

ИЗСЛЕДВАНЕ СТЕПЕНТА НА КОРОЗИЯ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ ЕЛЕКТРОДИ С ПОМОЩТА НА ТРАНСФОРМАТОРЕН ДАТЧИК

Петър Петров

Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, petrov_p_tu@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Корозията на заземителните електроди в разпределителните уредби на електроцентралите и подстанциите е предпоставка за влошаване на съпротивлението на заземяване на територията на обекта, а от там и за неправилната работа на средствата за защита от пренапрежения, релейните защиты, режима на работа на мрежата и най-вече води до опасност за обслужващия персонал при експлоатация на електрооборудването. В тази връзка е разработен математически модел на трансформаторен датчик, с помощта на който в реално време може да се следи степента на корозия на стоманените заземители и по този начин да се реагира своевременно, преди заземителната уредба да стане опасна.

CORROSION RATE STUDY OF GROUNDING ELECTRODES BY MEANS OF A TRANSFORMER SENSOR

Petar Petrov

Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, petrov_p_tu@abv.bg

ABSTRACT. The corrosion of grounding electrodes in outdoor switch gear of electrical power stations and substations is a prerequisite for an increase of the resistance to ground at the site's grounding installation. As a result the proper operation of the over voltage protection, the protection systems and the work of the overall power network are disturbed. Also there is an electrical safety hazard for the personnel working with electrical power equipment. In that scope, a mathematical model of a transformer sensor for real time measurements has been developed in order to monitor continuously the rate of corrosion of steel grounding electrodes and respond timely before the grounding installation gets unsafe.

Въведение

Основните цели на заземителните уредби са осигуряване на електробезопасност на хората, надеждност при работа на електрооборудването, осигуряване на отлично контактно съпротивление и връзка между елементите на заземителната инсталация и заобикалящата почва при протичане на аварийни токове през земята и за ограничаване на импулсни пренапрежения от атмосферен и комутационен характер.

За подсибяване на горните изисквания в дългосрочен план трябва да бъде отчитана корозията на металните заземители и елементи, осъществяващи електрическа връзка със земята. Корозията на металните електроди по своята същност представлява разрушаването и последващата загуба на метал, поради нежелано химическо или електрохимическо разяждане на електрода от средата, където е положен. Това от своя страна води до намаляване на активната площ на заземителите, влошаване на контактното им съпротивление с почвата и от там увеличаване съпротивлението на заземяване (Ray et al., 1999; Глазов и Сторожевский, 1978).

Очевидно е, че за отговорни електроенергийни обекти степента на корозия на заземителните електроди в процеса на експлоатация на заземителната уредба трябва да се отчита периодично.

В настоящата публикация е разработен математически модел на трансформаторен датчик за непрекъснат контрол на степента на корозия на цинковани стоманени заземители в състава на заземителните уредби.

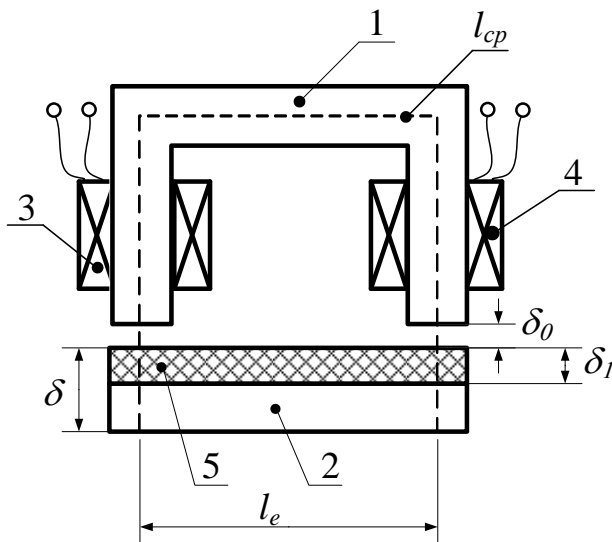
Приложението на такъв датчик в практиката би спомогнало за повишаване на нивото на електробезопасност на електроенергийните обекти и по-устойчива и надеждна работа на електрооборудването.

Принцип на действие на трансформаторния преобразувател

Трансформаторният преобразувател има конструкция, аналогична на индуктивния преобразувател. Отличава се от него по наличието на вторична намотка. Той представлява всъщност трансформатор, на който се подава сигнал на първичната намотка, а промяната на въздушната междина води до изменение на взаимната индуктивност и от там промяна на изходния сигнал във вторичната намотка. Промяната на въздушната междина се дължи на намаляване на сечението на металния електрод в следствие на образуването на корозионен слой.

На фиг. 1 е показана принципната схема на трансформаторен преобразувател, предназначен за констатиране степента на корозия в метални стоманени електроди,

използвани като заземители или свързващите ги метални шини.



Фиг. 1. Принципна схема на трансформаторен преобразувател за контрол на степента на корозия

Трансформаторният преобразувател от фиг. 1 се състои от П - образен магнитопровод 1, на който са монтирани входящата намотка 3 и изходящата намотка 4. Котвата представлява металния електрод на заземителя или металната свързваща шина между електродите. С 5 е показан образуващият се корозионен слой с дебелина δ_1 при начална дебелина на стената на електрода δ . При това изменение на въздушната междина се изменя магнитното съпротивление R_M и взаимната индуктивност M , което от своя страна води до промяна на вторичното напрежение на намотка 4.

Изменението на вторичното напрежение се дава с връзката:

$$\dot{E}_2 = j\omega M \cdot \dot{I}_1, \quad (1)$$

където:

\dot{E}_2 - комплексна ефективна стойност на изходното напрежение;

\dot{I}_1 - комплексна ефективна стойност на тока в първичната намотка 3.

Известно е, че коефициентът на взаимна индуктивност представлява коефициент, който е пропорционален на отношението между пълният поток на вторичната намотка $w_2 \cdot \Phi_2$ и тока, който протича през първичната намотка:

$$M = \frac{w_2 \cdot \Phi_2}{\dot{I}_1}, \quad (2)$$

където: w_2 - брой навивки на вторичната намотка

Токът, който протича през първичната намотка \dot{I}_1 е свързан с магнитодвижещото напрежение F_1 със закона за пълния ток:

$$I_1 = \frac{F_1}{w_1}, \quad (3)$$

където: w_1 - брой навивки на първичната намотка.

От равенство (2), след заместване, може да се получи следния израз:

$$M = \frac{w_1 \cdot w_2 \cdot \Phi_2}{F_1} = \frac{w_1 \cdot w_2}{R'_M}, \quad (4)$$

където: $R'_M = \frac{F_1}{\Phi_2}$ - взаимно магнитно съпротивление.

Допускаме, че разсейването на магнитния поток е малко, при което може да се приеме следното равенство:

$$\Phi_1 = \Phi_2 \text{ и следователно } R'_M = R_M. \quad (5)$$

Като се вземе в предвид (1) и (4) може да се получи израз за комплексната ефективна стойност на вторичното напрежение \dot{E}_2 :

$$\dot{E}_2 = \frac{j\omega \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \dot{I}_1}{R_M}. \quad (6)$$

Магнитната верига на трансформаторния преобразувател е аналогична на тази на индуктивния датчик от (Петров и Велев, 2011):

$$R_M = R_{CT} + R_{\delta_0} + R_{\delta_1} + R_e, \quad (7)$$

където: R_{CT} - магнитно съпротивление на П-образния магнитопровод;

R_{δ_0} - магнитно съпротивление на въздушната междина;

R_{δ_1} - магнитно съпротивление на корозирания слой метал; взаимно магнитно съпротивление.

R_e - магнитно съпротивление на резултантното сечение от заземителния електрод (шина).

$$R_{CT} = \frac{l_{CP}}{\mu_{r1} \cdot \mu_0 \cdot S}; R_{\delta_0} = \frac{2\delta_0}{\mu_0 \cdot S}; R_{\delta_1} = \frac{2\delta_1}{\mu_{r2} \cdot \mu_0 \cdot S} \quad (8)$$

$$R_e = \frac{l_e}{\mu_{r3} \cdot \mu_0 \cdot S_1}; S_1 = (\delta - \delta_1) \cdot a, \quad \text{където:}$$

a - ширина на профила на П - образния магнитопровод.

След заместване на стойностите на магнитните съпротивления от (8) в (6) се получава:

$$\dot{E}_2 = \frac{j\omega \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \dot{I}_1 \cdot \mu_0}{\frac{l_{CP}}{\mu_{r1} \cdot S} + \frac{2\delta_0}{S} + \frac{2\delta_1}{\mu_{r2} \cdot S} + \frac{l_e}{\mu_{r3} \cdot S_1}} \quad (9)$$

Магнитните съпротивления в стоманените участъци са много по-малки от тези във въздушната междина и в корозирания слой. Това дава основание те да бъдат пренебрегнати от получения израз (9):

$$\dot{E}_2 = \frac{j\omega \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot \dot{I}_1}{2\delta_0 + \frac{2\delta_1}{\mu_{r2}}} \quad (10)$$

Полученият израз (10) е валиден за стойността на \dot{E}_2 при наличие на корозионен слой. При отсъствие на такъв (при първоначален монтаж на електрода), изразът ще има вида:

$$\dot{E}_2 = \frac{j\omega \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot \dot{I}_1}{2\delta_0} \quad (11)$$

Ако се направи отношението на (10) и (11) се получава:

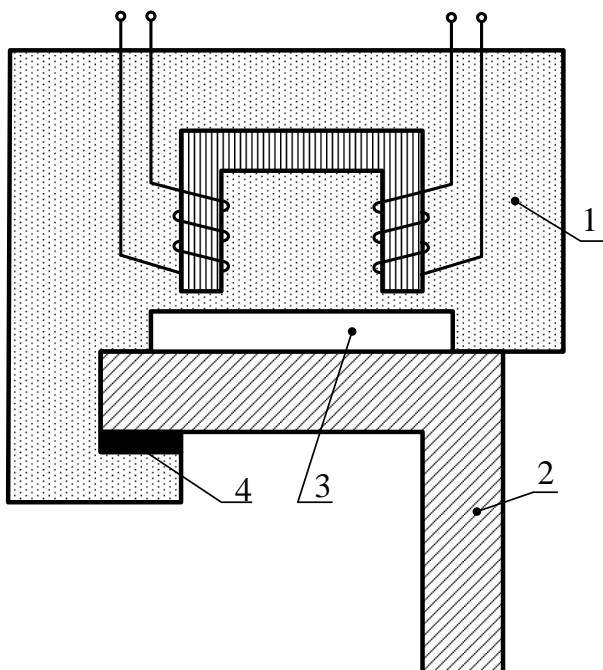
$$\frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_2} = \frac{2\delta_0}{2\delta_0 + \frac{2\delta_1}{\mu_{r2}}} = K \quad (12)$$

След преработване на (12) може да се получи израз за дебелината на корозирания слой δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{2\delta_0 \cdot (1 - K \cdot \mu_{r2})}{2K} \quad (13)$$

За практическо реализиране може да се построи функционалната зависимост $\delta_1 = f(K)$, което позволява без изчисления да се определи степента на корозия на стоманения електрод.

Практическа реализация на трансформаторен преобразувател за отчитане на степента на корозия



Фиг. 2. Конструкция на трансформаторен преобразувател

Практическата реализация е показана на фиг. 2. Трансформаторният преобразувател се изработва в пластмасова заливка или в заливка от епоксидна смола 1. Оставят се достатъчно дълги изводи към двете намотки. Задължително трябва да има светъл отвор 3 за да не се възпрепятства допира на метала с агресивната почва. С 2 е показан винкелов стоманен електрод. Като такъв може да се използва и стоманена лентова шина. Диелектричната подложка 4 служи за уплътняване и стабилно закрепване на трансформаторния датчик върху стоманения електрод.

Заклучение

- Предложеният трансформаторен преобразувател е лесен за практическа реализация;
- При свързването на такъв датчик към специално проектирана към него микропроцесорна система може да се следи в реално време степента на корозия на стоманените електроди и съединителни шини на заземителни уредби;
- Трансформаторният преобразувател има значително по-добра чувствителност в сравнение с предложени индуктивен датчик в (Петров и Велев, 2011);
- Работата на преобразувателя може да се оптимизира при изменение на честотата f и големината на приложеното върху първичната му намотка входно напрежение U .

Литература

- Ray, G.V., R. Ganesan, S. K. Das. 1999. *The chemistry behind grounding*, 2-nd Crass Road CIT Campus, SAMEER-Centre of Electromagnetics, Taramani, Chennai 113, India.
- Глазов, М. П., И. В. Сторожевский. 1978. *Методы контроля и измерения при защите подземных сооружений от коррозии*, М.
- Галимов, Р.К., А. В. Изосимов et. al. 2003. *Методологические аспекты, стохастической динамики корозионных процессов*, Защита металов, Том 39, №2, С.200-206.
- Евтихийев Н. Н., Я. А. Кунергимид и др. 1990. *Измерение электрических и неэлектрических величин*. М., Энергоатомиздат.
- Манойлов, В.Е. 1986. *Основы электробезопасности*, Ленинград, Энергия.
- Петров, П. К., Г. Ц. Велев. 2011. *Нов метод за определяне степента на корозия на стоманени заземители чрез използване на индуктивни датчици* – Годишник на Минно-геоложкия Университет „Св. Иван Рилски” – София, Свитък III: Механизация, електрификация и автоматизация на мините.