

Jaroslav Petráš, Jozef Balogh, Jaroslav Džmura

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Parametre toroidných induktívnych senzorov z hľadiska prenosu signálu

Abstrakt. Jedna z metód merania čiastkových výbojov v izolačných systémoch vysokonapäťových elektroenergetických zariadení je nepriama induktívna. Tento spôsob merania využíva snímače založené na účinkoch induktivity. Tento článok popisuje amplitúdovo frekvenčné charakteristiky snímačov a spôsob ich merania skúmaním odpovede na Diracov impulz.

Abstract. One of the well-known methods for measuring partial discharges in insulation systems of high voltage electric power devices is the indirect inductive method. This method makes use of sensors based on inductivity effects. This paper points out the amplitude-frequency characteristics of sensors and its measurement by response to Dirac pulse.

Kľúčové slová: toroidný snímač, induktívny snímač, Diracov impulz.
Keywords: Toroidal sensor, induction sensor, Dirac pulse.

Úvod

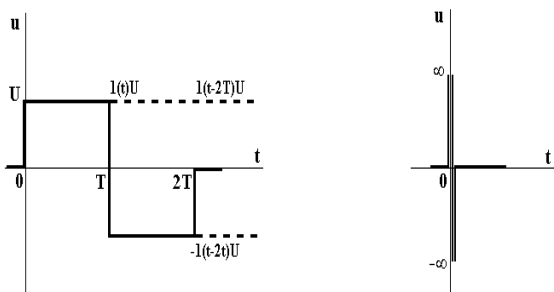
Nepriama induktívna metóda merania aktivity čiastkových výbojov v izolačných systémoch vysokonapäťových elektroenergetických zariadení využíva pre snímánie induktívne senzory.

Pre monitorovanie výbojovej aktivity čiastkových výbojov v izolačných systémoch boli na Katedre elektroenergetiky Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach vyvinuté induktívne senzory lineárneho [1] a toroidného typu [2], [3].

Vhodnosť výberu materiálu a typu konštrukcie boli overené aj z hľadiska prenosovej charakteristiky. Použili sme metódu merania odpovede systému na vnútený Diracov impulz.

Tvar injektovaného signálu a jeho odpoveď na tento signál

Pri výskume vlastností aplikovaných sond bol použitý generátor obdĺžnikového signálu s časovým trvaním $2T$, kde T je šírka obdĺžnika. Za predpokladu, že výška amplitúdy je U , potom pre obdĺžnikový signál má tvar zobrazený na obr.1.



Obr.1 Tvar obdĺžnikového signálu

Analytické vyjadrenie tejto časovej funkcie je nasledujúce [4]:

$$(1) \quad 1(t).f(t) = \begin{cases} 0 & \text{pre } t > 0 \\ U & \text{pre } t \in]0; T[\\ -U & \text{pre } t \in]T; 2T[\\ 0 & \text{pre } t < 0 \end{cases}$$

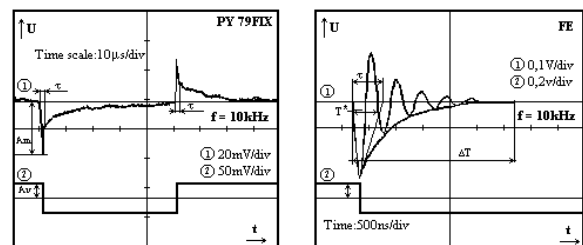
alebo môže byť pohodlnejšie vyjadrené zo spôsobu tvorby pomocou jednotkových funkcií $1(t).f(t) = U[1(t) - 2.1(t-T) + 1(t-2T)]$, takže tomuto výrazu zodpovedá časová funkcia impulzová:

$$(2) \quad U(1 - 2e^{-pT} + e^{-pT}) = U(1 - e^{-pT})^2$$

Ak sa približujeme k hraničnému prípadu a T sa bude blížiť k nulovej hodnote, potom analytické vyjadrenie nasledovne môžeme uviesť takto:

$$(3) \quad 1(t).f(t) = \begin{cases} 0 & \text{pre } t < 0 \\ \pm \infty & \text{pre } t = 0 \equiv \delta'(t) \\ 0 & \text{pre } t > 0 \end{cases}$$

pričom $\delta'(t)$ je konvenčné označenie časovej funkcie a je nazývané jednotkovou impulzovou funkciou II. rádu. Signál vyššie uvedeného typu bol injektovaný do obvodu, ktorý predstavuje prúdový transformátor, pričom získané priebehy odoziev sú znázornené na obr. 2.



Obr.2 Odpovede na vnútený signál - sonda s permalloyovým (vľavo) a feritovým jadrom (vpravo)

Analogický tvar prúdovej odozvy z obr. 2 je možné získať zo sériového obvodu RC, pripojeného na zdroj napätia. Za predpokladu, že kondenzátor s kapacitou C nebol pred pripojením na zdroj napätia U nabitý, potom v čase $t=0$, $u_c=0$ bude prúd určený riešením diferenciálnej rovnice:

$$(4) \quad \frac{i}{C} + R \frac{di}{dt} = 0$$

vzťahom

$$(5) \quad i = \frac{U}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Takáto modelová predstava platí pre kompaktný feromagnetický materiál PY. Vzhľadom na jeho frekvenčnú závislosť, k deformácii prúdovej odozvy dochádza pri $f > 100\text{kHz}$.

Pri modelovaní odozvy signálu zo snímača s feritovým jadrom (obr. 2) vychádzame zo sériového obvodu RLC, pre ktorý platí diferenciálna rovnica:

$$(6) \quad \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} = 0$$

ktorá má tri riešenia. Priebeh na obr. 2 pre feritové jadro zodpovedá prípadu, keď korene charakteristickej rovnice sú tvorené komplexnými číslami. Potom priebeh prúdu je možné analyticky vyjadriť takto:

$$(7) \quad i = \frac{U}{\omega L} e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sin(\omega t)$$

Odmerané a odvodené priebehy poskytujú nasledovné výpovedeschopné veličiny:

a) pri štúdiu odozvy s jadrom PY to bude:

- τ – časová konštanta,
- A_v – amplitúda impulzu obdĺžnikového tvaru vnúteného impulzu,
- A_m – amplitúda výstupného signálu,

b) pri štúdiu odozvy s feritickým jadrom:

- τ – časová konštanta odvodená z obalovej krivky tlmeného harmonického priebehu,
- T^* – doba jednej periódy,
- f^* – doba trvania rozkmitu obvodu, A_v, A_m – amplitúdy signálov.

Číselným vyhodnotením získaných odoziev môžeme konštatovať nasledovné:

ad a) časová konštanta τ v rozsahu skúmaných frekvencií sa pohybuje v intervale $(1 \cdot 10^{-6}; 5 \cdot 10^{-7})$ s, čo vyhovuje z hľadiska meracej techniky,

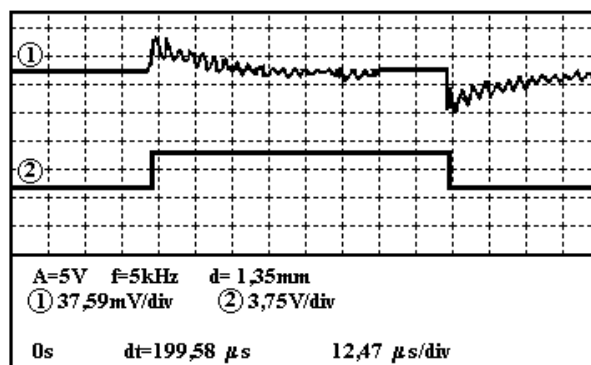
ad b) vychádzajúc z povahy feritického materiálu, prúdový obvod sa chová ako RLC člen, takže jednou z výpovedeschopných veličín je časová konštanta obalovej krivky tlmeného harmonického priebehu $\tau \in (5 \cdot 10^{-7}; 7,5 \cdot 10^{-7})$ s, čo je hodnota nižšia ako v prípade a).

Vysvetlenie spočíva v monodoménnej štruktúre oxidových materiálov. Získané hodnoty sú frekvenčne nezávislé v prípade použitia vysokofrekvenčného feritu typu (B), podobne ako aj relatívna permeabilita použitého materiálu do 10MHz a frekvencia tlmených kmitov $f \in (2,15; 2,30)$ MHz. Celková doba rozkmitu dosahuje $3\mu\text{s}$ v aplikovanom rozsahu frekvencií.

Rozbor signálu Diracovho impulzu získaného na výstupe lineárnej sondy

Na každej z lineárnych sond, ktoré boli tvorené feritovým tyčovým jadrom bola navinutá cievka a ku cievke bol paralelne pripojený kondenzátor, čím bol vytvorený rezonančný obvod. Na sondách bol vykonaný výskum odozvy vstupného signálu tvaru Diracovho impulzu s pozitívnou a negatívnou polaritou.

Injektovaný signál z regulovateľného zdroja impulzov po impedančnom prispôbení bol vedený do vodiča, v okolí ktorého sa tým vytvorilo magnetické pole o intenzite H , úmerné veľkosti prúdu, tečúceho vodičom.

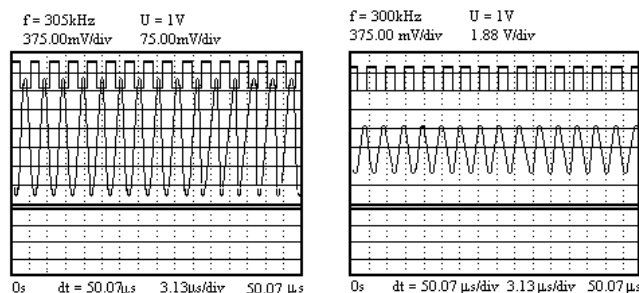


Obr.3 Odozveď lineárneho snímača na pravouhlý signál

Lineárna sonda bola umiestnená postupne do troch polôh v okolí vodiča: v smere dotyčnice k siločiarom, paralelne s vodičom, kolmo na vodič. Experimenty ukázali, že pri kolmom uložení senzora na vodič, spracuje tento cca 40% vyžiarenej energie. Pri rovnobežnom uložení s vodičom sníma induktívna sonda iba 15% vyžiarenej energie.

Na obr. 3 je uvedený príklad priebehu odozvy na pravouhlý signál. Je charakteristický tým, že na klesajúcu exponenciálnu funkciu sú superponované oscilácie s frekvenciou 270 kHz.

Skúmali sme tvar výstupného napätia na svorkách cievky navinutej na feritovej tyčke, pričom výška napätia impulzov bola 1000 mV. Bola vykonaná optimalizácia polohy cievky z hľadiska maximálnej citlivosti.



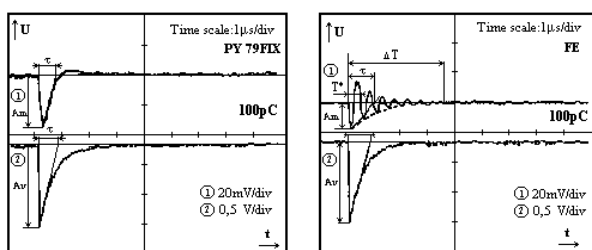
Obr.4 Odozva lineárneho senzora na pravouhlý signál pri frekvencii 305kHz (vľavo) a 300 kHz (vpravo)

Posuvom cievky po feritovej tyčke bola stanovená maximálna amplitúda výstupného signálu, ktorá závisí od hodnoty kvality Q feritového materiálu. Signál z osciloskopu bol priamo vedený cez prevodník do počítača, kde bol spracovaný a vyhodnotený, ako je to znázornené na obr. 4.

Reakcia materiálu senzora na testovacie impulzy

Technika merania čiastkových výbojov si vyžaduje pred meraním na ľubovoľnom objekte aplikovať jeho testovanie interným, prípadne externým kalibrátorom.

Boli použité dva typy kalibrátora: TETEX typ 0216 s rozsahom 10-100-1000-10000pC a kalibrátor, vyvinutý na pracovisku s rozsahom 25-50-75-100-250-500-1000-2500-5000-7500-10000pC. Tvary impulzov z kalibrátora a ich odozvy sú znázornené na obr. 5.



Obr.5. Tvar impulzu z kalibrátora a tvar impulzu z kalibrátora testovaný sondou z materiálu PY (vľavo), testovaný sondou z materiálu FE (vpravo)

Záver

Meranie sme vykonali na oboch typoch senzorov s materiálmi PY a FERIT:

- pri použití jadra s PY tvar preneseného impulzu sa nemení a hodnota časovej konštanty sleduje charakteristický priebeh kalibračných impulzov v rozsahu 10-7-10-5s (10-10000pC).

- senzory s jadrom z feritického materiálu reagujú na testovacie impulzy rovnako ako na obdĺžnikové priebehy pri rôznych frekvenciách.

Týmto sa potvrdila opodstatnenosť použitia vyššie uvedených materiálov na snímanie čiastkových výbojov nepriamou induktívnou metódou. Takto získané signály je možné použiť pri vyhodnotení aktivity čiastkových výbojov metódami popísanými napr. [5].

Literatúra

- [1] MARTON, K. a kol.: Autorské osvedčenie č. 202 129, Úrad pro vynálezy a objavy, Praha, 1976.
- [2] MARTON, K. a kol.: Výskumná správa GAV č.1/990345/92, EF TU Košice, 1992.
- [3] MARTON, K., BALOGH, J.: Elektrofyzikálna analýza odozvy čiastkových výbojov modelovaných Diracovým impulzom. Zborník, Diagnostika 93, ZČU Plzeň, 1993.
- [4] MORSHIUS, P.H.F.: Partial Discharge Mechanisms, Proefschrift, Delft, 1993.
- [5] KURIMSKÝ, Juraj - CIMBALA, Roman - KOLCUNOVÁ, Irida: Multi-scale decomposition for partial discharge analysis / - 2008. In: Przegląd Elektrotechniczny. Vol. 84, no. 9 (2008), p. 169-173. - ISSN 0033-2097

Táto práca vznikla na základe podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA MŠVVaŠ SR a SAV č. projektu 1/0368/2009 a APVV-20-006005.

Autori: Jaroslav Petráš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.petras@tuke.sk

Jozef Balogh, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jozef.balogh@tuke.sk

Jaroslav Džmura, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.dzmura@tuke.sk