

Česká energetická společnost (ČENES), Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1,
Tel.: 221 082 398, fax: 221 082 313, e-mail: cen@csvts.cz,
webová stránka: <http://www.csvts.cz/cenes>

Ochrana při poruše (ochrana před dotykem neživých částí) rozvodných elektrických zařízení do 1 000 V AC

Ing. Václav Schamberger

PNE 33 0000-1 (5. vydání)

Dovolené dotykové napětí v rozvodném elektrickém zařízení do 1 000 V AC

Nejvyšší dovolené meze trvalého dotykového napětí U_{dL} na neživých částech

Prostory	Dovolené meze trvalého dotykového napětí U_{dL} [V]
Normální a nebezpečné	50
Zvlášť nebezpečné	12

Ve zvlášť nebezpečných prostorech se obvykle výstavba a provoz distribuční soustavy neprovádí.

Možnost zvýšit dotykové napětí (předpokládané dotykové napětí) s ohledem na velmi krátkou dobu odpojení poruchy v sítích nn nebyla využívána a v evropských normách se s ní prakticky nepočítá. Proto tabulka z dřívějších vydání, ve které byly uvedeny doby odpojení poruchy v závislosti na velikosti předpokládaného dotykového napětí v 5. vydání této normy již není uvedena. (Něco jiného jsou zemní poruchy např. v kompenzovaných sítích vn, kde každá zemní porucha je signalizována a po určité době vypnuta nebo odstraněna. V těchto sítích závisí velikost dovoleného dotykové napětí na době odpojení poruchy.)

Zkratové proudy v elektrickém zařízení distribuční soustavy do 1 000 V AC

Maximální doba trvání všech druhů zkratů (jednofázového, dvojfázového a trojfázového apod.) v distribuční síti je 30 s.

Z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem (impedance poruchové smyčky apod.) jsou brány v úvahu jednofázové zkraty mezi fázovým vodičem a vodičem PEN případně mezi fázovým vodičem a vodičem PE, výpočty týkající se zkratových proudů se provádí dle ČSN EN 60909-0 a PNE 33 3042 (jedná se o výpočet minimálních zkratových proudů, běžně lze uvažovat, že se jedná o vzdálené zkraty). Výpočet teplot vodičů při zkratu se provádí podle ČSN IEC 949.

Způsoby ochrany při poruše v rozvodných elektrických zařízeních do 1 000 V AC

- ochrana izolací;
- ochrana doplňkovou izolací;
- ochrana pospojováním;
- ochrana automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči;
- ochrana automatickým odpojením od zdroje nadproudovými ochrannými přístroji.

Ochrana izolací

Ochrana izolací mezi živou částí a přístupnými částmi spočívá v doplnění základní izolace izolací přídatnou. Základní izolací se dosáhne ochrany základní. Přídatnou izolací se dosáhne ochrany při poruše. Základní a přídatná izolace jako celek tvoří izolaci dvojitou.

Místo izolace dvojitě lze provést izolaci zesílenou, která je současně jak ochranou základní tak ochranou při poruše.

Ochrana doplňkovou izolací

Ochranu doplňkovou izolací je možné provést jen k doplnění ochrany při poruše v místech, kam nemají přístup laici a pracovníci seznámení.

Ochrana pospojováním

Ochrana pospojováním je možné provést jen k doplnění ochrany při poruše.

Podstata ochrany pospojováním spočívá v tom, že se vzájemně pospojují všechny neživé části a ostatní cizí vodivé části v okolí včetně vodivého stanoviště (pokud je k dispozici). Tím se zamezí vzniku nebezpečného rozdílu potenciálů mezi těmito částmi. Dimenzování vodičů pro ochranu pospojováním se provede podle ČSN 33 2000-5-54.

Ochrana automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči

Proudové chrániče lze použít pouze v distribučních sítích TN-S nebo v distribučních sítích TT. Dále je možné použít proudový chránič pro vazbu sítě TT se sítí TN-C. Před proudovými chrániči musí být umístěny nadproudové ochranné přístroje (pojistky nebo jističe) a splněna řada dalších podmínek.

Ochrana automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribučních sítích se považuje za ochranu při poruše (za ochranu před dotykem neživých částí).

Ochrana proudovým chráničem pro sítě TN-S pro sítě TT lze též použít k doplnění ochrany při poruše. Ochrana při poruše je v tomto případě tvořena ochranou automatickým odpojením od zdroje použitím nadproudových ochranných přístrojů (ochrana normální), ochrana proudovým chráničem je použita k jejímu doplnění.

Použije-li se proudových chráničů v distribučních sítích, pak obvykle se použije proudových chráničů s nastavitelným jmenovitým reziduálním vybavovacím proudem až několik ampér a se stavitelnou dobou odpojení poruchy, která je až několik sekund.

Ochrana automatickým odpojením od zdroje nadproudovými ochrannými přístroji

Ochrana automatickým odpojením od zdroje v sítích TN

Distribuční sítě jsou obvykle typu TN-C.

Ve výjimečných případech je možné použít distribuční síť typu TN-C-S (část distribuční sítě je typu TN-C, další část distribuční sítě je typu TN-S). V tomto případě je v rozváděči distribuční síť TN-C převedena na distribuční síť TN-S. V tomto rozváděči se vodič PEN rozdělí na střední vodič N a ochranný vodič PE. V rozváděči musí mít jak ochranný vodič PE tak střední vodič N svoje samostatné svorky nebo přípojnice. Vodič PEN musí být spojen se svorkami nebo přípojnici ochranného vodiče PE. Pouze v místě rozdělení je střední vodič N spojen s ochranným vodičem PE, tím i s vodičem PEN. Za místem rozdělení není přípustné střední vodič N a ochranný vodič PE spojovat. Pouze za místem rozdělení (tedy v síti TN-S) lze provést ochranu automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči.

Všechny neživé části distribuční sítě TN musí být spojeny s vodiči PEN (PE) a jejich prostřednictvím se středem (uzlem) vinutí zdroje (transformátoru), který musí být vždy uzemněn. Uzemnění středu (uzlu) vinutí zdroje (transformátoru), se nazývá hlavním bodem uzemnění distribuční sítě.

Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje nadproudovými ochrannými přístroji v distribuční síti TN

Charakteristiky nadproudových ochranných přístrojů (pojistek, jističů) a impedance obvodů musí být takové, aby v případě poruchy o zanedbatelné impedanci, která může vzniknout kdekoliv v distribuční síti TN mezi fázovým vodičem a neživou částí nebo vodičem PEN (PE), došlo k automatickému odpojení příslušné části distribuční sítě od zdroje napájení v předepsaném čase do 30 s. Vzniklá dotyková napětí nesmí překračovat uvedené meze. Nadproudové ochranné přístroje odpojují v případě poruchy zdroj napájení té části distribuční sítě, pro kterou zajišťují ochranu při poruše (ochranu před dotykem neživých částí).

Přitom musí být podmínka, která se týká impedance poruchové smyčky:

$$Z_S \cdot I_{(a)} \leq c \cdot U_0$$

kde Z_S je impedance poruchové smyčky zahrnující zdroj, fázový vodič k místu poruchy a vodiče PEN nebo vodiče PE (případně další paralelní cesty v distribuční síti) mezi místem poruchy a zdrojem při teplotách v okamžiku vypnutí poruchy (tedy na konci zkratu),

- $I(a)$ proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s ($t \leq 30$ s),
(t je čas vypnutí poruchy)
- c koeficient podle ČSN EN 60909-0 (33 3022)
pro síť 230/400 V a minimální zkratové proudy: $c = 0,95$,
- U_0 jmenovité napětí distribuční sítě TN proti zemi (obvykle 230 V).

Pro uvedený výpočet platí obdobné podmínky jako pro výpočet minimálních zkratových proudů podle ČSN EN 60909-0 (33 3022).

Teploty vodičů jsou uvažovány na konci zkratu, konfigurace soustavy je uvažována taková, aby v místě poruchy (zkratu) vedla k minimálnímu zkratovému proudu.

V dokumentaci distribuční sítě TN musí být prokázáno (např. výpočtem), že jsou podmínky týkající se impedance poruchové smyčky na koncích vývodů z transformovny vn/nn, případně v dalších místech, splněny.

Distribuční síť TN

Nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky $Z_{S\ max}$

Z hlediska parametrů nadproudových ochranných přístrojů (pojistek, jističů) se určí nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky $Z_{S\ max}$ pro čas trvání poruchy $t = 30$ s dle následujícího vztahu:

$$Z_{S\ max} = \frac{c \cdot U_0}{I_a}$$

I_a *Proud zajišťující v případě poruchy automatické působení nadproudového ochranného přístroje v čase $t = 30$ s, určí se z charakteristik nadproudových ochranných přístrojů*

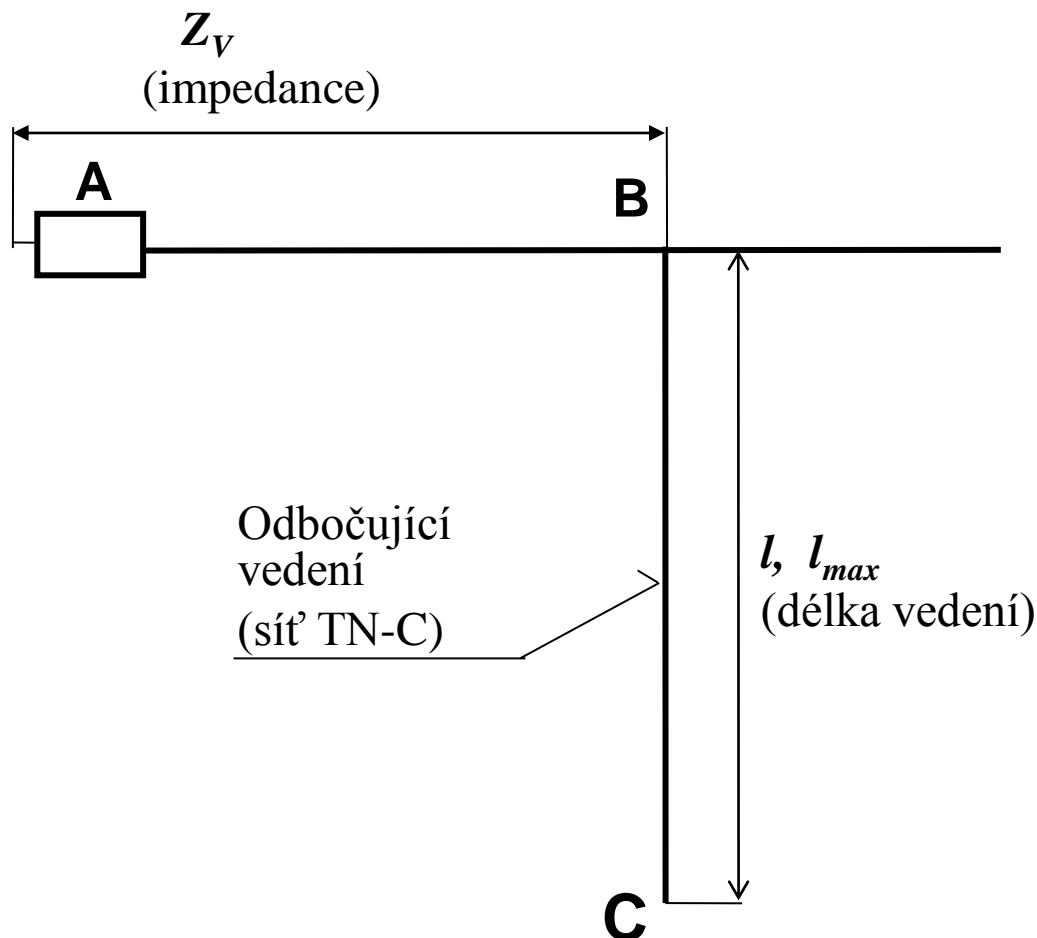
U_0 *Jmenovité napětí distribuční sítě TN proti zemi (obvykle 230 V)*

c *Koeficient podle ČSN EN 60909-0 (33 3022), pro síť 230/400 V: $c = 0,95$*

Tato nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky $Z_{S\ max}$ nesmí být na konci jištěného obvodu ani v žádném jiném jeho místě překročena.

Distribuční síť TN-C (230/400 V)

Stanovení impedance poruchové smyčky Z_S a maximální dovolené délky odbočujícího vedení z hlediska parametrů (impedancí) vedení výpočtem:



V bodě A je transformovna. Odbočující vedení je jištěno v bodě B (nebo před bodem B). V odbočujícím vedení (mezi body B, C) není umístěn žádný nadproudový ochranný přístroj.

Odbočující vedení (mezi body B, C – viz obrázek) má délku l
Impedance poruchové smyčky Z_S je stanovena pro konec odbočujícího
vedení (pro bod C) dle následujícího vztahu:

$$Z_S = l \cdot k \cdot \frac{2 \cdot Z'_{(1)} + Z'_{(0)}}{3} + Z_V$$

Lze použít též jednoduššího vzorce:

$$Z_S = l \cdot k \cdot (Z'_L + Z'_{PEN}) + Z_V$$

Poznámka:

V případě, že odbočující vedení má délku $l = l_{max}$ má impedance
poruchové smyčky Z_S (v bodě C) právě hodnotu $Z_{S max}$

Z hlediska impedance poruchové smyčky v síti TN-C lze za konkrétním nadproudovým ochranným přístrojem (pojistkou, jističem) stanovit výpočtem **maximální dovolenou délku odbočujícího vedení** l_{max} (viz obrázek).

Odbočující vedení má délku $l = l_{max}$ a vzniklá porucha na jeho konci (v bodě C) je vypnuta v čase $t = 30$ s. (Poruchou se v tomto případě rozumí zkrat (spojení o zanedbatelné impedanci) v bodě C mezi fázovým vodičem a neživou částí nebo vodičem PEN.)

Maximální dovolená délka l_{max} **odbočujícího vedení** (mezi body B, C) se určí z následujícího vztahu:

$$l_{max} = \frac{3 \cdot \left(\frac{c \cdot U_0}{I_a} - Z_V \right)}{k \cdot \left(2 \cdot Z'_{(1)} + Z'_{(0)} \right)}$$

Pro výpočet l_{max} lze též použít jednoduššího vztahu:

$$l_{max} = \frac{\frac{c \cdot U_0}{I_a} - Z_V}{k \cdot (Z'_L + Z'_{PEN})}$$

V uvedených vztazích je:

(viz též předchozí obrázek)

l_{max}	[km]	Maximální dovolená délka odbočujícího vedení z hlediska impedance poruchové smyčky (délka vedení mezi body B, C).
l	[km]	Délka odbočujícího vedení (délka vedení mezi body B, C - obecně).
Z_S	[Ω]	Impedance poruchové smyčky určená z hlediska parametrů (impedancí) vedení, která je v tomto případě stanovena pro konec odbočujícího vedení (pro bod C).
c		Koeficient pro výpočet minimálního zkratového proudu $c = 0,95$

U_0	[V]	<i>Jmenovité napětí distribuční sítě TN-C proti zemi (obvykle $U_0 = 230$ V).</i>
I_a	[A]	<i>Proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v čase $t = 30$ s. Proud I_a se určí z charakteristiky nadproudového ochranného přístroje, který jistí odbočující vedení (vedení mezi body B, C). (Ve výjimečném případě, kdy tento přístroj (jistič) nezajišťuje vypnutí poruchy v čase 30 s, ale v čase obvykle mnohem kratším, určí se proud I_a pro daný kratší čas z uvedené charakteristiky.)</i>
Z_V	[Ω]	<i>Impedance poruchové smyčky - určená pro bod B - zahrnující impedanci zdroje a celkovou impedanci vedení mezi bodem A a bodem B. Impedance Z_V se určí jejím změřením v bodě B nebo výpočtem pro bod B.</i>
k		<i>Koeficient respektující ve výpočtu nezahrnuté impedance (např.: impedance přípojníc v rozvaděčích, impedance jisticích prvků, impedance svorek apod.). Koeficient má obvykle hodnotu: $k = 1,0$ až $1,2$</i>

- $Z'_{(1)}$ [Ω/km] *Sousledná impedance na jednotku délky odbočujícího vedení (vedení mezi body B, C) při teplotě vodiče na konci zkratu (poruchy).*
- $Z'_{(0)}$ [Ω/km] *Netočivá impedance na jednotku délky odbočujícího vedení (vedení mezi body B, C) při teplotě vodiče na konci zkratu (poruchy).*
- Z'_L [Ω/km] *Impedance na jednotku délky fázového vodiče odbočujícího vedení (vedení mezi body B, C) při teplotě vodiče na konci zkratu (poruchy).*
- Z'_{PEN} [Ω/km] *Impedance na jednotku délky vodiče PEN odbočujícího vedení (vedení mezi body B, C) při teplotě vodiče na konci zkratu (poruchy).*

Impedance na jednotku délky vodiče Z' [Ω/km] se určí dle ČSN EN 60909-0 (33 3022), ČSN IEC 909-2 (33 3024) a dalších souvisejících technických norem nebo dle údajů výrobců.

$$Z' = \sqrt{R'^2 + X'^2}$$

(v absolutní hodnotě, v běžných případech lze takto určenou hodnotu dosazovat přímo do uvedených vztahů)

$$Z' = R' + jX'$$

(v komplexní formě, používá se při podrobných výpočtech)

R' rezistance vodiče na jednotku délky [Ω/km]

X' reaktance vodiče na jednotku délky [Ω/km]

Teploty vodičů

Teplota vodiče na konci zkratu (poruchy) se určí dle ČSN IEC 942 (34 7025). V běžných případech, při prvním přiblížení, lze uvažovat, že teplota vodiče na konci zkratu je 80 °C. Z toho vyplývá, že rezistance vodiče na jednotku délky [Ω/km] při teplotě na konci zkratu má hodnotu:

$$R'_{80} = 1,24 \cdot R'_{20}$$

R'_{80} rezistance vodiče na jednotku délky při teplotě 80 °C

R'_{20} rezistance vodiče na jednotku délky při teplotě 20 °C

Při podrobných výpočtech se teplota vodiče a tím jeho rezistance určí dle ČSN IEC 942 (34 7025).

Prodloužení délky odbočujícího vedení

V případě, že výpočtem určená maximální dovolená délka odbočujícího vedení je nedostačující a odbočující vedení je nutno prodloužit beze změny jeho průřezu, materiálu vodičů a beze změny týkající se jeho nadproudových ochranných přístrojů, pak je nutno osadit před místo C (nebo ve výjimečném případě přímo do místa C) další nadproudové ochranné přístroje s nižším proudem I_a (pro $t = 30$ s) než mají předchozí nadproudové ochranné přístroje a výpočet opakovat. Tímto způsobem je možné vypočtenou délku odbočujícího vedení určenou z hlediska impedance poruchové smyčky stále prodlužovat.

Poznámka

Z charakteristik nadproudových ochranných přístrojů distribuční sítě TN vyplývá, že pro určení proudu I_a zajišťujícího v případě poruchy automatické působení nadproudového ochranného přístroje v čase $t = 30$ s, lze použít dosti zjednodušující podmínku:

$$I_a = 3,5 \cdot I_n \quad (\text{jedná se o velmi přibližný vztah, který lze použít pouze pro odhady})$$

I_n jmenovitý proud nadproudového ochranného přístroje

Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribuční síti TN-S

Vznikne-li v distribuční síti TN-S za proudovým chráničem porucha (zkrat) mezi fázovým vodičem a neživou částí nebo vodičem PE, musí proudový chránič automaticky odpojit zdroj napájení příslušné části distribuční sítě v čase do 30 s. Vzniklá dotyková napětí nesmí překročit dovolené meze. Proudové chrániče odpojují při svém působení jen poruchou postiženou část distribuční sítě TN-S. Z této podmínky vyplývá, že proudové chrániče umístěné v distribuční síti, musí být selektivní též vůči ochranným přístrojům, které jsou umístěny za předávacím místem odběrného zařízení.

Přitom musí být splněna podmínka týkající se impedance poruchové smyčky :

$$Z_S \cdot I_{\Delta n} \leq c \cdot U_0$$

Z_S [Ω] Impedance poruchové smyčky zahrnující impedanci zdroje, fázového vodiče k místu poruchy a vodičů PE a dále vodičů PEN mezi místem poruchy a zdrojem při teplotách na konci poruchy (zkratu).

$I_{\Delta n}$ [A] Jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče, který musí zajistit automatické odpojení poruchy v čase do 30 s.

c Koeficient podle ČSN EN 60909-0 (33 3022),
pro síť 230/400 V: $c = 0,95$

U_0 [V] Jmenovité napětí distribuční sítě TN-S proti zemi (obvykle 230 V).

POZNÁMKA

Při použití proudových chráničů pro ochranu při poruše lze rovněž určit nejvyšší dovolenou impedanci poruchové smyčky a maximální dovolenou délku vedení obdobně jako v předchozím případě. (Při výpočtech se ve vzorcích nahradí proud I_a proudem $I_{\Delta n}$, čas vypnutí poruchy je určen nastavením vypínacího času proudového chrániče.) V případě použití proudových chráničů je velikost proudu $I_{\Delta n}$ jen několik ampér. Z tohoto důvodu má nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky velmi vysokou hodnotu. Maximální dovolená délka vedení z hlediska impedance poruchové smyčky vychází rovněž velmi vysoká. Tyto hodnoty jsou vyhovující pro většinu běžných případů.

Vazba sítí TN-C a TT prostřednictvím proudového chrániče

Jsou-li k tomu technické nebo další důvody, je možné umístit na konec distribuční sítě TN-C proudový chránič a distribuční síť za tímto chráničem provozovat jako síť TT. Ochrana automatickým odpojením od zdroje proudovým chráničem v distribuční síti TT se v tomto případě se považuje za ochranu při poruše (za ochranu před dotykem neživých částí).

V části za proudovým chráničem (tedy v síti TT) musí být dodrženy ještě tyto další podmínky:

- a) Žádná neživá část včetně ochranného vodiče v síti TT (za proudovým chráničem), nesmí být spojena s vodičem PEN nebo neživou částí v síti TN-C (před proudovým chráničem).
- b) V síti TT (za proudovým chráničem) nesmí být střední vodič N spojen s neživou částí nebo ochranným vodičem.
- c) V tomto případě nelze použít uvedený proudový chránič v síti TT k doplnění ochrany při poruše (k dosažení ochrany zvýšené).

Uzemnění v sítích TN

Odpor uzemnění pracovního středu (uzlu) zdroje R_A

Odpor uzemnění pracovního středu (uzlu) zdroje R_A (bez vodičů PEN) nemá být větší než 5Ω ($R_A \leq 5 \Omega$). Nelze-li tuto hodnotu ve ztížených půdních podmínkách dosáhnout obvyklými prostředky, dovoluje se odpor uzemnění větší, avšak nejvýše 15Ω ($R_A \leq 15 \Omega$).

Ztížené půdní podmínky jsou v místech, kde pro zřizování uzemnění je rezistivita půdy v hloubce 1 m až 3 m větší než $200 \Omega\text{m}$.

Při rezistivitě půdy v hloubce 1 m až 3 m větší než $500 \Omega\text{m}$ není však třeba klást zemnicí pásy o celkové délce větší než 50 m nebo jiné tomu odpovídající zemniče.

Celkový odpor uzemnění R_B

Celkový odpor uzemnění R_B vodičů PEN odcházejících vedení z transformovny včetně uzemněného středu (uzlu) zdroje nemá však být pro sítě TN o jmenovitém napětí proti zemi $U_0 = 230 \text{ V}$ větší než 2Ω ($R_B \leq 2 \Omega$).

Tato hodnota celkového odporu uzemnění ($R_B \leq 2 \Omega$) se nemusí dodržet tam, kde je v místech pro zřizování uzemnění rezistivita půdy v hloubce 1 m až 3 m větší než $200 \Omega\text{m}$. V tomto případě se stanoví nejvyšší dovolená hodnota celkového odporu uzemnění R_B podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{\rho_{min}}{100}$$

- R_B [Ω] Celkový odpor uzemnění vodičů PEN všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemněného středu (uzlu) zdroje transformovny.
- ρ_{min} [Ωm] Nejmenší hodnota rezistivity půdy v zjištěná měření v místech, kde se zřizuje uzemnění.

Je-li v transformovně uzemnění pro elektrická zařízení vn a nn společné, je třeba celkový odpor uzemnění R_B [Ω] kontrolovat podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E}$$

- U_{Tp} [V] Dovolené dotykové napětí pro elektrická zařízení nad 1 kV pro omezené trvání průtoku proudu.

Pro distribuční transformovny vn/nn $U_{Tp} = 75 \text{ V}$

- I_E [A] Zemní proud na straně vn nebo proud jednopólového zkratu na straně vn

Pokud distribuční stanice se společným uzemněním elektrických zařízení vn a nn je napájena z kabelové sítě vn o celkové délce nad 1 km, s oboustranně uzemněnými plášti kabelů vn, s maximálním proudem zemního spojení nebo jednofázového zkratu 1 500 A, není třeba provádět uvedenou kontrolu celkového odporu uzemnění R_B .

Jsou-li pro společnou uzemňovací systémů vn a nn distribuční stanice půdní podmínky natolik ztížené, že nelze splnit uvedený požadavek

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E}$$

je nutno splnit požadavek, který se týká nárůstu potenciálu společné uzemňovací soustavy U_E .

Jsou-li půdní podmínky pro společné uzemnění elektrických zařízení vn a nn v oblasti distribuční stanice natolik ztížené, že nelze splnit předchozí požadavky, provedou se opatření na snížení zemního proudu I_E v soustavě vn nebo se provede rozdělení uzemnění transformovny na samostatné uzemnění vn a samostatné uzemnění nn.

O nárůstu potenciálu společné uzemňovací soustavy, o zemních proudech v soustavě vn a o rozdělení uzemnění transformovny na samostatné uzemnění vn a samostatné uzemnění nn bude hovořeno v dalších přednáškách.

Uzemňování vodiče PEN (PE) v hlavním vedení, odbočkách a elektrických přípojkách v distribučních sítích typu TN-C (TN-S)

Uzemňování vodiče PEN (PE) v hlavním vedení, odbočkách a elektrických přípojkách se provádí bez ohledu na další jeho uzemnění, jenž jsou provedena v odběrném zařízení.

Veškerá uzemnění vodičů PEN (PE) v hlavních vedení v odbočkách a elektrických přípojkách v souvislosti s uzemněním vodičů PEN (PE) na koncích vedení musí být vhodně rozmístěna.

Vodič PEN (PE) se musí uzemnit buď samostatným zemničem nebo spojit s uzemňovací soustavou, kromě uzlu zdroje ještě v těchto místech:

a) Uzemňování vodiče PEN (PE) ve venkovních vedení

V trase hlavního vedení, v trase jeho odboček a v trase elektrických přípojek se musí vodič PEN (PE) uzemnit na vhodných místech tak, aby největší vzdálenost mezi dvěma uzemněními vodiče PEN (PE) nepřekročila 500 m. Jednotlivá uzemnění vodiče PEN (PE) v trase venkovních vedení (mimo jejich konců) mají mít odpor uzemnění nejvýše 15Ω , není však třeba klást zemní pásy o celkové délce větší než 20 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

Na konci odbočky delší než 200 m a na konci hlavního venkovního vedení se vodič PEN (PE) uzemňuje tak, aby odpor jeho uzemnění byl nejvýše 5Ω , není však třeba klást zemnicí pásy o celkové délce větší než 50 m nebo jiné rovnocenné zemniče. Není-li možné na konci hlavního vedení nebo na konci odbočky provést uzemnění vodiče PEN (PE), lze je posunout zpět po vedení o vzdálenost nepřevyšující 200 m.

b) Uzemňování vodiče PEN(PE) v kabelovém (podzemním) vedení

Propojuje-li kabelové (podzemní) vedení dvě kabelové skříně, přičemž je vodič PEN (PE) v obou skříních uzemněn, není maximální délka tohoto kabelového vedení stanovena.

U kabelového vedení se uzemní vodič PEN (PE) tak, aby žádná kabelová rozvodná skříň nebyla vzdálena více než 100 m od nejbližšího místa uzemnění vodiče PEN (PE) v distribuční síti. Jednotlivá uzemnění vodiče PEN (PE) v trase kabelového vedení, mají mít odpor uzemnění nejvýše 15Ω , není však třeba klást zemnicí pásy o celkové délce větší než 20 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

Na koncích odboček delších než 200 m a na konci hlavního kabelového vedení, se vodič PEN (PE) uzemňuje tak, aby odpor jeho uzemnění byl nejvýše 5Ω , není však třeba klást zemnicí pásy o celkové délce větší než 50 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

c) Uzemňování vodiče PEN (PE) na konci elektrických přípojek

Vodič PEN (PE) v přípojkové skříni elektrické přípojky je nutno uzemnit v případě, když vzdálenost mezi přípojkovou skříní a nejbližším uzemněním vodiče PEN (PE) v hlavním vedení, nebo v odbočce nebo v trase elektrické přípojky, je větší než 100 m.

Má-li elektrická přípojka délku do 200 m, má být odpor tohoto uzemnění nejvýše 15Ω , není však třeba klást zemnicí pásy o celkové délce větší než 20 m nebo jiné rovnocenné zemniče. Je-li délka elektrické přípojky větší než 200 m, má být odpor tohoto uzemnění nejvýše 5Ω , není však třeba klást zemnicí pásy o celkové délce větší než 50 m nebo jiné rovnocenné zemniče.

V rámci zřizování elektrické přípojky, její přípojkové skříně a uzemnění vodiče PEN (PE) v přípojkové skříni, je nutno brát v úvahu charakter odběrného zařízení, pro které je elektrická přípojka zřizována. Jedná se o koncepci ochrany před přepětím, vytvoření samostatného zemniče objektu (odběrného zařízení) apod. Zřizování uzemnění vodiče PEN (PE) v přípojkových skříních provedených venkovním vedením je mnohdy obtížné, proto je v některých případech vhodnější provádět uzemnění vodiče PEN (PE) v trase elektrické přípojky nebo v odbočce nebo v hlavním vedení tak, aby nebylo třeba v těchto případech vodič PEN (PE) v přípojkových skříních uzemňovat.

d) Mimořádné situace

V případě mimořádných situací a rozporů týkajících se hodnot odporu a umístění uzemnění vodiče PEN (PE) (velmi vysoká rezistivita půdy apod.), je nutno výpočtem nebo měřením prokázat, že v případě poruchy nedojde v distribuční síti k překročení dovolených hodnot dotykových napětí na neživých částech.

Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje v sítích TT

Neživé části distribuční sítě TT musí být spojeny prostřednictvím ochranných vodičů a uzemňovacích přívodů se samostatným zemničem nebo připojeny jejich prostřednictvím na samostatný společný zemnič. Střed (uzel) vinutí zdroje (např. transformátoru) distribuční sítě TT musí být vždy uzemněn. S uzemněným středem (uzlem) vinutí zdroje je spojen střední vodič N, který za tímto místem není přípustné spojovat s neživou částí nebo ochranným vodičem. Ochrana při poruše (ochrana před dotykem neživých částí) automatickým odpojením od zdroje je v distribuční síti TT provedena podle ČSN 33 2000-4-41 s následujícími výjimkami.

Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje nadproudovými ochrannými přístroji v distribuční síti TT

Ochrana při poruše provedená automatickým odpojením od zdroje nadproudovými ochrannými přístroji v distribučních sítích TT musí odpovídat ČSN 33 2000-4-41 s touto výjimkou:

Porucha o zanedbatelné impedanci, která může vzniknout kdekoliv v distribuční síti TT mezi fázovým vodičem a neživou částí nebo ochranným vodičem, musí být automaticky odpojena od zdroje napájení v předepsaném čase do 30 s. Vzniklá dotyková napětí nesmí překročit dovolené meze. Nadproudové ochranné přístroje odpojují v případě poruchy zdroj napájení v té části distribuční sítě TT, pro které zajišťují ochranu při poruše.

Přitom musí být splněna tato podmínka:

$$Z_S \cdot I_{(a)} \leq U_0$$

Z_S [Ω] Impedance poruchové smyčky zahrnující impedanci zdroje, fázového vodiče k místu poruchy, ochranného vodiče k neživým částem, uzemňovacího přívodu, zemniče el. zařízení v uvažovaném místě a zemniče zdroje (transformovny).

$I_{(a)}$ [A] Proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s, určí se z charakteristik nadproudových ochranných přístrojů.

U_0 [V] Jmenovité napětí distribuční sítě TT proti zemi.

Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribuční síti TT

Ochrana automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribuční síti TT musí odpovídat ČSN 33 2000-4-41 s touto výjimkou:

Ochrana automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribuční síti TT se považuje za ochranu při poruše (za ochranu před dotykem neživých částí).

Vznikne-li v distribuční síti TT za proudovým chráničem porucha (zkrat) mezi fázovým vodičem a neživou částí nebo ochranným vodičem, musí proudový chránič automaticky odpojit zdroj napájení příslušné části distribuční sítě v čase do 30 s.

Vzniklá dotyková napětí nesmí překročit dovolené meze.. Proudové chrániče odpojují při svém působení jen poruchou postiženou část distribuční sítě TT. Z této podmínky vyplývá, že proudové chrániče umístěné v distribuční síti, musí být selektivní též vůči ochranným prvkům, umístěným za předávacím místem odběrného zařízení.

Přitom musí být splněny následující podmínky:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_{dL}$$

R_A	[Ω]	Součet odporů zemniče a ochranného vodiče k neživým částem v místě poruchy
$I_{\Delta n}$	[A]	Jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče
U_{dL}	[V]	Dovolené dotykové napětí

Příklad č. 1

Distribuční síť TN-C, 400/230 V

Z transformovny vn/nn má být vyveden kabel AYKY 3 x 120 + 70 mm². Je třeba určit výpočtem maximální dovolenou délku kabelu z hlediska impedance poruchové smyčky.

Transformovna

Vstupní napětí: $U_{nQ} = 22$ kV, zkratový proud na vstupu $I_{kQ} = 10$ kA

Výpočtem určíme zkratovou impedanci sítě $Z_Q = 0,00044 \Omega$

Transformátor: 22/0,42/0,242 kV, 250 kVA, zapojení Dyn1

$U_{rT1} = 22$ kV, $U_{rT} = 0,42$ kV

jmenovitý výkon $S_{rT} = 250$ kVA,

ztráty nakrátko: $P_{krT} = 3\,600$ W, napětí nakrátko $u_k = 4$ %

Výpočtem určíme zkratovou impedanci transformátoru:

$Z_T = 0,02498 \Omega$

Kabel

AYKY 3 x 120 + 70 mm²

jmenovitý proud kabelu: $I_n = 245$ A

rezistance vodiče na jednotku délky při teplotě 20 °C:

fázový vodiče: $R'_L = 0,258 \Omega/\text{km}$

vodič PEN: $R'_{PEN} = 0,4423 \Omega/\text{km}$

reaktance vodiče na jednotku délky:

$$\text{fázový vodič: } X'_L = 0,078 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\text{vodič PEN: } X'_{PEN} = 0,078 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Výpočtem se stanoví:

rezistance vodiče na jednotku délky při teplotě 80 °C:

$$\text{fázový vodič: } R'_L = 0,32 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\text{vodič PEN: } R'_{PEN} = 0,549 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Výpočtem se stanoví:

impedance vodiče na jednotku délky (teplota vodiče 80 °C):

$$\text{fázový vodič: } Z'_L = 0,327 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\text{vodič PEN: } Z'_{PEN} = 0,553 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Pojistka:

určená pro jištění kabelu AYKY 3 x 120 + 70 mm²

jmenovitý proud pojistky $I_n = 200 \text{ A}$,

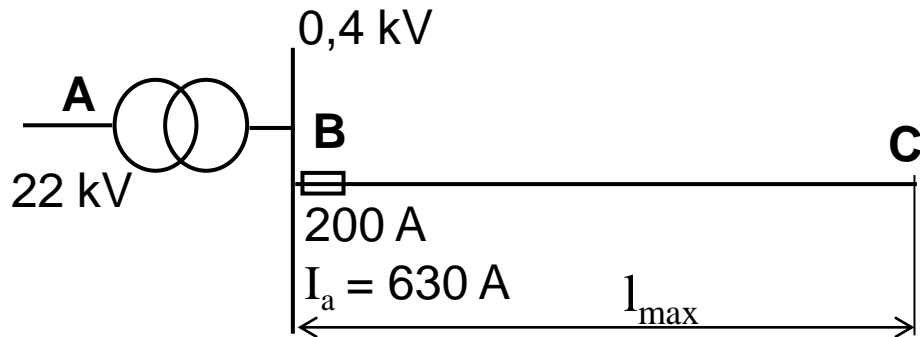
charakteristika gG

proud zajišťující přetavení pojistky v čase $t = 30 \text{ s}$:

$$I_a = 630 \text{ A}$$

Výpočtem se stanoví nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky z hlediska parametrů pojistky:

$$Z_{s \text{ max}} = 0,346 \text{ } \Omega$$



Jmenovité napětí distribuční sítě TN-C proti zemi: $U_0 = 230 \text{ V}$.
 Koeficient respektující ve výpočtu nezahrnuté impedance: $k = 1,1$

Impedance poruchové smyčky v bodě B (zahrnuje impedance mezi bodem A a bodem B):

$$Z_{v(B)} = Z_Q + Z_T = 0,00044 + 0,02498 = 0,0254 \Omega$$

Další výpočet provedeme dle dříve uvedených vztahů:

Maximální dovolená délka kabelu z hlediska impedance poruchové smyčky.

$$l_{\max(B-C)} = \mathbf{0,334 \text{ km} = 334 \text{ m}}$$

Impedance poruchové smyčky v bodě C stanovená pro délku kabelu 334 m a impedanci $Z_v = 0,0254 \Omega$:

$$Z_{S(C)} = \mathbf{0,346 \Omega}$$

Výsledky výpočtů v příkladu č. 1:

(Hledisko pro splnění podmínek impedance poruchové smyčky)

Z uvedené transformovny lze položit kabel AYKY 3 x 120 + 70 mm² o délce 334 m (maximální dovolená délka kabelu), který bude jištěn pouze v transformovně pojistkou o jmenovitém proudu 200 A. V případě, že na konci kabelu (v bodě C) dojde ke zkratu mezi fázovým vodičem a vodičem PEN, pak uvedená pojistka odpojí kabel od zdroje napájení za dobu 30 s (maximální dovolená doba odpojení poruchy). Obvodem v tomto případě protéká zkratový proud o velikosti 630 A.

Teplota fázového vodiče o průřezu 120 mm² na konci zkratu vypočtená podle ČSN IEC 949 je 75 °C.

Teplota vodiče PEN o průřezu 70 mm² na konci zkratu vypočtená podle ČSN IEC 949 je 86 °C.

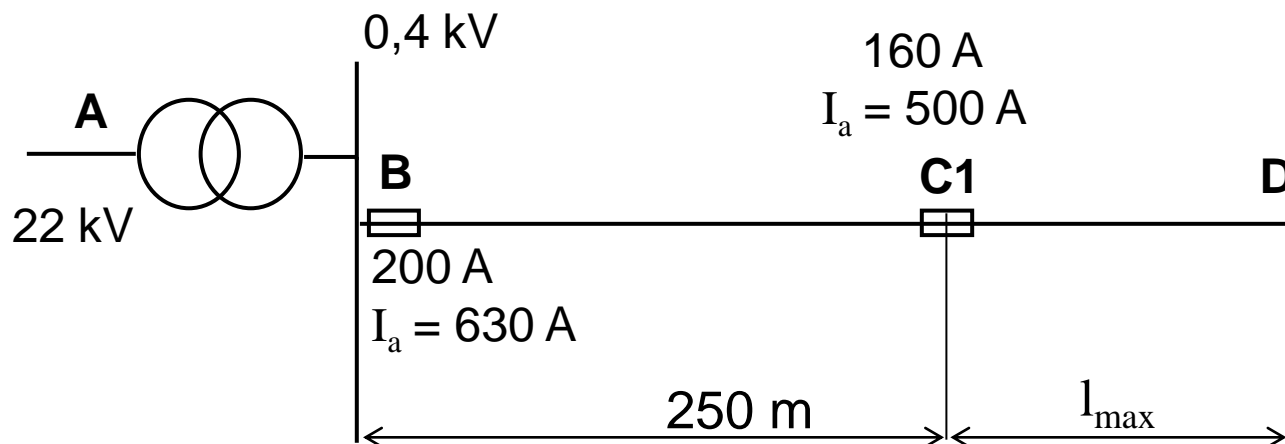
Příklad č 2

Kabel z příkladu č. 1 je třeba prodloužit, parametry kabelu se nemění. Z tohoto důvodu se osadí do vhodného místa v trase kabelu další pojistky. Vhodné místo je označeno C1 a do tohoto místa se osadí pojistky $I_n = 160 \text{ A}$, $I_a = 500 \text{ A}$ (pro $t = 30 \text{ s}$). Výpočtem se stanoví nejvyšší dovolená impedance poruchové smyčky z

hlediska parametrů pojistky umístěné v bodě C1: $Z_{s\max} = 0,437 \Omega$

Délka kabelu mezi bodem B a bodem C1 je 250 m. Parametry přístrojů a transformátoru uvedené v příkladu č. 1 zůstávají beze změn (viz následující obrázek).

Je třeba určit výpočtem maximální dovolenou délku kabelu AYKY 3 x 120 + 70 mm² mezi bodem C1 a bodem D z hlediska impedance poruchové smyčky.



Impedance poruchové smyčky v bodě C1 (zahrnuje impedance mezi bodem A a bodem B (viz příklad č. 1) a impedanci kabelu (mezi bodem B a C1) o délce 250 m):

$$Z_{v(C1)} = Z_Q + Z_T + Z_{S(B-C1)} = 0,00044 + 0,02498 + 0,242 = 0,267 \Omega$$

Další výpočet se provede dle dříve uvedených vztahů:

Maximální dovolená délka kabelu (mezi body C1 a D) z hlediska impedance poruchové smyčky.

$$l_{\max(C1-D)} = \mathbf{0,175 \text{ km} = 175 \text{ m}}$$

Celková maximální dovolená délka kabelu (mezi body B a D) z hlediska impedance poruchové smyčky je $250 + 175 = 425 \text{ m}$

$$l_{\max(B-D)} = \mathbf{0,425 \text{ km} = 425 \text{ m}}$$

Impedance poruchové smyčky v bodě D

Impedance je stanovena pro délku kabelu (C1 – D) 175 m a další impedanci (mezi body A a C1) $Z_{v(C1)} = 0,267 \Omega$:

$$Z_{S(D)} = \mathbf{0,437 \Omega}$$

Výsledky výpočtů v příkladu č. 2 (souvisí s příkladem č. 1):
(Hledisko pro splnění podmínek impedance poruchové smyčky)

Osadí-li se do bodu C1 (viz předchozí obr.) další pojistky o jmenovitém proudu 160 A, lze zvětšit délku kabelu AYKY 3 x 120 + 70 mm² o 175 m. Celková maximální dovolená délka kabelu (mezi body B a D) bude 425 m. (Délka části kabelu mezi body B a C1 je 250 m.) V případě, že na konci kabelu (v bodě D) dojde ke zkratu mezi fázovým vodičem a vodičem PEN, pak pojistka v bodě C1 odpojí příslušnou část kabelu (C1 – D) od zdroje napájení za dobu 30 s (maximální dovolená doba odpojení poruchy). Obvodem v tomto případě protéká zkratový proud o velikosti 500 A.

Teplota fázového vodiče o průřezu 120 mm² na konci zkratu vypočtená podle ČSN IEC 949 je 71 °C.

Teplota vodiče PEN o průřezu 70 mm² na konci zkratu vypočtená podle ČSN IEC 949 je 77 °C.

Děkuji Vám za pozornost

Ing. Václav Schamberger
ČENES Praha