

PRAKTICKÁ METÓDA MERANIA ODPORU UZEMNENIA

MILLY Miron, SR

Resumé

Článok pojednáva o jednoduchéj a praktickej metóde merania prechodového odporu uzemňovacej elektródy použitím dvoch pomocných meracích elektród, ktoré spolu s uzemňovacou elektródou tvoria sústavu troch elektród.

Kľúčové slová: meranie, prechodový odpor, elektróda, uzemnenie, zem, zemina.

PRACTICAL MEASURING METHOD OF THE EARTH RESISTANCE

Abstract

The paper deals with a simple and practical measuring method of the contact resistance of grounding electrode by using two auxiliary measuring electrodes, with together with the grounding electrode form the system of three electrodes.

Key words: measuring, contact resistance, electrode, grounding, earth, ground, soil.

1 Úvod

Metódy merania prechodových odporov uzemňovacích elektród sa podstatne líšia od známych metód merania odporov, a to predovšetkým preto, lebo ich odpor prakticky nie je možné merať jednosmerným prúdom. Pri meraní by sa totiž rušivo prejavila elektrolýza, resp. jej sprievodný jav – chemická polarizácia elektród. Hodnota odporu meraná jednosmerným prúdom by bola vždy väčšia než hodnota skutočného prechodového odpor uzemňovacej elektródy, a dokonca by sa počas merania z uvedených dôvodov stále zväčšovala. Okrem toho u jednosmerných meracích metód by k nepresnosti merania mohli prispievať aj prídavné kontaktné potenciály elektród. Všetky meracie metódy preto používajú ako zdroj elektrického napätia striedavé generátory alebo oscilátory. Ich kmitočet je vhodné voliť v rozmedzí od 30 Hz do 200 Hz, s výnimkou frekvencie v okolí 50 Hz a jej celistvých násobkov (100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, ...), aby merania neboli rušené zemnými prúdmi od priemyselných silnoprúdových elektrických zariadení. Pomerne často sa používa frekvencia 125 Hz [3], pretože leží presne v strede medzi 100 Hz a 150 Hz, ale môže sa používať aj frekvencia, ktorá leží v blízkosti ich geometrického priemeru $(100 \text{ Hz} \times 150 \text{ Hz})^{1/2} \doteq 122 \text{ Hz}$. Voľba vyššej frekvencie nie je veľmi vhodná, lebo namerané hodnoty by boli už hodnotami impedancií, a ich veľkosť by samozrejme závisela aj od frekvencie generátora.

2 Trochu teórie

Pre niektoré jednoduché tvary uzemňovacích elektród je možné príslušné prechodové odpory určiť aj výpočtom, a to z rozmerov týchto elektród [1]. Napríklad pre guľový tvar vodivej elektródy o polomere r_0 , zakopanej hlboko v zemi, platia vzťahy:

$$U = \varphi_{r_\infty} - \varphi_{r_0} = \int_{r_0}^{\infty} \mathbf{E}_r \cdot d\mathbf{r}, \quad \mathbf{E}_r = \rho \mathbf{J}_r, \quad I = \oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} \quad (1)$$

Pri voľbe polomeru $r = r_0$ guľovej elektródy platí: $E_{r_0} = \rho J_{r_0}, \quad J_{r_0} = I / 4\pi r_0^2 \quad (2)$

Prechodový odpor guľovej uzemňovacej elektródy možno teda určiť aj výpočtom zo vzťahu:

$$R_p = U/I = \frac{1}{I} \int_{r_0}^{\infty} \mathbf{E}_r \cdot d\mathbf{r} = \frac{\rho}{4\pi} \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho}{4\pi} \left[\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{-1}{r} - \lim_{r \rightarrow r_0} \frac{-1}{r} \right] = \frac{\rho}{4\pi r_0} \quad (3)$$

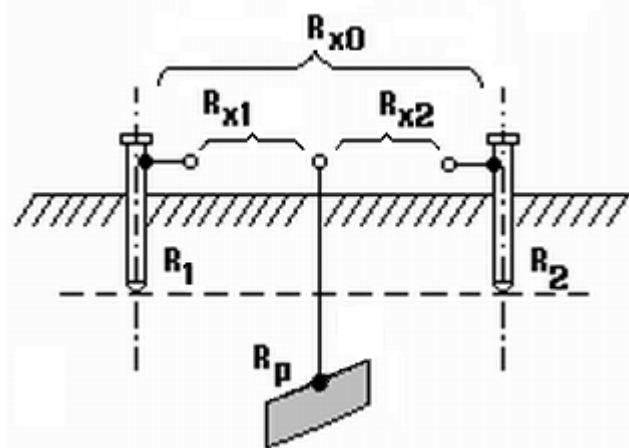
kde:

- $\mathbf{E}_r$ je vektor intenzity prúdového poľa v okolí guľovej uzemňovacej elektródy,
- $\mathbf{J}_r$ je vektor prúdovej hustoty vo vzdialenosti r od stredu guľovej elektródy,
- $d\mathbf{r}$ je vektorový diferenciálny prírastok vzdialenosti $r > r_0$ od stredu guľovej elektródy,
- r_0 je polomer vodivého povrchu uzemňovacej elektródy,
- ρ je merná elektrická vodivosť zeme v priestore medzi meranými elektródami,
- I_p je elektrický prúd vytekajúci z uzemňovacej elektródy všetkými smermi do zeme,
- U je absolútny potenciál guľovej elektródy o polomere $r = r_0$ zakopanej hlboko v zemi,
- φ_{r_0} je potenciál na povrchu guľovej elektródy o polomere $r = r_0$,
- φ_{r_∞} je vzťažný potenciál nameraný vo vzdialenosti $r \rightarrow \infty$ od stredu elektródy ($\varphi_{r_\infty} = 0$)

U zložitejších tvarov uzemňovacích elektród je teoretický výpočet prechodového odporu značne komplikovaný

2 Princíp meracej metódy

Rozmiestnenie jednotlivých elektród pri pohľade zhora je zvyčajne v podobe rovnoramenného trojuholníka. V hraničnom prípade môžu všetky elektródy ležať na spoločnej priamke, pričom uzemňovacia elektróda je umiestnená v strede medzi oboma pomocnými elektródami. Pri pohľade z boku je rozmiestnenie elektród znázornené na obr. 1.



Obr. 1: Rozmiestnenie jednotlivých elektród v zemi pri pohľade z boku.

Vlastné meranie prechodového odporu uzemňovacej elektródy trojbodovou meracou metódou je založené na použití dvoch pomocných elektród v podobe tyčí rovnakých rozmerov s pevnými a ostrými hrotmi, ktoré sú zatlačené do približne rovnakých hĺbok (30 – 50 cm) vo vzájomnej vzdialenosti 15 až 30 metrov. Vzdialenosti uzemňovacej elektródy od pomocných elektród by mali byť okolo 15 až 20 metrov, aby sa pri meraní prechodových odporov R_p , R_1 a R_2 jednotlivých elektród mohla v plnej miere prejavíť aj vodivosť zeme, a to v celom priestore medzi meracími elektródami. Nakoľko elektrický odpor veľkého objemu zeme, je zanedbateľne malý v porovnaní s prechodovým odporom povrchu uzemňovacej

elektrody, pre dosiahnutie kvalitného uzemnenia je potrebné venovať zvýšenú pozornosť práve vlastnostiam elektródy a jej umiestneniu v zemi. Na kvalitu uzemnenia má najväčší vplyv veľkosť povrchu a hĺbka umiestnenia uzemňovacej elektródy, ďalej homogénnosť zeminy, hlavne v tesnej blízkosti povrchu uzemňovacej elektródy a v jeho okolí a tiež dostatočná a stála vlhkosť zeminy. Keďže zemina v bežne dostupnej hĺbke je málokedy homogénna, pre dosiahnutie kvalitného uzemnenia je vhodné do vykopanej jamy umiestniť uzemňovaciu elektródu s čo najväčším povrchom (napr. dostatočne širokú a dlhú pásovinu z nekorodujúceho kovu) a zasypať ju jemnou zeminou, ktorá je schopná dobre pohlcovať vlhkosť a dlhodobo ju aj udržiavať.

Pri odvodzovaní univerzálneho vzorca pre výpočet hodnoty prechodového odporu R_p uzemňovacej elektródy obecného tvaru budeme vychádzať z označení jednotlivých odporov znázornených na obr. 1. Vzájomné vzťahy medzi prechodovými odpormi R_p , R_1 , R_2 a tzv. vzájomnými odpormi medzi jednotlivými elektródami vyjadríme tromi rovnicami:

$$R_{x0} = R_1 + R_2 \quad (4)$$

$$R_{x1} = R_p + R_1 \quad (5)$$

$$R_{x2} = R_p + R_2 \quad (6)$$

kde:

R_p je prechodový odpor uzemňovacej elektródy,

R_1 je prechodový odpor 1. pomocnej elektródy,

R_2 je prechodový odpor 2. pomocnej elektródy.

Vzájomným sčítaním rovníc (4) a (5) a vyjadrením R_{x0} z rovnice (3) dostaneme:

$$2R_p = R_{x1} + R_{x2} - R_{x0} \quad (7)$$

V ideálnom prípade, ak by sme predpokladali homogénnu zeminu tesne pri povrchu a v blízkom okolí jednotlivých elektród, ako aj v priestore medzi nimi, potom by $R_1 = R_2$, a teda aj $R_{x1} = R_{x2}$. Pre prechodový odpor R_p uzemňovacej elektródy by potom platil výsledný vzorec:

$$R_p = R_{x1} - R_1 \quad (8)$$

Pri meraní v reálnych podmienkach sa namerané hodnoty prechodových odporov R_1 a R_2 v skutočnosti navzájom trochu líšia. Preto pri ďalšej analýze tejto meracej metódy predpokladajme, že $R_2 = R_1 \pm \Delta R$, kde $\pm \Delta R$ je odchýlka odporu R_2 od odporu R_1 . Začleňme teda odchýlku $\pm \Delta R = R_2 - R_1$ do rovníc (3) a (5), čím dostaneme rovnice (8) až (10):

$$R_{x0} = 2R_1 \pm \Delta R \quad (9)$$

$$R_{x1} = R_p + R_1 \quad (10)$$

$$R_{x2} = R_p + R_1 \pm \Delta R \quad (11)$$

Z rozdielu rovníc (10) a (9) dostaneme rovnicu (11), ktorá taktiež vyjadruje odchýlku $\pm \Delta R$:

$$R_{x2} - R_{x1} = \pm \Delta R, \quad \text{odkiaľ} \quad R_{x2} = R_{x1} \pm \Delta R \quad (12)$$

Dosadením rovnice (8) a (10) do (6) dostaneme vzťah (12), ktorý rovnako ako vzťah (7) zohľadňuje odchýlku $\pm \Delta R$:

$$\begin{aligned} 2R_p &= R_{x1} + R_{x2} - R_{x0} = 2R_{x1} \pm \Delta R - 2R_1 \mp \Delta R = 2R_{x1} - 2R_1 \\ R_p &= R_{x1} - R_1 \end{aligned} \quad (13)$$

3 Záver

Ako vidno, výsledok vyjadrený rovnicou (12) je zhodný s výsledkom vyjadreným rovnicou (7), v ktorej bol zahrnutý predpoklad, že oba pomocné elektródy mali mať rovnaké parametre, čo bolo vyjadrené splnením podmienky $R_1 = R_2$. Z uvedeného vidíme, že odchýlka $\pm \Delta R$ odporu R_{x2} od odporu R_{x1} nemá žiaden vplyv na presnosť merania prechodového odporu R_p . Preto pomocné elektródy v zásade nemusia mať rovnaké parametre, ale pri meraní by mali vykazovať čo najmenší prechodový odpor. Preto by mali byť zhotovené z nekorodujúceho (napríklad z nerezového) kovového materiálu.

Aj keď uvedená meracia metóda nepatrí medzi najpresnejšie metódy, nakoľko prechodový odpor pomocnej elektródy nikdy nedosahuje hodnoty prechodového odporu uzemňovacej elektródy, napriek tomu pre svoju jednoduchosť a praktickosť má široké uplatnenie.

4 Literatúra

1. TRNKA, Z.: Teoretická elektrotechnika. SNTL-ALFA, Praha 1972.
2. DRECHSLER, R. – GYÁRFÁŠ, J. – JAKL, M. – VÍTOVEC, J.: Elektrické měření II. – Základní metody. SNTL, Praha 1973.
3. http://www.rotex.sk/rotex/pre_mer_pristr/zemny_odpor.pdf.

Lektoroval: Ing. Milan Bernát, PhD.

Kontaktná adresa autora:

Miron Milly, Ing., CSc., Katedra fyziky FHPV PU,
081 16 Prešov, ul. 17. novembra č. 1,
e-mail: millymir@unipo.sk