



Alfred J. Kałużny^{*}, A. K. H. Awid^{**}, Andrzej Grabowski^{***}

MODEL DYNAMICZNYCH ZMIAN STANU POWIERZCHNI IZOLATORÓW W REJONACH ZABRUDZENIOWYCH

Streszczenie: Stan powierzchni izolatorów napowietrznych wysokiego napięcia w rejonach o zwiększonych parametrach narażeń zabrudzeniowych zmienia się w funkcji czasu eksploatacji oraz rodzaju i intensywności oddziaływania naturalnych czynników środowiskowych. W referacie podjęto próbę opracowania modelu matematycznego zmian stanu powierzchni izolatora z uwzględnieniem losowej zmienności czynników narażeń środowiskowych. Model ten w zależności od losowego charakteru zmian parametrów narażeń zabrudzeniowych pozwala wyznaczyć przedział możliwych zmian konduktywności powierzchniowej w czasie $\kappa_p(\vartheta)$ eksploatacji.

Słowa kluczowe: izolatory napowietrzne, narażenia środowiskowe

1. Wprowadzenie

Aktualny stan wiedzy [1] w zakresie oceny zmian stanu powierzchni izolatorów napowietrznych w rejonach o zwiększonym narażeniu zabrudzeniowym pozwala na wyznaczenie konduktywności powierzchniowej izolatorów zadanej konstrukcji w określonym położeniu roboczym (pionowe, poziome). Zmiana konduktywności powierzchniowej izolatorów dla zadanego rodzaju narażeń zabrudzeniowych i atmosferycznych w funkcji czasu eksploatacji stanowi statyczną charakterystykę zabrudzeniową izolatorów napowietrznych $\kappa_p(\vartheta, t_e)$.

^{*} Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice

^{**} Kanada

^{***} GZE Gliwice, ul. Zabrska 6, 44-100 Gliwice

Losowy charakter zmiany parametrów narażeń środowiskowych (zabrudzeniowych i atmosferycznych) oraz możliwości zmian rodzaju i intensywności źródeł narażeń zabrudzeniowych stwarzają potrzebę oceny wpływu zmienności losowej tych parametrów na stan powierzchni izolatorów ceramicznych¹.

Charakterystyka stanu powierzchni izolatorów ceramicznych opisana funkcją konduktywności powierzchniowej zależnej od czasu eksploatacji umożliwia opracowanie merytorycznie uzasadnionej metody doboru układu izolacyjnego oraz badań symulacyjnych możliwości eksploatacyjnych izolacji przy zmianie liczby, rodzaju i intensywności źródeł narażeń zabrudzeniowych oraz losowych zmianach parametrów narażeń środowiskowych. Dotychczasowe metody doboru rodzaju układu izolacyjnego napowietrznego wysokiego napięcia [2] oparte są na wnioskach wynikających z wieloletnich obserwacji i badań wyników eksploatacyjnych, dla których brak jest uzasadnionych podstaw merytorycznych, które prowadzą do znacznego przewymiarowania napięciowego układu izolacyjnego. Trudno w tej sytuacji mówić o optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych izolatorów i układów izolacyjnych napowietrznego wysokiego napięcia. Lukę tę, zdaniem autorów, powinna wypełnić metoda modelowania stanu powierzchni izolatorów napowietrznego ceramicznego wysokiego napięcia.

2. Budowa modelu stanu powierzchni izolatorów

2.1. Założenia techniczne i kryteria modelu

Wykorzystując wieloletnie doświadczenia z eksploatacji i badań laboratoryjnych wielu ośrodków naukowo-badawczych i własnych, stosując zasady heurystyczne i wnioskowania analitycznego w pracy [1] opracowano założenia techniczne i kryteria analityczne parametrów modelu matematycznego opisującego stan powierzchni izolatorów ceramicznych. Opracowany w ten sposób statyczny model analityczny zmiany konduktywności powierzchniowej izolatorów w obszarach powierzchni nie czyszczonej przez bezpośrednie oddziaływanie deszczu i wiatru opisuje równanie (1):

$$\kappa_p(\vartheta) = \kappa_p(\vartheta)_{\max(5\%)} \frac{Q'_c z(1)}{\gamma} t_e(1) \delta_d \left(1 - \xi \frac{L_{ucz}}{L_u}\right) \vartheta_d \left(1 - e^{-\frac{t_e}{T}}\right) \quad (1)$$

gdzie:

$\kappa_p(\vartheta)_{\max(5\%)}$ — maksymalna wartość konduktywności wodnego roztworu zabrudzeń o częstości równej 5% w temperaturze ϑ oznaczona pomiarowo,

Q'_c — całkowita masa pyłu opadająca na m^2 w ciągu doby, jako funkcja wyznaczona z wielu pomiarów w zadanym rejonie eksploatacji,

$$Q'_c = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_{ci} t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i} \quad (2)$$

¹ Dla izolatorów kompozytowych mechanizm zmiany konduktywności powierzchniowej obejmuje również właściwości materiału zewnętrznej warstwy osłonowej.

$z(1)$ — zawartość cząstek rozpuszczalnych w całkowitej ilości zapylenia przy częstoci skumulowanej względnej równej jedności,

γ — gęstość masy zabrudzeń,

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i} \quad (3)$$

$t_e(1)$ — jednostkowy czas eksploatacji, określający pełny cykl zmian warunków meteorologicznych, równy jeden rok,

δ_d — współczynnik charakterystyczny opadu deszczu w rejonie eksploatacji,

$$\delta_d = \frac{1}{e^{\frac{m u}{W_d}}} \quad (4)$$

m — średnia liczba dni w roku z opadami o intensywności $\geq 0,1$ mm/min,

u — udział opadów deszczu okresu letniego w rocznej sumie opadów,

W_d — okres opadów letnich (IV–X),

ξ — częstoci deszczu o intensywności $\geq 0,1$ mm/min,

L_{ucz} , L_u — droga upływu bezpośrednio czyszczona deszczem i całkowita izolatora,

ν_d — współczynnik konduktywności wody deszczowej,

$$\nu = 1 + 0,1 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\kappa_{rzi} - \kappa_{wn}}{\kappa_{wn}} Z(\kappa_{rzi}) \quad (5)$$

κ_{rzi} — konduktywność wody deszczowej zmierzona [$\mu S/m$],

κ_{wn} — konduktywność wody deszczu normalnego (10000 [$\mu S/m$]),

$Z(\kappa_{rzi})$ — częstoci deszczu o określonej konduktywności,

T — stała czasowa funkcji opisującej zależnośc konduktywności powierzchniowej od czasu eksploatacji opisanej równaniem:

$$T = \frac{10^{-3}}{Q_{c(\max 5\%)} Z(1)} e^{-\delta_d \frac{L_{ucz}}{L_u}} [1 + \sin(45 - \alpha)], \quad (6)$$

t_e — czas eksploatacji izolatorów.

Ten model matematyczny opisu konduktywności powierzchniowej izolatora w obszarach nie poddanych bezpośrednio oddziaływaniu czynników czyszczących (deszcz i wiatr) pozwala na wyznaczenie charakterystyki zmian stanu powierzchni izolatora dla zadanych parametrów konstrukcyjnych i środowiskowych (zabrudzeniowych i meteorologicznych). Dynamika stanu powierzchni izolatora zależna jest od losowych zmian głównych parametrów narażeń środowiskowych.

Wykorzystanie wspomaganie komputerowego do badań dynamiki stanu powierzchni izolatorów w warunkach eksploatacyjnych umożliwiają generatory parametrów zmiennych losowo, wprowadzone do programu komputerowego modelu statycznego. Budowa generatorów parametrów zmiennych losowo w modelu analitycznym wg równania (1) wymaga pełnej znajomości właściwości losowych czynników narażeń środowiskowych.

2.2. Wyniki analizy statystycznej parametrów narażeń środowiskowych

Analizę statystyczną środowiskowych parametrów losowych zawartych w modelu statystycznym, przedstawionym równaniem (1), przeprowadzono przy wykorzystaniu pakietu programów STATGRAPHICS i programów własnych autorów [3, 4].

Dane przeznaczone do badań statystycznych stanowiły prace pomiarowe takich instytucji jak: Energopomiar Gliwice, Górnośląski Zakład Elektroenergetyczny Gliwice, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Sanepid Katowice i Atmoterm — Opole i stanowiły bardzo duże zbiory wyników pomiarów terenowych.

Niektóre zbiory wyników pomiarów terenowych wyznaczone były w bardzo długim, inne natomiast w znacznie krótszym przedziale czasu. Szczegółową analizą statystyczną objęto te parametry narażeń środowiskowych, które zdaniem autorów mają decydujący wpływ na intensywność tworzenia się i rozkład warstwy zabrudzeniowej na powierzchni izolatorów, jak:

- intensywność opadu pyłu Q_c ,
- konduktywność wodnych roztworów zanieczyszczeń $\kappa_p(\vartheta)$,
- gęstość masy zabrudzeń γ .

Wyniki badań statystycznych czynników narażeń środowiskowych z punktu widzenia zmiany stanu powierzchni izolatorów ceramicznych wysokiego napięcia zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analiz statystycznych głównych parametrów narażeń zabrudzeniowych w rejonie GOP-u

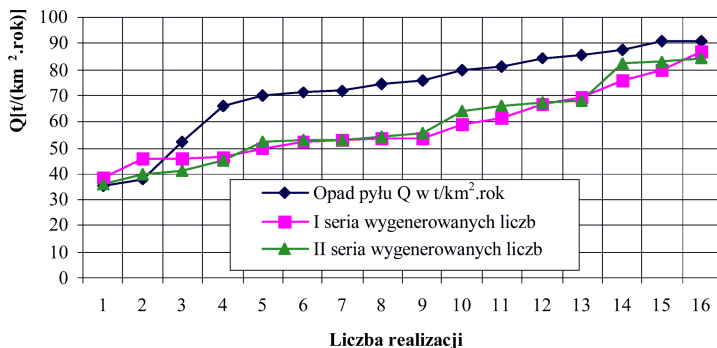
Parametr losowy zabrudzeniowy	Właściwości statystyczne parametru losowego		
	Rozkład	Zależność od czasu	Przynależność do jednej populacji generalnej
Opad zabrudzeń Q_c	zbliżony do logarytmiczno-normalnego	nie zależy	nie należą do jednej populacji generalnej
Konduktywność wodnego rozkładu zanieczyszczeń $\kappa_p(\vartheta)$	zbliżony do rozkładu normalnego	nie zależy	—
Gęstość masy zabrudzeń γ	zbliżony do rozkładu normalnego	nie zależy	—

W oparciu o właściwości statystyczne czynników środowiskowych opracowano generatory parametrów losowych, które generują wartości wielkości losowych, dla zadanych wartości zmierzonych w rejonie eksploatacji izolatorów.

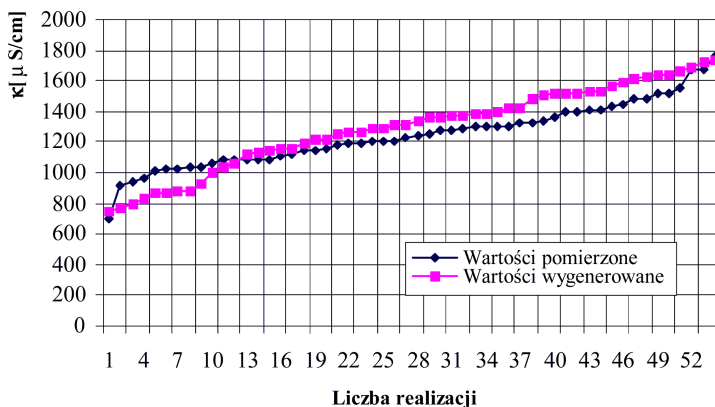
Wyniki badań symulacyjnych i pomiarów terenowych parametrów narażeń zabrudzeniowych dla przykładowego rejonu eksploatacji na terenie GOP-u zestawiono na rysunkach 1, 2 i 3.

3. Podsumowanie i wnioski

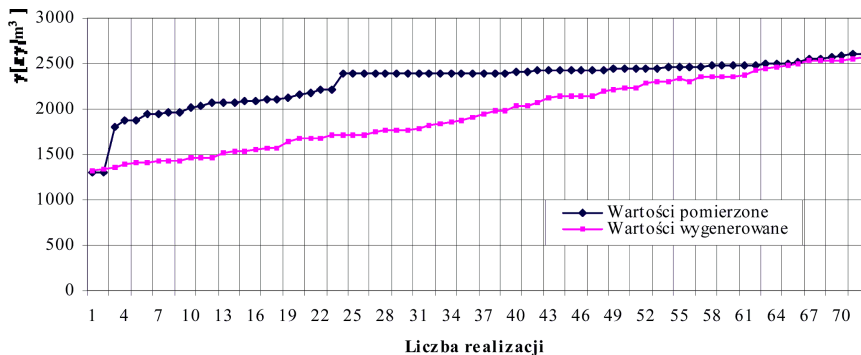
Badania statystyczne wieloletnich danych z pomiarów terenowych parametrów narażeń zabrudzeniowych pozwoliły na wiarygodne określenie charakterystyk ich



Rys. 1. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i pomiarów terenowych intensywności opadu pyłu w przykładowym rejonie GOP-u, uszeregowane wg wartości rosnących



Rys. 2. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i pomiarów terenowych konduktywności wodnego roztworu zabrudzeń w przykładowym rejonie GOP-u, uszeregowane wg wartości rosnących



Rys. 3. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i pomiarów terenowych gęstości masy zabrudzeń pyłowych w przykładowym rejonie GOP-u, uszeregowane wg wartości rosnących

zmiennosci losowej. Wyniki tych badan umozliwily opracowanie programow komputerowych generatorow wielkosci losowych narazen zabrudzeniowych, ktore wprowadzone do programu analitycznego modelu stanu powierzchni izolatorow daja mozliwosc opisu dynamicznych zmian konduktywnosci powierzchniowej izolatorow w czasie ich eksploatacji wraz ze zmianami parametrów narażeń środowiskowych. Model analityczny dynamicznych zmian stanu powierzchni izolatorów w rejonie zabrudzeniowym pozwala na bardzo duze ulatwienie i uproszczenie pracochlonnych i dlugotrwalych pomiarów terenowych parametrów narażeń środowiskowych. Wg procedury modelu dynamicznego wystarczy dokonac pomiarów jednokrotnych wielkosci losowych narażeń zabrudzeniowych i meteorologicznych, ktore wprowadzone do programu, umozliwiaja ciagla kontrole (monitoring) stopnia obnizania sie wlasciwosci elektrycznych napowietrznych ukladow izolacyjnych.

Procedury modelu dynamicznego opisu stanu powierzchni izolatorów napowietrznych w rejonach zabrudzeniowych umozliwia wlaczenie problematyki awaryjnosci zabrudzeniowej izolacji w struktury sterowania pracą systemu elektroenergetycznego i tym samym ograniczenie liczby stanów niewiadomych jego pracy.

Wyniki badan symulacyjnych modelu dynamicznych zmian stanu powierzchni izolatorów warunkuja wlasciwe dzialania optymalizacyjne zarowno w zakresie doboru napowietrznych ukladow izolacyjnych jak i warunków prowadzenia eksploatacji sieci elektroenergetycznych wysokiego napiecia.

Literatura

- [1] **Kałużny A.:** *Metody modelowe oceny własności izolatorów napowietrznych w.n. w warunkach zabrudzeniowych.* Z. N. Pol. Śl., ELEKTRYKA, z. 112, 1988
- [2] Norma PN-79/E-06303: *Urządzenia elektroenergetyczne w.n. Narażenia zabrudzeniowe izolacji napowietrznej i dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych*
- [3] **Awid A. K. H.,** *Badania statystyczne intensywności opadu pyłu na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.* Energetyka, nr 5, 1993
- [4] **Awid A. K. H., Kałużny A.:** *The statistical analysis of the biotop parameters of high voltage insulators dust exposure.* 8th International Symposium of High Voltage Engineering. Jokohama, Japan, 1993

MODEL OF DYNAMIC CHANGES OF THE SURFACE STATE OF H.V. INSULATORS IN POLLUTED AREAS

In this paper a new analytical model for qualifying of the surface state of h.v. insulators in polluted areas is presented. The dynamic changes model of the surface state of h.v. insulators is prepared for random environmental parameters.