

Ryszard KUBAŃSKI

WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE OPTYMALIZACJI OBWODÓW UZIEMIENIA  
I KONTROLI IZOLACJI W ELEKTRYCZNEJ APARATURZE PRZECIW WYBUCHOWEJ  
DO 1000 V (1140 V)

**Streszczenie.** Przedstawiono metodę uproszczonej oceny wartości rezystancji uziemienia w zależności od wartości napięcia zasilania i wartości rezystancji uszkodzenia izolacji jednofazowej w sieci trójfazowej (jednofazowej) izolowanej.

Omówiono zasadę pomiaru wartości rezystancji uziemienia i rezystancji izolacji w funkcji napięcia zasilania.

Z analizy zawartej w referacie wynika, że rezystancja nominalna uziemienia powinna posiadać wartość stałą, a rezystancja nominalna izolacji wartość zależną od nominalnego napięcia zasilania.

Wprowadzenie zasady pomiaru rezystancji uziemienia i rezystancji izolacji w funkcji napięcia zasilania byłoby podstawą do budowy nowego urządzenia przeciwporażeniowego.

Zaproponowano uzupełnienie do norm PN-82/G-3800 i BN-83/3008-02, dopuszczające zmiany wartości rezystancji nominalnych uziemienia i izolacji w przedziale (0,85-1,1) z tolerancją -20%.

## WSTĘP

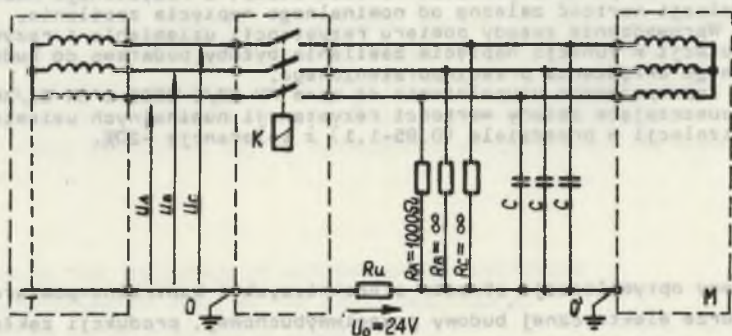
Problemy optymalizacji obwodów sterowniczych i kontrolno-pomiarowych w aparaturze elektrycznej budowy przeciwybuchowej, produkcji zakładów APATOR w Toruniu, są bardzo ważne z uwagi na potrzebę doskonalenia wyrobów i konkurencyjności na rynkach zagranicznych. Celowe więc jest teoretyczne rozważenie podstaw budowy wyrobów i ich podzespołów, służące tworzeniu konstrukcji funkcjonalnych, bezpiecznych, o wysokiej jakości.

### 1. METODA UPROSZCZONEJ OCENY WARTOŚCI DOPUSZCZALNYCH REZYSTANCJI UZIEMIENIA

W przedstawionych dalej rozważaniach przyjęto następujące założenia:

1. W sieci trójfazowej, z izolowanym punktem gwiazdowym transformatora, w warunkach normalnych żyły robocze znajdują się pod napięciem fazowym względem ziemi.
2. Potencjał punktu gwiazdowego jest równy zero.
3. Doziemne pojemności i upływności cząstkowe odpowiednich odcinków kabli można "myślowo" skupić w wybranych punktach sieci i uważać, że tworzą

- one sztuczny punkt zerowy (realna sieć izolowana nabiera wtedy cech zbliżonych do sieci uziemionej).
4. W sieci jest zainstalowane centralne zabezpieczenie upływowe (CZU), które zgodnie z p. 3.9.4 normy PN-83/3008-02 wyłączy uszkodzony odcinek sieci przy rezystancji uszkodzenia o wartości  $1 \text{ k}\Omega$  w czasie poniżej  $0,1 \text{ sek}$  dla napięcia  $1140 \text{ V}$ .
  5. Pomija się wpływ napięcia pomiarowego iskrobezpiecznego obwodu do kontroli rezystancji uziemienia, z tym że napięcie pomiędzy izolowanym punktem gwiazdowym transformatora sieciowego a ziemią nie przekroczy  $24 \text{ V}$ .
  6. Obliczenia będą przeprowadzone dla napięć  $1140 \text{ V}$ ,  $1000 \text{ V}$ ,  $660 \text{ V}$ ,  $500 \text{ V}$ ,  $220 \text{ V}$  i  $42 \text{ V}$  przy założeniu, że maksymalna pojemność przewodów wynosi  $2 \mu\text{F}/\text{fazę}$ , tj. odpowiada  $2,5 \text{ km}$  przewodu  $0\text{nG}$  o przekroju żył  $70 \text{ mm}^2$ .
  7. Wyniki analizy zostaną porównane z wymaganiami p. 4.4.2d normy PN-82/G-3800, zgodnie z którymi dla napięć do  $1000 \text{ V}$  rezystancja uziemienia nie powinna przekroczyć  $100 \Omega$ , dla napięcia  $1140 \text{ V}$  nie powinna przekroczyć  $50 \Omega$ .



Rys. 1. Schemat ideowy układu pracy łącznika i silnika w sieci izolowanej  
 Fig. 1. Work system schematic diagram of the switch and the motor in the isolated neutral system

Dla układu wg rys. 1 wzór na napięcie  $U_0$  przyjmie postać

$$U_0 = \frac{Y_A \cdot U_A + Y_B \cdot U_B + Y_C \cdot U_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} \quad (1)$$

$$Y_0 = \frac{Y_A \cdot U_A + Y_B \cdot U_B + Y_C \cdot U_C}{U_0} - (Y_A + Y_B + Y_C)$$

gdzie:

$$U_A = U_f; \quad U_B = U_f \left( -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right); \quad U_C = U_f \left( -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right); \quad Y_B = Y_C = Y$$

$$Y_0 = \frac{Y_A \cdot U_f + Y \cdot U_f \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{U_0} = \frac{Y_A + 2Y}{U_0}$$

$$Y_0 = \frac{U_f}{U_0} (Y_A - Y) - (Y_A + 2Y)$$

$$Y_0 = \frac{U_f}{U_0} (Y_A - Y) - (Y_A - Y) + 3Y$$

$$Y_0 = \left(\frac{U_f}{U_0} - 1\right) \cdot (Y_A - Y) + 3Y$$

gdzie:

$$U_0 = U_0$$

$$Y_A = G_A + jB_C$$

$$Y = jB_C$$

$$Y_0 = \left(\frac{U_f}{U_0} - 1\right) \cdot (G_A + jB_C - jB_C) + j3B_C$$

$$Y_0 = \left(\frac{U_f}{U_0} - 1\right) \cdot \frac{1}{R_A} + j3 \cdot B_C \quad (2)$$

Z analizy i obliczeń wynika, że dla  $C \leq 2 \mu F$ 

$$3 B_C \ll \left(\frac{U_f}{U_0} - 1\right) \cdot \frac{1}{R_A};$$

możemy ze względów praktycznych człon  $j3B_C$  we wzorze (2) pominąć, (przy błędzie  $\sim 0,3\%$ ).

Wprowadzając do wzoru (2)

 $R_A = R_1$  - rezystancja uszkodzonej izolacji, $U_f = U$  - dla układu jednofazowego, $U_f = \frac{U}{\sqrt{3}}$  - dla układu trójfazowego, $R_U = \frac{1}{Y_0}$  - rezystancja uziemienia,

1,2 - współczynnik wzrostu napięcia zasilania o 20%, otrzymamy wzory (3) i (4)



$$R_U = \frac{1}{\frac{1,2 U}{U_0} - 1} \cdot R_i \quad \text{dla układu jednofazowego} \quad (3)$$

$$R_U = \frac{1}{\frac{1,2 U}{\sqrt{3} U_0} - 1} \cdot R_i \quad \text{dla układu trójfazowego} \quad (4)$$

Obliczone wartości rezystancji uziemienia dla różnych napięć i rezystancji uszkodzenia izolacji 1000  $\Omega$  zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Napięcie zasilania (V)	1140	1000	660	500	220	42 <sup>x)</sup>
$U_0$ (V)	24	24	24	24	24	24
$R_i$ ( $\Omega$ )	1000	1000	1000	1000	1000	1000
$R_U$ ( $\Omega$ )	31	36	55	74	185	909

<sup>x)</sup> dla układu jednofazowego

Obliczenie wartości rezystancji uziemienia dla różnych napięć i rezystancji uszkodzenia izolacji równej rezystancji nastawy centralnego zabezpieczenia upływowego zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Napięcie zasilania (V)	1140	1000	660	500	220	42 <sup>x)</sup>
$U_0$ (V)	24	24	24	24	24	24
$R_i$ (k $\Omega$ )	60	50	30	25	10	1100
$R_U$ ( $\Omega$ )	1860	1773	2205	1838	1845	1000

<sup>x)</sup> dla układu jednofazowego.

Z analizy danych i obliczeń zawartych w tablicach 1 i 2 wynika:

1<sup>o</sup> Przyjmując, jako kryteria wymagania:

- a) normy EN-83/3008-02, że CZU musi spowodować wyłączenie napięcia, jeśli rezystancja spadnie do 1000  $\Omega$  w czasie 0,1 sek. dla sieci do 1000 V i 0,07 sek dla sieci do 1140 V,

- b) normy PN-82/G-3800, że rezystancja uziemienia nie może być mniejsza od  $100 \Omega$  dla napięć do 1000 V i mniejsza od  $50 \Omega$  dla napięć powyżej 1000 V, do 1140 V możemy stwierdzić, że wyniki obliczeń w tabeli 1 wg wzoru (3) i (4) potwierdzają wymagania zawarte w obu normach.
- 2<sup>o</sup> Przyjmując za kryterium wymagania normy BN-83/3008, że CZU musi niezależnie spowodować wyłączenie napięcia przy rezystancji zadziałania zgodnie z tabelicą 2 tej normy, "łagodzimy" wymagania dotyczące czasu zadziałania i wyłączenia spod napięcia do ok. 0,2 sek. [3].  
Wówczas rezystancja uziemienia obliczona według wzoru (3) i (4) wyniesie dla napięć powyżej 220 V  $\sim 1,8 \text{ k}\Omega$ , natomiast dla napięcia 42 V wynosi  $1000 \Omega$ .  
Zatem słuszne dla takiego założenia było przyjęcie wartości -  $600 \Omega$ , jako rezystancji uziemienia.  
W tym zakresie nie jest realizowane wymaganie normy PN-82/G-3800.
- 3<sup>o</sup> Z analizy kryteriów 1<sup>o</sup> i 2<sup>o</sup> oraz wymagań obu wymienionych norm, można sformułować tezę, że rezystancja nominalna uziemienia powinna posiadać wartość stałą, a rezystancja nominalna izolacji wartość zależną od napięcia zasilania.  
Wprowadzenie zasady pomiaru rezystancji uziemienia i rezystancji izolacji w funkcji napięcia zasilania byłoby podstawą do budowy nowego urządzenia przeciwporażeniowego.

## 2. ZASADA POMIARU REZYSTANCJI UZIEMIENIA I REZYSTANCJI IZOLACJI W FUNKCJI NAPIĘCIA ZASILANIA

Przyjęto następujące założenia:

- 1<sup>o</sup> Rezystancja uziemienia posiada wartość stałą dla znamionowego napięcia zasilania, np.: zgodnie z PN-82/G-3800 będzie wynosić  $50 \Omega$ .
- 2<sup>o</sup> Rezystancja izolacji będzie iloczynem rezystancji uziemienia i liczby równej wartości bezwzględnej napięcia zasilania.

W tabelicy 3 zestawiono wyniki obliczeń dla typowych napięć znamionowych.

Tabela 3

Napięcie $U_n$ zasilania (V)	1140	1000	660	500	220	42
$R_{u_n} (\Omega)$	50	50	50	50	50	50
$R_{i_n} (\text{k}\Omega)$ (obliczeniowa)	57	50	33	25	11	2,1
$R_{i_n} (\text{k}\Omega)$ wg BN-83/3908-02	60	50	30	25	10	-

Z analizy tablicy 3 wynika, że rezystancje znamionowe izolacji, obliczone dla wartości znamionowych napięć, są zgodne z wymaganiami normy BN-83/3008-02.

Przyjęta generalnie wartość rezystancji uziemienia  $R_{u_n} = 50 \Omega$  jest wymagana dla napięcia znamionowego 1140 V. Stąd do rozważań przyjęto wymaganie najbardziej ostre, zgodne z PN-82/G-3800.

Wcześniejsze analizy [2, 3 i 4] przeprowadzono dla dwóch skrajnych przypadków:

- 1<sup>o</sup> "Optymistycznego", kiedy zabezpieczenia upływowe działają niezawodnie, przy rezystancji pomiarowej zadziałania.  
Na tej podstawie wartość rezystancji [2, 4] ustalono na 600  $\Omega$ .
- 2<sup>o</sup> "Pesymistycznego" [4], kiedy zabezpieczenia upływowe są zawodne, a ciężar ochrony przeciwporażeniowej spoczywa na układzie kontroli rezystancji uziemienia i sterowania z samoczynną kontrolą rezystancji obwodu sterowniczego. Wyliczona w ten sposób wartość rezystancji uziemienia dla napięcia znamionowego 1000 V wynosi 20  $\Omega$ .

Do dalszej analizy wprowadzono zależności wg wzoru:

$$k \cdot R_u \leq U < c \cdot R_i, \quad (5)$$

gdzie:

$$k = \frac{U}{R_{u_n}} \quad - \text{prądowy współczynnik uziemienia,}$$

$U_n$  - znamionowe napięcie,

$R_{u_n}$  - znamionowa rezystancja uziemienia,

$R_u$  - rezystancja uziemienia,

$U = (0,85 \div 1,1) U_n$  - napięcie pracy urządzenia,

$$c = \frac{U_n}{R_{i_n}} \quad - \text{prądowy współczynnik izolacji,}$$

$R_{i_n}$  - znamionowa rezystancja izolacji,

$R_i$  - rezystancja izolacji.

Stąd:

$$R_u \leq \frac{U}{k} < \frac{c}{k} \cdot R_i, \quad (6)$$

$$R_u \leq R_{u_n} \cdot \frac{U}{U_n} < c \cdot \frac{R_u}{U_n} \cdot R_i. \quad (7)$$

Podstawiając do wzoru (7):

$$R_{u_n} = 50 \Omega,$$



$$\frac{U}{U_n} = (0,85 \div 1,1),$$

$$c = \frac{U_{n1}}{R_{1n1}} = \frac{U_{n2}}{R_{1n2}} = \dots = \frac{U_n}{R_{1n}} = 20 \left( \frac{V}{k\Omega} \right),$$

otrzymamy

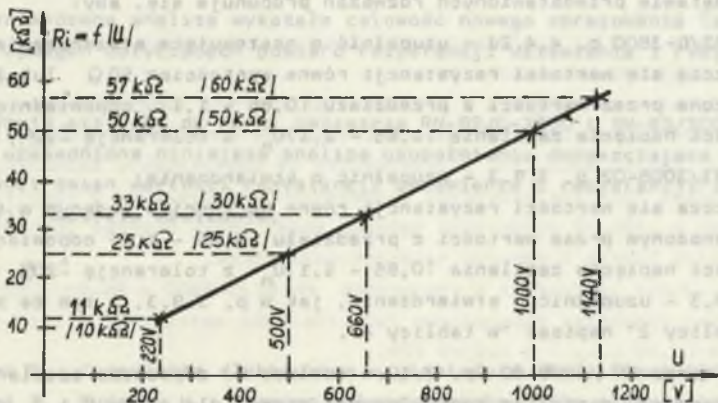
$$R_u < 50(0,85 \div 1,1) \Omega < \frac{1000}{(U_n)} \cdot R_1. \quad (8)$$

Stąd:

$$R_u < 50(0,85 \div 1,1) \Omega, \quad (9)$$

$$R_1 < 0,05(0,85 \div 1,1) \cdot (U_n) k\Omega. \quad (10)$$

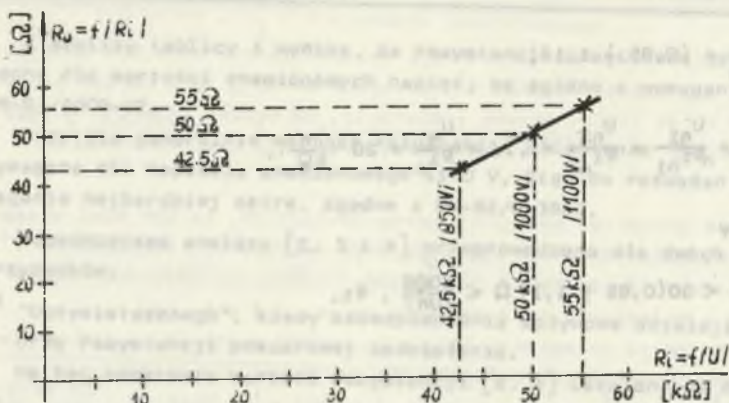
Na rys. 2 przedstawiono zależności wg tablicy 3. Linioowa zależność rezystancji izolacji od napięcia zasilania daje podstawę do budowy urządzenia przeciwporażeniowego, w którym wzorcowe rezystancje izolacji będą funkcjami napięć  $U = (0,85 - 1,1)U_n$ .



Rys. 2. Charakterystyka rezystancji izolacji  $R_i = f(U)$  w funkcji napięcia zasilania - w nawiasach podano wartości wg BN-83/3008-02

Fig. 2. Electric insulation resistance characteristic  $R_i = f(U)$  in rated voltage function - in the brackets to announce of BN-83/3008-02 standards

Z analizy (wzór (9) i (10)) wynika, że rezystancja uzziemienia jest zależna od rezystancji izolacji, co zilustrowano na rys. 3 dla napięcia zasilania 1000 V.



Rys. 3. Charakterystyka rezystancji uziemienia  $R_u$  w funkcji rezystancji izolacji  $R_i = f(U)$

Fig. 3. Resistance to earth characteristic  $R_u$  in insulation resistance function  $R_i = f(U)$

### 3. PROPONOWANE UZUPEŁNIENIA DO NORM

Na podstawie przedstawionych rozważań proponuje się, aby:

- w PN-82/G-3800 p. 4.4.2d - uzupełnić o następujące stwierdzenie:  
Dopuszcza się wartości rezystancji równe wartościom  $50\Omega$  lub  $100\Omega$  pomnożone przez wartości z przedziału  $(0,85 - 1,1)$ , odpowiednio do wartości napięcia zasilania  $(0,85 - 1,1)U_n$  i tolerancją  $\pm 20\%$ ,
- w PN-83/3008-02 p. 3.9.3 - uzupełnić o stwierdzenie:  
Dopuszcza się wartości rezystancji równe wartościom podanym w tabelicy 2, pomnożonym przez wartości z przedziału  $(0,85 - 1,1)$  odpowiednio do wartości napięcia zasilania  $(0,85 - 1,1)U_n$  z tolerancją  $\pm 20\%$ .  
P. 3.9.3 - uzupełnić o stwierdzenie, jak w p. 3.9.3, z tym że zamiast "w tabelicy 2" napisać "w tabelicy 4".

Poza tym norma BN-/3008-02 (p. 3.10.4 tablica 5) dopuszcza zasilanie obwodu pomiarowego napięciem kontrolowanej sieci, dla grupy 2 i 3, co jest zgodne [8] z rozwiązaniami zabezpieczeń upływowch w Związku Radzieckim.

Wprowadzenie proponowanych uzupełnień uprości technicznie uzasadnione niniejszą analizą wymagania (konstrukcyjne), poprawi niezawodność tych urządzeń oraz automatycznie przywróci im logikę w działaniu.

Dotyczy to zwłaszcza kłopotliwej, a zbędnej stabilizacji napięć obwodów pomiarowych tych urządzeń.

Z punktu widzenia gospodarczego zmniejszy się ilość materiałów, a może przyczynić się do lepszego wykorzystania miejsca w obudowach aparatury przeciwwybuchowej [7], tym bardziej, że ilość wymagań z różnych powodów - z reguły uzasadnionych technicznie - rośnie.



Typowe wymagania dotyczące obwodów kontrolujących rezystancję uziemienia i izolacji przedstawiono poniżej.

Są to zebrane wymagania norm, klientów zagranicznych i jednostek atestacyjnych. Zgodnie z tymi wymaganiami należy kontrolować:

- rezystancję uziemienia aparat - silnik,
- rezystancję izolacji odcinka sieci, łącznik (stycznik) aparatu - silnik w stanie bez napięcia i pod napięciem,
- rezystancję izolacji obwodów 220 V, 127 V, wychodzących na zewnątrz aparatów w stanie sieci pod napięciem (np.: OZTU),
- rezystancję izolacji obwodów 220 V, 127 V wychodzących na zewnątrz aparatów w sieci bez napięcia,
- rezystancję izolacji obwodów 42 V,
- rezystancję izolacji iskrobezpiecznego obwodu sterowniczego (wg poglądów zaznaczonych w publikacji [3]).

Aparatura produkowana obecnie nie spełnia wymagań 6 i 7 i częściowo 1 (600  $\Omega$  zamiast 50  $\Omega$ , lub 100  $\Omega$ ) i 2 (kontrola w sieci pod napięciem).

#### PODSUMOWANIE

1. Przeprowadzona analiza wykazała celowość nowego opracowania (sformułowania) wymagań dotyczących pomiaru rezystancji uziemienia i rezystancji izolacji.

2. Proponuje się, aby do norm, zwłaszcza PN-82/G-3800 i BN-83/3008-02, wprowadzić uzasadnione niniejszą analizą uzupełnienia dopuszczające proporcjonalności zmian wartości rezystancji uziemienia i rezystancji izolacji w funkcji napięcia zasilania.

#### LITERATURA

- [1] Krasucki F.: Zagrożenia elektryczne w górnictwie. Wyd. Śląsk 1984.
- [2] Kowalski Z., Pudełko H.: Sterownik kontaktronowy jako element bezpieczeństwa eksploatacji sieci elektroenergetycznych podziemni kopalni, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 7(68) - lipiec 1974.
- [3] Kowalski Z.: Oddziaływanie zewnętrzne na obwody sterownicze w górniczych sieciach elektroenergetycznych i metoda obliczeniowa uproszczonego układu zastępczego. Przegląd Elektrotechniczny nr 11.1978 r.
- [4] Kowalski Z.: Środki techniczne realizacji obostrzeń ochrony przeciwporażeniowej w górniczych zestawach łączeniowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 9/153 1981.
- [5] BN-83/3008-02 Zabezpieczenia upływowe dla kopalnianych sieci elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu do 1200 V. Ogólne wymagania i badania.
- [6] PN-82/G-3800 Urządzenia elektryczne górnicze w wykonaniu normalnym. Ogólne wymagania i badania.

- [7] Kubanski R., Olek I.: Struktura produkcji elektrycznej aparatury przeciwwzbuchowej w PZAE EMA APATOR w Toruniu i jej wpływ na materiałochłonność - opracowanie dla MGN, Toruń, sierpień 1986 (niepublikowane).
- [8] Бетличный Н.И.: Электропривод электроснабжение горных машин. Издательство "Недра", Москва 1968.

Recenzent: Prof. Władysław CLUZIŃSKI

Wojnyła do Redakcji w styczniu 1987 r.

### ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В ВОЗВУШНЫХ ЭЛЕКТРОБОРУДОВАНИИ ДО 1000 (1140) В

#### Р е з ю м е

В докладе представлен метод оценки, касающийся значения сопротивления заземления в зависимости от значения напряжения питания и значения сопротивления повреждения однофазной изоляции в трехфазной (однофазной) изолированной сети.

Изложен принцип измерения сопротивления заземления и сопротивления изоляции в функции напряжения питания.

Из анализа изложенного в докладе следует, что номинальное сопротивление заземления должно быть постоянным а значение номинального сопротивления изоляции должно находится в зависимости от номинального напряжения питания.

Введение принципа измерения сопротивления заземления и сопротивления изоляции в функции напряжения питания может стать основой построения нового устройства против поражения электрическим током.

Предложено дополнения к стандартам PN-82/G-3800 и EN-83/3008-2 допускающие изменения номинальных сопротивлений заземления и изоляции в интервале (0,85 - 1,1) и допуск 20%.

### SELECTED PROBLEMS OF THE OPTIMISATIONS OF RESISTANCE TO EARTH INSULATIONS RESISTANCE IN ELECTRIED FLAMOPROST APPARATUS UNDER 1000 V

#### S u m m a r y

The paper present estimate simplified method concerning resistance to earth value in dependence to supply voltage and insulation value damage single-phase in three-phase isolated neutral system.

Discussion measure principle of resistance to earth value and insulation resistance in supply voltage function.

From analysis consequence of paper that rated resistance to earth should have stable value and rated insulation resistance depends from rated supply voltage.

Introducing measure principle of the resistance to earth and insulation resistance in rated voltage funktion will be the base for the construction of the antyparalisys antielectricshock device.

The paper propos supplements to PN-82/G-3800 and BN-83/3008-02 standards to be open of the rated resistance to earth and insulation resistance in interval (0,85 - 1,1) and specified tolerance  $\pm 20\%$ .

Wprowadzenie. W artykule przedstawiono zasady wyznaczania wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wykazano, że rezystancja izolacji i rezystancja do ziemi zależą od napięcia znamionego. Wskazano na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wskazano również na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wskazano również na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi.

1. WSTĘP

Wskazano na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wskazano również na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wskazano również na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi.

Wskazano na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wskazano również na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi. Wskazano również na konieczność uwzględnienia tych zależności przy wyznaczaniu wartości rezystancji izolacji i rezystancji do ziemi.