

Overenie podmienok na ochranu samočinným odpojením napájania

Ing. Igor Maas, elektrotechnik špecialista pre vykonávanie odborných prehliadok a odborných skúšok elektrických zariadení

Je známe, že jedným z najdôležitejších krokov pri revízii elektrickej inštalácie je vyhodnotenie ochrany pred úrazom elektrickým prúdom. Na posúdenie ochrany pred dotykom živých častí obvykle stačí prehliadka elektrickej inštalácie, ktorou sa zistí umiestnenie zariadenia, stav zábran, celistvosť a kompletnosť krytov, izolácie apod.

Pri posúdení ochrany pred nebezpečným dotykom neživých častí – a osobitne pri najčastejšie používanej ochrane odpojením napájania – je potrebné poznať skutočnú hodnotu impedancie poruchovej slučky, t. j. impedancie obvodu, ktorou potečie elektrický prúd pri poruche zariadenia (poruchový prúd). Tento druh ochrany a podmienky na jej správnu činnosť v systéme TN podrobne popisuje STN 33 2000-4-41:2007*) a v článku 411.4.4 stanovuje podmienky pre charakteristiky ochranných prístrojov a impedancie poruchovej slučky vzhľadom na menovité striedavé napätie alebo menovité jednosmerné napätie krajného vodiča proti zemi.

Norma STN 33 2000-6:2007**) zohľadňuje reálne situácie v sieti (zväčšenie odporu vodičov oteplením), ktoré vzniká prechodom prúdu pri poruchách) a v čl. C.61.3.6.2 uvádza, že podmienky stanovené v článku 411.4 sa považujú za splnené, ak nameraná hodnota impedancie poruchovej slučky vyhovuje nerovnosti:

$$Z_s(m) \leq \frac{2 U_0}{3 I_a} \quad (1)$$

kde

$Z_s(m)$ je nameraná hodnota impedancie prúdovej poruchovej slučky, ktorá začína aj končí v mieste poruchy (Ω),

U_0 napätie medzi krajným vodičom a uzemneným neutrálnym vodičom (V),

I_a prúd, ktorý spôsobí samočinné uvedenie do činnosti ochranného prístroja v dobe určenej v tabuľke 41.1 alebo v dobe nepresahujúcej 5 s za podmienok stanovených v 411.4 (A).

Na trhu je dostatok kvalitných priamoukazujúcich prístrojov, ktorými sa dá príslušná impedancia zmerať, a tak (v prípadoch, keď je zariadenie napájané jedným vedením) nie je problémom ani vyhodnotenie nameranej hodnoty.

V súčasnosti sa však čoraz viac prevádzkujú elektrické zariadenia, ktoré sú napájané dvomi vedeniami, resp. sa čoraz viac používajú okružné rozvody. Ide napr. o distribučné rozvody dodávateľov elektrickej energie, ale aj o priemyslové

inštalácie, rozvody rozľahlejších areálov (športoviská, nákupné strediská) apod.

Vyhodnocovanie nameraných hodnôt impedancie je pri takýchto zapojeniach elektrických zariadení zložitejšie a normy ani rôzne príručky pre revíznych technikov sa touto problematikou nezaobierajú. Nasledujúca časť preto obsahuje pomerne podrobný postup (doplnený príkladom), aký možno v praxi použiť pri meraní a vyhodnocovaní v takýchto prípadoch.

Ako už bolo naznačené, vzťah (1) možno použiť v uvedenej podobe vtedy, ak má zariadenie

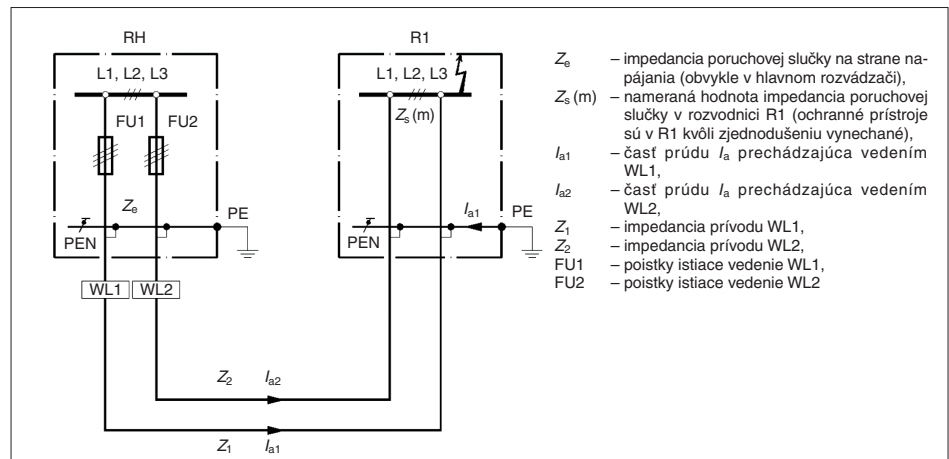
1. Impedancie oboch prívodov aj ich poistky (menovité hodnoty a charakteristiky) sú rovnaké, teda:

$$Z_1 = Z_2 \text{ a } FU1 = FU2$$

Za daných podmienok platí:

$$I_{a1} = I_{a2} = 0,5I_a$$

Poistky budú vypínať naraz, a preto stačí od vzťahu (2) dosadiť nameranú hodnotu impedancie $Z_s(m)$, vypočítať $0,5I_a$ a následne skontro-



Obr. 1. Elektrické zariadenie R1 napájané dvomi prívodmi WL1 a WL2

jeden prívod. V prípade dvoch prívodov (obr. 1) sa dá použiť iba ako nutná a nepostačujúca podmienka pre overenie impedancie poruchovej slučky z toho dôvodu, že vedenia WL1 a WL2 môžu mať rôzne veľké impedancie, t. j. $Z_1 \neq Z_2$, prúd I_a sa rozdelí do jednotlivých vedení nepriamo úmerne k ich impedanciám a poistky FU1 a FU2 (ak majú rovnaké menovité hodnoty a charakteristiky) nebudú odpájať napájanie naraz, ale najprv zareagujú poistky istiace vedenie s menšou impedanciou a až potom poistky vo vedení s väčšou impedanciou. Preto treba vzťah (1) upraviť na tvar:

$$I_a \leq \frac{2 U_0}{3 Z_s(m)} \quad (2)$$

a pri výpočte kontrolovať celkovú dobu, za ktorú bude zariadenie odpojené od napätia.

Pri napájaní elektrických zariadení dvomi prívodmi môžu nastať nasledovné prípady:

lovať dobu, za ktorú jedny z poistiek prerušia obvod (vypnú).

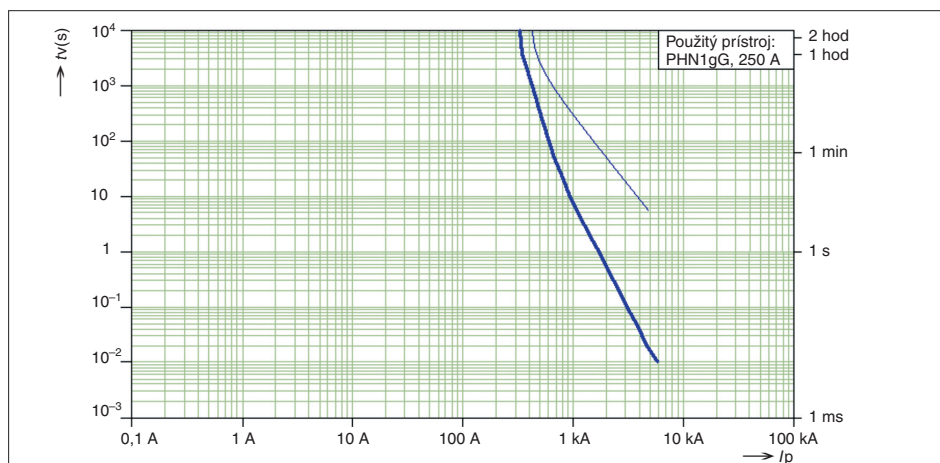
V tomto prípade je však možný aj postup, že sa do vzťahu (1) dosadí za prúd I_a dvojnásobok vypínacieho prúdu (presne: prúdu, ktorý spôsobí samočinné uvedenie do činnosti ...) napr. poistiek FU1 a skontroluje sa nameraná hodnota impedancie vypínacej slučky $Z_s(m)$.

Impedancie Z_1 a Z_2 možno považovať za rovnaké napr. vtedy, ak ide o dva rovnaké prívody (dĺžka, prierez, druh, uloženie). V iných prípadoch treba Z_1 a Z_2 zistiť. Meraním napr. takto:

- odmeria sa impedancia poruchovej slučky na strane napájania Z_0 ,
- vyberú sa poistky FU2, odpojí sa vodič PEN prívodu WL2 a odmeria sa impedancia poruchovej slučky prívodu WL1; od tejto hodnoty sa odpočíta hodnota Z_0 a výsledná hodnota je impedancia prívodu Z_1 .

*) Pozn. redakcie: Slovenská norma STN 33 2000-6:2007 i česká norma ČSN 33 2000-6:2007 sú identickým prevzatím medzinárodnej normy IEC 60364-6:2006.

**) Pozn. redakcie: Slovenská norma STN 33 2000-4-41:2007 i česká norma ČSN 33 2000-4-41 ed. 2:2007 sú identickým prevzatím medzinárodnej normy IEC 60364-4-41:2005.



Obr. 2. Vypínacia charakteristika poistky PHN1gG, 250 A (prevzaté z výpočtového programu Sichr 7.00 firmy OEZ)

Impedanciu Z_2 možno zistiť podobným spôsobom, popr. ju vypočítať z nameraných hodnôt Z_s (m), Z_e a Z_1 .

2. Impedancie prívodov sú rôzne a ich poistky sú rovnaké, teda $Z_1 \neq Z_2$ a FU1 = FU2 (bežné pri okružných rozvodoch).

Celý dej má dve štádiá a pre ich popis bude ďalej uvažované, že impedancia Z_1 je menšia ako impedancia Z_2 , t. j.: $Z_1 < Z_2$.

- a) V prvom štádiu je potrebné určiť dobu, za ktorú vypnú poistky FU1.

Postup:

- zo vzťahu (2) sa vypočíta prúd I_a ,
- zo vzťahov $I_a = I_{a1} + I_{a2}$ a $Z_1 I_{a1} = Z_2 I_{a2}$ sa vypočíta prúd I_{a1} :

$$I_{a1} = \frac{Z_2 \cdot I_a}{Z_1 + Z_2} \quad (3)$$

Z vypínacej charakteristiky poistiek FU1 sa zistí doba t_{v1} , za ktorú poistky FU1 vypnú.

- b) V druhom štádiu je fázový vodič prívodu WL1 odpojený a poruchový prúd prechádza z miesta napájania cez fázový vodič prívodu WL2, cez miesto poruchy a oba vodiče PEN (vodič PEN prívodu WL1 a vodič PEN prívodu WL2) späť do miesta napájania.

Z nameraných a vypočítaných hodnôt a na základe predpokladov, že:

$$Z_{1PEN} = Z_{1L} = 0,5Z_1$$

a podobne:

$$Z_{2PEN} = Z_{2L} = 0,5Z_2$$

kde

Z_{1L} a Z_{2L} sú impedancie fázových vodičov prívodov WL1 a WL2,

Z_{1PEN} a Z_{2PEN} impedancie vodičov PEN prívodov WL1 a WL2

možno vypočítať impedanciu poruchovej slučky v tomto štádiu odpájania:

$$Z = Z_e + 0,5Z_2 + 0,5 \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (4)$$

Jej dosadením do vzťahu (2) sa určí prúd I_a pre druhé štádium odpájania a z vypínacej charakteristiky poistiek FU2 sa zistí maximálna doba t_{v2} , za ktorú poistky FU2 odpoja napájanie. (Skutočná doba bude závisieť aj od prúdu prechádzajúceho poistkami FU2 v prvom štádiu odpájania.)

Maximálna doba t_v , za ktorú bude elektrické zariadenie odpojené od napätia, je súčtom oboch dob odpojenia, teda $t_v = t_{v1} + t_{v2}$, a musí vyhovovať podmienkam stanoveným v STN 33 2000-4-41 čl. 411.3.2. Prípady, keď $Z_1 = Z_2$ a FU1 = FU2 alebo $Z_1 \neq Z_2$ a FU1 \neq FU2, sa riešia analogicky.

V týchto súvislostiach je nevyhnutné upozorniť na to, že pri prívodoch väčších dimenzií alebo pri kratších prívodoch môžu mať rozvodné skrine (RIS, PRIS), ktoré sú v nich zapojené, väčší vplyv na impedanciu prívodu (a tým aj na impedanciu poruchovej slučky), ako má vlastné (napr. káblové) vedenie. Jedna takáto rozvodná skriňa prispieva k impedancii prívodu (a aj poruchovej slučky) obvykle štrnástimi odpornými spojov (na fázovom vodiči: vodič-káblové oko 2x, kontakty poistiek 4x, skrutkové spoje na držiakoch poistiek 4x; na vodiči PEN: vodič-káblové oko 2x, skrutkové spoje na prípojnicí PEN 2x). Každý z týchto odporov môže mať hodnotu až 10 mΩ (v starších alebo zle udržiavaných inštaláciách aj viac) a s touto skutočnosťou treba pri projektovaní počítať.

Príklad:

Rozvodná skriňa je zapojená v okružnom trojfázovom rozvode, ktorého obe vedenia sú istené poistkami PHN1gG 250 A. Doba, za ktorú má byť zariadenie odpojené od napätia, nesmie presiahnuť 5 s. Hodnoty príslušných impedancií sú:

$$Z_s \text{ (m)} = 0,05 \text{ } \Omega; Z_e = 0,02 \text{ } \Omega; Z_2 = 0,3 \text{ } \Omega.$$

Výpočet:

Z charakteristiky poistiek (obr. 2) sa zistí pre dobu vypnutia nepresahujúci 5 s vypínací prúd $I_a = 1 \text{ } 100 \text{ A}$.

Zo vzťahu (1) sa overí splnenie nutnej a nepostačujúcej podmienky (na základe toho, čo je uvedené v bode 1, sa do vzťahu dosadí dvojnásobok vypínacieho prúdu):

$$Z_s \text{ (m)} \leq \frac{2 U_0}{3 I_a} = \frac{2 \cdot 230}{3 \cdot 2 \cdot 1100} = 0,07 \text{ } \Omega$$

Nutná a nepostačujúca podmienka je splnená a možno kontrolovať celkovú dobu, za ktorú bude zariadenie R1 odpojené od napätia.

Vypočíta sa impedancia vedenia WL1:

$$Z_1 = \frac{Z_2 (Z_s \text{ (m)} - Z_e)}{Z_2 + Z_e - Z_s \text{ (m)}} =$$

$$= \frac{0,3(0,05 - 0,02)}{0,3 + 0,02 - 0,05} = 0,03 \text{ } \Omega$$

Prvé štádium odpájania:

Zo vzťahu (2) sa vypočíta prúd I_a :

$$I_a \leq \frac{2 U_0}{3 Z_s \text{ (m)}} = \frac{2 \cdot 230}{3 \cdot 0,05} = 3 \text{ } 067 \text{ A}$$

Zo vzťahu (3) sa vypočíta prúd I_{a1} :

$$I_{a1} = \frac{Z_2 \cdot I_a}{Z_1 + Z_2} = \frac{0,3 \cdot 3 \text{ } 067}{0,03 + 0,3} = 2 \text{ } 788 \text{ A}$$

a z vypínacej charakteristiky sa pre prúd I_{a1} zistí doba vypnutia $t_{v1} = 161 \text{ ms}$.

Druhé štádium odpájania:

Impedancia poruchovej slučky sa vypočíta zo vzťahu (4):

$$Z = Z_e + 0,5Z_2 + 0,5 \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} =$$

$$= 0,02 + 0,5 \cdot 0,3 + 0,5 \frac{0,03 \cdot 0,3}{0,03 + 0,3} \text{ } \Omega$$

Dosadením do vzťahu (2) sa vypočíta prúd I_a v tomto štádiu odpájania:

$$I_a \leq \frac{2 U_0}{3 Z_s \text{ (m)}} = \frac{2 \cdot 230}{3 \cdot 0,18} = 852 \text{ A}$$

$$= 0,18 \text{ } \Omega$$

Z vypínacej charakteristiky poistiek sa pre tento prúd zistí doba vypnutia $t_{v2} = 16 \text{ s}$.

Maximálna doba, za ktorú bude elektrické zariadenie odpojené od napätia, je: $t_v = t_{v1} + t_{v2} = 0,16 + 16 = 16,16 \text{ s}$, čo je nevyhovujúca hodnota.

Záver

Príspevok poukázal na zložitosť posudzovania ochrany elektrického zariadenia pred nebezpečným dotykom neživých častí vtedy, keď je zariadenie napájané dvomi vedeniami alebo je zapojené v okružnom rozvode. Príspevok ďalej naznačil, ako je možné v takýchto prípadoch postupovať.

Tento článok bol uvedený v českom *Elektro* v čísle 6 letošného roka. V priebehu prípravy tohto nášho slovenského titulu sme v redakcii riešili výmenu názorov medzi autorom uvedenej článku Ing. I. Maasom a čitateľom Ing. P. Levákom, ktorý reagoval na niektoré skutočnosti. Diskusia oboch odborníkov priniesla ďalšie zaujímavé pohľady na problematiku, a preto ju tiež uvádzame – viď strana 30.