

Janusz GUZIK

Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej  
Politechnika Śląska

## WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW NA WYNIKI POMIARÓW SPRAWDZAJĄCYCH PROGRAMOWALNYCH MIERNIKÓW NAPIĘĆ POWROTNYCH

**Streszczenie.** W artykule w oparciu o zaproponowany model matematyczny wzorca RC izolacji elektrycznej oszacowano wpływ wybranych parametrów związanych z fazą ładowania i rozładowania wzorca RC (tj. napięciem ładowania, czasem ładowania i czasem rozładowania). Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych i sposób pomiaru stałej czasowej  $\tau_p$  gałęzi absorpcyjnej wzorca RC izolacji elektrycznej w układzie rzeczywistym (z uwzględnieniem zastosowanego systemu ekranowania).

## INFLUENCE OF CHOSEN PARAMETERS ON CHECKING MEASUREMENT RESULTS OF PROGRAMMABLE RETURN VOLTAGE METERS

**Summary.** In article in the support about proposed mathematical model of electrical insulation RC based standard the influence of chosen parameters connected with stage of charging and discharging of RC standard (e.g. charging voltage, charging and discharging time) was estimated. The results of experimental investigations and the way of the measurement of time constant  $\tau_p$  of absorption branch of electrical insulation RC based standard in real circuit (from regard of applied screening system) were introduced.

### 1. WSTĘP

Jedną z metod diagnostycznych stosowanych w badaniach izolacji elektrycznej urządzeń elektroenergetycznych jest metoda pomiarów napięć powrotnych, realizowana za pomocą specjalizowanych, programowalnych mierników napięć powrotnych [6,7].

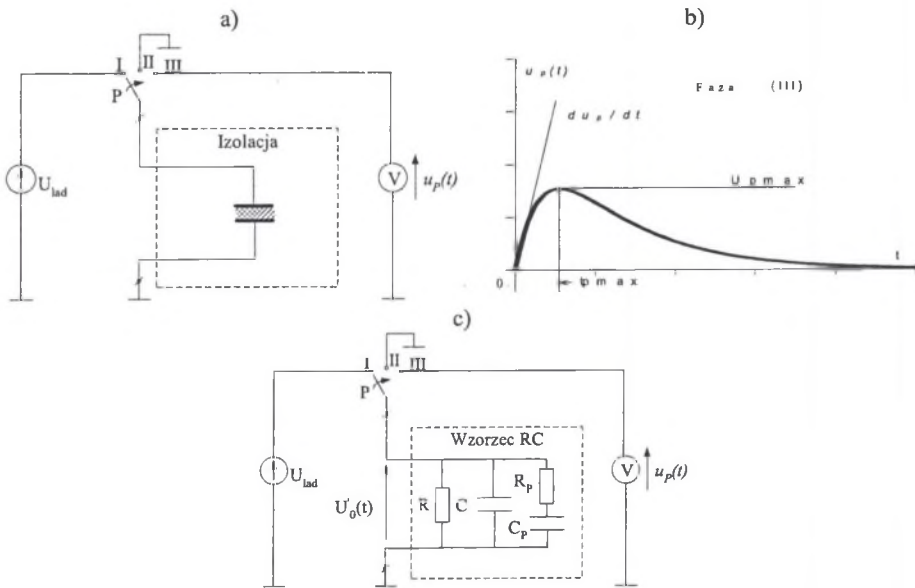
Każdy miernik napięcia powrotnego (por. rys. 1a) reprezentowany jest przez: programowalne źródło napięcia stałego  $U_{lad}$ , przełącznik P (o programowalnym sterowaniu czasem ładowania  $t_{lad}$  i rozładowania  $t_r$ ) i rejestrator cyfrowy V. Pomiar napięć powrotnych odbywa się w trakcie trzech faz (I) - (III): fazy (I), tj. ładowania izolacji napięciem stałym

$U_{lad}$  przez ściśle określony czas  $t_{lad}$ , fazy (II), tj. rozładowywania izolacji poprzez zwarcie przełącznika P również w ściśle określonym czasie  $t_r$  (spełniającym na ogół relację:  $t_r < t_{lad}$ ) i fazy (III), tj. właściwego pomiaru napięcia powrotnego  $u_p(t)$  na rozwartych zaciskach badanej izolacji rejestratorem cyfrowym V. Do podstawowych parametrów typowego przebiegu czasowego napięcia powrotnego  $u_p(t)$  należą (por. rys.1b): początkowa szybkość

narastania napięcia powrotnego  $\left. \frac{du_p(t)}{dt} \right|_{t \rightarrow 0}$ , maksymalna wartość napięcia powrotnego  $U_{pmax}$

i czas  $t_{pmax}$  osiągnięcia przez napięcie powrotne  $U_p(t)$  wartości maksymalnej równej  $U_{pmax}$

W związku z koniecznością okresowej kontroli poprawności wskazań mierników napięć powrotnych występuje potrzeba przeprowadzenia odpowiednich pomiarów sprawdzających, co można dokonać m.in. za pomocą wzorca RC izolacji elektrycznej w układzie jak na rys.1c [1,2,3].



Rys.1. Układ elektryczny miernika do pomiaru napięć powrotnych (a); Parametry typowego przebiegu czasowego napięcia powrotnego (b); Sposób połączenia wzorca RC izolacji elektrycznej zastosowany podczas pomiarów sprawdzających miernika do pomiaru napięć powrotnych (c)

Fig.1. Electrical circuit of return voltage meter (a); Parameters of typical return voltage (b); Connections arrangement of electrical insulation RC based standard applied during checking measurements of return voltage meter (c)

Tylko na potrzeby niniejszej pracy, w odróżnieniu od wyników analiz zawartych w pracach [1,2,3], parametry napięć powrotnych  $X$  zostaną w dalszym ciągu przedstawione za

pomocą następujących zależności, danych w postaci ogólnej:

$$\left. \frac{du_p(t)}{dt} \right|_{t \rightarrow 0} = A \cdot a(R, C, R_p, C_p), t_{p \max} = b(R, C, R_p, C_p) \text{ i } U_{p \max} = A \cdot c(R, C, R_p, C_p),$$

gdzie:  $A = U_{lad} \cdot (1 - e^{-\frac{t_{lad}}{\tau_p}}) \cdot e^{-\frac{t_r}{\tau_p}}$  i  $\tau_p = R_p \cdot C_p$ , natomiast funkcje:  $a(\cdot)$ ,  $b(\cdot)$  i  $c(\cdot)$  są złożonymi zależnościami parametrów  $(R, C, R_p, C_p)$  wzorca RC. Stąd można określić

niepewności względne  $\pm \delta_{\frac{dU_p}{dt}} = \pm \sqrt{\left( \pm \delta_{A \frac{dU_p}{dt}} \right)^2 + (\pm \delta_a)^2}$ ,  $\pm \delta_{t_{p \max}} = \pm \delta_b$  i

$\pm \delta_{U_{p \max}} = \pm \sqrt{\left( \pm \delta_{A^{U_{p \max}}} \right)^2 + (\pm \delta_c)^2}$  przez wzorec RC poszczególnych parametrów napięć

powrotnych  $X$ , gdzie:  $\pm \delta_A^X$ ,  $\pm \delta_a$ ,  $\pm \delta_b$ ,  $\pm \delta_c$  – odpowiednio – niepewności względne związane z wyznaczeniem wartości parametrów  $\{A, a, b, c\}$ . Znajomość wpływu parametrów  $\zeta = \{U_{lad} \text{ lub } t_{lad} \text{ lub } t_r\}$  związanych z fazą ładowania i rozładowania na wartość współczynnika  $A$  ma tu o tyle istotny charakter, że pozwala m.in. na określenie wartości niepewności względnej  $\pm \delta_A$  – przy znanych (założonych) niepewnościach bezwzględnych

parametrów  $\left\{ \pm \Delta_{U_{lad}} \text{ lub } \pm \Delta_{t_{lad}} \text{ lub } \pm \Delta_{t_r} \right\}$  wyznaczonych innymi metodami [6], zgodnie z ogólnym wzorem:

$$\pm \delta_A^X = \pm \sqrt{[a_{U_{lad}}^X (\pm \Delta_{U_{lad}})]^2 + [a_{t_{lad}}^X (\pm \Delta_{t_{lad}})]^2 + [a_{t_r}^X (\pm \Delta_{t_r})]^2}, \quad (1)$$

gdzie:  $a_{\zeta}^X$  - współczynniki określające ilościowy wpływ parametrów  $\zeta = \{U_{lad} \text{ lub } t_{lad} \text{ lub } t_r\}$  związanych z fazą ładowania i rozładowania na wyniki pomiarów sprawdzających parametrów napięć powrotnych  $X$ .

## 2. BADANIA I ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW ZWIĄZANYCH Z FAZĄ

### ŁADOWANIA I ROZŁADOWANIA NA WYNIKI POMIARÓW SPRAWDZAJĄCYCH

Celem przeprowadzonych pomiarów było określenie wpływu parametrów związanych z fazą ładowania i rozładowania, np. dla konkretnego przykładu z zakresu zmian:  $\zeta = \{80 \text{ V} \leq U_{lad} \leq 100 \text{ V}, 10 \text{ s} \leq t_{lad} \leq 30 \text{ s}, 1 \text{ s} \leq t_r \leq 5 \text{ s}\}$ , na wyniki pomiarów sprawdzających miernika [6] parametrów  $X$  napięć powrotnych. W pomiarach wykorzystano model fizyczny wzorca RC izolacji elektrycznej [5] o następujących wartościach parametrów elementów składowych (por. rys.1c) (wyznaczonych z niepewnością  $\pm \delta = \pm 0,1\%$ ):  $R = 100,4 \text{ M}\Omega$ ,

$C = 95,0 \text{ nF}$ ,  $R_p = 99,2 \text{ M}\Omega$ ,  $C_p = 216 \text{ nF}$  i  $\tau_p = R_p \cdot C_p = 21,4 \text{ s}$ . W dalszym ciągu w pierwszym etapie wyznaczono na drodze doświadczalnej charakterystyki typu  $X = f(\zeta)$ , a następnie w drugim etapie zdefiniowano błąd względny  $\delta_\zeta^X$ , będący miarą niezgodności wyniku pomiaru  $X(\zeta) = f\{U_{lad} \text{ lub } t_{lad} \text{ lub } t_r\}$  w stosunku do wyniku pomiaru  $X(\zeta_0) = f\{U_{lad0} \text{ lub } t_{lad0} \text{ lub } t_{r0}\}$  uzyskanego dla wartości wpływowej  $\zeta_0$  ze środka zakresu jej zmian, tj. dla  $\zeta_0 = \left\{ U_{lad0} = 90 \text{ V} \text{ lub } t_{lad0} = 20 \text{ s} \text{ lub } t_{r0} = 3 \text{ s} \right\}$ . Odpowiada to zależności:

$$\delta_\zeta^X = \frac{X(\zeta) - X(\zeta_0)}{X(\zeta_0)} \cdot 100\%, \quad (2)$$

gdzie:  $\zeta = \left\{ 80 \text{ V} \leq U_{lad} \leq 100 \text{ V}, 10 \text{ s} \leq t_{lad} \leq 30 \text{ s}, 1 \text{ s} \leq t_r \leq 5 \text{ s} \right\}$ .

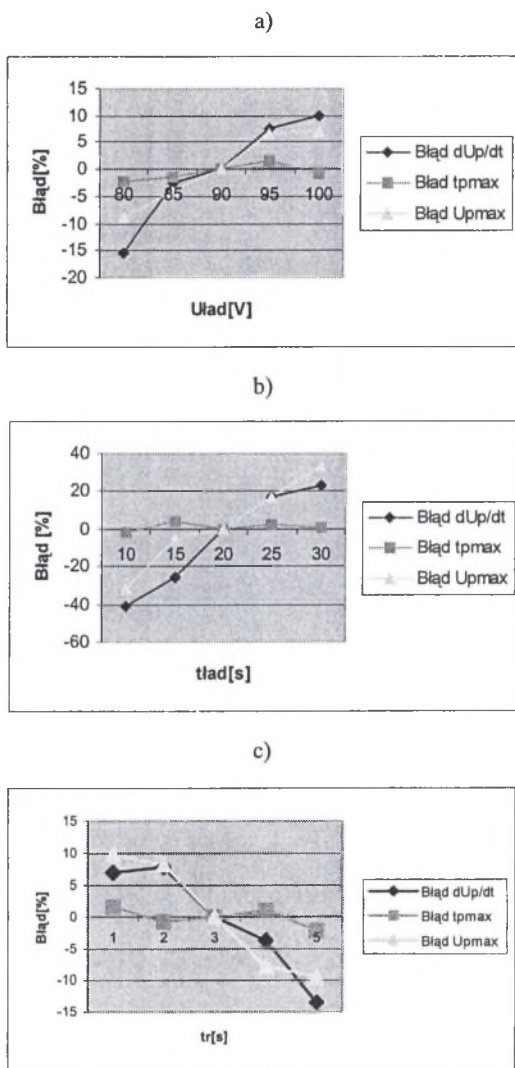
Na podstawie wzoru (2) można zatem wyznaczyć 9 charakterystyk opisujących: wpływ napięcia ładowania  $U_{lad}$ , czasu ładowania  $t_{lad}$  i czasu rozładowania  $t_r$  (por. rys. 2a-c).

W dalszym ciągu założono, że modelem dobrze opisującym zależności pomiędzy zmiennymi  $\delta_\zeta^X$  i  $\zeta$  jest model regresji liniowej [4], prowadzący do równania postaci:

$\delta_\zeta^X = a_\zeta^X \cdot \zeta + b_\zeta^X$ , gdzie:  $a_\zeta^X$ ,  $b_\zeta^X$  - są współczynnikami regresji liniowej. Z punktu widzenia dalszej analizy porównawczej wpływu poszczególnych parametrów  $\zeta$  związanych z fazą ładowania i rozładowania na analizowane charakterystyki  $\delta_\zeta^X = a_\zeta^X \cdot \zeta + b_\zeta^X$  istotna jest właściwie tylko znajomość wartości współczynnika kierunkowego  $a_\zeta^X$  prostej regresji, będącego miarą oddziaływania danej wielkości wpływowej  $\zeta$ , gdyż wówczas:

$|\pm \Delta \delta_\zeta^X| \% = a_\zeta^X \cdot |\pm \Delta \zeta| \text{ jedn.}\zeta$ , gdzie:  $|\pm \Delta \delta_\zeta^X|$  jest przyrostem względnego błędu  $\delta_\zeta^X$  spowodowanego przyrostem  $|\pm \Delta \zeta|$  wielkości wpływowej. Wtedy to zależność (2) przyjmuje

ostateczną postać:  $\pm \delta_A^X = \pm \sqrt{|\pm \Delta \delta_{U_{lad}}^X|^2 + |\pm \Delta \delta_{t_{lad}}^X|^2 + |\pm \Delta \delta_{t_r}^X|^2}$ .



Rys. 2. Wykresy błędów względnych  $\delta_c^X$  (zdefiniowanych wzorem (4a)) wyniku pomiaru sprawdzającego wielkości  $X$  przy zmianach wartości napięcia ładowania  $U_{lad}$  (a), zmianach wartości czasu ładowania  $t_{lad}$  (b) i zmianach wartości czasu rozładowania  $t_r$  (c)

Fig. 2. Diagrams of relative errors  $\delta_c^X$  of checking measurement result of value  $X$  (defined by the relation (4a)) at the changes of charging voltage  $U_{lad}$  (a), charging time  $t_{lad}$  (b) and discharging time  $t_r$  (c)

Wyznaczone w ten sposób na drodze doświadczalnej wartości współczynników  $a_{\zeta}^X$  dla prostych regresji typu  $\delta_{\zeta}^X = a_{\zeta}^X \cdot \zeta + b_{\zeta}^X$  (linearyzujących charakterystyki  $\delta_{\zeta}^X = \frac{X(\zeta) - X(\zeta_0)}{X(\zeta_0)} \cdot 100\%$  zamieszczone na rys. 2a – 2c) - zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wyznaczone doświadczalnie wartości współczynników  $a_{\zeta}^X$  dla prostych regresji

typu  $\delta_{\zeta}^X = a_{\zeta}^X \cdot \zeta + b_{\zeta}^X$  przy zmianach  $\zeta = \{U_{lad} \text{ lub } t_{lad} \text{ lub } t_r\}$

$a_{\zeta}^X$				
$\zeta$ ↓	$X \Rightarrow$	$\left. \frac{du_p}{dt} \right _{t \rightarrow 0}$	$t_{p \max}$	$U_{p \max}$
	$U_{lad}$	1,21 %/V	0,11 %/V	1,21 %/V
	$t_{lad}$	3,41 %/s	0,06 %/s	3,07 %/s
	$t_r$	-5,23 %/s	-0,57 %/s	-5,42 %/s

Celem przeprowadzenia odpowiednich porównań wartości współczynników  $a_{\zeta}^X$  zestawionych w tabeli 1, w dalszym ciągu dokonano ich oszacowania w sposób teoretyczny. Odpowiednie zależności opisujące błąd względny  $\delta_{\zeta}^X$  są teraz następujące:

$$\delta_{U_{lad}}^X = \begin{cases} \left( \frac{U_{lad}}{U_{lad0}} - 1 \right) \cdot 100\% \\ 0 \end{cases}, \text{ dla } X = \begin{cases} \left. \frac{du_p}{dt} \right|_{t \rightarrow 0} \\ t_{p \max} \end{cases} \text{ lub } U_{p \max}, \quad (3a)$$

$$\delta_{t_{lad}}^X = \begin{cases} \left( \frac{1 - e^{-\frac{t_{lad}}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{t_{lad0}}{\tau_p}}} - 1 \right) \cdot 100\% \\ 0 \end{cases}, \text{ dla } X = \begin{cases} \left. \frac{du_p}{dt} \right|_{t \rightarrow 0} \\ t_{p \max} \end{cases} \text{ lub } U_{p \max}, \quad (3b)$$

$$\delta_{t_r}^X = \begin{cases} \left( \frac{e^{-\frac{t_r}{\tau_p}}}{e^{-\frac{t_{rn}}{\tau_p}}} - 1 \right) \cdot 100\% , & \text{dla } X = \left. \begin{matrix} \frac{du_p}{dt} \\ t_{p \max} \end{matrix} \right|_{t \rightarrow 0} \text{ lub } U_{p \max} , \\ 0 \end{cases} \quad (3c)$$

a wtedy

$$a_{U_{lad}}^X = \frac{\Delta \delta_{U_{lad}}^X}{\Delta U_{lad}} = \begin{cases} \frac{1}{U_{lad0}} \cdot 100\% , & \text{dla } X = \left. \begin{matrix} \frac{du_p}{dt} \\ t_{p \max} \end{matrix} \right|_{t \rightarrow 0} \text{ lub } U_{p \max} , \\ 0 \end{cases} \quad (4a)$$

$$a_{t_{lad}}^X = \frac{\Delta \delta_{t_{lad}}^X}{\Delta t_{lad}} \begin{cases} \frac{1}{\tau_p} \cdot \frac{e^{-\frac{t_{lad0}}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{t_{lad0}}{\tau_p}}} \cdot 100\% , & \text{dla } X = \left. \begin{matrix} \frac{du_p}{dt} \\ t_{p \max} \end{matrix} \right|_{t \rightarrow 0} \text{ lub } U_{p \max} , \\ 0 \end{cases} \quad (4b)$$

$$a_{t_r}^X = \frac{\Delta \delta_{t_r}^X}{\Delta t_r} = \begin{cases} -\frac{1}{\tau_p} \cdot 100\% , & \text{dla } X = \left. \begin{matrix} \frac{du_p}{dt} \\ t_{p \max} \end{matrix} \right|_{t \rightarrow 0} \text{ lub } U_{p \max} , \\ 0 \end{cases} \quad (4c)$$

W rzeczywistości, przy analizie układu wzorca RC izolacji elektrycznej wg rys.1c, należy uwzględnić system ekranowania, a następnie rozpatrzyć układ wzorca o schemacie zastępczym przedstawionym jak na rys.3a. Wówczas otrzymuje się [5]:

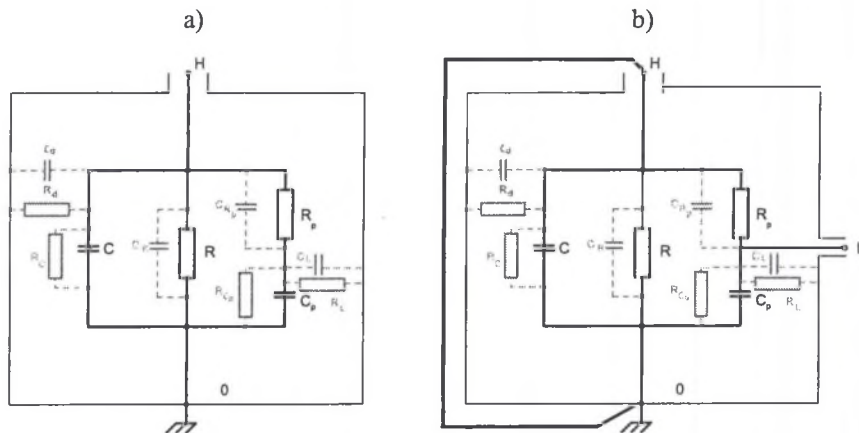
$$A = k(R, C, R_p, C_p, R_d, C_d, R_C, C_R, R_{C_p}, C_{R_p}, C_L, R_L) \cdot U_{lad} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t_{lad}}{\tau_p}} \right) \cdot e^{-\frac{t_r}{\tau_p}} , \quad (5a)$$

$$\tau_p = (R_p // R_L // R_{C_p}) \cdot (C_p + C_L + C_{R_p}) . \quad (5b)$$

Jak można zauważyć, przy obowiązywaniu zależności (5a) - (5b), postaci funkcji (3a) - (3c) opisujących błąd względny  $\delta_{\zeta}^X$  nie ulegają zmianie, co oznacza, że dla układu wzorca wg rys.3a wartości współczynnika  $a_{\zeta}^X$  mogą być nadal wyznaczone na podstawie zależności (4a) - (4c) pod warunkiem podstawienia odpowiedniej wartości stałej czasowej  $\tau_p = (R_p // R_L // R_{C_p}) \cdot (C_p + C_L + C_{R_p})$  gałęzi absorpcyjnej wzorca.

Wartość stałej czasowej  $\tau_p$  można wyznaczyć w sposób pomiarowy, dokonując modyfikacji układu wzorca (wg rys. 3a), polegającej na wyprowadzeniu punktu środkowego L gałęzi absorpcyjnej  $\{R_p, C_p\}$ , a następnie dokonaniu pomiaru wypadkowej rezystancji

$\{R_p // R_L // R_{C_p}\}$  i pojemności  $\{C_p + C_L + C_{R_p}\}$  widzianej z zacisków L – 0 z jednoczesnym zwarcie zacisków H – 0 (rys. 3b). Wówczas dla zastosowanego modelu fizycznego wzorca



Rys. 3. Schemat zastępczy rzeczywistego wzorca RC izolacji elektrycznej wg rys. 1c z uwzględnieniem zastosowanego systemu ekranowania (a) i jego modyfikacja umożliwiającą pomiar stałej czasowej

$$\tau_p = (R_p // R_L // R_{C_p}) \cdot (C_p + C_L + C_{R_p}) \text{ gałęzi absorpcyjnej wzorca (b)}$$

Fig. 3. Equivalent circuit of real electrical insulation RC based standard according to Fig. 1c from regard of applied screening system (a) and his modification enabling the measurement of time constant

$$\tau_p = (R_p // R_L // R_{C_p}) \cdot (C_p + C_L + C_{R_p}) \text{ of standard's absorption branch (b)}$$

RC izolacji elektrycznej [5] w wyniku pomiaru uzyskano wartość stałej czasowej  $\tau_p = (R_p // R_L // R_{C_p}) \cdot (C_p + C_L + C_{R_p})$  równą:  $\tau_p = 22,0$  s. Wartości wyznaczonych w ten sposób na podstawie wzorów (4a) – (4c) współczynników  $\alpha_\zeta^x$  zestawiono w tabeli 2.

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

Wartości współczynników  $\alpha_\zeta^x$  wyznaczonych w sposób doświadczalny (por. tabela 1) i wartości oszacowane w sposób obliczeniowy (por. tabela 2) są porównywalne. Oznacza to, że zastosowany do wyznaczenia wartości tych współczynników model matematyczny wzorca RC izolacji elektrycznej [1,2,3] jest poprawny. Modyfikacja konstrukcji takiego wzorca, umożliwiającą przy tym pomiarowe wyznaczenie stałej czasowej  $\tau_p$  gałęzi absorpcyjnej wzorca RC (por. rys. 3b), ma charakter uniwersalny i może być łatwo zaadaptowana dla



przypadku budowy wzorca RC izolacji elektrycznej o innej strukturze (np. z uwzględnieniem 2 lub 3 gałęzi absorpcyjnych).

Tabela 2

Teoretyczne oszacowanie wartości współczynników  $a_{\zeta}^X$  dla prostych regresji typu  $\delta_{\zeta}^X = a_{\zeta}^X \cdot \zeta + b_{\zeta}^X$

przy zmianach  $\zeta = \{U_{lad} \text{ lub } t_{lad} \text{ lub } t_r\}$

$a_{\zeta}^X$				
$\zeta$ ↓	$X \Rightarrow$	$\left. \frac{du_p}{dt} \right _{t \rightarrow 0}$	$t_{p \max}$	$U_{p \max}$
	$U_{lad}$	1,11 %/V	0 %/V	1,11 %/V
	$t_{lad}$	3,06 %/s	0 %/s	3,06 %/s
	$t_r$	-4,54 %/s	0 %/s	-4,54 %/s

Dodatkowe wnioski szczegółowe są tutaj następujące. Współczynnik  $a_{\zeta}^{t_{p \max}}$  przyjmuje najmniejszą wartość niezależnie od występującej wielkości wpływowej  $\zeta$ , natomiast współczynniki  $a_{\zeta}^X$  przyjmują najmniejsze wartości jednocześnie dla wszystkich mierzonych parametrów  $X$  napięć powrotnych, kiedy to wielkością wpływową jest  $\zeta = U_{lad}$ . Ewentualną, dalszą minimalizację wartości pozostałych współczynników  $a_{t_{lad}}^X$  i  $a_{t_r}^X$  można uzyskać na drodze odpowiedniego doboru wartości stałej czasowej  $\tau_p$  gałęzi absorpcyjnej wzorca RC izolacji elektrycznej przy wykorzystaniu relacji (4b) i (4c):  $a_{t_{lad}}^X(\tau_p) \rightarrow Min$  i  $a_{t_r}^X(\tau_p) \rightarrow Min$ .

## Literatura

1. Guzik J.: *Analiza czteroelementowego wzorca RC izolacji elektrycznej z przeznaczeniem do sprawdzania mierników napięć powrotnych*. ZN Politechniki Rzeszowskiej, Elektrotechnika, z.25, Rzeszów 2003, s. 95-104.
2. Guzik J.: *Uogólniony model matematyczny wzorca izolacji elektrycznej do sprawdzania wskazań mierników napięć powrotnych*. Materiały konferencyjne XXXVI Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów MKM'2004, Ustroń, 21 – 23.06.2004, s. 183-190.

3. Guzik J.: *Aktywny układ do sprawdzania wskazań mierników napięć powrotnych*. ZN Politechniki Rzeszowskiej, Elektrotechnika, z. 27, Rzeszów 2004, s. 65-74.
4. Skubis T.: *Podstawy metrologicznej interpretacji wyników pomiarów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
5. Smolka G.: *Model wzorca RC przydatnego do sprawdzania wskazań mierników napięć powrotnych*. Praca dyplomowa inżynierska, Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
6. Szadkowski B., Tokarski J., Guzik J.: *Miernik napięć powrotnych – budowa i wzorcowanie* „Pomiary, Automatyka, Kontrola” 2004, Nr 6, s. 17-21.
7. Wodziński J.: *Wysokonapięciowa technika prób i pomiarów*, WNT, Warszawa 1997.

Recenzent: Dr hab. inż. Adam Kowalczyk, prof. Politechniki Rzeszowskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 7 grudnia 2004

## Abstract

The paper presents the mathematical model of electrical insulation RC based standard using for analysis of the influence of chosen parameters  $\zeta$  (e.g. charging voltage  $U_{lad}$ , charging time  $t_{lad}$  and discharging time  $t_r$ ) on the measured  $X(\zeta)$  return voltage parameters

(see Fig.1b):  $\left. \frac{du_p(t)}{dt} \right|_{t \rightarrow 0}$ ,  $U_{p \max}$  and  $t_{p \max}$ . The suitable coefficients  $a_{\zeta}^X$ , being the

coefficients of regression function  $\delta_{\zeta}^X = a_{\zeta}^X \cdot \zeta + b_{\zeta}^X$ , linearizing the relative error

$\delta_{\zeta}^X = \frac{X(\zeta) - X(\zeta_0)}{X(\zeta_0)} \cdot 100\%$  (see Fig. 2a - 2c), where  $\zeta_0$  is the central value of influencing

parameters  $\zeta$ . In further analysis the coefficient values  $a_{\zeta}^X$  appointed by means of experiment

(table 1) and theory (table 2) were placed. The good agreement between experimental and theoretical results testifies the correctness of applied electrical insulation RC based standard

(see Fig. 1c and Fig. 3a). The coefficient  $a_{\zeta}^{t_{p \max}}$  achieves smallest value beside influencing

parameters  $\zeta$ , however coefficients  $a_{\zeta}^X$  accept simultaneously the smallest values for all

measured return voltage parameters  $X$  when the influencing parameter is  $\zeta = U_{lad}$ . In case of need, further minimization of remaining coefficients  $a_{t_{lad}}^X$  and  $a_{t_r}^X$  is possible by way of

suitable selection of time constant  $\tau_p$  (of absorption branch of electrical insulation RC based standard) using of equations (4b) and (4c):  $a_{t_{lad}}^X(\tau_p) \rightarrow Min$  and  $a_{t_r}^X(\tau_p) \rightarrow Min$ .

Additionally, the measurement of time constant  $\tau_p = (R_p // R_L // R_{C_p}) \cdot (C_p + C_L + C_{R_p})$  is possible in modified real (from regard of applied screening system) electrical insulation RC based standard circuit (compare Fig. 1c with Fig. a) presented on Fig. 3b.