



Jan C. STĘPIEŃ

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Intensywność awarii w funkcji czasu eksploatacji linii kablowych 15 kV wykonanych w izolacji z papieru i polietylenu

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki wieloletnich badań, w których dokonano oceny parametrów funkcji niezawodności kabli średniego napięcia, wykonanych w izolacji z papieru i polietylenu.

Abstract: (*Fault intensity versus the exploitation time of 15 kV cable lines in paper and polyethylene insulation*). Results of long-term investigations, where evaluation of reliability function parameters for medium voltage cables in paper and polyethylene insulation has been performed, are presented in the paper.

Słowa kluczowe: niezawodność, linie kablowe 15 kV, ocena funkcji niezawodności, intensywność awarii.

Keywords: reliability, cable lines 15 kV, evaluation of reliability function, fault intensity.

Wstęp

Ocena niezawodności obiektów nieodnawialnych dokonywana jest poprzez ocenę probabilistycznych charakterystyk zmiennej losowej T , określającej czas od chwili rozpoczęcia pracy obiektu do chwili jego uszkodzenia. Jest to inaczej czas poprawnej pracy obiektu do uszkodzenia lub także oczekiwana trwałość obiektu.

Niezawodność obiektu $R(t)$ jest mierzona przez wartość prawdopodobieństwa, poprawnej pracy obiektu przez czas t , czyli jest równa prawdopodobieństwu przyjęcia przez zmienną losową T wartości większej niż t , czyli [2]

$$(1) \quad R(t) = P\{T \geq t\}$$

gdzie: T – czas od chwili rozpoczęcia pracy obiektu do chwili jego uszkodzenia.

Wartość funkcji $R(t)$, jako funkcji wyrażającej prawdopodobieństwo występowania wartości zmiennej losowej t , zawiera się w zakresie $0 \leq R(t) \leq 1$.

Rozkład czasu poprawnej pracy do uszkodzenia T może być opisany za pomocą innych funkcji, takich jak [1,2]:

- dystrybucyjności czasu poprawnej pracy do uszkodzenia $F(t)$,
- gęstości prawdopodobieństwa $f(t)$,
- funkcji niezawodności $R(t)$,
- intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$,

Każda z tych, wymienionej wyżej funkcji, określa w sposób jednoznaczny zmienną losową T i determinuje postać pozostałych funkcji.

Dystrybuanta $F(t)$ czasu poprawnej pracy do uszkodzenia T jest to funkcja, która określa prawdopodobieństwo zdarzenia, że obiekt uszkodzi się w przedziale czasu $<0, t)$.

$$(2) \quad F(t) = P\{T < t\} = 1 - R(t)$$

Zajście zdarzenia $T < t$ jest równoznaczne z uszkodzeniem elementu, czyli $F(t)$ określa prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu przez czas t , stąd $F(t)$ nazywana jest również funkcją zawodności. Określa ona zawodność obiektu od początku jego eksploatacji, przy założeniu, że obiekt na początku eksploatacji był w stanie zdatności.

Ponieważ $F(t)$ i $R(t)$ są prawdopodobieństwami wzajemnie się wykluczającymi to ich suma jest równa jedności, czyli

$$(3) \quad R(t) + F(t) = 1$$

Wzór powyższy pozwala na wyznaczenie wartości jednej z funkcji przy znajomości wartości funkcji drugiej.

Funkcja niezawodności $R(t)$ posiada następujące własności:

- $R(t)$ – jest funkcją monotonicznie malejącą, co oznacza, że $R(t_2) \geq R(t_1)$, jeżeli $t_2 > t_1$ i spełnia równość $R(0) = 1$ oraz $R(\infty) = 0$,
- $R(t) \rightarrow 0$ jeżeli $t \rightarrow \infty$, co oznacza, że każdy element uszkodzi się z biegiem czasu.

Gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej T charakteryzującej rozkład czasu pracy elementu do uszkodzenia $f(t)$, jest to funkcja, która określa, że prawdopodobieństwo przyjęcia przez zmienną losową T wartości w przedziale t do $t + dt$, wynosi $f(t) dt$.

Funkcję $f(t)$ określa wzór

$$(4) \quad f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{t < T < t + \Delta t\}}{\Delta t}$$

Intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ jest funkcją wyrażającą względne pogorszenie się niezawodności elementu przypadające w jednostce czasu Δt . Wyraża ona warunkowe prawdopodobieństwo uszkodzenia się elementu w przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$, pod warunkiem, że w chwili t element był sprawny. Intensywność uszkodzeń jest lokalną (w sensie czasu) charakterystyką niezawodności (trwałości) elementu.

$$(5) \quad \lambda(t) = P\{T < t + \Delta t \mid T > t\}$$

Funkcja intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ uważana jest za podstawową charakterystykę czasu życia elementu.

Dla większości urządzeń technicznych przebieg funkcji intensywności uszkodzeń można podzielić na trzy okresy – adaptacji, normalnej eksploatacji i okres zużycia.

Zwiększona intensywność uszkodzeń w początkowym okresie eksploatacji obiektu jest wynikiem błędów

produkcyjnych lub niewłaściwym użytkowaniem urządzenia przez użytkownika. Okres ten nazywany jest czasem adaptacji. Po czasie adaptacji elementu występuje stosunkowo długi przedział czasowy, w którym intensywność uszkodzeń jest stała. W końcowym okresie eksploatacji intensywność uszkodzeń jest rosnąca. Wynika ona z procesów starzenia i zużycia elementu na skutek procesów tarcia, korozji itp.

Zakres i wyniki badań niezawodności kabli 15 kV

Badania intensywności awarii w funkcji czasu eksploatacji wykonane zostały dla kabli 15 kV w izolacji z papieru i polietylenu w sześciu próbach, w których sumaryczne liczebności awarii były następujące:

- Próba 1 – 489 awarii,
- Próba 2 – 560 awarii,
- Próba 3 – 341 awarii,
- Próba 4 – 210 awarii,
- Próba 5 – 314 awarii,
- Próba 6 – 277 awarii.

Próby 1 - 4 pobrano z systemów elektroenergetycznych dużych aglomeracji miejskich, próby 5 i 6 dotyczyły małych rejonów energetycznych.

Przy analizowaniu materiału statystycznego usunięto wszystkie przypadki awarii, które spowodowane były innymi przyczynami niż wynikającymi z procesów zużycia i starzenia.

Do oceny funkcji niezawodności posłużono się metodyką przedstawioną w [5].

Oceny parametrów funkcji niezawodności i intensywności awarii dokonano za pomocą siatek funkcyjnych, natomiast weryfikacji hipotezy o rozkładzie, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, za pomocą testu znaków [1,2].

W wyniku przeprowadzonych testów stwierdzono, że rozkłady wszystkich analizowanych funkcji można opisać za pomocą rozkładu Weibulla.

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu Weibulla ma postać [2]:

$$(6) \quad f(t) = \frac{v}{b} \left(\frac{t}{b}\right)^{v-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{b}\right)^v\right]$$

natomiast funkcja niezawodności

$$(7) \quad R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{b}\right)^v\right]$$

gdzie: b – parametr skali rozkładu Weibulla, v – parametr kształtu rozkładu Weibulla.

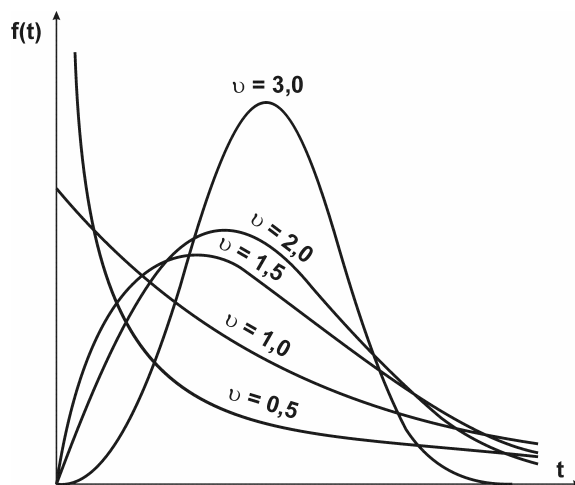
Przebiegi funkcji $f(t)$, w zależności od wartości parametru v przedstawiono na rys.1. Jak widać z rysunku 1 kształt funkcji $f(t)$ zależy od parametru kształtu v .

Funkcję intensywności uszkodzeń opisuje zależność

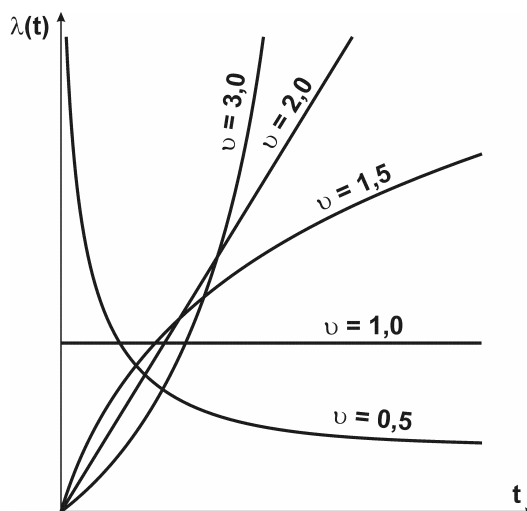
$$(8) \quad \lambda(t) = \frac{v}{b} \left(\frac{t}{b}\right)^{v-1}$$

Na podstawie analizy wyrażenia (8) można wykazać, że [2]: funkcja intensywności uszkodzeń rozkładu Weibulla $\lambda(t)$ zależy do wartości parametru v i tak: jeżeli $0 < v < 1$ to funkcja jest funkcją monotonicznie malejącą, jeżeli $v = 1$, to rozkład Weibulla przechodzi w rozkład wykładniczy i $\lambda(t) = \text{const}$ i gdy $v > 1$ – funkcja $\lambda(t)$ jest monotonicznie rosnącą.

Przebiegi funkcji $\lambda(t)$ rozkładu Weibulla w zależności od parametru v przedstawiono na rys.2.



Rys. 1. Funkcja gęstości rozkładu Weibulla $f(t)$ w zależności od parametru v



Rys. 2. Intensywność awarii rozkładu Weibulla $\lambda(t)$ w zależności od parametru v

W zależności od parametru kształtu v , rozkład Weibulla może opisywać intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ monotonicznie rosnącą, monotonicznie malejącą lub stałą. Z tego powodu rozkład ten znalazł szerokie zastosowanie przy opisie rozkładu trwałości elementów podlegającym złożonym procesom wpływającym na trwałość obiektu, w tym procesom starzeniowym [2].

Wynika badań i obliczeń parametrów rozkładu Weibulla opisującego badane próby przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Przy wyznaczaniu parametrów rozkładów na siatce rozkładu Weibulla [2], przyjęto skalę długości dla kabli o izolacji z polietylenu równą 100 m, natomiast dla kabli w izolacji z papieru 1 km.

Tabela 1. Parametry rozkładów funkcji niezawodności linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu w poszczególnych próbach losowych (na 100 m)

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
		b	u
1	Weibulla	7,40	1,55
2	Weibulla	12,0	1,85
3	Weibulla	9,20	1,47
4	Weibulla	12,0	1,88
5	Weibulla	7,20	1,20
6	Weibulla	16,5	1,24

Tablica 2. Parametry rozkładów funkcji niezawodności linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru w poszczególnych próbach losowych (na 1 km)

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
		b	u
1	Weibulla	12,0	3,28
2	Weibulla	12,0	2,24
3	Weibulla	9,0	2,30
4	Weibulla	13,0	3,35
5	Weibulla	13,0	2,33
6	Weibulla	11,0	2,14

Przebiegi funkcji intensywności awarii przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Ze względu na przyjętą skalę [1/km·a], przy wyznaczaniu wartości intensywności awarii przedstawionych na rysunkach 3 i 4 należało przeliczyć wartości przedstawione w tabelach do tego poziomu.

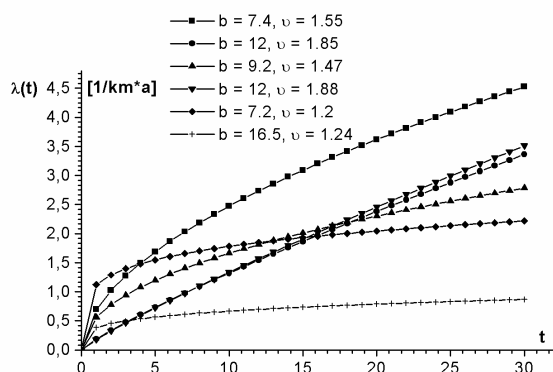
W związku z tym wartości intensywności awarii dla kabli w izolacji z polietylenu wyznaczano wg wzoru

$$(9) \quad \lambda(t) = 10 \frac{v}{b} \left(\frac{t}{b} \right)^{v-1}$$

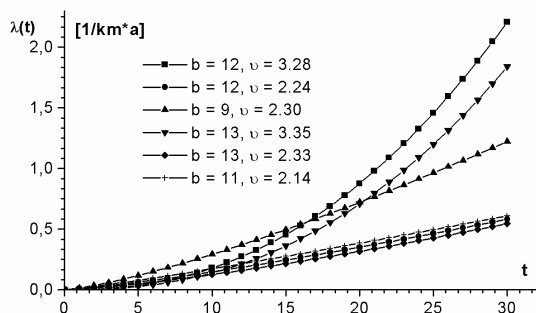
natomiast dla kabli w izolacji z papieru wg wzoru

$$(10) \quad \lambda(t) = \frac{v}{b} \left(\frac{t}{b} \right)^{v-1}$$

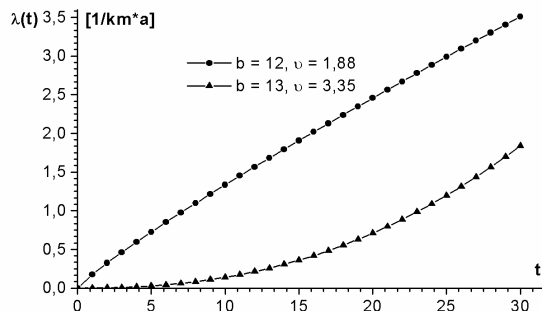
gdzie: b i v – parametry przedstawione w tabelach 1 i 2



Rys. 3. Intensywność awarii w funkcji czasu eksploatacji kabli wykonanych w izolacji z polietylenu



Rys. 4. Intensywność awarii w funkcji czasu eksploatacji kabli wykonanych w izolacji z papieru



Rys. 5. Porównanie typowych przebiegów intensywności awarii w funkcji czasu eksploatacji kabli wykonanych w izolacji z polietylenu i papieru

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i obliczeń można wysnuć wnioski nie tylko o wartościach funkcji intensywności awarii ale również o charakterze zmian tych funkcji.

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie typowych przebiegów intensywności awarii w funkcji czasu eksploatacji kabli wykonanych w izolacji z polietylenu i papieru. Wynikają z niego nie tylko relacje wartości, ale również charakteru zmian funkcji. Parametry kształtu rozkładów Weibulla opisujących intensywność awarii kabli w izolacji z polietylenu są mniejsze od dwóch co powoduje, że intensywność awarii tych kabli zmienia się prawie liniowo wraz z czasem eksploatacji. Parametry kształtu rozkładu Weibulla wyznaczone dla kabli w izolacji z papieru mają wartości większe od dwóch, stąd intensywność awarii ma szybszy przebieg. Pomimo tego, że względu na relacje pomiędzy współczynnikami b i v , intensywność awarii kabli z polietylenu jest dużo większa, dla tych samych lat eksploatacji, niż intensywność kabli wykonanych w izolacji z papieru.

LITERATURA

- [1] Bobrowski D., Maćkowiak-Łybacka K., Wybrane metody wnioskowania statystycznego. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1982.
- [2] Firkowicz S., Statystyczne badanie wyrobów. WNT, Warszawa 1975.
- [3] Stępień J.C., Analiza niezawodności eksploatacyjnej linii kablowych 15 kV. VIII Międzynarodowa Konferencja „Aktualne Problemy w Elektroenergetyce”, Gdańsk -Jurata, 11÷13 czerwca 1997 r. t.II, s.243÷250.
- [4] Stępień J.C., Niezawodność linii kablowych 15 kV wykonanych w izolacji polietylenowej, VI Symposium „Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia EUI'97”, Zakopane, 23÷25 października 1997 r, s.363÷368.
- [5] Stępień J.C., Metodyka oceny niezawodności linii kablowych, X Konferencja Szkoleniowo-Techniczna „Kabel 2003”, Szklarska Poręba, 11-14 marca 2003r. s. 52-54.
- [6] Stępień J.C., Ocena funkcji niezawodności linii kablowych 15 kV, IX Symposium „Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia EUI'03”, Zakopane, 9÷11 października 2003 r, s.199÷202.

Autor: prof. nadzw. dr hab. Jan C. Stępień. Politechnika Świętokrzyska, Samodzielny Zakład Podstaw Energetyki, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: jstepien@tu.kielce.pl.