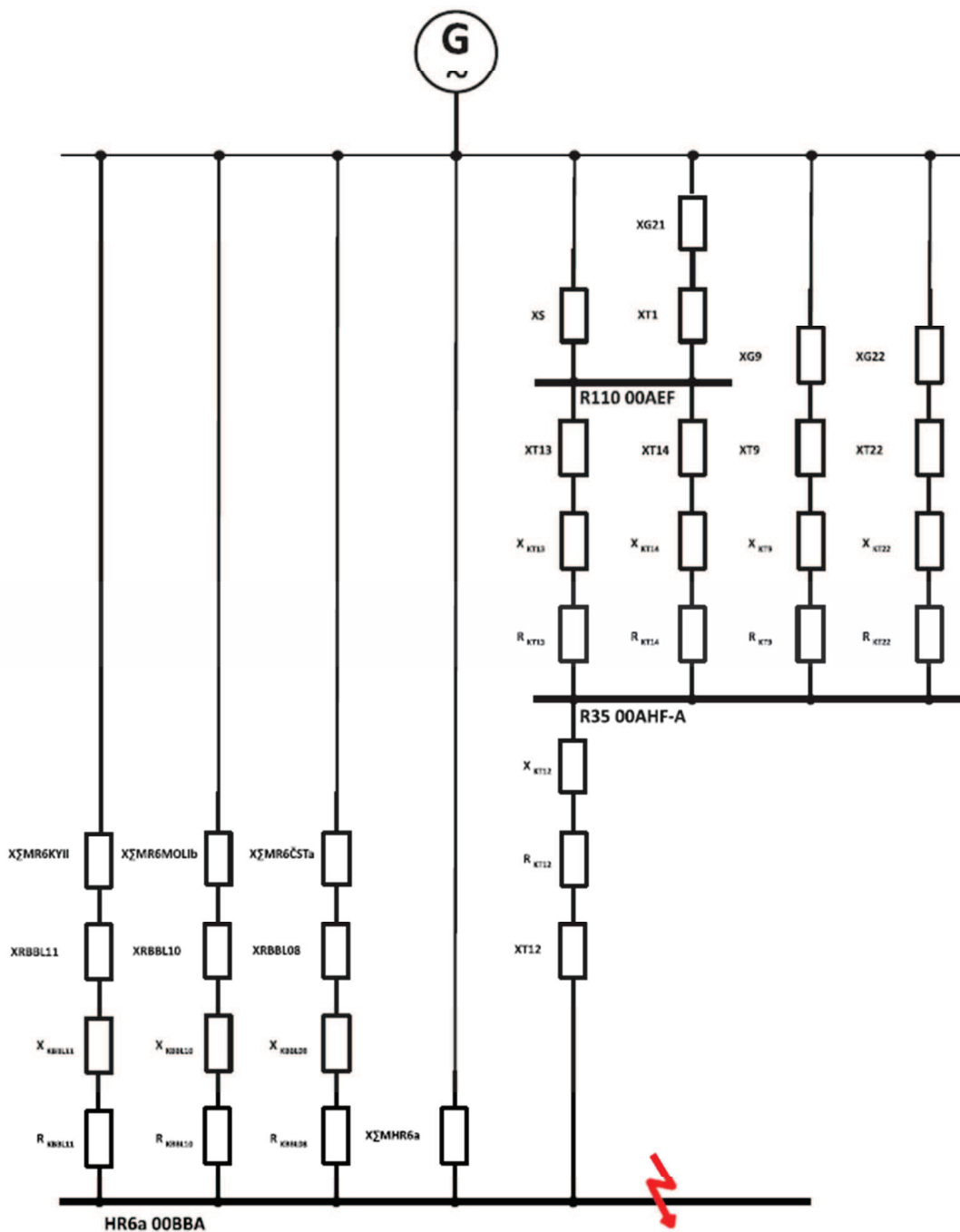
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/6	0,36603	6,3	10,9308	119,2762

Varianta místa zkratu V1/7 – rozvodna R6ČSTa (00BCC)

Obr. 53 Varianta místa zkratu V1/7 – rozvodna R6ČSTa (00BCC)

Tab. 21 Vypočtené hodnoty V1/7 – rozvodna R6ČSTa (00BCC)

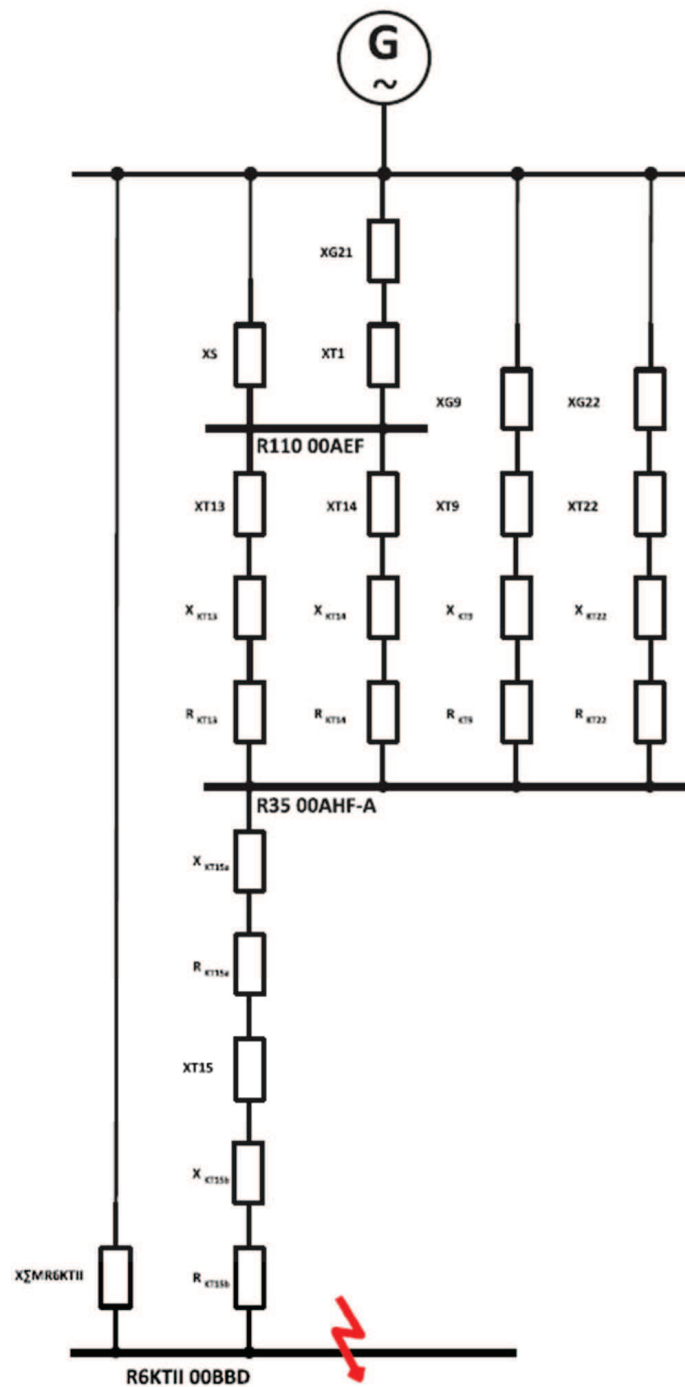
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/7	0,72061	6,3	5,5523	60,5866

Varianta místa zkratu V1/8 – rozvodna HR6a (00BBA)

Obr. 54 Varianta místa zkratu V1/8 – rozvodna HR6a (00BBA)

Tab. 22 Vypočtené hodnoty V1/8 – rozvodna HR6a (00BBA)

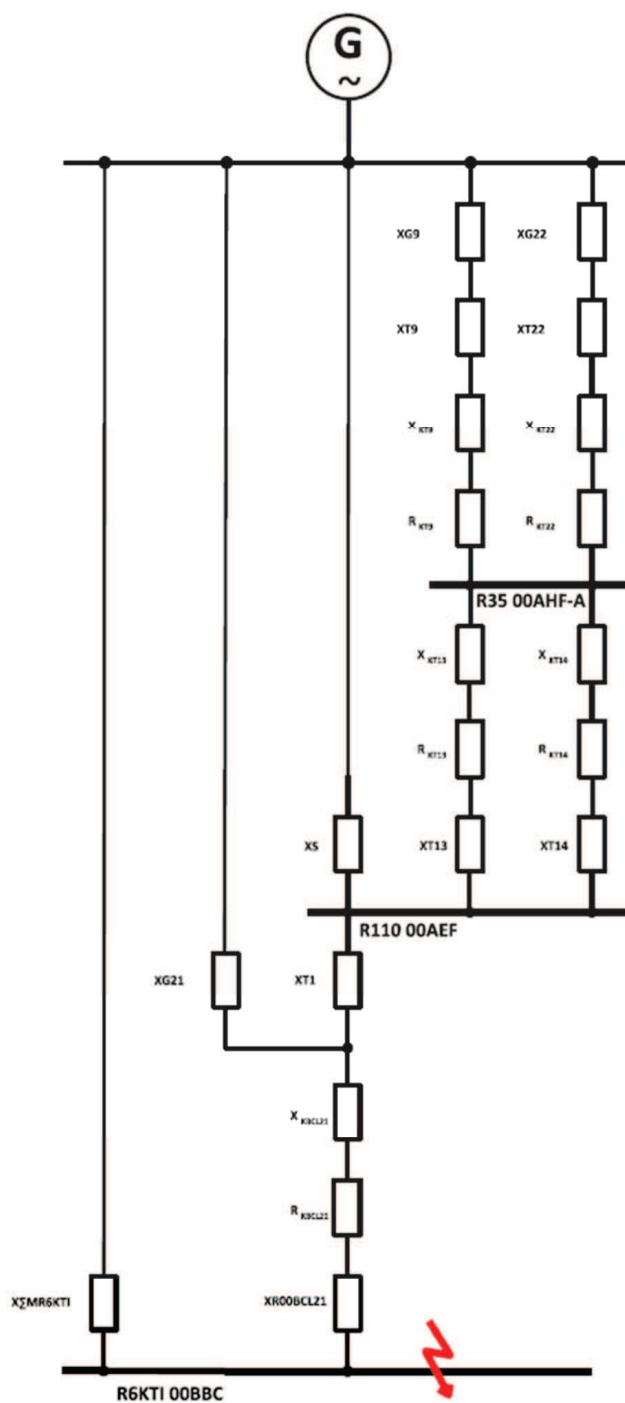
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/8	0,16205	6,3	24,6904	269,4192

Varianta místa zkratu V1/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

Obr. 55 Varianta místa zkratu V1/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

Tab. 23 Vypočtené hodnoty V1/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

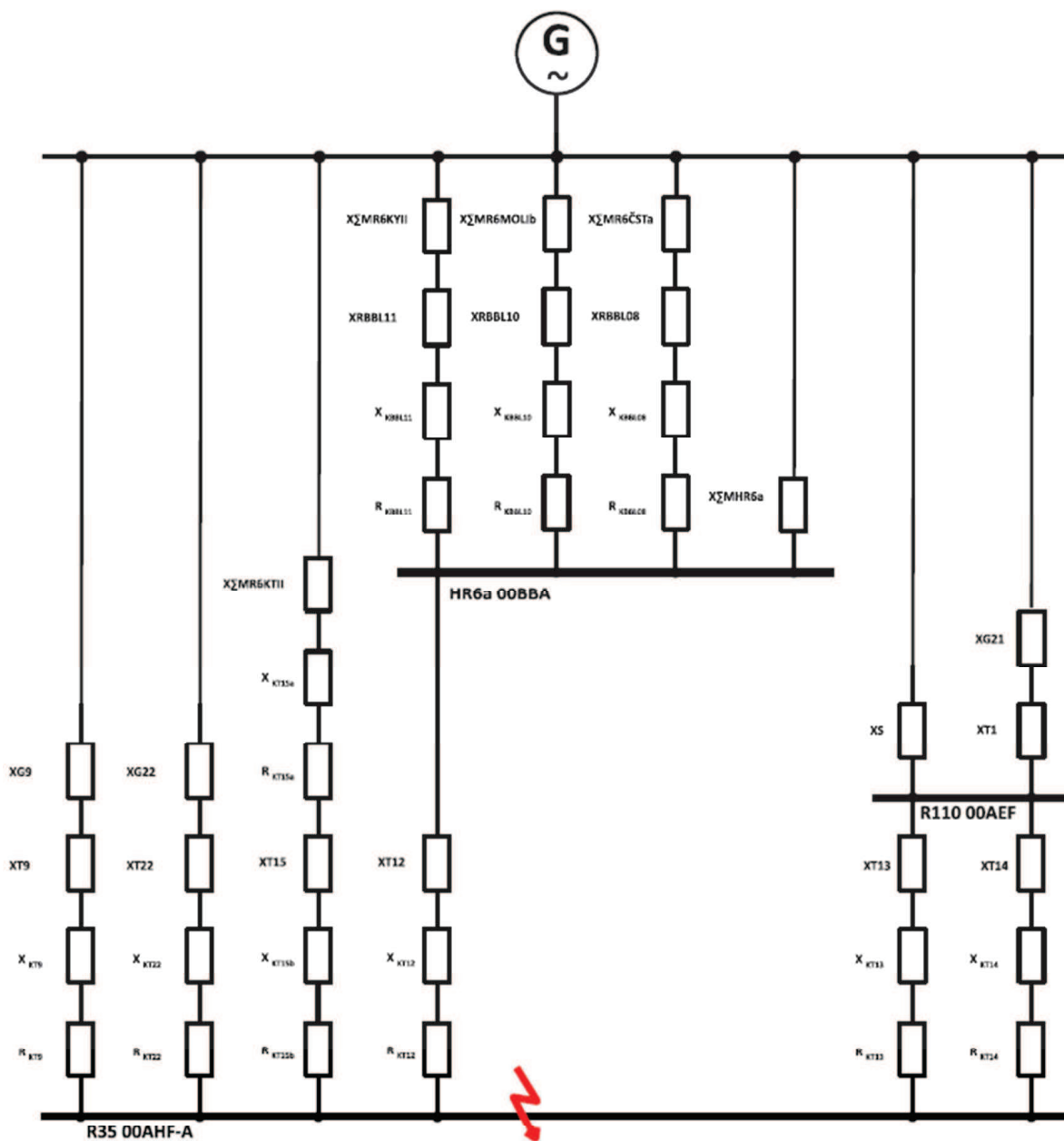
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/9	0,16962	6,3	23,5888	257,3986

Varianta místa zkratu V1/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

Obr. 56 Varianta místa zkratu V1/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

Tab. 24 Vypočtené hodnoty V1/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

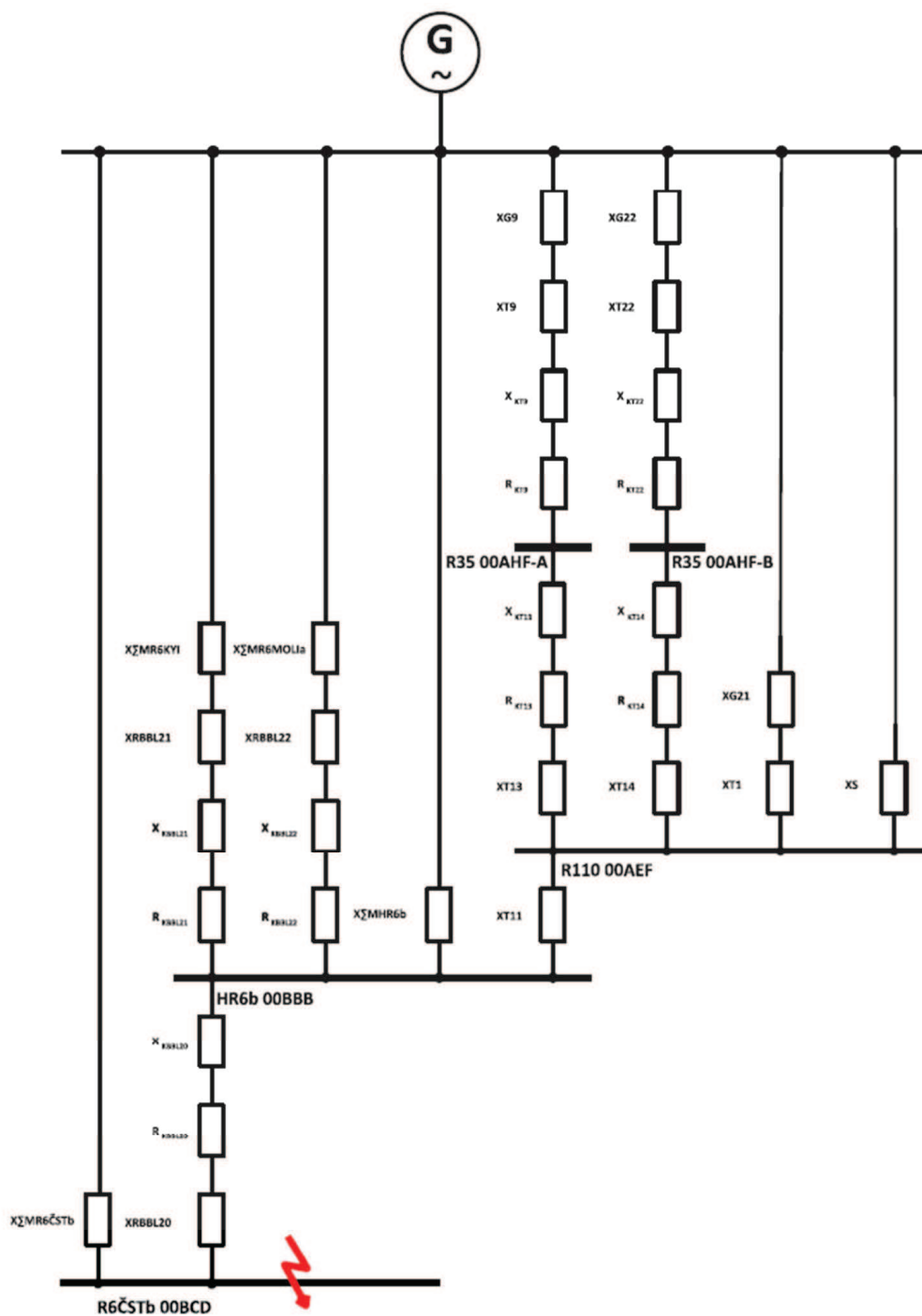
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/10	0,13755	6,3	29,0872	317,3968

Varianta místa zkratu V1/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Obr. 57 Varianta místa zkratu V1/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Tab. 25 Vypočtené hodnoty V1/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

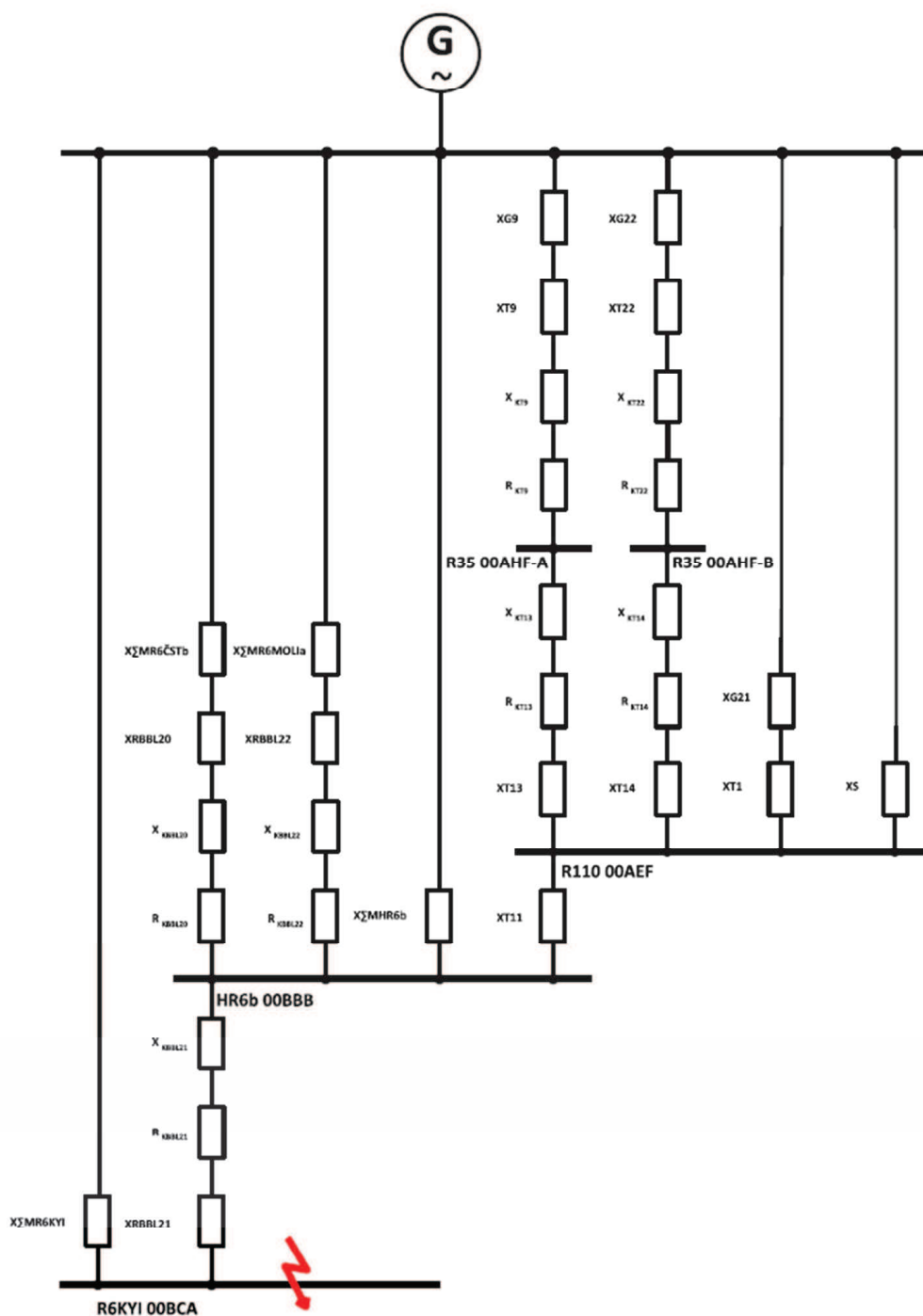
Varianta zapojení	$ Z_{\text{CELK}} $	$U_{\text{MÍSTA ZKRATU}}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
1/11	1,60196	35,0	13,8755	841,1571

Varianta místa zkratu V2/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

Obr. 58 Varianta místa zkratu V2/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

Tab. 26 Vypočtené hodnoty V2/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

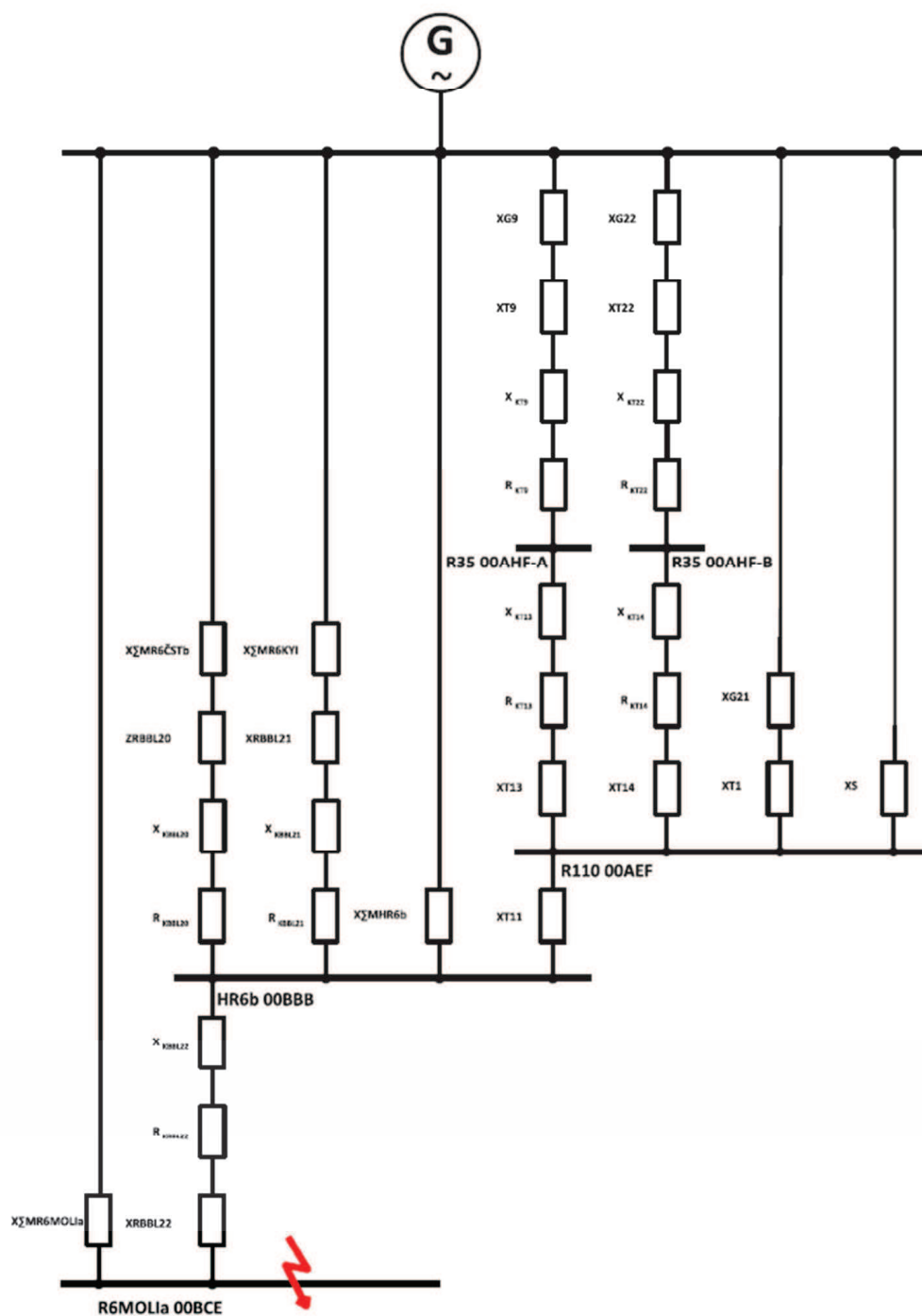
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/1	0,69189	6,3	5,7828	63,1013

Varianta místa zkratu V2/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

Obr. 59 Varianta místa zkratu V2/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

Tab. 27 Vypočtené hodnoty V2/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

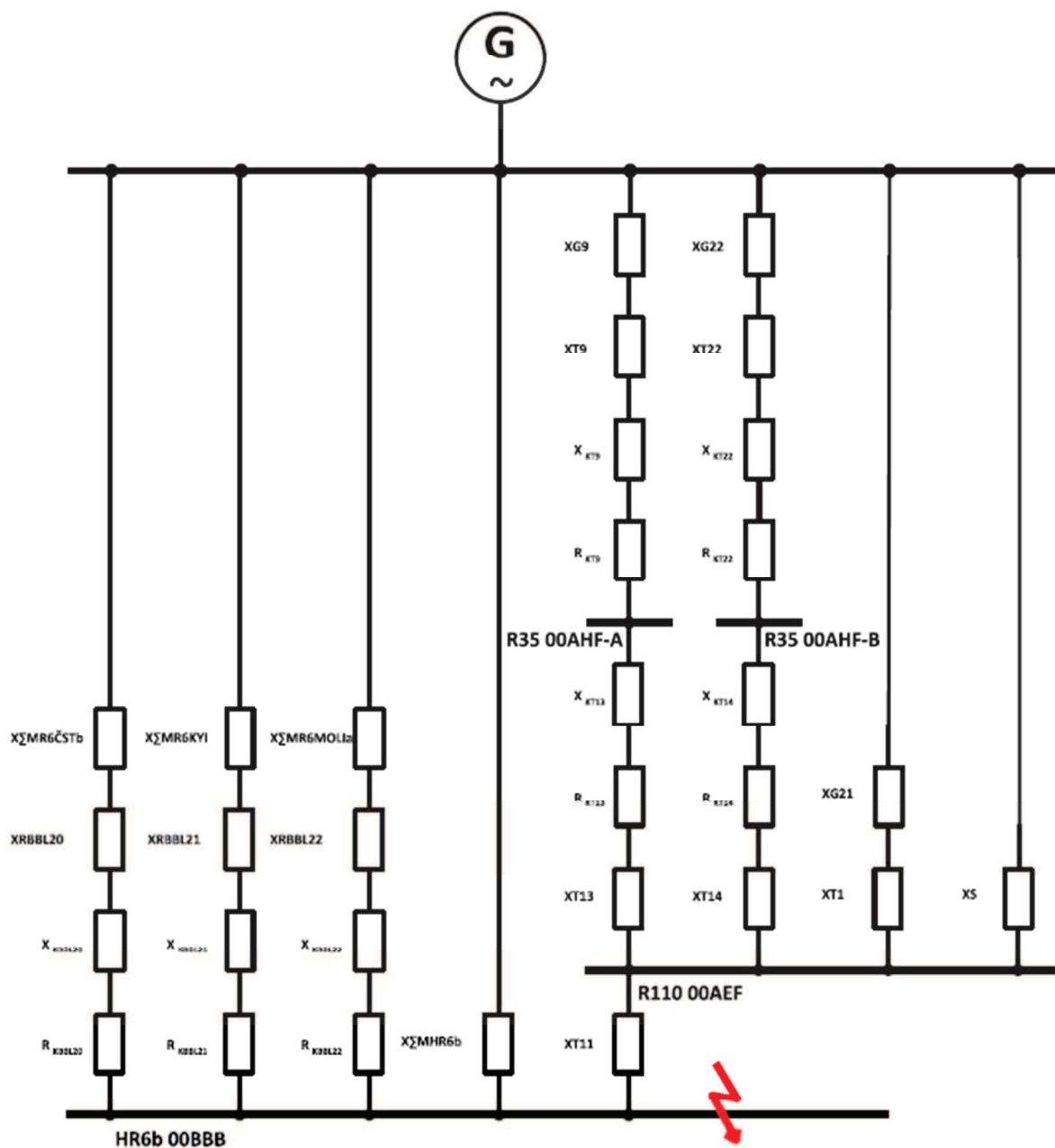
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/2	0,35229	6,3	11,3571	123,9276

Varianta místa zkratu V2/3 – rozvodna R6MOL1a (00BCE)

Obr. 60 Varianta místa zkratu V2/3 – rozvodna R6MOL1a (00BCE)

Tab. 28 Vypočtené hodnoty V2/3 – rozvodna R6MOL1a (00BCE)

Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/3	0,37197	6,3	10,7564	117,3731

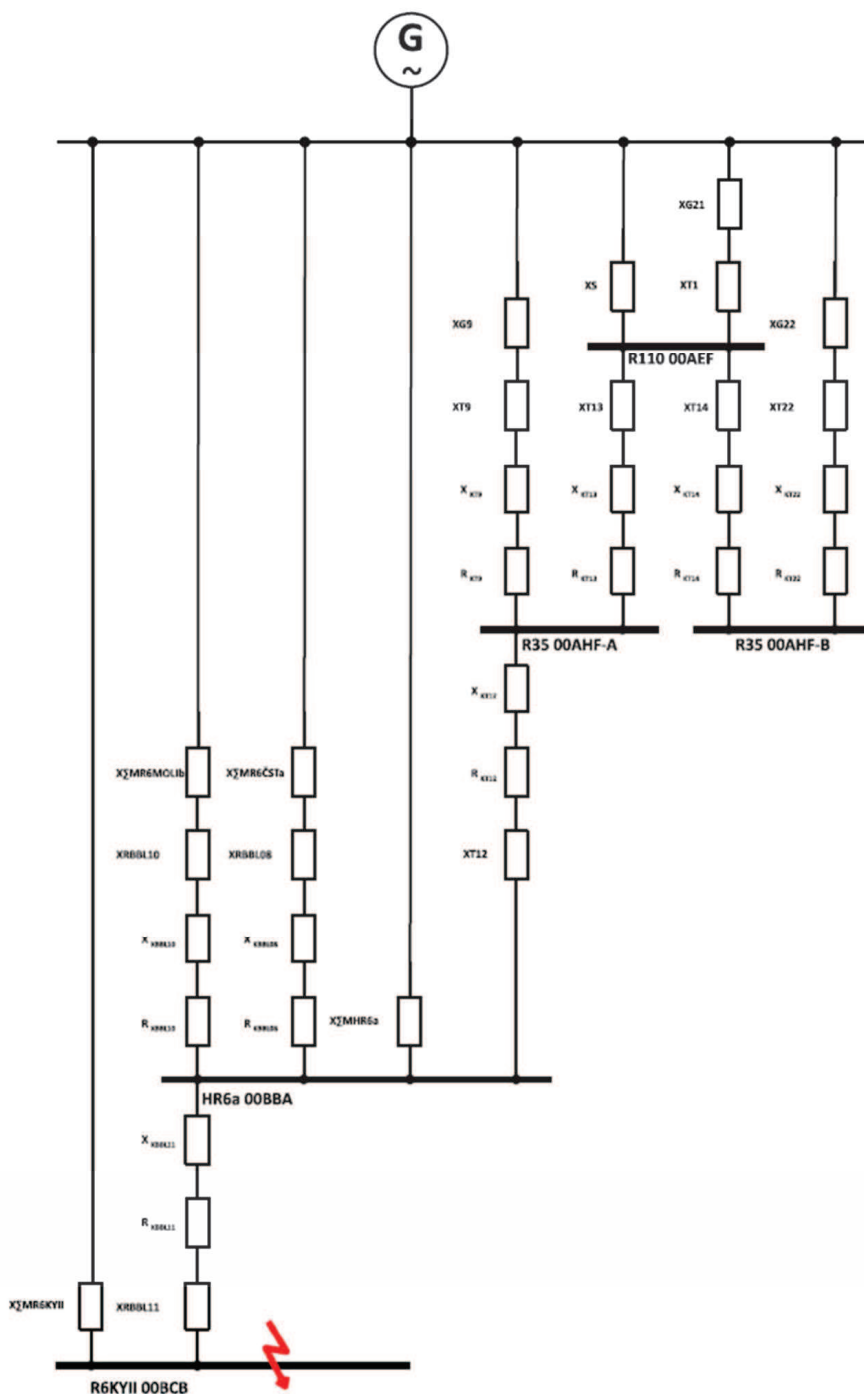
Varianta místa zkratu V2/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Obr. 61 Varianta místa zkratu V2/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Tab. 29 Vypočtené hodnoty V2/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/4	0,15483	6,3	25,8412	281,9776

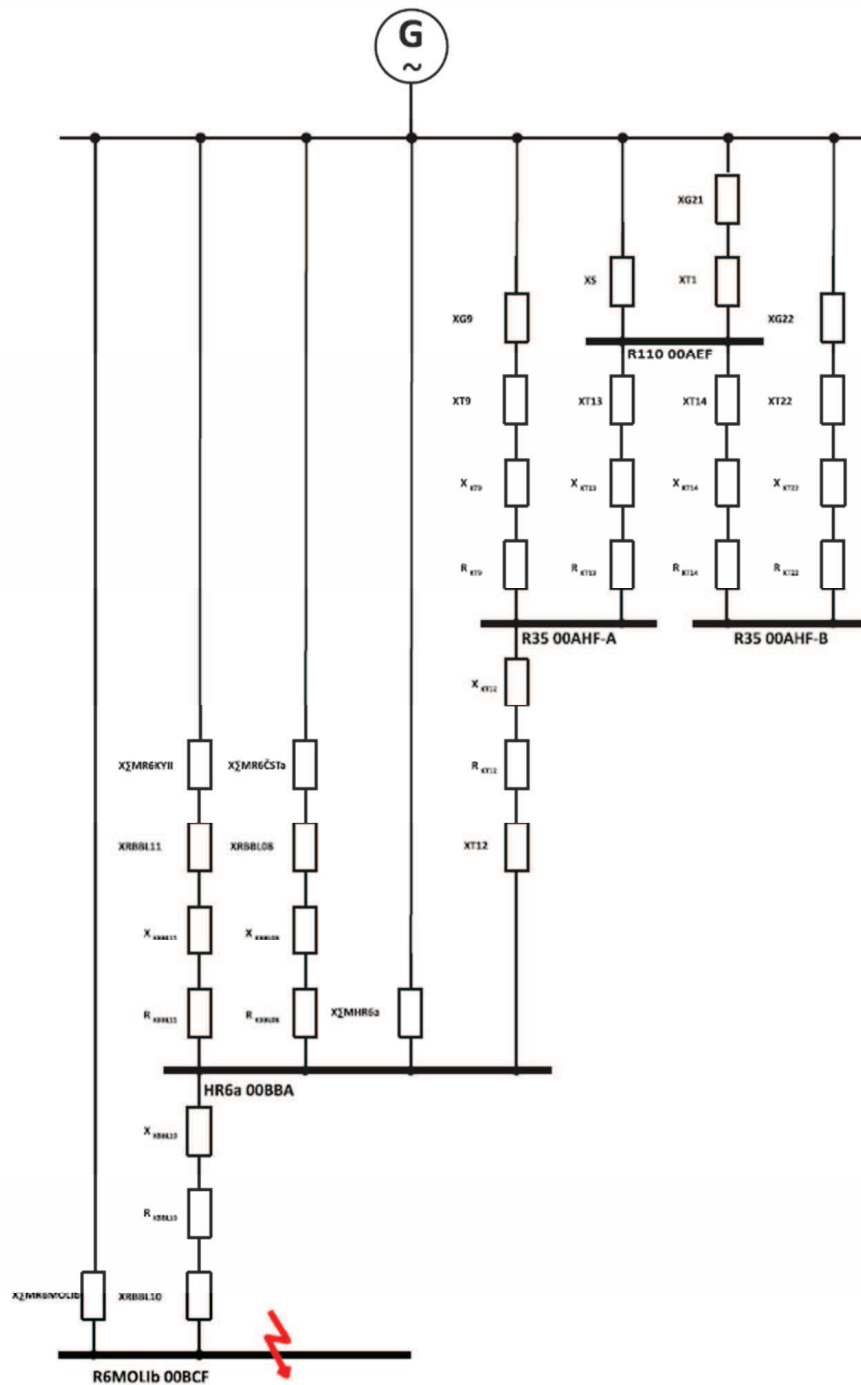
Varianta místa zkratu V2/5 – rozvodna R6KYII (00BCB)



Obr. 62 Varianta místa zkratu V2/5 – rozvodna R6KYII (00BCB)

Tab. 30 Vypočtené hodnoty V2/5 – rozvodna R6KYII (00BCB)

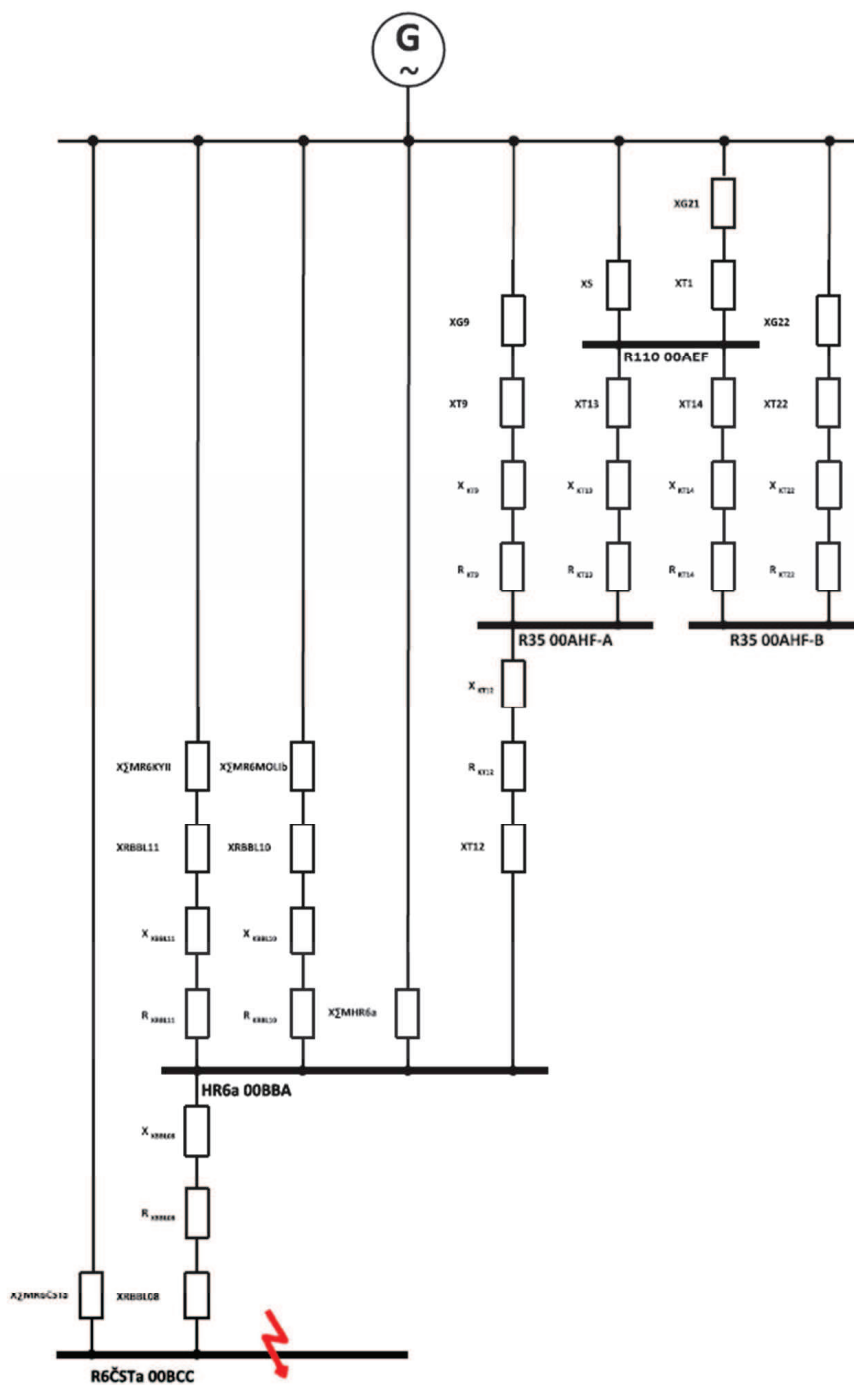
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/5	0,36962	6,3	10,8248	118,1190

Varianta místa zkratu V2/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

Obr. 63 Varianta místa zkratu V2/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

Tab. 31 Vypočtené hodnoty V2/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

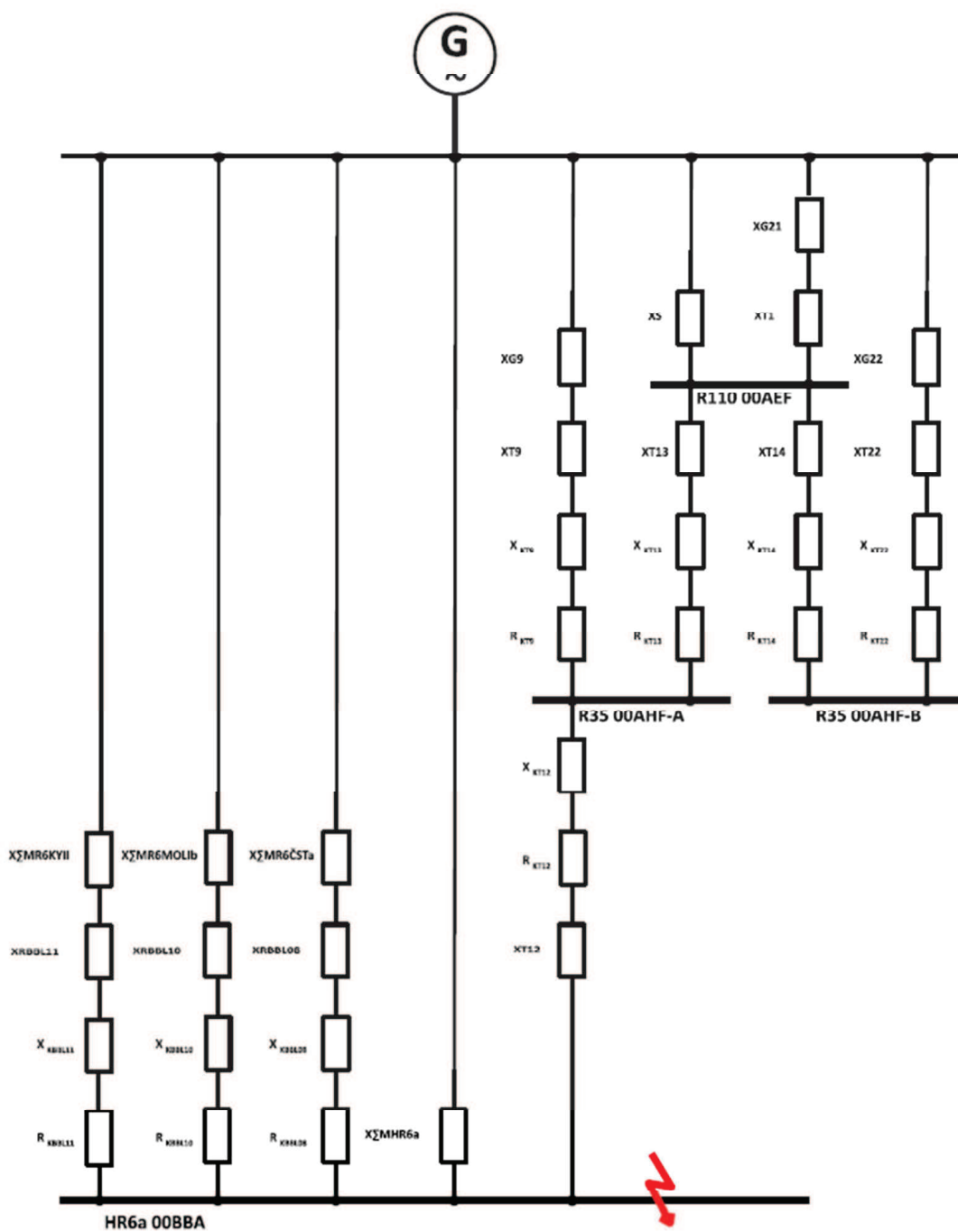
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/6	0,39325	6,3	10,1743	111,0217

Varianta místa zkratu V2/7 – rozvodna R6ČSTa (00BCC)

Obr. 64 Varianta místa zkratu V2/7 – rozvodna R6ČSTa (00BCC)

Tab. 32 Vypočtené hodnoty V2/7 – rozvodna R6ČSTa (00BCC)

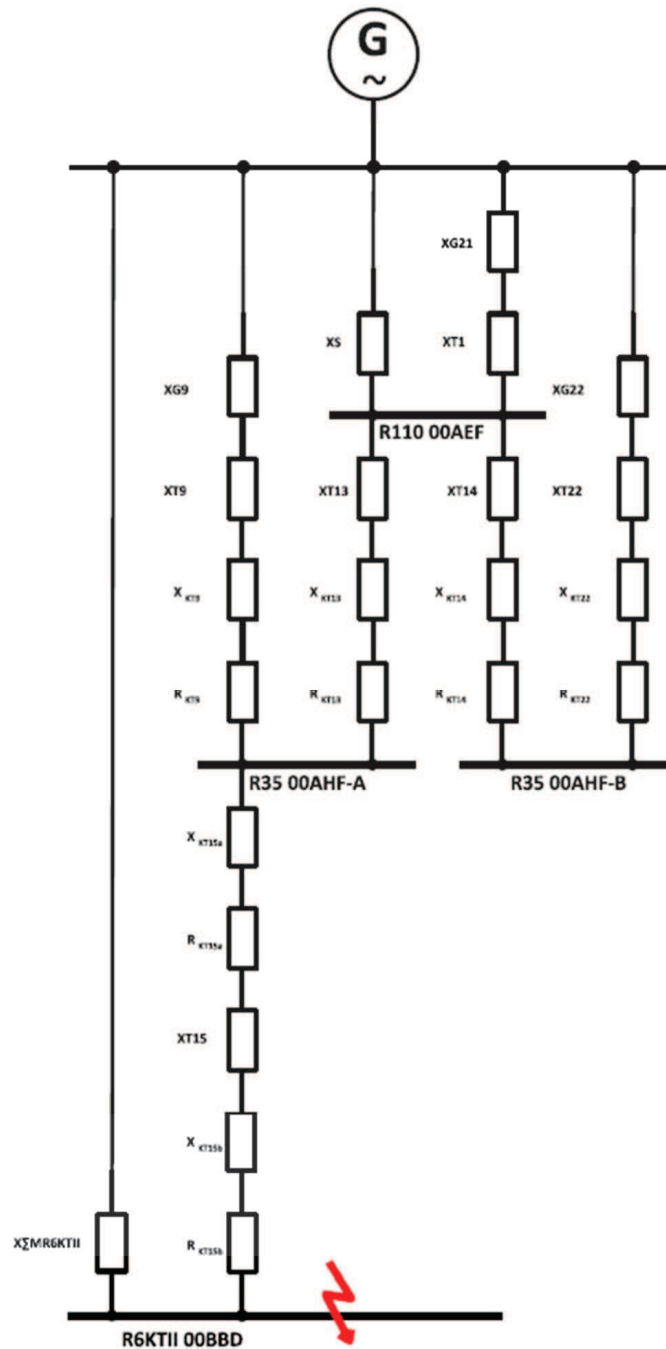
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/7	0,41320	6,3	9,6830	105,6604

Varianta místa zkratu V2/8 – rozvodna HR6a (00BBA)

Obr. 65 Varianta místa zkratu V2/8 – rozvodna HR6a (00BBA)

Tab. 33 Vypočtené hodnoty V2/8 – rozvodna HR6a (00BBA)

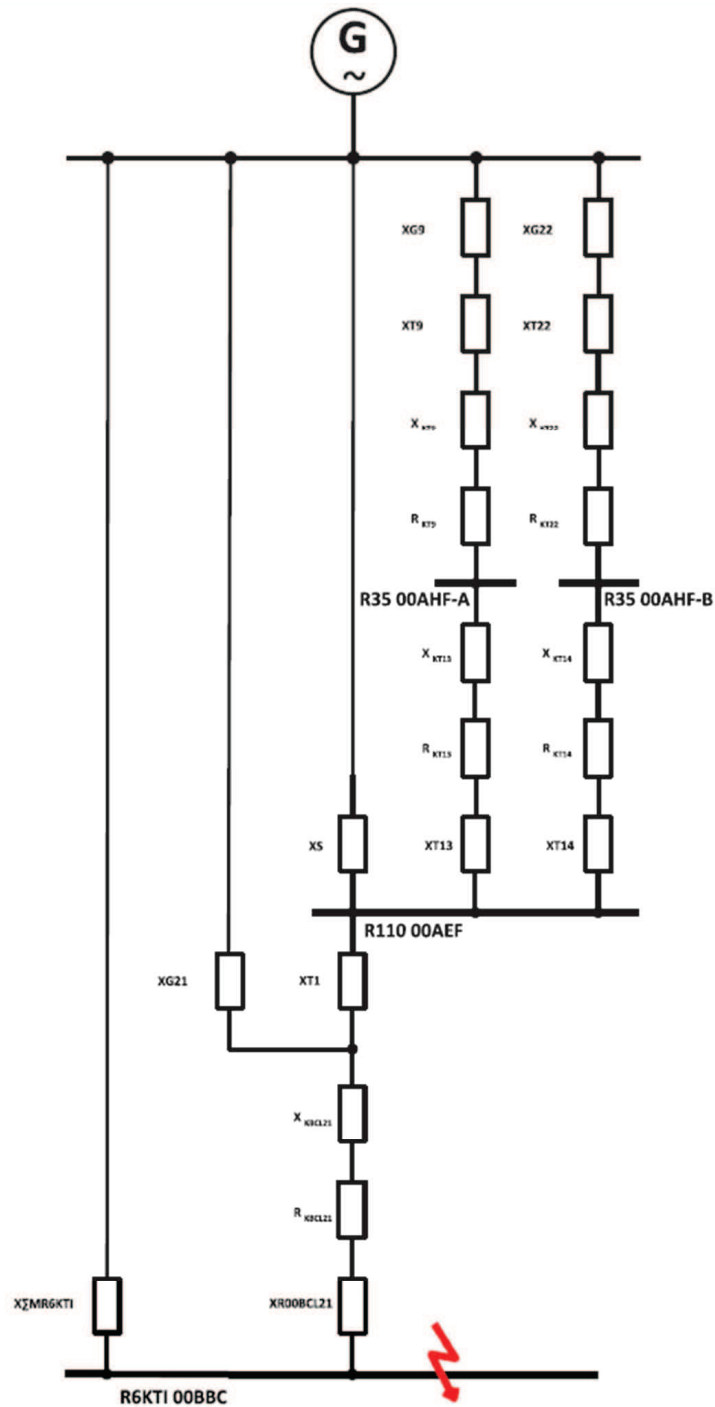
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/8	0,19181	6,3	20,8597	227,6191

Varianta místa zkratu V2/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

Obr. 66 Varianta místa zkratu V2/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

Tab. 34 Vypočtené hodnoty V2/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

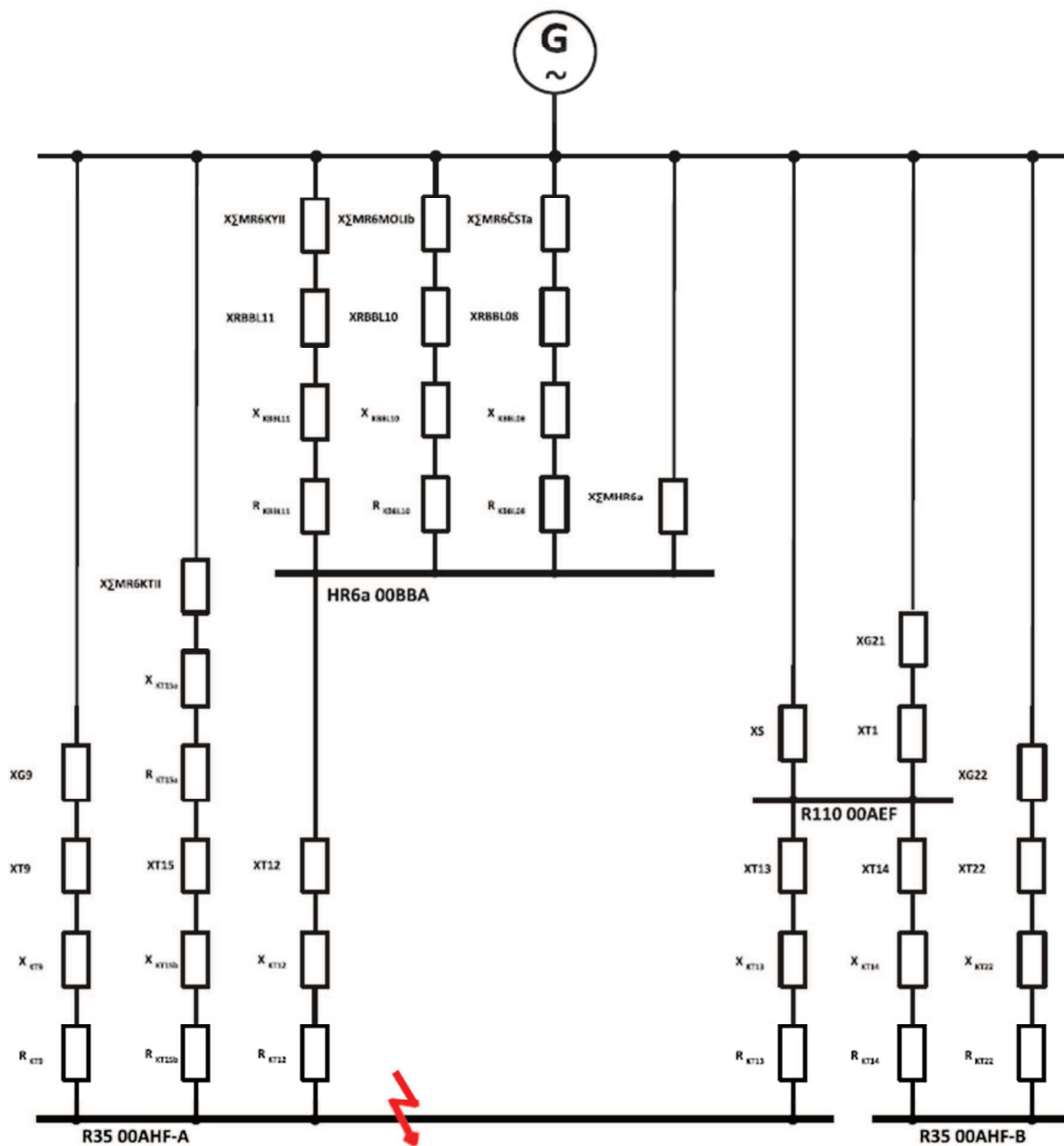
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/9	0,20162	6,3	19,8449	216,5463

Varianta místa zkratu V2/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

Obr. 67 Varianta místa zkratu V2/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

Tab. 35 Vypočtené hodnoty V2/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

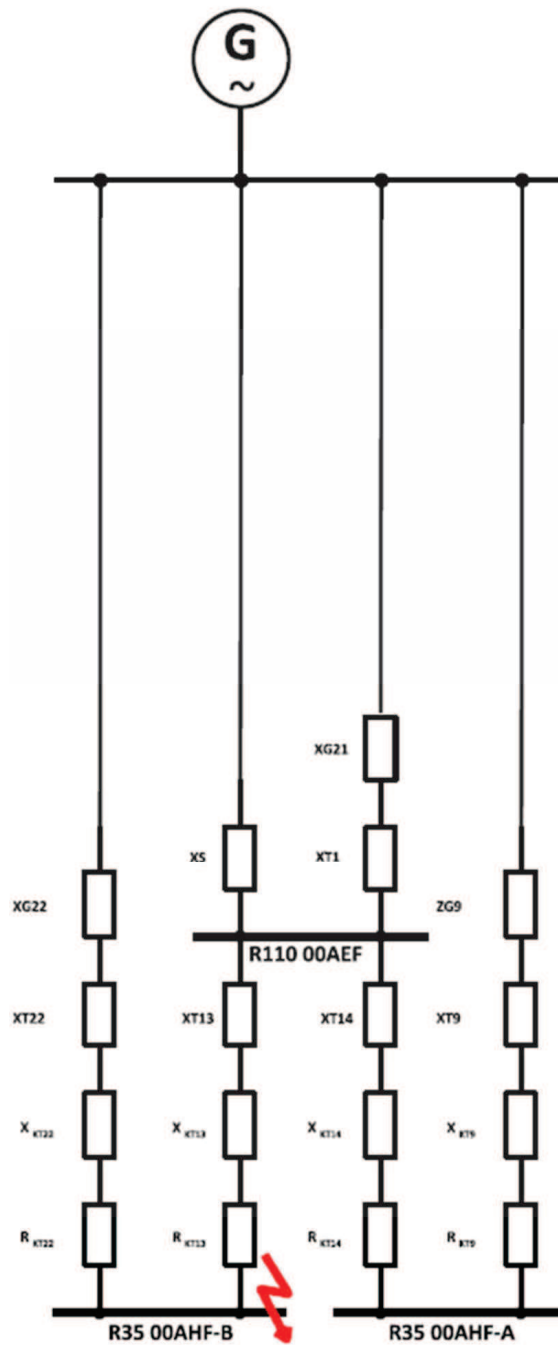
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/10	0,13755	6,3	29,0870	317,3952

Varianta místa zkratu V2/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Obr. 68 Varianta místa zkratu V2/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Tab. 36 Vypočtené hodnoty V2/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

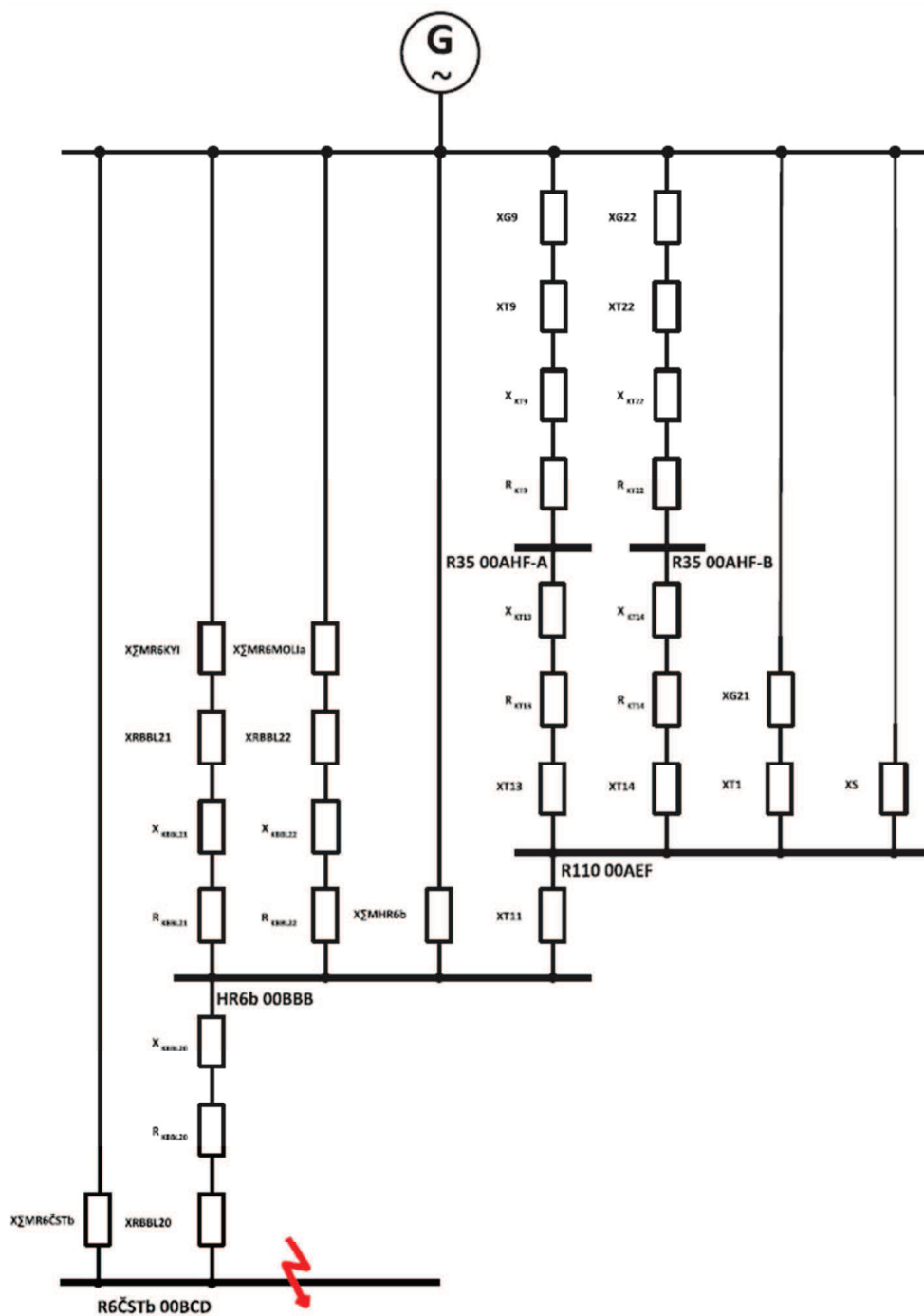
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/11	2,42253	35,0	9,1755	556,2375

Varianta místa zkratu V2/12 – rozvodna R35 (00AHF-B)

Obr. 69 Varianta místa zkratu V2/12 – rozvodna R35 (00AHF-B)

Tab. 37 Vypočtené hodnoty V2/12 – rozvodna R35 (00AHF-B)

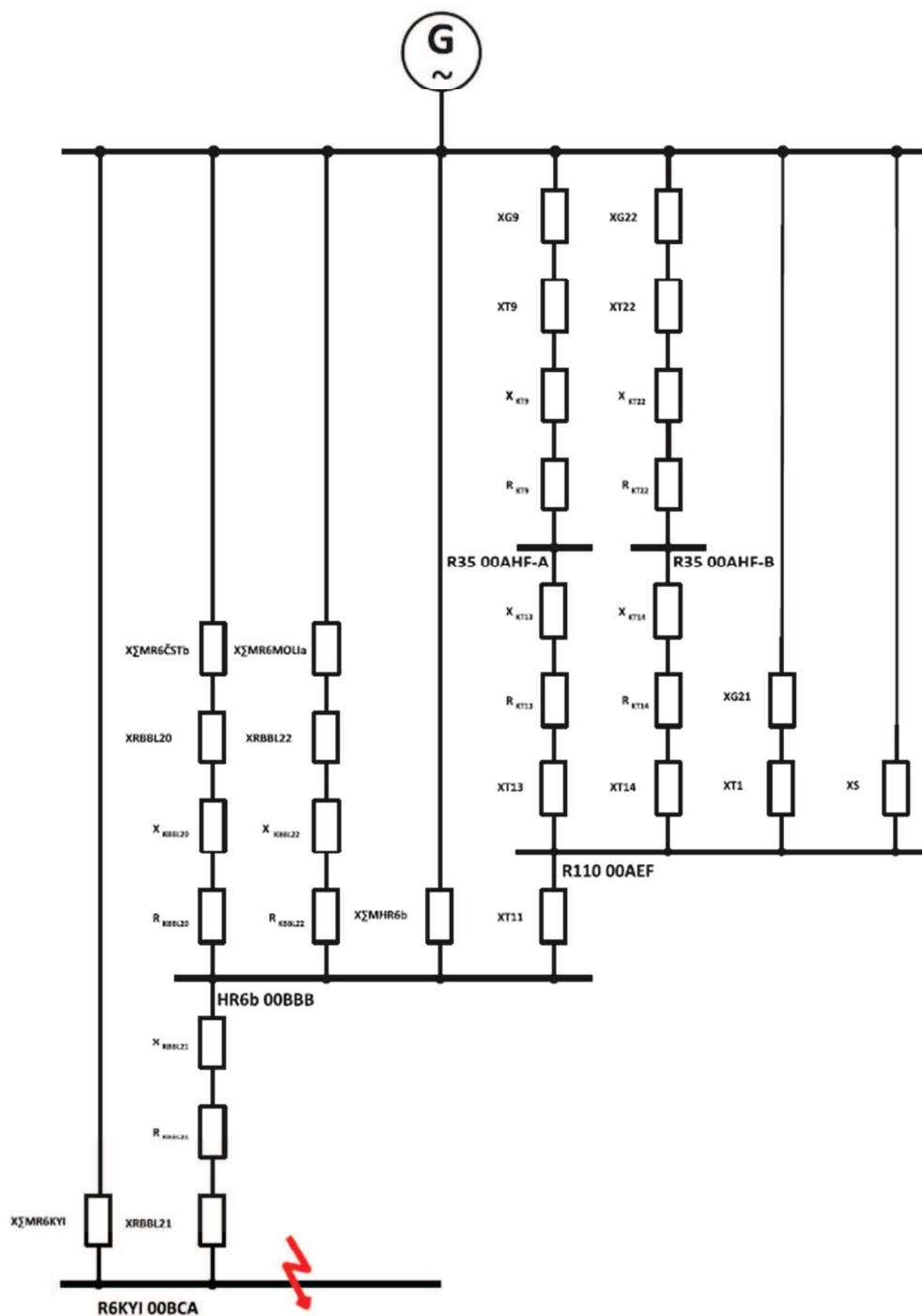
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
2/12	2,77014	35,0	8,0241	486,4377

Varianta místa zkratu V3/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

Obr. 70 Varianta místa zkratu V3/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

Tab. 38 Vypočtené hodnoty V3/1 – rozvodna R6ČSTb (00BCD)

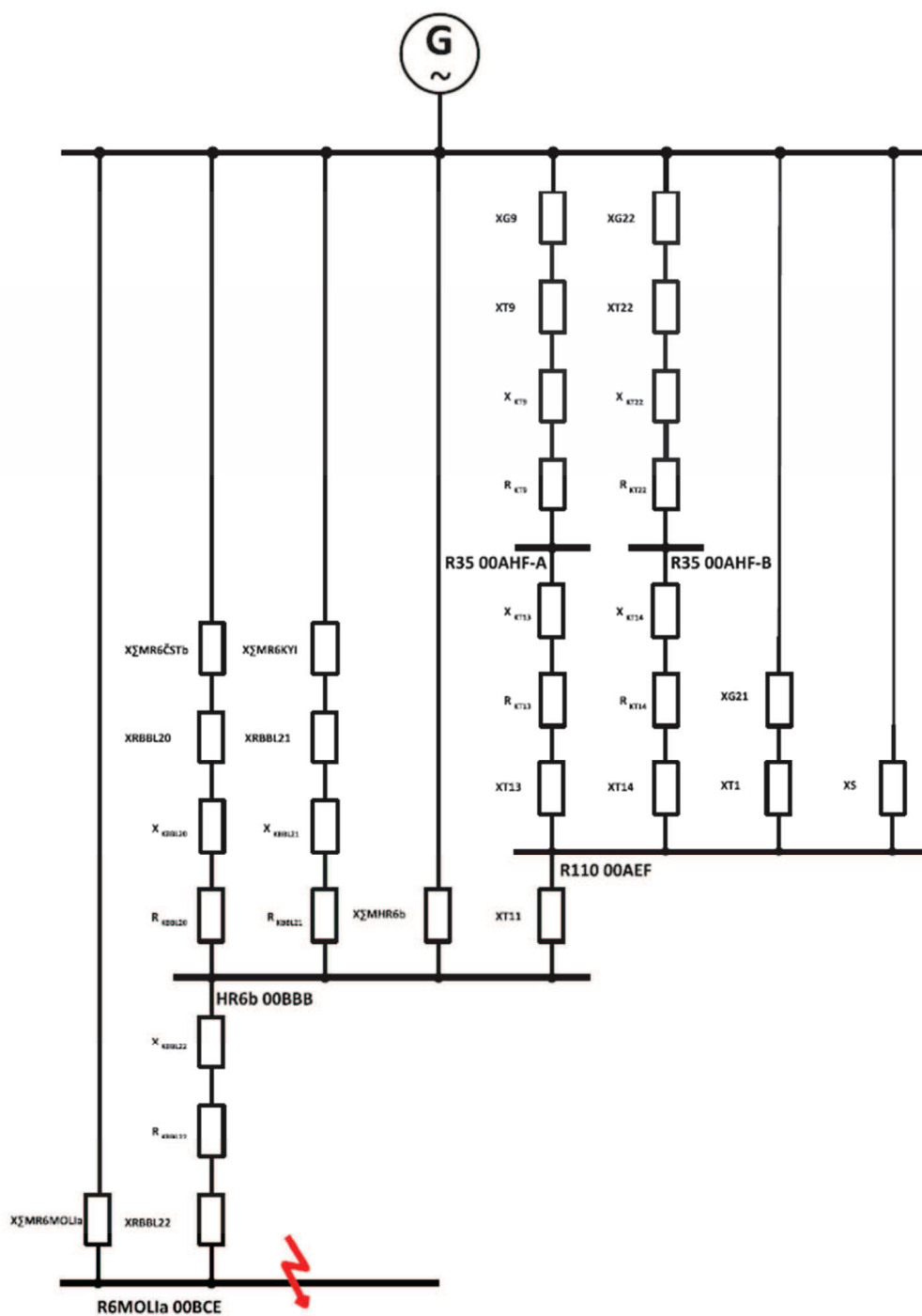
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/1	0,69189	6,3	5,7828	63,1013

Varianta místa zkratu V3/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

Obr. 71 Varianta místa zkratu V3/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

Tab. 39 Vypočtené hodnoty V3/2 – rozvodna R6KYI (00BCA)

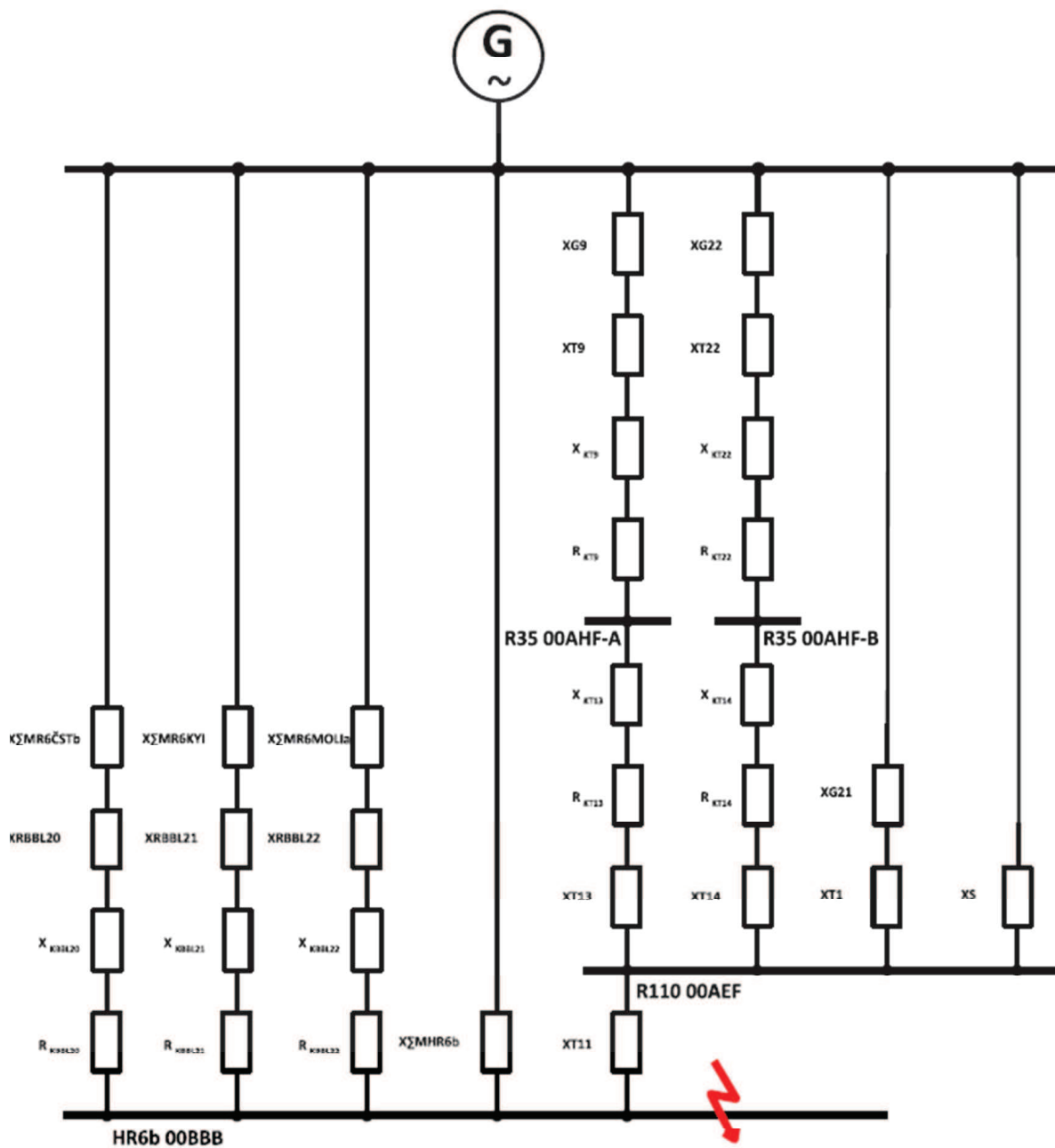
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/2	0,35229	6,3	11,3571	123,9276

Varianta místa zkratu V3/3 – rozvodna R6MOL1a (00BCE)

Obr. 72 Varianta místa zkratu V3/3 – rozvodna R6MOL1a (00BCE)

Tab. 40 Vypočtené hodnoty V3/3 – rozvodna R6MOL1a (00BCE)

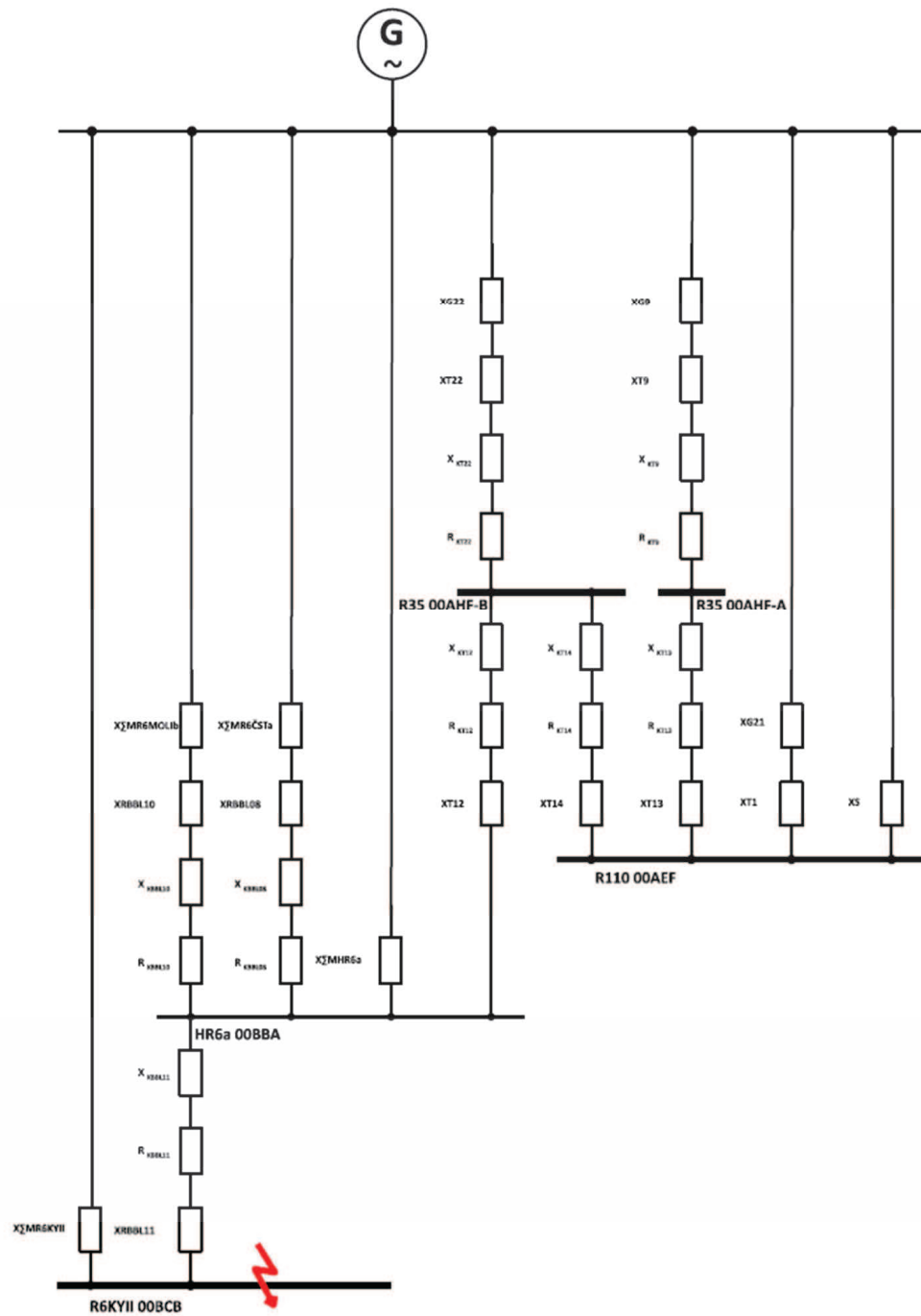
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/3	0,37197	6,3	10,7564	117,3731

Varianta místa zkratu V3/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Obr. 73 Varianta místa zkratu V3/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

Tab. 41 Vypočtené hodnoty V3/4 – rozvodna HR6b (00BBB)

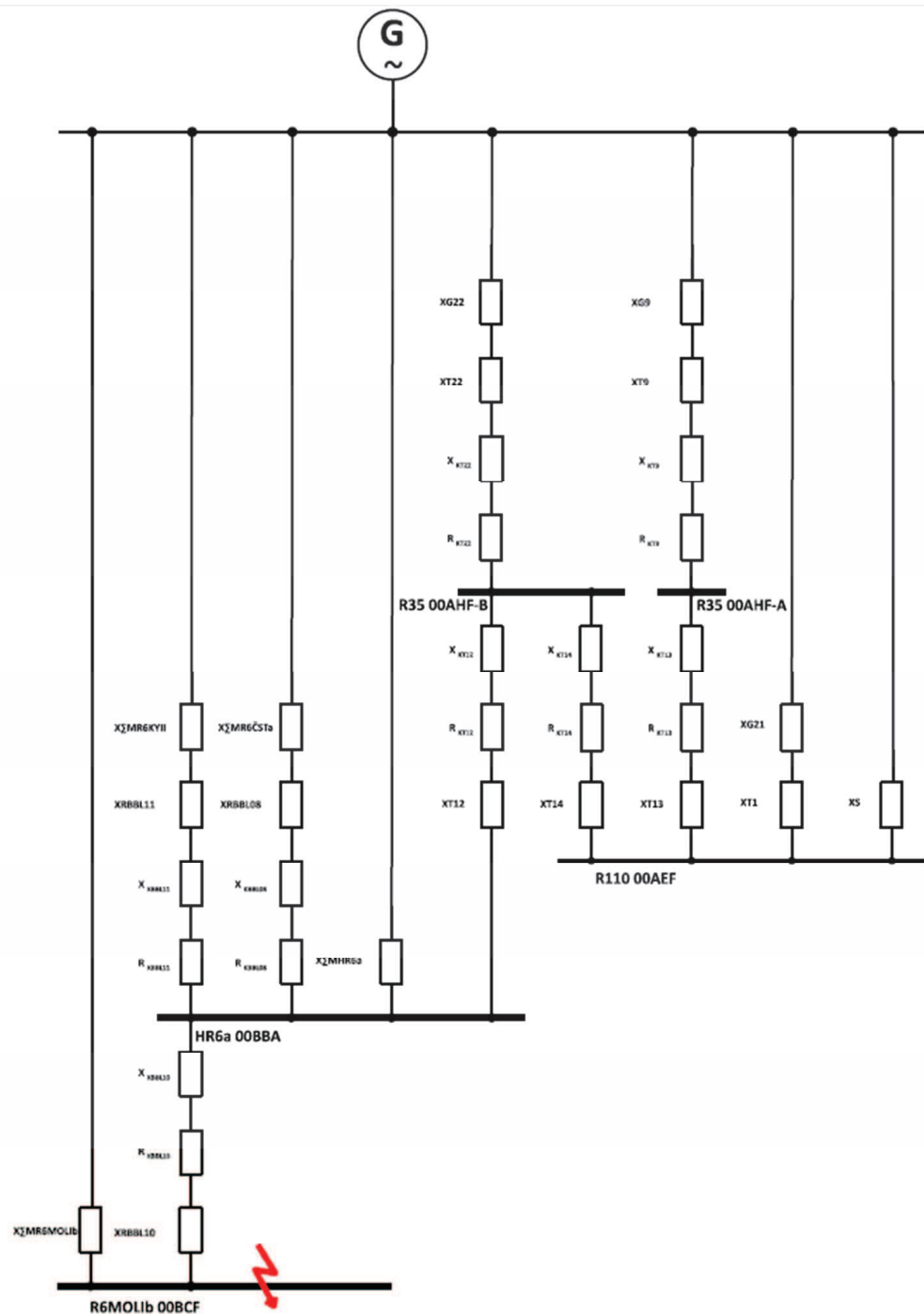
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/4	0,15483	6,3	25,8412	281,9776

Varianta místa zkratu V3/5 – rozvodna R6KYII (00BCB)

Obr. 74 Varianta místa zkratu V3/5 – rozvodna R6KYII (00BCB)

Tab. 42 Vypočtené hodnoty V3/5 – rozvodna R6KYII (00BCB)

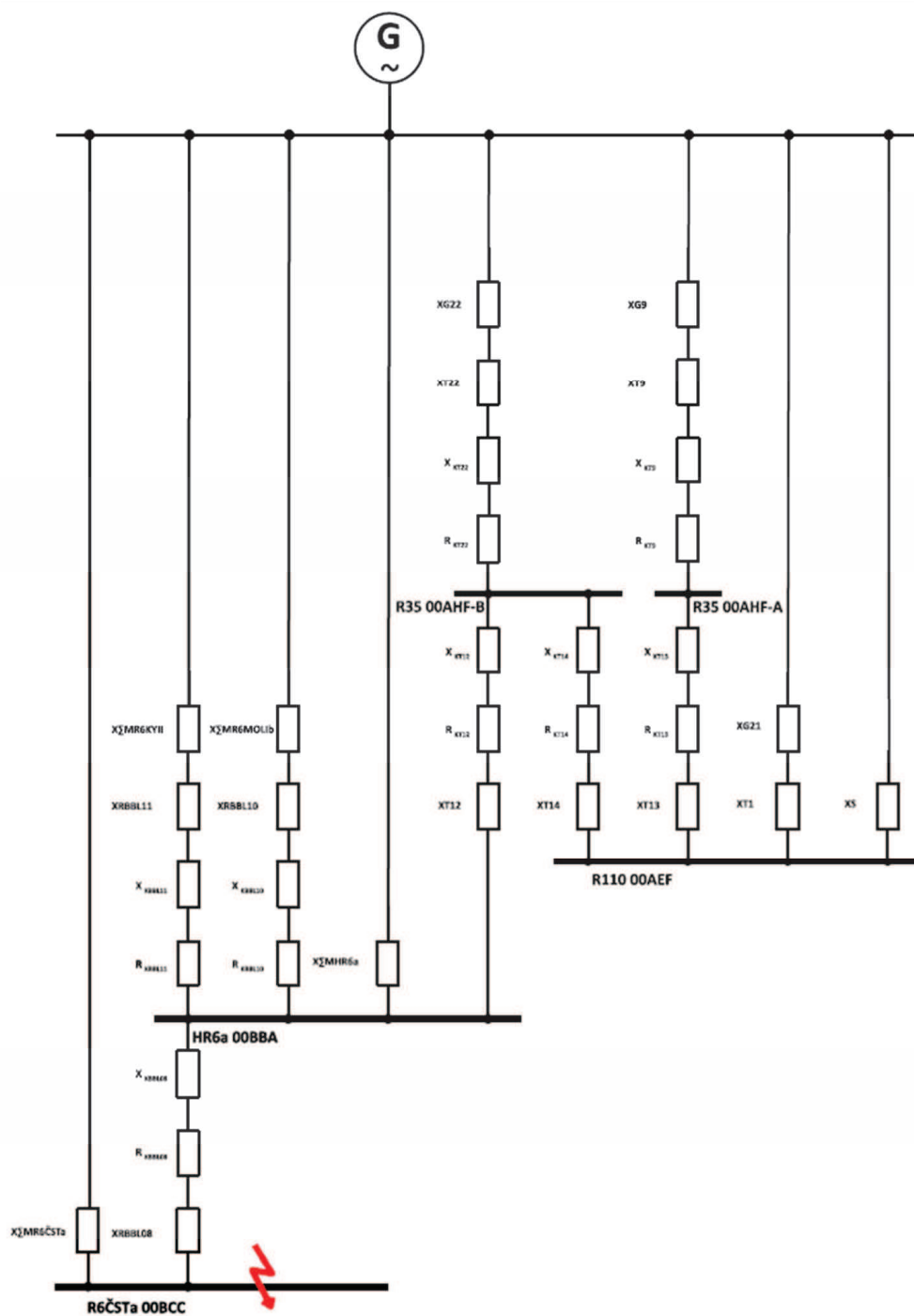
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/5	0,36844	6,3	10,8595	118,4978

Varianta místa zkratu V3/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

Obr. 75 Varianta místa zkratu V3/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

Tab. 43 Vypočtené hodnoty V3/6 – rozvodna R6MOLib (00BCF)

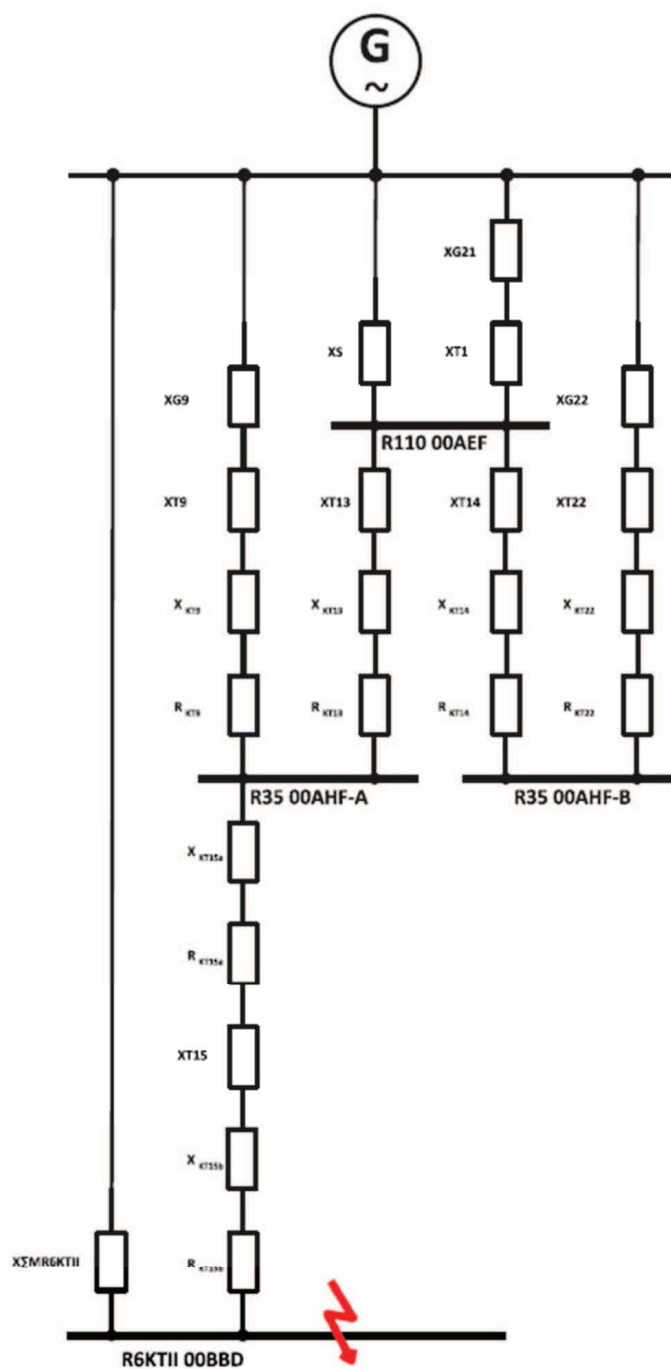
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/6	0,39198	6,3	10,2072	111,3802

Varianta místa zkratu V3/7 – rozvodna R6ČStA (00BCC)

Obr. 76 Varianta místa zkratu V3/7 – rozvodna R6ČStA (00BCC)

Tab. 44 Vypočtené hodnoty V3/7 – rozvodna R6ČStA (00BCC)

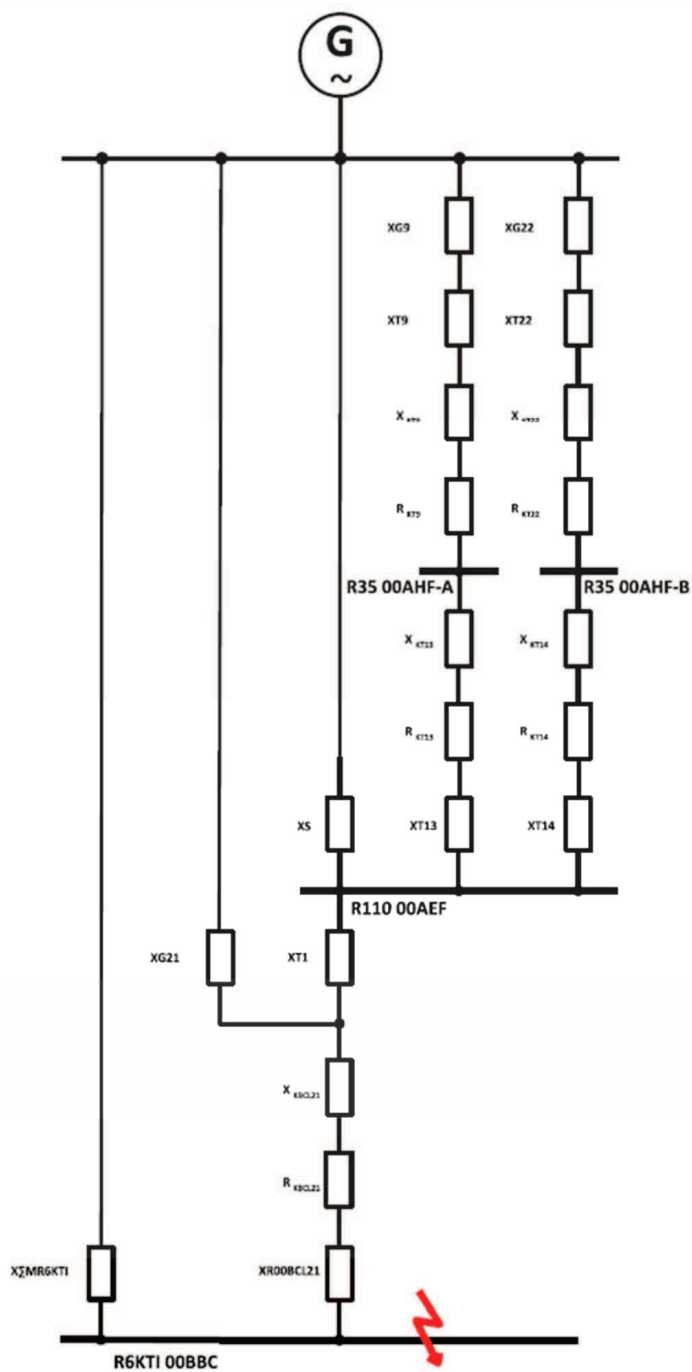
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA}$ ZKRATU	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/7	0,74751	6,3	5,3525	58,4061

Varianta místa zkratu V3/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

Obr. 78 Varianta místa zkratu V3/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

Tab. 46 Vypočtené hodnoty V3/9 – rozvodna R6KTII (00BBD)

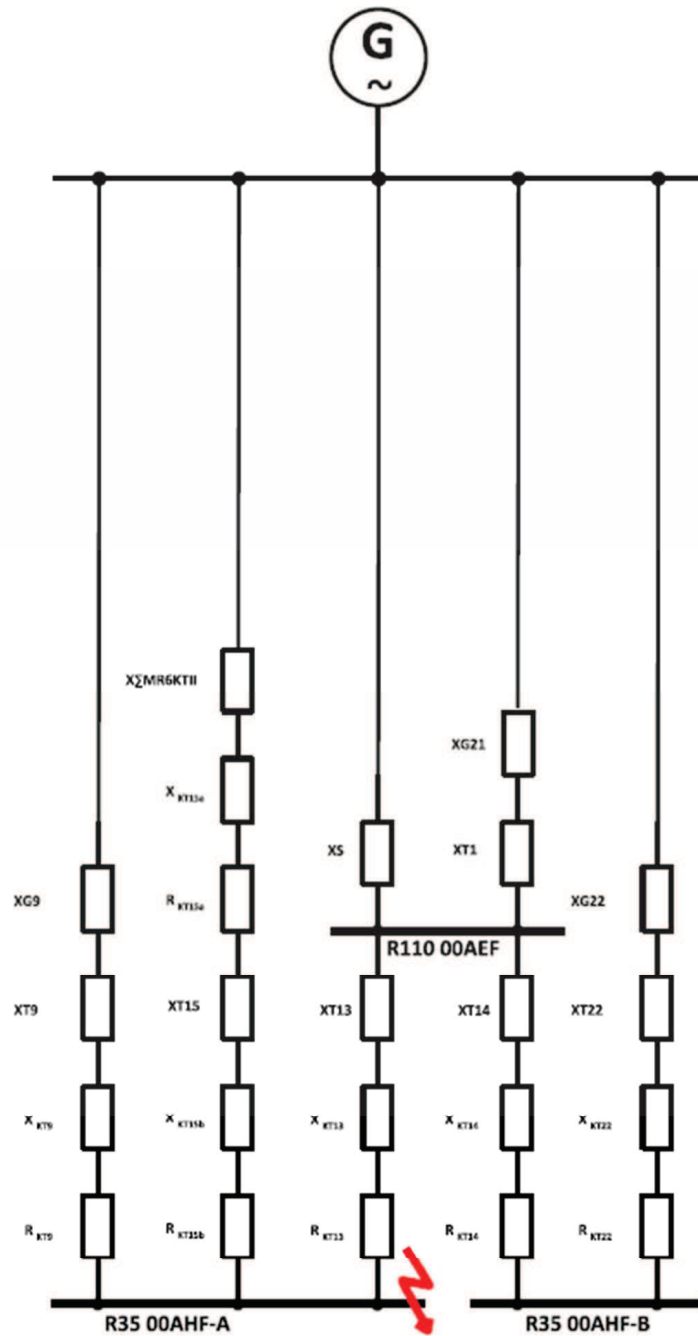
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/9	0,20162	6,3	19,8449	216,5463

Varianta místa zkratu V3/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

Obr. 79 Varianta místa zkratu V3/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

Tab. 47 Vypočtené hodnoty V3/10 – rozvodna R6KTI (00BBC)

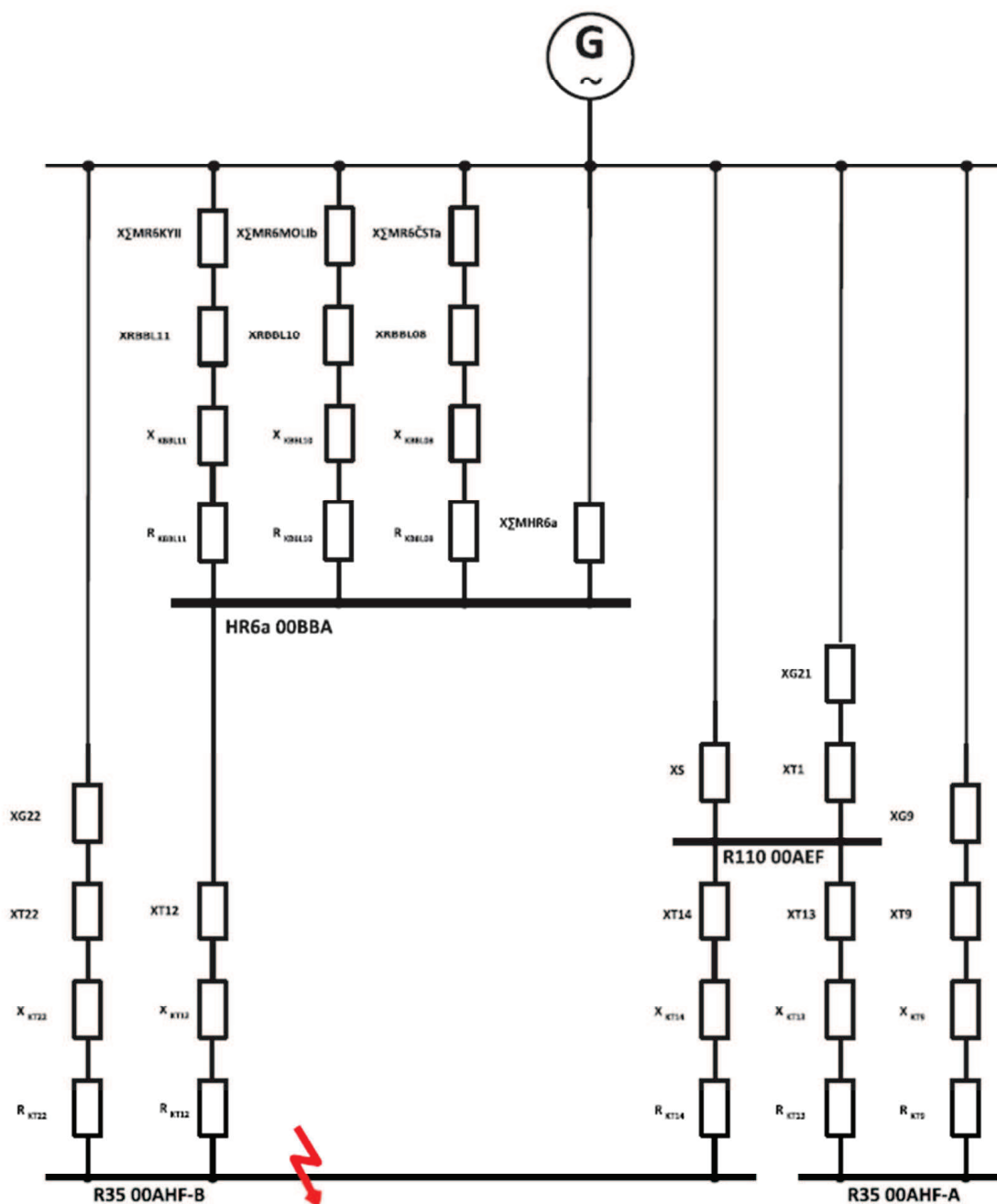
Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/10	0,13755	6,3	29,0870	317,3952

Varianta místa zkratu V3/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Obr. 80 Varianta místa zkratu V3/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Tab. 48 Vypočtené hodnoty V3/11 – rozvodna R35 (00AHF-A)

Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/11	2,60259	35,0	8,5407	517,7526

Varianta místa zkratu V3/12 – rozvodna R35 (00AHF-B)

Obr. 81 Varianta místa zkratu V3/12 – rozvodna R35 (00AHF-B)

Tab. 49 Vypočtené hodnoty V3/12 – rozvodna R35 (00AHF-B)

Varianta zapojení	$ Z_{CELK} $	$U_{MÍSTA ZKRATU}$	I''_{k3max}	S''_{k3max}
	[Ω]	[kV]	[kA]	[MVA]
3/12	2,43854	35,0	9,1153	552,5845

5. Kontrola zařízení z hlediska účinků zkratového proudu

Porovnání jednotlivých zkratových odolností rozveden s vypočtenými maximálními rázovými zkratovými proudy jsem uvedl níže v tabulce.

Tab. 50 Porovnání zkratových odolností

rozvodna	zkratová odolnost rozvodny I''_k	vypočtená hodnota počátečního rázového třífázového zkratového proudu I''_{k3max}		
		V1	V2	V3
	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
R6ČSTb (00BCD)	25	5,7828	5,7828	5,7828
R6KYI (00BCA)	25	11,3571	11,3571	11,3571
R6MOL Ia (00BCE)	25	10,8339	10,7564	10,7564
HR6b (00BBB)	50	25,8415	25,8412	25,8412
R6KYII (00BCB)	25	11,6237	10,8248	10,8595
R6MOL Ib (00BCF)	25	10,9308	10,1743	10,2072
R6ČSTa (00BCC)	25	5,5523	9,6830	5,3525
HR6a (00BBA)	50	24,6904	20,8597	21,0113
R6KTII (00BBD)	40	23,5888	19,8449	19,8449
R6KTI (00BBC)	40	29,0872	29,0870	29,0870
R35 (00AHF-A)	16,496	13,8755	9,1755	8,5407
R35 (00AHF-B)	16,496		8,0241	9,1153

Dle provedených výpočtů je na všech rozvodnách zkratová odolnost vyhovující. Nejvýhodnější z hlediska zkratové odolnosti rozveden je provozovat rozvodny podle schématu V2 a V3. U varianty schématu V1 vycházely pro většinu případů vyšší hodnoty maximálních rázových zkratových proudů a i hodnoty maximálních zkratových výkonů zkratového obvodu.

Hodnoty maximálních zkratových odolností byly odečteny z celkového elektrického schématu rozvodny - viz PŘÍLOHA B

Pro přibližnou hodnotu zkratové odolnosti rozvodny R35 (00AHF) je proveden výpočet pomocí vzorce:

$$I''_{k3max} = \frac{S''_{k3max}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 35} = \underline{\underline{16,496 \text{ kA}}} \quad (4.40)$$

Zkratová odolnost rozvodny R35 (00AHF) byla dle celkového elektrického schématu definována pouze hodnotou maximálního zkratového výkonu.

[1] [12]

Závěr:

Cílem této diplomové práce bylo podrobné rozpracování výpočtů maximálních zkratových poměrů na rozvodnách VN průmyslového podniku, a to pro tři různé varianty zapojení. Na základě takto získaných poznatků se podařilo výsledky vyhodnotit tak, aby mohly být srozumitelným způsobem porovnány zkratové odolnosti rozvoden s vypočtenými hodnotami.

Hlavním smyslem, který úvodní kapitola práce sledovala, bylo vytvořit pevný teoretický základ zvoleného tématu diplomové práce, z něhož by bylo především patrné, proč je důležité zkraty počítat a jakým způsobem, či zdali vůbec, se do dnešní praxe promítla všeobecná historie výpočtu zkratů. Pro lepší pochopení všech souvislostí jsem považoval za klíčové na tuto problematiku navázat poznatky z oblasti napájení průmyslových rozvodů a teorií rozboru výpočtu zkratových poměrů. Celkově byl rozbor práce podle zadání veden v duchu normy ČSN EN 60909-0, jež se zabývá zkratovými poměry v trojfázových soustavách.

Do záměrného kontrastu s úvodní kapitolou, věnující se především teoretickým základům tématu této práce, jsem v další kapitole vyhotovil písemný a grafický nástin popisu různých provozních variant zapojení sítě zadaného průmyslového podniku. Schémata byla vytvořena pomocí CADového softwaru MicroStation firmy Bentley Systems.

Do následující kapitoly jsem již soustředil jádro celé práce, neboť mým cílem bylo položit důraz především na provedení praktického výpočtu zkratových poměrů pro tři různé varianty zapojení průmyslového podniku na jedenácti VN rozvodnách. Pro každou VN rozvodnu se postupně podařilo sestavit náhradní schéma, které bylo potřeba zjednodušit a z něhož již bylo možné vypočítat celkovou hodnotu impedance, počáteční rázový zkratový proud při trojfázovém zkratu a zkratový výkon zkratového obvodu. Právě první varianta místa zkratu na rozvodně R6ČSTb byla do této diplomové práce zpracována názorně. Zbylé varianty míst zkratu jsem přepočítal pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel od firmy Microsoft. Větší přehlednosti jsem se v diplomové práci přitom snažil docílit zejména jednoduchým uváděním samotných schémat a výsledných hodnot počátečních rázových zkratových proudů a zkratových výkonů na všech rozvodnách. Tabulky všech hodnot výpočtů byly v návaznosti na to přiloženy, viz PŘÍLOHA F.

Poslední část práce byla zaměřena na tabulkové porovnání zkratových odolností rozvodny s vypočtenými hodnotami. Na základě vyhodnocení provedeného srovnání je možné konstatovat, že na všech rozvodnách je dle vypočtených hodnot zkratová odolnost vyhovující. Jako nejvýhodnější se z hlediska zkratové odolnosti rozvoden ukázalo provozování rozvodny podle schématu V2 a V3, což v závěru prokázal i fakt, že u varianty schématu V1 vycházely pro většinu případů vyšší hodnoty maximálních rázových zkratových proudů a i hodnoty maximálních zkratových výkonů zkratového obvodu.

Použité prameny:

- [1] ČSN EN 60909-0 (33 3022). *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Část 0: Výpočet proudů*. Český normalizační institut, 2002.
- [2] Výpočty zkratů v technické praxi. VOKÁL, Josef. *PowerWiki* [online]. 2012 vyd. [cit. 2013-12-11]. Dostupné z:
http://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Vok_%20zkraty_%20prednaskaFEL.pdf
- [3] FECL, František. *ELEKTRICKÝ ROZVOD A ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ*. 3. přep. vyd. Praha: ČVUT, 2006, s. 198. ISBN 80-01-02771-6.
- [4] TROJÁNEK, Zdeněk; HÁJEK, Josef a KVASNICA, Pavol. *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1987, s. 312. ISBN 04-534-87
- [5] HRADÍLEK, Zdeněk. VŠB-TU OSTRAVA. *ELEKTROENERGETIKA DISTRIBUČNÍCH A PRŮMYŠLOVÝCH ZAŘÍZENÍ*. Ostrava: MONTANEX a.s., 2008. ISBN 987-80-7225-291-6.
- [6] VÝROBA A ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE. KOLÁŘ, Václav. Skripta FEI-VŠB. Katedra 420 [online]. 2000, červenec 2005 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z:
http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/vyroba_a_rozvod_sylab.pdf
- [7] Požadavky na elektrický silnoproudý rozvod. PROCHÁZKA, Radek. tzbinfo [online]. 2007 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3980-pozadavky-na-elektricky-silnoproudyy-rozvod>
- [8] Index of /fantom/FEL/!SZZ_2010/mat/docs. VUT BRNO. [online]. 2010 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://home.pilsfree.net/fantom/FEL/!SZZ_2010/mat/docs/
- [9] Esbecko.wz.cz 2SB. STŘEDNÍ ELEKTROTECHNICKÁ ŠKOLA OSTRAVA. [online]. 2006 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.esbecko.wz.cz/nav_ref.html
- [10] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Elektrické stanice a vedení*. Brno: Skripta VUT Brno, 2013
- [11] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno: Skripta VUT Brno
- [12] KREJČÍ, Petr. *Cvičení z elektroenergetiky*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2003. ISBN 80-248-0471-9.
- [13] MEDVEC, Zdeněk. *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách: Návody do cvičení*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2001. ISBN 80-7078-856-9