



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Doprava

Ministerstvo dopravy
Státní fond dopravní
infrastruktury



			ČÍSLO SOUPRAVY:
		PO PŘIPOMÍNKOVÉM ŘÍZENÍ	
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	



Olišanská 1a
130 80 Praha 3
Česká republika
tel.: +420 267 094 305
IDDS: gi4w9x7
e-mail : info@sudopeu.cz



Olišanská 1a
130 80 Praha 3
Česká republika
tel.: +420 267 094 111
IDDS: nd9sqfy
e-mail : praha@sudop.cz



MORAVIA CONSULT Olomouc a.s.
LEGIONÁŘSKÁ 1085/8 , 779 00 Olomouc

tel.: +420 585 570 444
IDS: kjee9md
e-mail: moravia@moravia.cz
http://www.moravia.cz

OBJEDNATEL



Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

v zastoupení: SŽDC, s.o., Stavební správa východ, Nerudova 1, 772 58 Olomouc

HLAVNÍ INŽENÝR PROJEKTU	ING. PETR JEMELKA	G. ŘEDITEL MORAVIA CONSULT Olomouc a.s.
ODPOVĚDNÝ PROJ. OBJ., PS	NAVRHL, VYPRACOVAL	ING. VÁCLAV KRATOCHVÍL
PETR KUDĚLKA	PETR KUDĚLKA	KONTOLOVAL
KRAJ: OLOMOUCKÝ	POVĚŘENÝ OÚ:	ING. VLADIMÍR PROCHÁZKA
"Elektrizace a zkapacitnění trati Šumperk - Libina (mimo)" Návrh systému ochrany LDSŽ 22 kV Technická zpráva - výpočty - TNS Šumperk STS Troubelice		OBEC:
		ZAK. ČÍSLO MCO
		17-106-232-PS
		ÚČEL
		DSP
		DATUM
		ÚNOR 2019
		FORMÁT
		A4
		MĚŘÍTKO
		-
		ČÁST
		B.16.2
		POŘ.Č.
		2



"ELEKTRIZACE A ZKAPACITNĚNÍ TRATI ŠUMPERK - LIBINA (MIMO)"

TECHNICKÁ ZPRÁVA - VÝPOČTY

Napájení z TNS Šumperk po STS Troubelice

Vypracoval:

Petr Kudělka

Kontroloval:

Ing. Martin Množil

Datum:

Únor 2019

Verze:

Po připomínkovém řízení

1. Úvod

Předmětem tohoto dokumentu je výpočet rozvodu 22 kV v úseku napájeném z TNS Šumperk po STS Troubelice.

Výpočet rozvodu 22kV je řešen v rozsahu:

- Výpočet a návrh parametrů uzlových odporníků napájecí sítě 22 kV
- Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí
- Dimenzování jmenovitého výkonu vstupních napájecích transformátorů
- Výpočet úbytků napětí a přenosové schopnosti kabelového vedení 22 kV
- Návrh systému ochrany VN na úrovni LDSŽ 22 kV – kabelový rozvod 22 kV
- Výpočet zkratových poměrů (maximální, minimální) na úrovni vn a nn magistralního rozvodu 22 kV

LDSŽ 22kV bude napájena z trakční napájecí stanice (dále jen TNS) Šumperk. Zapojení je patrné z přehledového schéma napájení kabelového rozvodu 22 kV, příloha části D.3.5 a E.3.6. Na TNS Šumperk bude napájení rozvodu 22kV provedeno z transformátoru 22/22 kV o jmenovitém výkonu 10 MVA. Kabely 22 kV jsou navrženy jako nadzemní kabelové vedení VN zavěšené na trakčních podpěrách. Typ kabelu bude AXCES 3x95/25 12/22(24)kV.

Napájení úseku rozvodu 22 kV bude vždy jednostranné z TNS Šumperk. Napájecí transformátor je určen pro napájení úseků kabelové sítě rozvodu TNS Šumperk – TMP Hrabšíň. Další úseky rozvodu budou napájeny z jiných transformátorů. Proto pro tento výpočet uvažujeme vždy s pevnou délkou kabelového rozvodu – viz Tab. 1. Tato konfigurace je dána zadáním a koncepcí projektového řešení.

Tento výpočet parametru je určen pro napájený úsek TNS Šumperk – TMP Hrabšíň až po STS žst. Troubelice.

Základní stav napájení LDSŽ z TNS Šumperk bude:

- TNS Šumperk – TMP Hrabšíň

TMP Hrabšíň bude v základním stavu napájen z TNS Šumperk, protože úsek TNS Šumperk - TMP Hrabšíň je kratší, než úsek TNS Uničov – TMP Hrabšíň.

Pouze v případě výluky nebo poruchy napájení z TNS Uničov může být uvažována s napájením úseku z TNS Šumperk až po žst. Troubelice.

Po uvedení stavby do provozu bude železniční trať elektrizované dráhy provozována se stejnosměrnou trakční soustavou 3kV DC. V případě, že by v budoucnu byla provedena konverze na střídavou soustavu, však musí být provedena aktualizace výpočtů dle konkrétních podmínek technického řešení této budoucí stavby.

2. Návrh způsobu uzemnění uzlu vn sítě 22 kV

Účelem této kapitoly je návrh vhodného způsobu uzemnění uzlu sítě 22 kV. Obecně existují tři základní způsoby uzemnění uzlu v sítích vysokého napětí:

- Izolovaná síť s izolovaným (neuzemněným) uzlem zdroje
- Kompenzovaná síť s uzemněním uzlu zdroje přes zhášecí tlumivku
- Odporově uzemněná síť s uzemněním uzlu zdroje přes odporník

V případě navrhované sítě není izolovaná síť vhodná. Zemní proud při zemním spojení vyvolaný kapacitním proudem je příliš velký. Takže provoz sítě se zemním spojením není možný a není povolen dle platných technických norem. Jedinou možností by bylo rychlé vypnutí sítě v případě zemního spojení. Toto však není výhodné z důvodů vypnutí celé sítě v případě poruchy a náročného následného vyhledávání poruchy pomocí vymezení zemního spojení.

Kompenzovaná síť je výhodná tím, že je možné provozovat síť se zemním spojením po určitou dobu. Zemní proud způsobený kapacitním proudem je kompenzován indukčností kompenzační tlumivky zapojené v uzlu transformátoru. Vyhledávání poruch se nejčastěji provádí pomocí zemních směrových ochran. Nevýhodou této sítě je: vyšší investiční náklady při pořízení kompenzační tlumivky, automatiky ladění, ochran. Složitější výpočty a nastavení ochran, složitější a nákladnější údržba sofistikovaného systému. Kompenzovaná síť je obecně výhodnější pro venkovní vedení, než pro kabelové sítě. Z těchto důvodů se využití kompenzované sítě nejeví jako výhodné, a to i z důvodů vyšších pořizovacích nákladů spojených s pořízením kompenzační tlumivky a jejího příslušenství (automatika ladění tlumivky, odporník pro připínání pro vyhledávání poruch).

V odporově uzemněné síti se používá odporník zapojený v uzlu zdroje – transformátoru. Vymezení poruchy v odporově uzemněné síti je jednoduché a je možné provádět pomocí nadproudových ochran, nebo pomocí diferenciálních ochran kabelu. Odporově uzemněnou síť není možné provozovat se zemní poruchou. Tato nevýhoda není v kabelových sítích rozhodující, protože většina poruch v kabelových sítích je trvalá. S výhodou proto můžeme využít jednoduché detekce místa poruchy a zatlumení přepětí v síti při zemní poruše vlivem činného proudu tekoucího odporníkem do sítě.

Dále proto navrhujeme použití odporově uzemněné sítě pomocí odporníku instalovaného do uzlu zdroje – transformátoru.

3. Výpočet a návrh parametrů uzlových odporníků napájecí sítě 22 kV

Pro návrh odporníku jsou rozhodující parametry sítě 22 kV. Pro přenos elektrické energie budou sloužit kabely 22kV typu AXCES 3x95/25 12/22(24)kV. Tyto kabely budou zapojeny mezi jednotlivé trafostanice lineární sítě v úseku tratě TNS Šumperk – TMP Hrabšíns – TNS Uničov. S napájením až po TNS Uničov se nepočítá. Tato síť je definována jako lokální distribuční síť SŽDC. Napájení sítě bude vždy jednostranné a to buď celé sítě, nebo po její dílčí části. Pro návrh parametrů odporníku je tedy rozhodující největší délka připojeného kabelového úseku rozvodu 22 kV tedy TNS Šumperk – STS žst. Troubelice.

Kapacitance kabelu AXCES 3x95/25 12/22(24)kV je 0,25 uF/km. Vypočtená a výrobce kabelu stanovená hodnota zemního poruchového proudu při zemním spojení je 3,30 A/km.

Tab. 1: Výpočet kapacity sítě

začátek	konec	typ kabelu	délka	$I_{kap/km}$	I_c
			km	A/km	A
TNS Šumperk	žst. Nový Malín	AXCES 3x95/25	4,58	3,3	15,114
žst. Nový Malín	TMP Hrabšířín	AXCES 3x95/25	5,56	3,3	18,348
TMP Hrabšířín	žst. Libina	AXCES 3x95/25	4,59	3,3	15,147
žst. Libina	zast. Nová Hradečná	AXCES 3x95/25	5,73	3,3	18,909
zast. Nová Hradečná	žst. Troubelice	AXCES 3x95/25	4,15	3,3	13,695
Kabely na TMP Hrabšířín		22-AXEKVCEY, 22-CXEKVCEY	0,12	3,59	0,431
Celkem			24,73		81,644

Výpočet rezistence odporníku:

S ohledem na správnou funkci ochran a zajištění podmínek tlumení při zemních poruchách se velikost primárního odporníku volí přibližně na 120 % kapacitního proudu sítě. Zemní kapacitní proud sítě je dle tab. č. 1 vypočten na hodnotu 81,644 A.

$$I_R = 1,2 \cdot I_c \quad [A, A]$$

$$I_R = 1,2 \cdot 81,644 A = 99,973 A$$

Odporník navrhujeme volit s rezervou se jmenovitým krátkodobým proudem $I_N = 125 A$. Hodnota je vybrána z normové řady dle ČSN EN 60059.

Jmenovitá rezistence odporníku bude:

$$R_N = \frac{U_f}{I_N} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot I_N} = \frac{23000}{\sqrt{3} \cdot 125} = 106,232 \Omega$$

Návrh parametrů odporníku:

Jmenovité napětí sítě:	23 kV
Jmenovité napětí odporníku:	13,3 kV
Jmenovitý proud odporníku:	125 A
Jmenovitý odpor odporníku:	165,988 ±10%
Doba zatížení odporníku:	6 s
Trvalé povolené napětí:	10% (1330 V)
Chlazení:	AN
Stupeň krytí:	IP23
Instalace:	vnitřní/venkovní
Proudový transformátor 1 na NN straně	150//5 A; další parametry - projekt
Proudový transformátor 2 na NN straně (kostrový)	150//1 A; další parametry - projekt

Výpočet poruchového proudu v místě zemní poruchy:

Tento výpočet je určen pro účely nastavení funkce ochran a dimenzování uzemnění.

Minimální hodnota poruchového proudu:

Minimální hodnotu poruchového proudu lze odhadnout za předpokladu určení hodnoty napětí $U_0 = 0,3 \cdot U_f = 0,3 \cdot U_s / \sqrt{3}$. Kapacitní proud lze pro tento účel zanedbat, protože se počítá s poruchou pro minimální rozsah sítě, kde se kapacita kabelu výrazně neprojeví.

$$I_{por\ min} = I_R = \frac{0,3 \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot R_N} = \frac{0,3 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot 106,232} = 37,50\ A$$

Pro účely nastavení ochran je možné uvažovat s minimálním poruchovým proudem 24,0 A. Tato hodnota je dostatečná i v případě minimální konfigurace sítě.

Maximální hodnota poruchového proudu:

Maximální hodnota poruchového proudu se vypočte pro maximální rozsah sítě, to je pro jmenovitý proud odporů a vypočtený kapacitní proud.

$$I_{por\ max} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{125^2 + 81,644^2} = 149,301\ A$$

Pro účely dimenzování uzemnění je nutné počítat s maximálním poruchovým proudem 149,301 A.

4. Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí

V sítích s uzemněním přes odporník dochází při jednofázové poruše (spojení jedné fáze se zemí) k zemnímu spojení. Hodnota poruchového proudu je dána vektorovým součtem zemního kapacitního proudu a proudu tekoucího přes odporník. Hodnota poruchového proudu $I_{por\ max}$ (zemního proudu I_E) je vypočtena v předchozí kapitole. $I_{por\ max} = I_E = 149,301\ A$, nahoru zaokrouhlená hodnota je 150,0 A.

Dimenzování uzemnění se provádí pro uzavřené elektrické provozovny dle ČSN EN 50522. Pro LDS 22kV se jedná o trakční napájecí stanice a trafostanice 22/0,4 kV v železničních stanicích, zastávkách a výhybních.

Dovolené dotykové napětí U_{Tp} pro uzavřené elektrické stanice dle ČSN EN 50522 tab. B.3.

Pro výpočet dimenzování uzemnění jsou rozhodující:

Zemní proud I_E 150,0 A

Trvání poruchy t_f 0,40 s

Dovolené dotykové napětí U_{Tp} 300 V dle ČSN EN 50522 tab. B.3

Dimenzování uzemnění na trakční napájecí stanice obecně:

Požadovaná hodnota zemního impedance:

$$Z_E = \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{300}{150,0} = 2,0\ \Omega$$

Z_E - zemní impedance, například získaná měřením nebo výpočtem viz ČSN EN 50522 Příloha L, viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.11 [Ω]

U_{Tp}	-	dovolené dotykové napětí	[V]
I_E	-	proud do země viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.29	[A]
U_E	-	nárůst potenciálu zemniče (EPR) viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.12	[V]

Dimenzování pro trakční měřírny (stejnoseměrná trakční soustava 3 kV DC)

U trakčních měření je dle ČSN 34 1500 ed. 2 dle čl. 5.4.4.3 požadovaná hodnota ochranného uzemnění R_E max. 0,5 Ω .

Nárůst potenciálu země U_E při zemním spojení v síti LDS 22 kV tedy bude:

$$U_E = I_E \cdot R_E = 150 \cdot 0,5 = 75,0 \text{ V}$$

Je splněna podmínka ČSN EN 50522:

$$U_E = 75,0 \text{ V} \leq 2 \cdot U_{Tp} = 2 \cdot 300 \text{ V} = 600 \text{ V}$$

Návrh hodnoty uzemnění je správný bez případných opatření „M“ dle ČSN EN 50522.

Návrh hodnoty uzemnění platí pro uzemnění odporníku a uzemnění technologického zařízení trakční měřírny.

Dimenzování uzemnění na trafostanice 22/0,4 kV:

Požadovaná hodnota zemního odporu pro stranu VN:

$$R_E = \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{300}{150} = 2,0 \Omega$$

Navrhuje se společné uzemnění zařízení VN a NN. Požadovaná hodnota odporu ochranného uzemnění pro stranu VN $R_E \leq 3,704 \Omega$ je v pořádku, protože hodnota odporu uzemnění trafostanice, kde je společné uzemnění zařízení VN a NN v sítích TN je dle ČSN 33 2000-4-41 NB.1: $R_A \leq 5 \Omega$ a $R_B \leq 2 \Omega$

Uvedený výpočet vyhovuje také požadavku PNE 33 0000-1 6. vydání čl. 3.3.3.9:

$$R_B = \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{300}{150} = 2,0 \Omega$$

Kde R_B je celkový odpor uzemnění vodičů PEN (případně vodičů PE) všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemněného středu (uzlu) zdroje v Ω .

R_A je odpor uzemnění nulového bodu (uzlu) zdroje nebo pracovní uzemněného místa zdroje.

Jestliže bude navrženo společné uzemnění zařízení VN a NN trafostanice s parametry $R_A \leq 5 \Omega$ a $R_B \leq 2$, pak je návrh uzemnění správný, protože požadovaný je celkový odpor uzemnění vodičů PEN (případně vodičů PE) všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemněného středu (uzlu) zdroje v Ω $R_B \leq 2 \Omega$ je stejný, jako vypočtená minimální hodnota 2,0 Ω .

Návrh hodnoty uzemnění je správný bez případných opatření „M“ dle ČSN EN 50522.

Jestliže by byly pro společnou uzemňovací soustavu vn a nn distribuční stanice půdní podmínky tak ztížené, že nelze splnit požadavek týkající hodnoty celkového uzemnění R_B , je nutno splnit požadavky uvedené v PNE 33 3201 – v tabulce 10.8, respektive ČSN EN 50522 tab. 2.

Dimenzování uzemnění trakčních podpěr, na kterých je uložen závěsný kabel 22kV:

Varianata se stejnosměrnou trakční soustavou 3kV DC

U stejnosměrné trakční soustavy 3 kV DC není kolejnice uzemněna strojeným zemničem. Celkový odpor kolejnice vůči zemi sice není velký, ale tuto kolejnici není možné považovat jako náhodný zemnič.

Každá trakční podpěra je ukolejněna individuálně nebo skupinově. Ukolejnění je dle ČSN 34 1500 ed. 2 přímé nebo nepřímé přes opakovatelnou průrazku. Toto ukolejnění a kolejnice zpětného vedení nemůžeme v případě stejnosměrné trakce využít jako náhodný zemnič sítě LDSž 22 kV.

Trakční podpěry u stejnosměrné trakční soustavy 3 kV DC nejsou uzemněny na jakoukoliv uzemňovací soustavu, která by zajišťovala dostatečně nízký zemní odpor, případně by vyhovovala ČSN EN 50 122-1 ed. 2 Příloha E: Popis uznávaných zvláštních opatření M. Náhodné uzemnění přes svorníky trakční podpěry nezajistí dostatečně nízký zemní odpor pro zajištění dovolené hodnoty dotykových napětí. Pokud bychom chtěli dovolené dotykové napětí dodržet, musela by každá trakční podpěra mít svou uzemňovací soustavu obdobně jako vedení vn u distribučních sítí. Toto řešení je u stejnosměrné trakční soustavy 3 kV DC nemožné z důvodů požadavků na omezení šíření bludných proudů.

V případech, kde by nebylo možné dosáhnout dovoleného dotykového napětí na neživých částech trakčních podpěr, je nutné provést opatření na snížení rizika dotykových napětí.

V případě, že nemůžeme zajistit hodnoty dovoleného dotykového napětí v síti LDSž 22 kV na neživých částech trakčních podpěr, na kterých bude kabel 22 kV zavěšen, je potřeba najít jiný způsob, který zajistí bezpečnost osob a zvírat před účinky nebezpečného dotykového napětí.^[1]

Navrhuje se zavěšení kabelu 22 kV na neprůrazný izolátor (neprůrazný izolátor s výdržným napětím 50 kV 1 minuta) dle ČSN EN 50341 ed. 2, obr. 6.2 Opatření vyžadovaná pro snížení dotykových napětí, čl. 6.4.3 bod 8 poznámka. Blíže jej toto opatření specifikováno v PNE 33 0000-1 5. vydání čl. 3.4.1.1 v případě, že je použito rychlé automatické vypnutí poruchy.

U venkovních vedení vn, u nichž je zajištěno rychlé automatické odpojení od zdroje (za rychlé automatické odpojení od zdroje – rychlé automatické vypínání poruchy ve smyslu ČSN EN 50341-3, změny Z2 čl. 6.2.4.2/CZ.2 a ČSN EN 50423-3 národní přílohy NA, čl. 6.2.4.2/CZ1 se pokládá automatické odpojení od zdroje hlavní ochranou do 1 s a záložní ochranou v čase do 5 s) se velikost dotykových ani krokových napětí nemusí dodržet (nemusejí se kontrolovat), jsou-li splněna tato opatření: Opatření jsou vyjmenována v čl. 3.4.1.1. PNE 33 0000-1 5. vydání. Jedno z těchto opatření je:

U elektrických venkovních vedení s napětím nad 1 kV a do 45 kV včetně (vedení vn) se považuje za rovnocenné opatření zřízení ekvipotenciálních kruhů, anebo použití neprůrazných izolátorů nebo konzol z izolujícího materiálu – viz ČSN EN 50341-1, čl. 6.2.4.2 – poznámka.

Neprůrazný izolátor je definován v ČSN IEC 383-1 v čl. 4.1 jako závěsný izolátor pro venkovní vedení třídy A: Izolátor, u kterého nejkratší délka průrazné dráhy tuhým izolačním

materiálem je nejméně rovna polovině vzdušné vzdálenosti (délka oblouku). Příklad izolátoru třídy A je tyčový izolátor s vnějšími upevňovacími armaturami. ^[1]

[1] Metodika zásad projektování a provozu lokální distribuční sítě SŽDC 22 kV, ELEKTRIZACE ŽELEZNIC PRAHA a.s., květen 2017.

Poznámka: Mimo uzavřené elektrické provozovny nesmí být kabelové vedení 22kV přístupné dotyku. Nejkratší vnější vzdálenosti stanoví ČSN EN 50341 ed. 2.

Uzemnění stínění kabelů 22 kV

Uzemnění stínění kabelů 22 kV se provede v trakčních transformovnách nebo v trafostanicích 22 kV na ochranné uzemnění dle návrhu projektanta (viz Schéma napájení z rozvodu 22 kV). Dle ČSN 34 1530 ed. 2 čl. 7.6 se stínění kabelů uzemňuje jen na jedné straně, na druhé straně musí být stínění izolovaně odděleno od uzemněné konstrukce nebo konstrukce spojené se zpětným vedením.

V případě kabelů 22 kV se izolovaná strana stínění chrání omezovačem přepětí vůči atmosférickým přepětím a přepětím na stínění v případě poruchy, které by mohl narušit izolační pevnost pláště kabelu. Tyto omezovače přepětí se navrhují s opakovatelnou funkcí a v případě odeznění přepětí izolují.

Bližší podmínky uzemnění stínění kabelů 22kV LDSŽ jsou uvedeny v dokumentu: Metodika zásad projektování a provozu lokální distribuční sítě SŽDC 22 kV, ELEKTRIZACE ŽELEZNIC PRAHA a.s., květen 2017.

5. Dimenzování jmenovitého výkonu vstupních napájecích transformátorů

Volba jmenovitého výkonu pro LDSž 22 kV se provádí dle energetických výpočtů. Transformátory musí být dostatečně dimenzovány pro:

- Napájení podpůrné měnirny TMP Hrabšín (zde se uvažuje s maximálním výkonem dle energetických výpočtů, tj. s odklonovou dopravou tratě Olomouc - Zábřeh)
- Napájení trafostanic 22/0,4 kV (NTS, STS, TTS)
- Částečně nevykompenzovanou síť v případě poruchy největší dekompenzační tlumivky
- Provozní rezervu

Na TNS Šumperk bude napájení provedeno z transformátoru 22/22 kV. Projektantem je navržený transformátor o jmenovitém výkonu 10 MVA. Dimenzování dle energetické bilance je následující:

Tabulka 2 - TNS Šumperk – transformátor 22/22 kV, 10 MVA

Bilance výkonů	činný výkon	účinník	jalový výkon
	kW		kVA
STS žst. Nový Malín	46,50	0,95	48,95
TMP Hrabšín (s odklonem)	6400,00	0,95	6736,84
STS žst. Libina	66,00	0,95	69,47
STS Nová Hradečná			
STS žst. Troubelice	75,00	0,95	78,95
TMP Hrabšín - vlastní spotřeba	100,00	0,95	105,26
Mezisoučet včetně rezervy	6687,50		7039,47
Největší dekompenzační tlumivka vn (kvar)			200,00
Celkem	6687,50		7239,47
Jmenovitý výkon napájecího transformátoru			10000,00
Rezervní výkon napájecího transformátoru			2760,53

Návrh dimenzování jmenovitého výkonu vstupního napájecího transformátoru je provedeno s dostatečnou rezervou i pro případné navýšení dopravy a spotřeby TMP Hrabšín. Dimenzování transformátoru je také provedeno dle výpočtů zkratových poměrů.

6. Výpočet úbytků napětí a přenosové schopnosti kabelového vedení 22 kV

Přenosová schopnost LDSž 22 kV je daná použitými transformátory a použitými vedeními, které ve většině případů tvoří vedení kabelová.

U transformátorů je přenosová schopnost daná jejich jmenovitým výkonem ve vztahu k zatížení transformátorů. U transformátorů je tedy rozhodující jejich jmenovitý výkon, který se udává v kVA případně v MVA. Proto je potřeba transformátory dimenzovat na zdánlivý výkon jejich zatížení. Také je potřeba počítat se skutečností, že síť 22 kV nemusí být za všech okolností ideálně vykompenzovaná. Může dojít k poruše některé z kompenzačních tlumivek, a přesto bude potřeba LDSž 22 kV provozovat. Jmenovitý výkon transformátorů se proto volí s rezervou, kterou určuje projektant. Viz kapitola 5.

Významný vliv na přenosovou schopnost má kabelové vedení. Na tomto vedení dochází k úbytku napětí vlivem rezistence vedení a reaktance vedení. Vlivem úbytku napětí dochází také k výkonové ztrátě na kabelovém vedení.

Výpočet úbytku napětí na kabelovém vedení je možné provést podle vztahu:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot l \cdot (R_K \cdot I \cdot \cos\varphi + X_K \cdot I \cdot \sin\varphi)$$

$$X_K = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$$

ΔU	úbytek napětí [V]
l	délka kabelového vedení [km]
R_K	rezistence kabelového vedení [Ω /km]
I	proud [A]
X_K	reaktance kabelového vedení [Ω /km]
L	indukčnost kabelového vedení [H/km]
f	jmenovitá frekvence [Hz]
$\Delta u_{\%}$	úbytek napětí [%]
U_N	jmenovité sdružené napětí sítě [V]

Výkonová ztráta na kabelu bude:

$$P_Z = \Delta U \cdot I \cdot \sqrt{3 \cdot \cos\varphi}$$

P_Z	výkonová ztráta na kabelu [W]
-------	-------------------------------

Parametry kabelu 22kV AXCES 3x95/25 12/22(24)kV:

$$R_K = 0,32 \text{ } \Omega/\text{km}, X_K = 0,32 \text{ } \Omega/\text{km}, U=22 \text{ kV}$$

Tabulka 3 - Výpočet úbytku napětí ve směru napájení TNS Šumperk – STS Žst. Troubelice

Varianta 1 - Napájení z TNS Šumperk po STS Troubelice včetně napájení TMP Hradišín

Začátek/El. stanice	Konec	Typ kabelu	I	I(usek)	P	S	I	ΔU	Δu	P _z
			km	A	kW	kVA	A	V	%	kW
TNS Uničov	Žst. Nový Malín	AXCES 3x95/25	4,58	181,98				484,16	2,20	144,97
STS Nový Malín					46,50	48,95	1,28			
Žst. Nový Malín	TMP Hradišín	AXCES 3x95/25	5,56	180,69				583,61	2,65	173,52
TMP Hradišín					6400,00	6736,84	176,80			
TMP Hradišín	Žst. Libina	AXCES 3x95/25	4,59	3,90				10,39	0,05	0,07
STS Libina					66,00	69,47	1,82			
Žst. Libina	zast. Nová Hradečná	AXCES 3x95/25	5,73	2,07				6,90	0,03	0,02
STS Nová Hradečná					0,00	0,00	0,00			
zast. Nová Hradečná	Žst. Troubelice	AXCES 3x95/25	4,15	2,07				4,99	0,02	0,02
STS Troubelice					75,00	78,95	2,07			
I(celk) (km)			24,61							
P(celk) (kW)					6587,50					
S(celk) (kVA)						6934,21				
I(celk) (A)							181,98			
ΔU na konci (V)								1090,05		
Δu na konci (%)									4,95	
Pz celkem (kW)										318,60

Varianta 2 - Napájení z TNS Šumperk po TMP Hradišín:

Začátek/El. stanice	Konec	Typ kabelu	I	I(usek)	P	S	I	ΔU	Δu	P _z
			km	A	kW	kVA	A	V	%	kW
TNS Uničov	Žst. Nový Malín	AXCES 3x95/25	4,58	178,08				473,80	2,15	138,83
STS Nový Malín					46,50	48,95	1,28			
Žst. Nový Malín	TMP Hradišín	AXCES 3x95/25	5,56	176,80				571,03	2,60	166,12
TMP Hradišín					6400,00	6736,84	176,80			
I(celk) (km)			10,14							
P(celk) (kW)					6446,50					
S(celk) (kVA)						6785,79				
I(celk) (A)							178,08			
ΔU na konci (V)								1044,83		
Δu na konci (%)									4,75	
Pz celkem (kW)										304,95

Z uvedeného výpočtu, vyplývá, že úbytky napětí jsou v souladu s požadavky ČSN EN 50160 ed. 3. Vypočtená nejvyšší hodnota úbytku napětí 4,95 % z jmenovitého napětí 22 kV je pro plně zatíženou síť dle energetické bilance této dokumentace. Vypočtená hodnota je nižší než povolená hodnota dle ČSN EN 50160 ed. 3. čl. 5.2.2.1 Za normálních provozních podmínek, s vyloučením přerušení napájení, nemají odchylky napájecího napětí přesáhnout ± 10 % dohodnutého napětí U_c (22 kV).

Dimenzování přenosové schopnosti z hlediska úbytků napětí je správné.

Legenda:

l	délka kabelového úseku (km)
$I(\text{usek})$	proud tekoucí kabelovým úsekem od místa napájení kabelového úseku (A)
P	příkon elektrické stanice (kW)
S	zdánlivý výkon elektrické stanice (kVA)
I	proud elektrické stanice (A)
ΔU	úbytek napětí na konci dílčího napájeného kabelového úseku (V)
Δu	úbytek napětí na konci dílčího napájeného kabelového úseku (%)
P_z	výkonová ztráta na dílčím napájeném kabelovém úseku (kW)
$l(\text{celk})$	celková délka kabelu z NTS v daném směru (km)
$P(\text{celk})$	celkový příkon elektrických stanic v daném směru (kW)
$S(\text{celk})$	celkový zdánlivý výkon elektrických stanic v daném směru (kVA)
$I(\text{celk})$	celkový proud elektrických stanic v daném směru (kW)
$\Delta U \text{ na konci}$	úbytek napětí na konci celého napájeného kabelového úseku (V)
$\Delta u \text{ na konci}$	úbytek napětí na konci celého napájeného kabelového úseku (%)
$P_z \text{ celkem}$	výkonová ztráta na celém napájeném kabelovém úseku (kW)

7. Návrh systému ochran VN na úrovni LDSž 22 kV – kabelový rozvod 22 kV

Účelem vhodného výběru ochranných funkcí a ochran je zajištění vypnutí elektrického zařízení v případě poruchy v požadovaném čase trvání poruchy a zajištění selektivního vypnutí části elektrické sítě s poruchou a zachování provozu ostatních částí elektrické sítě bez poruch.

Elektrické zařízení z pohledu chránění můžeme rozdělit na:

- Ochrany oddělovacího transformátoru 22/22 kV
- Ochrany rozvodu 22 kV na TNS
- Ochrany odporníku
- Ochrany kabelového rozvodu 22 kV
- Ochrany trafostanic 22/0,4 kV

Pro výběr vhodných ochranných funkcí je rozhodující:

- Volba druhu sítě 22 kV
- Požadovaný vypínací čas
- Topologie sítě 22 kV
- Požadavky platných technických norem a předpisů

Pro bezpečnost působení ochran je důležité zejména:

- Dimenzování elektrického zařízení
- Výpočet nastavení ochran
- Správné provedení zkoušek ochran
- Volba hlavní a záložní ochrany
- Volba druhu sítě 22 kV

V této kapitole se budeme zabývat zejména návrhem ochranných funkcí. Účelem je popsat navržený systém ochran pro účel projektové dokumentace stavby a jako podklad pro výpočet nastavení ochran, který bude prováděn v rámci realizace stavby zhotovitelem.

Pro návrh systému ochran je rozhodující požadavek na maximální dobu poruchy $t_f = 0,4$ s. Je to doba, která odpovídá hodnotám dovoleného dotykového napětí U_{Tp} stanoveným v kapitole č. 3. Síť 22 kV je definována jako síť s rychlým automatickým vypnutím poruchy (ITr).

Pro zajištění tak krátkého vypínacího času a zajištění selektivního vypnutí postižené části sítě poruchou se jeví výhodné použití diferenciálních ochran kabelu 22kV. Z tohoto předpokladu budeme dále vycházet i při volbě jiných ochran celé sítě.

Návrh ochran vychází z předpokladu:

- Přehledové schéma napájení rozvodu 22 kV
- Síť 22 kV tvořící LDS 22 kV je napájena přes oddělovací transformátory 22/22 kV
- Z hlediska topologie sítě se jedná o liniovou síť s dvěma paprsky napájenými jednostranně z TNS Šumperk
- Napájení sítě bude jednostranné, a to buď celé sítě, nebo jejích dílčích částí

Blokové schéma ochran

Návrh systému ochran je nakreslen v příloze: Blokové schéma ochran – Šumperk – Uničov. Z tohoto schéma je patrné:

- Osazení multifunkčních ochran u jednotlivých zařízení
- Navržené ochranné funkce
- Vzájemné blokování
- Komunikace ochran

Konkrétní typy ochran nejsou stanoveny. Tyto budou určeny v rámci realizace stavby.

Ochrana oddělovacího transformátoru 22/22 kV

Pro ochranu oddělovacího transformátoru 22/22 kV o předpokládaném jmenovitém výkonu 10000 kVA navrhuji použití multifunkční ochrany s rozdělením funkcí dle blokového schéma ochran. Jedná se o multifunkční ochranu i s funkcemi ovládání, funkcemi PLC, vizualizace a komunikace s nadřazeným řídicím systémem a s možností komunikace s ostatními ochranami pomocí goose v rámci komunikace IEC 61850.

Navržené ochranné funkce:

IEC 61850	IEC 60617	Funkce
PHLPTOC1	3I> (1)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením
PHLPTOC2	3I> (2)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením
PHHPTOC1	3I>> (1)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším nastavením
PHHPTOC2	3I>> (2)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším nastavením
INRPHAR	3I2f>	Třífázová funkce detekce zapínacího proudu
TR2PTDF	3Id>	Stabilizovaná a mžiková diferenciální ochrana transformátorů s dvěma vinutími
EFLPTOC1	Io> (1)	Nesměrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením
EFLPTOC2	Io> (2)	Nesměrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením
CCBRBRF1	3I>/Io>BF (1)	Ochrana při selhání vypínače
ARCSARC	ARC	Záblesková ochrana

Tato ochrana rovněž slouží jako ochrana kostry odporníku – nádobové ochrana s funkcí Io>. Tato ochranná funkce bude chránit samostatný odporník, a to pomocí nádobové ochrany. Ochranná funkce vypne transformátor z primární a sekundární strany při přeskočení na nádobu (kostru) odporníku. K tomuto účelu slouží MTP zapojený mezi kostru odporníku a uzemnění. Ochrana bude nadproudová zemní Io>.

Ochrana přírodního pole R22kV.1 P3 a odporníku R1

Pro ochranu přírodního pole a odporníku navrhuji použití multifunkční ochrany s rozdělením funkcí dle blokového schéma ochran. Jedná se o multifunkční ochranu i s funkcemi ovládání, funkcemi PLC, vizualizace a komunikace s nadřazeným řídicím systémem a s možností komunikace s ostatními ochranami pomocí gose v rámci komunikace IEC 61850.

Navržené ochranné funkce:

IEC 61850	IEC 60617	Funkce
PHLPTOC1	3I> (1)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením
PHLPTOC2	3I> (2)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením
PHHPTOC1	3I>> (1)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším nastavením
PHHPTOC2	3I>> (2)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším nastavením
EFLPTOC1	Io> (1)	Nesměrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením
ROVPTOV1	Uo> (1)	Ochrana při fázové nevyváženosti
ROVPTOV2	Uo> (2)	Ochrana při fázové nevyváženosti
CCBRBRF1	3I>/Io>BF (1)	Ochrana při selhání vypínače
ARCSARC	ARC	Záblesková ochrana

Ochranná funkce Io> bude chránit síť LDS 22 kV při zemním spojení a bude určena zejména jako záložní ochrana. Ochrana bude nadproudová a bude zapojena na MTP instalované v uzlu transformátoru s odporníkem. V případě, že přes odporník poteče poruchový proud zemního spojení a tento nebude včas vypnut některou z diferenciálních ochran kabelu 22 kV, dojde k vypnutí touto záložní ochranou. Tato záložní ochrana nebude selektivní, to znamená, že vypne celou postiženou síť 22kV. Čas zpoždění vypnutí této záložní ochranné funkce musí být nastaven na 0,3 s, aby bylo zajištěno vypnutí poruchy do 0,4 s.

Jako záložní ochrana kabelového rozvodu bude rovněž sloužit ochranná funkce Uo>. První stupeň bude použit jako signalizace zemního spojení v síti 22 kV. Druhý stupeň bude vypínat jako záložní ochrana. Čas zpoždění vypnutí této záložní ochranné funkce musí být nastaven na 0,3 s, aby bylo zajištěno vypnutí poruchy do 0,4 s.

Ochrany kabelového rozvodu 22 kV a trafostanic 22/0,4 kV

Ochrany kabelového rozvodu 22 kV a trafostanic 22/0,4 kV budou součástí multifunkčních ochran, které budou instalovány na vývodech rozveden 22 kV na TNS a v přívodech trafostanic. Hlavní ochranou funkcí navrhuji diferenciální ochranu kabelu. Tato ochrana bude vyhodnocovat rozdílový proud na obou stranách daného kabelového úseku mezi rozvodnami 22 kV v LDS 22 kV. Tyto ochrany budou propojeny pomocí opto komunikace. Pomocí optokomunikace si ochrany předávají informaci o aktuálním proudu a povely k vypnutí sousedního vypínače v případě vypnutí ochrannou funkcí.

Kromě diferenciální ochrany má smysl využít také ostatní funkce ochrany. Výhodou digitálních diferenciálních ochran je také možnost přenášení signálů a povelů mezi ochranami, a tak zajistit např. vypnutí nadřazeného vypínače.

Měření proudů a napětí pro tyto ochrany budou použity senzory napětí a proudu.

Navržené ochranné funkce:

DPHLPDOC1	3I>→ (1)	Třífázová směrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením
DPHLPDOC2	3I>→ (2)	Třífázová směrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením
PHIPTOC1	3I>>> (1)	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, mžikový stupeň
DEFLPDEF1	Io>→ (1)	Směrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením
ROVPTOV1	Uo> (1)	Ochrana při fázové nevyváženosti
ROVPTOV2	Uo> (2)	Ochrana při fázové nevyváženosti
LNPLDF1	3Id/I> (1)	Diferenciální ochrana vedení
T1PTTR	3Ith>F	Třífázová ochrana proti tepelnému přetížení vývodů, kabelů a distribučních transformátorů
PCSITPC		Funkce kontroly komunikace ochran

Nadproudové ochrany budou směrové, s časovou selektivitou. Směrová zemní ochrana bude záložní pro diferenciální ochranu vedení – kabelu a bude určovat místo zemního spojení i pro případ, že by toto bylo mimo kabelové úseky chráněné diferenciální ochranou, např. v rozvodně 22 kV. Směrové zemní ochrany budou blokovány při svém působení směrem ke zdroji zdroji – viz blokové schéma ochran.

Zkratové ochrany budou blokovány při svém působení směrem ke zdroji – viz blokové schéma ochran.

Pro komunikaci ochran jsou potřeba dvě samostatná jednovláknová vlákna v kabelu single mode s LC konektory zapojenými do ochran. V této komunikaci se nepoužívají žádné aktivní síťové prvky.

Čas zpoždění diferenciální ochrany kabelu navrhuji nastavit v rozmezí 0,05 až 0,1 s. Je to z důvodu požadavku na rychlé vypnutí poruchy do 0,15 až 0,2 s. Selektivita mezi hlavní a záložní ochranou bude 100 až 150 ms. U moderního technologického zařízení a při použití digitálních ochran je takováto selektivita vyhovující.

Volba hlavní a záložní ochrany sítě LDS 22 kV

Kabelového rozvodu 22kV

Jako hlavní ochrana kabelu 22 kV v LDS 22 kV bude složit diferenciální ochrana vedení - kabelu (3Id/I> (1)). Tato ochrana bude působit nejrychleji se zpožděním vypnutí 0,05. Tato ochranná funkce bude působit jak při nadproudu a zkratu, tak při zemním spojení na kabelu v odporově uzemněné síti 22kV. Je to dáno tím, že všechny uvedené poruchy vyvolají rozdíl proudu dostatečný k popudu ochrany.

Jako záložní ochrana při zemním spojení na kabelu 22 kV budou sloužit dvě ochranné funkce, které budou požit:

v multifunkční ochraně na sekundární straně transformátoru 22 kV a současně odporníku zapojeného v uzlu transformátoru 22/22 kV

- Přepětová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí (Uo>)
- nesměrová nadproudová ochrana (Io>)

Obě ochranné funkce budou mít čas zpoždění vypnutí 0,3 s a budou zajišťovat záložní neselektivní vypnutí v čase do 0,4 s.

Jako záložní ochrana při nadproudu a zkratu budou sloužit ochranné funkce v multifunkční ochraně na sekundární straně transformátoru 22/22 kV.

Rozvaděčů 22kV na trafostanicích

Jako hlavní ochrana při zemním spojení v rozvaděčích 22 kV na trafostanicích bude sloužit Směrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením $I_{0>}$ → s časem působení 0,2 s.

Jako záložní ochrana při zemním spojení na kabelu 22 kV budou sloužit dvě ochranné funkce, které budou požity:

v multifunkční ochraně na sekundární straně transformátoru 22 kV a současně odporníku zapojeného v uzlu transformátoru 22/22 kV

- Přepětová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí ($U_{0>}$)
- nesměrová nadproudová ochrana ($I_{0>}$)

Obě ochranné funkce budou mít čas zpoždění vypnutí 0,3 s a budou zajišťovat záložní neselektivní vypnutí v čase do 0,4 s.

Jako hlavní ochrana při nadproudu (směrová) a zkratu (nesměrová) budou sloužit ochranné funkce v multifunkčních ochránách v trafostanicích.

Jako záložní ochrana při nadproudu a zkratu budou sloužit ochranné funkce v multifunkčních ochránách na vývodech rozvaděčů 22 kV na TNS.

Výpočet nastavení ochran

Součástí této technické zprávy není provedení výpočtu nastavení ochran. Výpočet bude proveden v rámci realizace stavby zhotovitelem na základě konkrétně použitého zařízení. Náklady na výpočty nastavení ochran jsou součástí soupisu prací a dodávek konkrétních provozních souborů.

Typy ochran

Součástí této technické zprávy není určení konkrétních typů ochran. Technická specifikace požadavků na ochrany je součástí soupisu prací a dodávek konkrétních provozních souborů.

8. Výpočet zkratových poměrů na úrovni vn a nn magistrálního rozvodu

Výpočet zkratových poměrů byl proveden v programu Zkraty 2.0 (ELCOM, a.s.).

Výpočet zkratových poměrů je proveden pro lokální distribuční síť 22kV SŽDC, která je navržena mezi TNS Šumperk – STS Troubelice dle přehledového schéma napájení dokumentace.

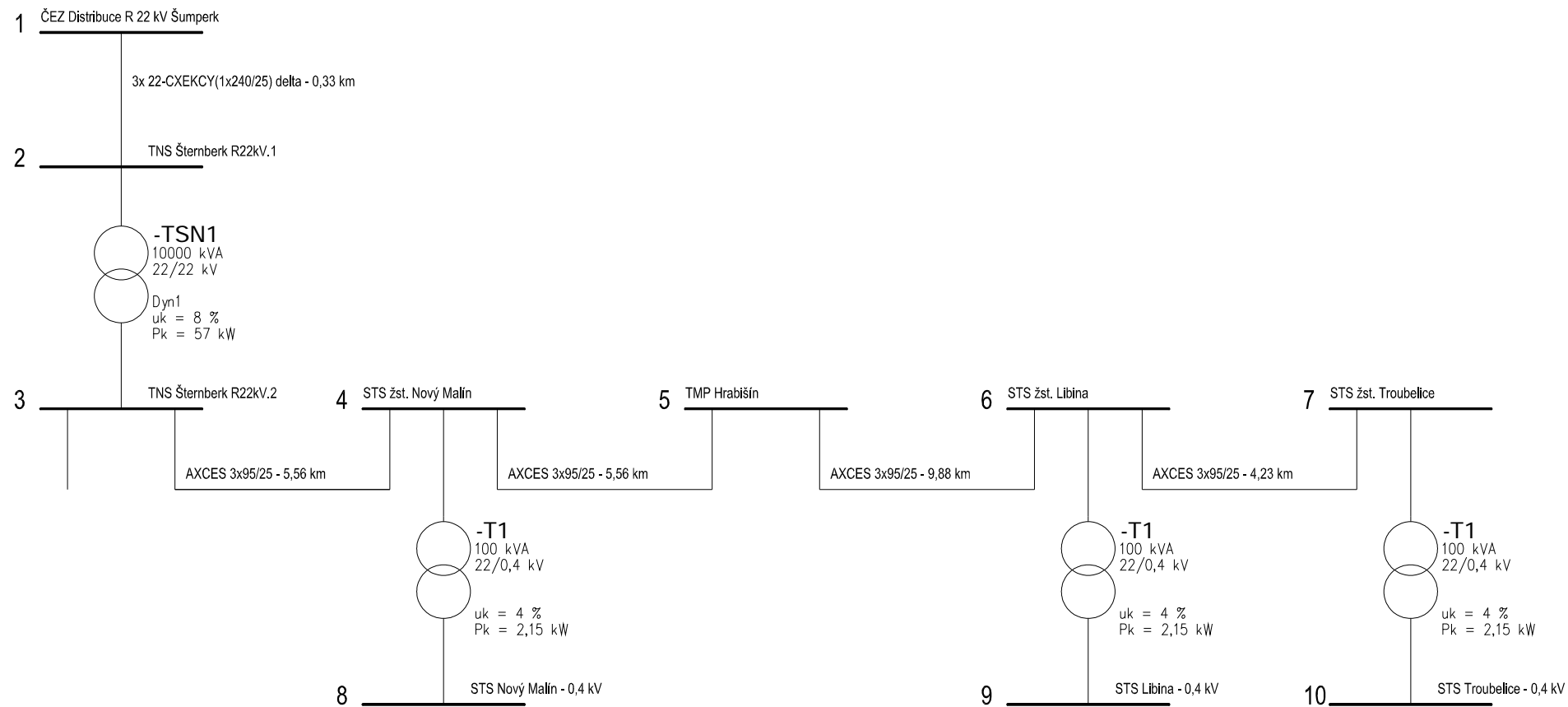
Počátečním bodem napájení pro účely výpočtu jsou:

- Rozvodna 22 kV ČEZ distribuce, a.s. Šumperk

Tento výpočet je určen pro ověření dimenzování elektrického zařízení v rámci zpracování dokumentace pro stavební povolení. Výpočet není určen jako podklad pro výpočet a nastavení ochran. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet s přesnými technickými parametry použitého technologického zařízení a silnoproudých rozvodů.

Výpočet je proveden pro maximální a minimální zkratové proudy.

Topografie výpočtu – výpočtové uzly



Napájení z TNS Šumperk – maximální zkratové poměry – vstupní údaje

Zakázka:	TNS Šumperk
Varianta:	Šumperk - Troubelice
Poznámka:	Max zkratové proudy

Maximální zkratové proudy

Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V ... 1000V	1.10	0.95
>1kV ... 35kV	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	22.0		1.00
2	22.0		1.00
3	22.0		0.40
4	22.0		0.40
5	22.0		0.40
6	22.0		0.40
7	22.0		0.40
8	0.4		0.10
9	0.4		0.10
10	0.4		0.10

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	8.9	0.1	1.0	ZAP	Noname	ČEZ Šumperk

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regulační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
2	3	10.0	8.0	57.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZAP	Noname	
4	8	0.1	4.0	2.15	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
6	9	0.1	4.0	2.15	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
7	10	0.1	4.0	2.15	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	paral.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Stav	Typ	Název
1	2	0.33	1	0.075	0.113	90.0	143.0	ZAP	22-CXEKCY(1x240/25) delta	
3	4	4.58	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	
4	5	5.56	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	
5	6	9.88	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	
6	7	4.23	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	

Napájení z TNS Šumperk – maximální zkratové poměry – výstupní údaje

Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze 1	Un [kV]	Název	tk [s]	Ik'' [kA]	Sk'' [MVA]	kapa(1) ()	kapa(2) ()	ip(1) [kA]	m	n	Ith [kA]	Ik2'' [kA]	r [p.u.]	x [p.u.]	uk [p.u.]
1	22.0		1.00	8.90	339.14	1.746	1.746	21.98	0.034	1.000	9.05	7.71	0.03227	0.32274	0.000
2	22.0		1.00	8.68	330.77	1.718	1.718	21.09	0.030	1.000	8.81	7.52	0.03739	0.33045	0.000
3	22.0		0.40	2.55	97.14	1.783	1.783	6.43	0.102	1.000	2.68	2.21	0.09439	1.12842	0.000
4	22.0		0.40	2.24	85.54	1.390	1.390	4.41	0.027	1.000	2.27	1.94	0.39720	1.22304	0.000
5	22.0		0.40	1.87	71.38	1.196	1.196	3.17	0.015	1.000	1.89	1.62	0.76480	1.33792	0.000
6	22.0		0.40	1.38	52.51	1.082	1.082	2.11	0.010	1.000	1.38	1.19	1.41802	1.54205	0.000
7	22.0		0.40	1.23	46.75	1.063	1.063	1.84	0.009	1.000	1.23	1.06	1.69769	1.62945	0.000
8	0.4		0.10	3.85	2.67	1.170	1.170	6.37	0.056	1.000	3.96	3.33	21.89721	34.95360	0.000
9	0.4		0.10	3.77	2.62	1.160	1.160	6.19	0.054	1.000	3.88	3.27	22.91804	35.27261	0.000
10	0.4		0.10	3.75	2.60	1.157	1.157	6.14	0.054	1.000	3.85	3.25	23.19771	35.36001	0.000

Vedení a kabely (Iv pro zkrat v uzlu 1)									
i	j	Název	Ith(i) [kA]	tk(i) [sec]	Smin(i) [mm2]	Ith(j) [kA]	tk(j) [sec]	Smin(j) [mm2]	Iv [kA]
1	2		9.05	1.00	63	8.81	1.00	62	0.00
3	4		2.68	0.40	18	2.27	0.40	15	0.00
4	5		2.27	0.40	15	1.89	0.40	13	0.00
5	6		1.89	0.40	13	1.38	0.40	9	0.00
6	7		1.38	0.40	9	1.23	0.40	8	0.00

Napájení z TNS Šumperk – minimální zkratové poměry – vstupní údaje

Zakázka:	TNS Šumperk
Varianta:	Šumperk - Troubelice
Poznámka:	Min zkratové proudy

Minimální zkratové proudy

Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V ... 1000V	1.10	0.95
>1kV ... 35kV	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	22.0		1.00
2	22.0		1.00
3	22.0		0.40
4	22.0		0.40
5	22.0		0.40
6	22.0		0.40
7	22.0		0.40
8	0.4		0.10
9	0.4		0.10
10	0.4		0.10

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	8.9	0.1	1.0	ZAP	Noname	ČEZ Šumperk

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regulační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
2	3	10.0	8.0	57.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZAP	Noname	
4	8	0.1	4.0	2.15	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
6	9	0.1	4.0	2.15	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
7	10	0.1	4.0	2.15	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	paral.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Stav	Typ	Název
1	2	0.33	1	0.075	0.113	90.0	143.0	ZAP	22-CXEKCY(1x240/25) delta	
3	4	4.58	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	
4	5	5.56	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	
5	6	9.88	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	
6	7	4.23	1	0.32	0.1	90.0	94.0	ZAP	AXCES 3x95/25 12/22(24)kV	

Napájení z TNS Šumperk – minimální zkratové poměry – výstupní údaje

Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze 1	Un [kV]	Náze v	tk [s]	Ik'' [kA]	Sk'' [MVA]	kapa(1)	kapa(2)	ip(1) [kA]	m	n	Ith [kA]	Ik2'' [kA]	r [p.u.]	x [p.u.]	uk [p.u.]
1	22.0		1.00	8.90	339.14	1.746	1.746	21.98	0.03 4	1.00 0	9.05	7.71	0.02934	0.29340	0.000
2	22.0		1.00	8.65	329.77	1.705	1.705	20.87	0.02 9	1.00 0	8.78	7.49	0.03589	0.30111	0.000
3	22.0		0.40	2.38	90.66	1.781	1.781	5.99	0.10 1	1.00 0	2.50	2.06	0.09289	1.09908	0.000
4	22.0		0.40	2.04	77.71	1.313	1.313	3.79	0.02 2	1.00 0	2.06	1.77	0.48048	1.19370	0.000
5	22.0		0.40	1.62	61.82	1.131	1.131	2.59	0.01 2	1.00 0	1.63	1.40	0.95101	1.30858	0.000
6	22.0		0.40	1.12	42.71	1.048	1.048	1.66	0.00 8	1.00 0	1.13	0.97	1.78714	1.51271	0.000
7	22.0		0.40	0.98	37.37	1.038	1.038	1.44	0.00 8	1.00 0	0.98	0.85	2.14512	1.60011	0.000
8	0.4		0.10	3.32	2.30	1.168	1.168	5.49	0.05 6	1.00 0	3.41	2.88	21.9805 0	34.9242 6	0.000
9	0.4		0.10	3.25	2.25	1.155	1.155	5.30	0.05 4	1.00 0	3.33	2.81	23.2871 6	35.2432 7	0.000
10	0.4		0.10	3.23	2.23	1.152	1.152	5.25	0.05 3	1.00 0	3.31	2.79	23.6451 3	35.3306 7	0.000

Vedení a kabely (Iv pro zkrat v uzlu 1)									
i	j	Název	Ith(i) [kA]	tk(i) [sec]	Smin(i) [mm2]	Ith(j) [kA]	tk(j) [sec]	Smin(j) [mm2]	Iv [kA]
1	2		9.05	1.00	63	8.78	1.00	61	0.00
3	4		2.50	0.40	17	2.06	0.40	14	0.00
4	5		2.06	0.40	14	1.63	0.40	11	0.00
5	6		1.63	0.40	11	1.13	0.40	8	0.00
6	7		1.13	0.40	8	0.98	0.40	7	0.00

Popis metody výpočtu zkratových poměrů

Popis metody výpočtu a definice k jednotlivým parametrům výpočtu zkratových poměrů je uveden v příloze tohoto dokumentu. Tato příloha je kopií vybraných částí manuálu k programu Zkraty 2.0 firmy ELCOM a.s. Pomocí tohoto programu byl výpočet proveden.

Kontrola minimálního zkratového proudu

Pro výpočet magistrálního rozvodu je potřeba zkontrolovat minimální zkratový proud na konci napájeného úseku (uzel 7). Tato kontrola je nutná pro účely nastavení zkratových ochran a ověření, že při zkratu dojde k bezpečnému vypnutí úseku kabelu nebo elektrického zařízení s poruchou.

Vypočtená hodnota aby počátečního souměrného rázového zkratového proudu na konci napájeného úseku magistrálního rozvodu pro minimální zkratové poměry je:

$$I_{k''} = 0,98 \text{ kA} = 980 \text{ A}$$

$$I_{k2''} = 0,85 \text{ kA} = 850 \text{ A}$$

$I_{k''}$ - počátečního souměrného rázového proudu při zkratu

$I_{k2''}$ - počátečního souměrného rázového proudu při dvoufázovém zkratu (ne při dvoufázovém zemním zkratu)

Jmenovitý proud sítě je určen jmenovitým výkonem transformátorů 22/0,4 kV a trakčního transformátoru na TMP Hrabšíšín.

	Transformátor	I_n	$I_{>> VYP} (4 \times I_n)$
Stanice	kVA	A	A
STS Troubelice	100,00	2,63	10,51
STS Libina	100,00	2,63	10,51
TMP Hrabšíšín - trakční transformátor	5300,00	139,25	557,02
TMP Hrabšíšín - vlastní spotřeba	160,00	4,20	16,82
STS Nový Malín	100,00	2,63	10,51
Celkový jmenovitý proud I_n		151,34	605,36

Jmenovitý proud vychází dle výpočtu $I_n = 152 \text{ A}$.

Předpokládané nastavení zkratové ochrany je $I_{\text{vyp}} = I_n \times 4 = 152 \text{ A} \times 4 = 608 \text{ A}$.

Pro bezpečné vypnutí musí platit, že $I_{k''} > I_{\text{vyp}}$ s dostatečnou rezervou, kterou navrhujeme stanovit na 1,2 násobek jmenovitého vypínacího proudu I_{vyp} . Minimálně tedy musí být splněna podmínka $I_{k''} > I_{\text{vyp}} \times 1,2$.

$$I_{k''} > I_{\text{vyp}} \times 1,2 = 980 \text{ A} > 608 \text{ A} \times 1,2 = 980 \text{ A} > 729,6 \text{ A}$$

$$I_{k2''} > I_{\text{vyp}} \times 1,2 = 850 \text{ A} > 608 \text{ A} \times 1,2 = 850 \text{ A} > 729,6 \text{ A}$$

Podmínka je splněna.

Na základě výpočtu minimálních zkratových proudů bylo ověřeno, že minimální zkratové proudy na koncích napájených úseků jsou dostatečné.

Předmětem tohoto výpočtu není výpočet nastavení ochran. Parametry nastavení ochran budou stanoveny v rámci výpočtu nastavení ochran, který musí být proveden nejpozději při realizaci stavby. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet s přesnými technickými parametry použitého technologického zařízení a silnoproudých rozvodů a údajů o zkratových poměrech sítě na vstupních místech – uzlech sítě.

9. Závěr

Tento dokument měl za úkol prokázat realizovatelnost magistralního rozvodu 22 kV na základě výše provedených výpočtů. Těmito výpočty bylo ověřeno:

1. Návrh odporově uzemnění sítě 22 kV – Síť s nepřímo uzemněným středem přes odpor je realizovatelný. Parametry odporníku byly voleny s dostatečnou rezervou.
2. Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí ověřil parametry sítě ve vztahu k navrženému provozu odporově uzemněné sítě 22 kV a parametrům technologického zařízení a silnoproudých rozvodů magistralního rozvodu 22 kV v předmětném úseku. Doba trvání poruchy (0,4 s) byla zvolena vzhledem k délce napájeného úseku. V rámci navržených a vypočtených parametrů bylo prokázáno dodržení podmínek dovolených dotykových napětí. Byly vypočteny požadované hodnoty odporu uzemnění.
3. Dle požadavků zadání dokumentace je napájení z NTS Šumperk možné vždy ve směru úseku na TMP Hrabšíšín a až po žst. Troubelice. Napájení obou úseků bude napájecí z transformátor 22/22 kV 10000 kVA, který k tomu má dostatečný výkon.

Základní stav napájení LDSz z TNS Šumperk bude:

- TNS Šumperk – TMP Hrabšíšín

TMP Hrabšíšín bude v základním stavu napájen z TNS Šumperk, protože úsek TNS Šumperk - TMP Hrabšíšín je kratší, než úsek TNS Šumperk – TMP Hrabšíšín.

Pouze v případě výluky nebo poruchy napájení z TNS Šumperk může být uvažována s napájením úseku z TNS Šumperk až po žst. Troubelice.

4. Dimenzování jmenovitého výkonu vstupního napájecího transformátoru ověřilo správnost návrhu parametrů těchto transformátorů. Jmenovitý výkon transformátoru je zvolen správně, pokud je výkonová rezerva je dostačující pro případné budoucí navyšování spotřeby a rozšiřování sítě.
5. Byl proveden návrh průřezu kabelového vedení 22 kV z hlediska, přenosové schopnosti a úbytků napětí. Ověřila se správnost návrhu parametrů kabelů 22 kV pro magistralní rozvod 22 kV v daném úseku.
6. Byl proveden výpočet zkratových poměrů na úrovni vn a nn magistralního rozvodu. V rámci tohoto výpočtu byly provedeny výpočty maximálních zkratových poměrů pro účely dimenzování zařízení. Byl také proveden výpočet minimálních průřezů kabelů 22 kV v rámci magistralního rozvodu v daném úseku. Byla ověřena správnost navrženého průřezu kabelů 22 kV. Byla provedena kontrola minimálního zkratového proudu na obou koncích napájených úseků a ověřeno, že minimální zkratové proudy jsou dostatečné pro působení zkratových ochran. Tento výpočet zkratových poměrů není určen jako podklad pro výpočet a nastavení ochran. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet s přesnými technickými parametry použitého technologického zařízení a silnoproudých rozvodů.

Ve Vřesině: 20. února 2019

Vypracoval:

Petr Kudělka
Projektování elektrických zařízení
U Sadu 354/30B
747 20 Vřesina

mobil: 604 917 151

e-mail: petr.kudelka@petrkudelka.cz

Příloha:

- Popis metody výpočtu zkratových poměrů

1. ÚVOD

Program řeší výpočet zkratových proudů podle normy ČSN EN 60909-0: „Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů“, vydané v květnu 2002.

Základní vlastnosti programu:

- počítá trojfázové zkratové proudy ve střídavých soustavách nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí, při jmenovitém kmitočtu 50 Hz;
- počítá počáteční souměrný rázový zkratový proud, nárazový zkratový proud a ekvivalentní oteplovací zkratový proud;
- umožňuje výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů;
- počítá napětí v uzlech sítě a proudy ve větvích při zkratu;
- umožňuje řešit paprskové i mřížové sítě;
- umožňuje zadání skutečných převodů transformátorů;
- obsahuje databáze základních prvků soustavy (vedení a kabely, transformátory, ...), které je možné dále doplňovat;
- umožňuje jednoduché zadání vstupních dat pro výpočet, s možností rychlé změny konfigurace sítě odpojením zvolených větví nebo spojením vybraných uzlů, beze změny souboru vstupních dat.

Omezení programu:

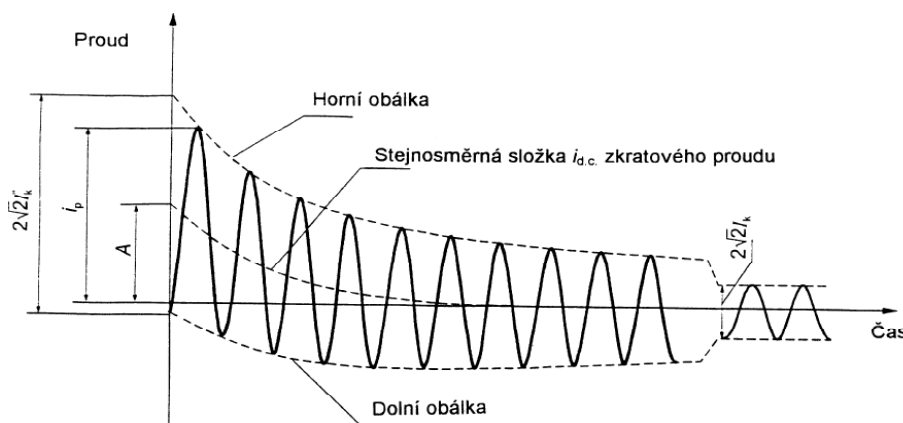
- Neřeší dvoufázové zemní a jednofázové zkrat.
- Není vhodný pro přesný výpočet zkratových proudů uvnitř elektrárenského bloku.

2. CHARAKTERISTIKY ZKRATOVÉHO PROUDU A DEFINICE ZÁKLADNÍCH VELIČIN

Zkratový proud v místě zkratu je funkcí času od počátku zkratu až do jeho konce. Ve většině případů není nutný přesný výpočet zkratového proudu, ale pouze hodnot, které průběh zkratového proudu charakterizují.

Na obrázku 1 je typický průběh zkratového proudu při elektricky blízkém zkratu, s klesající stejnosměrnou složkou a střídavou složkou (převzato z normy ČSN EN 60909-0). (Poznámka: V případě elektricky vzdáleného zkratu je střídavá složka zkratového proudu konstantní).

obrázek 1



Definice

I_k''	počáteční souměrný rázový zkratový proud (<i>initial symmetrical short-circuit current</i>) Efektivní hodnota střídavé souměrné složky zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu
S_k''	počáteční souměrný rázový zkratový výkon (<i>initial symmetrical short-circuit power</i>) $S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n I_k''$ Pomyslná hodnota definovaná jako součin počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' a jmenovitého napětí sítě U_n
$i_{d.c.}$	stejnoseměrná (aperiodická) složka zkratového proudu (<i>decaying (aperiodic) component of short-circuit current</i>) Střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu, klesající ze své počáteční hodnoty k nule (viz. obrázek 1 - A = počáteční hodnota stejnosměrné složky)
i_p	nárazový zkratový proud (<i>peak short-circuit current</i>) Maximální možná okamžitá hodnota zkratového proudu
I_b	souměrný zkratový vypínací proud (<i>symmetrical short-circuit breaking current</i>) Efektivní hodnota úplné periody souměrné složky zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení
I_k	ustálený zkratový vypínací proud (<i>steady-state short-circuit current</i>) Efektivní hodnota úplné periody souměrné složky zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení
I_{th}	ekvivalentní oteplovací zkratový proud (<i>thermal equivalent short-circuit current</i>) 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
$cU_n/\sqrt{3}$	napětí ekvivalentního zdroje (<i>voltage of equivalent source</i>) Napětí ideálního zdroje, přiložené v místě zkratu v sousledné složkové soustavě, pro výpočet zkratového proudu
c	napětíový součinitel (<i>voltage factor</i>) Poměr mezi napětím ekvivalentního napětíového zdroje a jmenovitým napětím sítě, dělený odmocninou 3
elektricky vzdálený zkrat	zkrat, při kterém velikost souměrné složky zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní
elektricky blízký zkrat	zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu

3. METODA VÝPOČTU

- Metoda použitá pro výpočet je založena na zavedení ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu.
- Všechny zdroje zkratového proudu - síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny svou vnitřní impedancí.
- U transformátorů s přepínači odboček se uvažují impedance pro přepínače odboček v základní poloze a zavádí se korekční součinitel.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance jsou zanedbány.
- Pro výpočet maximálních zkratových proudů platí následující podmínky:
 - a) použije se napětový součinitel c_{\max}
 - b) do výpočtu jsou zahrnuty asynchronní motory
 - c) uvažuje se rezistance vodičů (venkovních vedení a kabelů) při teplotě 20 °C
 - d) vybere se konfigurace sítě s maximálními příspěvky ze síťových napáječů a elektráren (neřeší program, ale musí zadat uživatel)
- Pro výpočet minimálních zkratových proudů platí následující podmínky:
 - a) použije se napětový součinitel c_{\min}
 - b) do výpočtu nejsou zahrnuty asynchronní motory
 - c) uvažuje se rezistance vodičů (venkovních vedení a kabelů) při nejvyšší teplotě na konci zkratu (doporučuje se uvažovat maximální dovolenou teplotu vodičů)
 - d) vybere se konfigurace sítě s minimálními příspěvky ze síťových napáječů a elektráren (neřeší program, ale musí zadat uživatel)
- Ze základních parametrů prvků sítě počítá program jejich větvové impedance a větvové admitance, z větvových admitancí sestaví uzlovou admitanční matici. Inverzí uzlové admitanční matice se získá uzlová impedanční matice, ze které je možné pro každý uzel sítě vypočítat zkratový proud a případně i napětí v jednotlivých uzlech sítě a větvové proudy při zkratu v libovolném uzlu.
- Je možné počítat zkratové proudy v paprskových i mřížových sítích (větvě mohou tvořit smyčky).
- Ze zkratového proudu ve zvoleném uzlu a uzlové impedanční matice se počítají napětí v ostatních uzlech sítě.
- Z uzlových napětí při zkratu ve zvoleném uzlu a z větvových impedancí se počítají proudy ve větvích.
- Nárazový zkratový proud se počítá dvěma způsoby:
 - a) Metodou ekvivalentního kmitočtu 20 Hz (podle odstavce 4.3.1.2 c) normy ČSN EN 60909-0), kdy je nárazový zkratový proud počítán podle vzorce

$$i_p(1) = kapa(1) \times \sqrt{2} \times I_k''$$

- b) Podle poměru R/X v místě zkratu (podle odstavce 4.3.1.2 b) normy ČSN EN 60909-0), kdy je nárazový zkratový proud počítán podle vzorce

$$i_p(2) = 1,15 \times kapa(2) \times \sqrt{2} \times I_k''$$

Součín 1,15 x $kapa(2)$ přitom nesmí překročit hodnotu 2,0.

Doporučujeme používat nárazový zkratový proud, vypočtený podle metody a), metoda b) dává většinou vyšší hodnoty nárazového zkratového proudu (s rezervou).

- Ekvivalentní oteplovací zkratový proud se počítá pro zvolenou dobu trvání zkratového proudu, pomocí koeficientů m (součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky) a n (součinitel pro tepelné účinky střídavé složky), podle odstavce 4.8 normy ČSN EN 60909-0 a vzorců, uvedených v normě ČSN EN 60909-1: *Výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách. Část 1 - Součinitele pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách podle IEC 909 (5/1997).*

4. VSTUPNÍ DATA VÝPOČTU

Zadávat se v několika samostatných oknech programu, podle následujícího seznamu:

4.1. Úvod

Zakázka	Zkušební příklad 2
Varianta	Varianta V01
Poznámka	Manuál - Příklad 2
Maximální zkratové proudy	
Změnit napěťový součinitel	NE

Napěťový součinitel pro výpočet		
Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V...1000V	1.10	0.95
>1kV...35V	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Zakázka Textový řetězec, max. 64 znaků

Varianta Textový řetězec, max. 64 znaků

Poznámka Textový řetězec, max. 64 znaků

Maximální zkratové proudy / Minimální zkratové proudy - uživatel zde volí, chce-li počítat maximální nebo minimální zkratové proudy (viz. kapitola 3).

Změnit napěťový součinitel Po zatřetí je možné měnit hodnoty c_{\max} a c_{\min} v tabulce. Předvolené hodnoty jsou podle ČSN EN 60909-0: tabulka 1. U sítí nízkého napětí s tolerancí +6% (například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V je $c_{\max} = 1,05$).

4.2. Uzly

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	110	R1	1.00
2	110	R110	0.80
3	6	R6A	0.50
4	6	R6B	0.50

Počet uzlů sítě Celočíselná hodnota (n) z rozsahu 1...999

Un [kV] Jmenovité sdružené napětí sítě v daném uzlu.
V České republice většinou z řady 0,4-0,5-0,69-6-10-22-110 kV

Název Název uzlu. Textový řetězec, max. 16 znaků, není nutné vyplňovat, pak bude uzlu přiřazen název *Noname*

tk [sec] Doba trvání zkratu, slouží pro výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu I_{th} , povolený rozsah je 0,01...5,0 sekund.

Každý prvek sítě musí mít počáteční a koncový uzel. U zdrojů zkratového proudu - síťové napáječe, synchronní stroje a asynchronní motory je počáteční uzel vždy roven 0 a nezadávat se. Uzel je nutné vložit i mezi prvky, které jsou řazeny do série (například přechod z venkovního vedení na kabel, přechod z kabelu na transformátor).

Uzly by měly tvořit tvořit souvislou řadu a každý uzel by měl být spojen impedancí s jiným uzlem sítě. Pokud to není splněno, síť je rozdělena na izolované ostrovy, které nemají vzájemné spojení a při výpočtu se zobrazí varování.

Před výpočtem je možné spustit kontrolu zapojení, která upozorní na možné chyby, tato kontrola ale není schopna odhalit všechny chyby v zadání.

4.3. Síťové napáječe

Síťové napáječe						
Uzel	I_k'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	7.87	0.1	1	ZAP	Noname	SN1

Počet napáječů	Celočíselná hodnota z rozsahu 1...999
Uzel	Uzel, do kterého je napáječ připojen (1.... n)
I_k'' [kA]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud v uzlu připojení napáječe. Je nutné zohlednit, jestli počítáme maximální nebo minimální zkratové proudy.
R/X	Poměr rezistance a reaktance zkratové impedance napáječe. Pokud tento poměr neznáme, je možné zadat hodnotu 0.1 (nemusí platit pro kabelové sítě).
Korekce	<p>Korekce na skutečný převod transformátoru.</p> <p>Pokud je síťový napáječ na primární straně transformátoru a počítáme zkratové proudy na jeho sekundární straně, můžeme pomocí korekčního koeficientu zohlednit skutečný převod transformátoru. Impedance síťového napáječe se tímto koeficientem násobena (skutečný převod pak musíme zadat i u příslušného transformátoru).</p> <p>Například máme transformátor, spojující síť 22 kV a 6 kV, jmenovitý převod transformátoru je 22/6,3 kV a neodpovídá tedy poměru jmenovitých napětí sítě 22/6 kV. Na primární straně 22 kV transformátoru je připojen síťový napáječ (např. distribuční síť 22 kV). Korekce impedance napáječe na skutečný převod transformátoru bude:</p> $Kp = \left(\frac{6,3}{6} \right)^2 = 1,1025$ <p>Pokud zadáme u napáječe korekci, vypočtené hodnoty zkratových proudů v uzlu připojení napáječe (a případně i ve všech uzlech na stejné napětové hladině) nebudou správné a nemůžeme je použít.</p> <p>Podrobněji je tato problematika vysvětlena v kapitole 6.</p>
Stav	Pokud je zvoleno ZAP (zelená), napáječ se použije ve výpočtu. Při volbě VYP (červená) bude napáječ odpojen - není zahrnut do výpočtu. V síti musí zůstat alespoň jeden napáječ, synchronní stroj, nebo asynchronní motor.
Typ	Je-li zvolen konkrétní typ z databáze, uživatel zadá pouze <i>Uzel</i> , ostatní hodnoty jsou doplněny z databáze. Je-li zvoleno <i>Noname</i> , uživatel zadává všechny hodnoty.
Název	Název větve, textový řetězec max. 16 znaků. Nepovinný parametr.

4.4. Transformátory

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regulační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
10	16	1.6	6	13	6	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	T2
11	17	1.6	6	13	6	0.4	ano	sek.	VYP	Noname	T3

Počet transformátorů	Celočíselná hodnota z rozsahu 1...999
i (prim.)	Uzel primární strany transformátoru (1... n)
j (sek.)	Uzel sekundární strany transformátoru (1...n)
St [MVA]	Jmenovitý výkon
ek [%]	Jmenovité napětí nakrátko
Pk [kW]	Jmenovité ztráty nakrátko
Up [kV]	Jmenovité primární napětí transformátoru (při kontrole zapojení se zjišťuje, jestli se toto napětí neliší o více než 10% od napětí uzlu <i>i</i> . Většinou je toto napětí rovné jmenovitému napětí sítě v uzlu <i>i</i> (např. 110, 22, 6 kV)
Us [kV]	Jmenovité sekundární napětí transformátoru (při kontrole zapojení se zjišťuje, jestli se toto napětí neliší o více než 10% od napětí uzlu <i>j</i> . Napětí je možné zadat rovné jmenovitému napětí sítě, např. 22, 6, 0.4 kV, nebo rovné skutečnému jmenovitému sekundárnímu napětí transformátoru, např. 23, 6.3 kV).
Regulační	Je-li zvoleno „ano“, násobí se impedance transformátoru korekčním součinitelem podle odstavce 3.3.3 normy ČSN EN 60909-0. Tato korekce umožňuje zadávat do výpočtu impedanci transformátoru (<i>ek</i>) pro přepínač odboček v základní poloze.
Ref. uzel	<p>Je možné volit mezi prim. a sek. Přednastavená hodnota je sek. Určuje, jestli se při výpočtu impedance transformátoru počítá s napětím uzlu <i>i</i> (primární napětí), nebo s napětím uzlu <i>j</i> (sekundární napětí). Tato volba má význam pouze, zadáváme-li skutečný převod transformátoru, který je různý od poměru jmenovitých napětí uzlů <i>i</i> a <i>j</i>.</p> <p>Máme například transformátor s převodem 22/6,3 kV, zapojený mezi uzly <i>i</i> = 3 (<i>U_i</i> = 22 kV), <i>j</i> = 5 (<i>U_j</i> = 6 kV). Pokud zvolíme jako referenční uzel prim., bude se impedance transformátoru počítat podle vzorce:</p> $z = K_T \times \frac{ek}{100} \times \frac{S_v}{S_t} \times \left(\frac{U_p}{U_i} \right)^2$ <p>a poměr (<i>U_p</i>/<i>U_i</i>)² bude v našem příkladu roven (22/22)² = 1,0.</p> <p>Pokud zvolíme jako referenční uzel sek., bude se impedance transformátoru počítat podle vzorce:</p> $z = K_T \times \frac{ek}{100} \times \frac{S_v}{S_t} \times \left(\frac{U_s}{U_j} \right)^2$ <p>a poměr (<i>U_s</i>/<i>U_j</i>)² bude v našem příkladu roven (6,3/6)² = 1,025.</p> <p>(<i>K_T</i> je korekční součinitel, <i>S_v</i> = 100 MVA).</p>
Stav	Pokud je zvoleno ZAP (zelená), transformátor se použije ve výpočtu. Při volbě VYP (červená) bude transformátor odpojen - není zahrnut do výpočtu.
Typ	Je-li zvolen konkrétní typ z databáze, uživatel zadá pouze uzly <i>i</i> , <i>j</i> , ostatní hodnoty jsou doplněny z databáze. Je-li zvoleno Noname , uživatel zadává všechny hodnoty.
Název	Název větve, textový řetězec max. 16 znaků. Nepovinný parametr.

4.6. Vedení a kabely

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	paral.	Rk [Ω/km]	Xk [Ω/km]	K [...]	Tz [°C]	Stav	Typ	Název
1	2	10	1	0.122	0.388	105	70	ZAP	Noname	V1
3	10	0.3	1	0.125	0.154	76	70	ZAP	Noname	K7
4	11	0.25	1	0.125	0.154	76	70	VYP	Noname	K8

Počet vedení a kabelů	Celočíselná hodnota z rozsahu 1...999
i	Uzel začátku vedení (1.... n)
j	Uzel konce vedení (1...n)
l [km]	Délka vedení
paral.	Počet paralelních vedení
Rk [Ohm/km]	Rezistance vedení na kilometr
Xk [Ohm/km]	Reaktance vedení na kilometr
K [A √s mm ²]	Konstanta pro výpočet minimálního průřezu kabelu, pro dimenzování kabelu podle oteplení při zkratu. V katalogích výrobců se často uvádí dovolený jednosekundový zkratový proud, konstanta K se vypočítá jako podíl tohoto proudu a průřezu kabelu. Například pro kabel 6-AYKCY(3x240/25) je dovolený zkratový proud 18200 A (1 sec), konstanta K je 18200/240 = 75,8.
Tz [°C]	Maximální dovolená provozní teplota vodiče (pro výpočet minimálních zkratových proudů)
Stav	Pokud je zvoleno ZAP (zelená), vedení (kabel) se použije ve výpočtu. Při volbě VYP (červená) bude vedení (kabel) odpojeno - není zahrnuto do výpočtu.
Typ	Je-li zvolen konkrétní typ z databáze, uživatel zadá pouze i, j, l, paral., ostatní hodnoty jsou doplněny z databáze. Je-li zvoleno Noname, uživatel zadává všechny hodnoty.
Název	Název větve, textový řetězec max. 16 znaků. Nepovinný parametr.

7. VÝPOČET EKVIVALENTNÍHO OTEPLOVACÍHO ZKRATOVÉHO PROUDU

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} se počítá podle odstavce 4.8 normy ČSN EN 60909-0, použitím součinitelů:

m pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu

n pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu

podle vzorce:

$$\int_0^{t_K} i^2 \cdot dt = I_k'^2 \cdot (m + n) \cdot t_K = I_{th}^2 \cdot t_K \rightarrow I_{th} = I_k' \cdot \sqrt{m + n}$$

Poznámka:

Ve starších normách byl ekvivalentní oteplovací zkratový proud označován I_{ke} a počítal se pomocí součinitele k_e , podle vzorce $I_{ke} = k_e \cdot I_k'$, je tedy zřejmé, že platí $k_e = \sqrt{m + n}$. Normy uváděly pro různé doby trvání zkratu t_K hodnoty součinitele k_e , podle následující tabulky:

Doba trvání zkratu t_K [sec]	k_e		
	na svorkách alternátoru	soustava	
		vv, vn	nn
$\leq 0,05$	1,70	1,60	1,50
$0,05 \leq 0,10$	1,60	1,50	1,20
$0,10 \leq 0,20$	1,55	1,40	1,10
$0,20 \leq 1,00$	1,50	1,30	1,05
$1,00 \leq 3,00$	1,30	1,10	1,00
3,00	1,15	1,00	1,00

8. VÝPOČET MINIMÁLNÍHO PRŮŘEZU KABELU

Oteplení kabelu z nejvyšší dovolené provozní teploty na mezní teplotu, způsobené průchodem zkratového proudu, nastane za dobu t_k , která se vypočte podle vzorce:

$$t_k = \frac{K^2 \cdot S^2}{I_{th}^2}$$

kde t_k doba trvání zkratu, maximálně 5 sekund

S průřez kabelu v mm^2

I_{th} ekvivalentní oteplovací zkratový proud podle kapitoly 7

K činitel, respektující měrný odpor, teplotní koeficient, měrné teplo, počáteční a konečnou teplotu

Minimální průřez kabelu se vypočte podle vzorce:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K}$$

Hodnoty činitele K pro fázový vodič jsou v následující tabulce:

	Izolace vodiče							
	PVC ≤ 300 mm ²	PVC > 300 mm ²	PVC ≤ 300 mm ²	PVC > 300 mm ²	EPR / XLPE	Přez	Minerální S PVC	Minerální holé
Počáteční teplota	70 °C	70 °C	90 °C	90 °C	90 °C	60 °C	70 °C	105 °C
Konečná teplota	160 °C	140 °C	160 °C	140 °C	250 °C	200 °C	160 °C	250 °C
Materiál vodiče měď	115	103	100	86	143	141	115*	135
Materiál vodiče hliník	76	68	66	57	94	93	---	—
Cínem pájené spoje v měděných vodičích	115	---	---	---	---	---	---	—

9. VÝSTUPNÍ DATA VÝPOČTU

9.1. Uzlové hodnoty

Jsou v tabulce výstupních dat uvedeny v následujícím pořadí:

- Uzel číslo uzlu
- Un [kV] jmenovité napětí uzlu
- Název název uzlu
- tk [s] doba trvání zkratu, používá se při výpočtu ekvivalentního oteplovacího proudu
- Ik“ [kA] počáteční souměrný rázový zkratový proud při zkratu v daném uzlu
- Sk“ [MVA] počáteční souměrný rázový zkratový výkon při zkratu v daném uzlu
- kapa(1) součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu $i_p(1)$, hodnota vypočtená metodou ekvivalentního kmitočtu 20 Hz (podle odstavce 4.3.1.2 c) normy ČSN EN 60909-0),
- kapa(2) součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu $i_p(2)$, hodnota vypočtená z poměru R/X v místě zkratu (podle odstavce 4.3.1.2 b) normy ČSN EN 60909-0),
- ip(1) [kA] nárazový zkratový proud při zkratu v daném uzlu, hodnota vypočtená podle vzorce:

$$i_p(1) = kapa(1) \times \sqrt{2} \times I_k''$$
- m součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu - pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu
- n součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu - pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu
- lth [kA] ekvivalentní oteplovací zkratový proud
- Ik2“ [kA] počáteční souměrný rázový zkratový proud při dvoufázové zkratu (POZOR - ne při dvoufázovém zemním zkratu), vypočtený podle vzorce:

$$I_{K2}'' = I_K'' \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$
- r [p.u.] reálná složka zkratové impedance v uzlu (rezistance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA. Přepočet na hodnotu v ohmech je podle vzorce:

$$R = r \times \frac{U_n^2}{100} \quad [\Omega; kV]$$
- x [p.u.] imaginární složka zkratové impedance v uzlu (reaktance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA. Přepočet na hodnotu v ohmech je podle vzorce:

$$X = x \times \frac{U_n^2}{100} \quad [\Omega; kV]$$
- uk [p.u.] napětí v daném uzlu při zkratu v uzlu sítě, uvedeném v záhlaví tabulky (např. - uk pro zkrat v Uzel 1, Un = 110kV, R1). Pokud chceme zjistit napětí při zkratu v jiném uzlu sítě, musíme v záhlaví (v roletce) změnit uzel.

Je uvedena poměrná hodnota napětí, skutečné napětí v uzlu je $U_k = uk \times U_n$

Napětí v jednotlivých uzlech sítě při zkratu se odvozují od napětí ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu, které je $c_{max} \cdot U_n$ při výpočtu maximálních zkratových proudů a $c_{min} \cdot U_n$ při výpočtu minimálních zkratových proudů. Proto některá napětí mohou být při výpočtu maximálních zkratových proudů větší než 1,0 p.u.

Poznámka: Nárazový zkratový $i_p(2)$, vypočtený podle vzorce: $i_p(2) = 1,15 \times kapa(2) \times \sqrt{2} \times I_k''$, (tedy podle odstavce 4.3.1.2 b) normy ČSN EN 60909-0), není ve výstupních datech uveden.

9.2. Větvové hodnoty

Jsou v tabulce uvedeny v následujícím pořadí:

- | | | |
|-------|----------------------|---|
| ▪ i | počáteční uzel větve | |
| ▪ j | koncový uzel větve | |
| ▪ typ | typ větve | ns síťový napáječ
tr transformátor
t3 trojvinutový transformátor
vk vedení nebo kabel
re reaktor
ss synchronní stroj
am asynchronní motor
sp spojka nakrátko |
-
- | | |
|-----------------|---|
| ▪ Název | název větve |
| ▪ iv(re) [p.u.] | reálná složka větrového proudu mezi uzly $i - j$, při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Poměrná hodnota při vztažném výkonu $S_v = 100 \text{ MVA}$, poměrné hodnoty proudu je možné v celé síti sečítat, bez ohledu na napětí v uzlech. |
| ▪ iv(im) [p.u.] | imaginární složka větrového proudu mezi uzly $i - j$, při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Poměrná hodnota při vztažném výkonu $S_v = 100 \text{ MVA}$. |
| ▪ iv(re) [p.u.] | reálná složka větrového proudu mezi uzly $i - j$, při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Poměrná hodnota při vztažném výkonu $S_v = 100 \text{ MVA}$, poměrné hodnoty proudu je možné v celé síti sečítat, bez ohledu na napětí v uzlech. |
| ▪ Iv(i) [kA] | absolutní hodnota větrového proudu mezi uzly $i - j$, při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Proud je přepočten na napětí v uzlu i , podle vzorce:
$Iv(i) = \sqrt{iv(re)^2 + iv(im)^2} \times \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} U_{ni}}$ |
| ▪ Iv(j) [kA] | absolutní hodnota větrového proudu mezi uzly $i - j$, při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Proud je přepočten na napětí v uzlu j , podle vzorce:
$Iv(j) = \sqrt{iv(re)^2 + iv(im)^2} \times \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} U_{nj}}$ |
- Pro transformátory jsou $Iv(i)$ a $Iv(j)$ různé, u ostatních typů větví jsou stejné.
- Pro každý trojvinutový transformátor se automaticky zavede 1 fiktivní uzel navíc.
- Pokud chceme zjistit hodnoty větrových proudů $iv(re)$, $iv(im)$, $Iv(i)$, $Iv(j)$ při zkratu v jiném uzlu sítě, musíme v záhlaví tabulky (v roletce) změnit uzel.
- | | |
|------------|---|
| ▪ r [p.u.] | reálná složka větrové impedance (rezistance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA |
| ▪ x [p.u.] | imaginární složka větrové impedance (reaktance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA |
| ▪ R [Ohm] | reálná složka větrové impedance (rezistance) v Ohmech, vztažená k jmenovitému napětí uzlu j . Přepočet mezi r a R je podle vzorce:
$R = r \times \frac{U_{nj}^2}{100} \quad [\Omega; kV]$ |
| ▪ X [Ohm] | imaginární složka větrové impedance (reaktance) v Ohmech, vztažená k jmenovitému napětí uzlu j . Přepočet mezi x a X je podle vzorce:
$X = x \times \frac{U_{nj}^2}{100} \quad [\Omega; kV]$ |

Poznámka: U trojvinutových transformátorů jsou impedance v Ohmech vztaženy ke jmenovitému napětí uzlu i .

9.3. Vedení a kabely

V této výstupní tabulce jsou uvedeny pouze větve typu „*vedení a kabely*“, některé údaje jsou stejné, jako v tabulce větvových hodnot. Výsledky jsou uvedeny v následujícím pořadí:

- i počáteční uzel větve
- j koncový uzel větve
- Název název větve
- $I_{th}(i)$ [kA] ekvivalentní oteplovací proud v uzlu i - na začátku vedení
- $tk(i)$ [sec] doba trvání zkratu v uzlu i - na začátku vedení
- $S_{min}(i)$ [mm²] minimální průřez kabelu podle kapitoly 8, vypočtený z hodnot $I_{th}(i)$ a $tk(i)$
- $I_{th}(j)$ [kA] ekvivalentní oteplovací proud v uzlu j - na konci vedení
- $tk(j)$ [sec] doba trvání zkratu v uzlu j - na konci vedení
- $S_{min}(j)$ [mm²] minimální průřez kabelu podle kapitoly 8, vypočtený z hodnot $I_{th}(j)$ a $tk(j)$
- I_v [kA] absolutní hodnota větvového proudu v kabelu mezi uzly $i - j$, při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky.

Výpočet minimálního průřezu kabelu vychází z hodnoty uzlového ekvivalentního oteplovacího proudu na začátku nebo na konci kabelu, také doba trvání zkratového proudu se uvádí pro každý uzel. Toto nemusí odpovídat skutečnosti, protože jistící prvky (ochrany, pojistky, jističe) jsou umísťovány na začátku a konci větve (vedení, kabel, transformátor), nebo na vývodu na synchronní stroj nebo asynchronní motor.

Je možný jednoduchý výpočet rozdělení počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k ve větvích sítě - tabulka větvových hodnot. Obecný výpočet ekvivalentních oteplovacích proudů ve větvích v mřížové síti je ale obtížný. Proto bylo zvoleno výše uvedené zjednodušení - výpočet uzlových ekvivalentních oteplovacích proudů.

Vypočtené minimální průřezy $S_{min}(i)$ a $S_{min}(j)$ je proto nutné brát **POUZE JAKO INFORMATIVNÍ HODNOTY**, je na řešiteli, aby podle konfigurace sítě kriticky posoudil, který údaj je správný, případně provedl před výpočtem minimálního průřezu kabelu odpovídající zásahy v zadání výpočtu.

Podrobněji je problematika výpočtu minimálního průřezu kabelu vysvětlena v Příloze 1.