

Badanie promieniowania ultrafioletowego generowanego przez wyładowania niezupełne powierzchniowe w powietrzu

Paweł Frącz

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów intensywności względnej promieniowania ultrafioletowego (UV) zmierzone dla modelu izolatora szklanego umieszczonego w powietrzu. Promieniowanie generowane było przez wyładowania niezupełne. Badano wpływ wartości napięcia generacji wyładowań na intensywność emitowanego promieniowania optycznego. Ponadto analizowano wpływ odległości czujnika pomiarowego od elektrody, do której przyłożono wysokie napięcie.

Słowa kluczowe: detekcja promieniowania ultrafioletowego (UV), układ wysokonapięciowy, diagnostyka wyładowań niezupełnych

W diagnostyce układów izolacyjnych napowietrznych przesyłowych linii elektroenergetycznych wysokiego i bardzo wysokiego napięcia wykorzystuje się analizę promieniowania generowanego w zakresie ultrafioletu (UV). Promieniowanie to generowane jest przez powstające na izolatorach linowych wyładowania niezupełne (WZN). W praktyce diagnostycznej wykorzystuje się najczęściej kamery z odpowiednimi filtrami promieniowania UV. Zaletą tego typu kamer jest możliwość stosunkowo dokładnej lokalizacji miejsc generacji WZN. Natomiast podstawową wadą jest ich stosunkowo wysoka cena, co powoduje, że nie mogą być one instalowane na dużej liczbie obiektów elektroenergetycznych. Obecnie wykorzystywane są w tym zakresie zarówno załogowe, jak również tańsze bezzałogowe helikoptery z zamontowanymi kamerami UV. Pomiary wykonywane są oddzielnie na każdym z izolatorów zainstalowanych na danej konstrukcji nośnej poprzez rejestrację generowanego promieniowania UV. Aktualnie nie istnieją systemy pomiarowe, które umożliwiałyby ocenę stanu izolatorów liniowych podczas wykonywanych w trybie ciągłym badań diagnostycznych. Dlatego istnieje potrzeba opracowania rozproszonego systemu pomiarowego, w którym na każdym ze słupów wysokiego napięcia znajdowałyby się czujniki promieniowania UV i układy umożliwiające przekazywanie zebranych pomiarów do systemu gromadzenia danych. Zasadniczym problemem jest dobór odpowiedniej konstrukcji czujnika, który byłby odporny na zmiany światła widzialnego i w miarę możliwości na różnego rodzaju zakłócenia zewnętrzne. W artykule przedstawiono pierwszy etap budowy systemu, w którym zaproponowano pomiar promieniowania UV przy użyciu układu różnicowego. W tym celu zastosowano dwie fotodiody, z których jedna mierzy całkowite padające promieniowanie optyczne, a druga promieniowanie z obciążoną składową z zakresu UV. W ten sposób różnica wyników wykonywanych pomiarów umożliwia uwypuklenie składowej w zakresie UV.

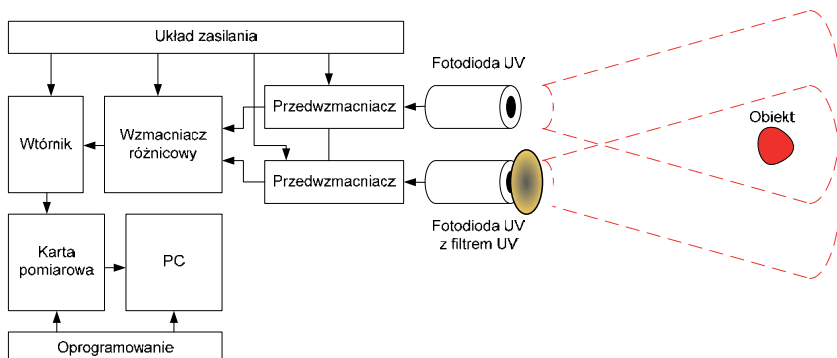
W ramach badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych, których wyniki są prezentowane w niniejszym artykule, wykonano pomiary promieniowania optycz-

nego emitowane przez WZN powierzchniowe (WNZP) generowane na modelu izolatora szklanego w powietrzu. W szczególności analizowano wpływ napięcia zasilającego badany układ na wartość emitowanego promieniowania UV.

Układ pomiarowy

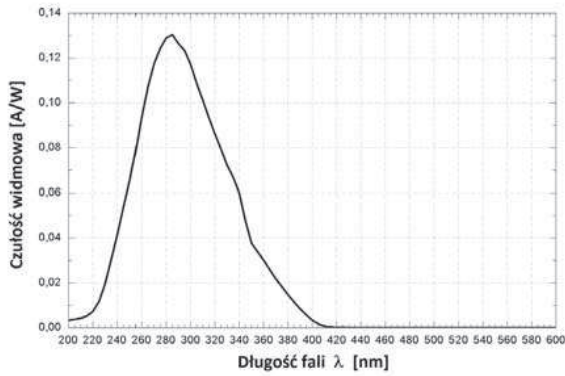
Badania przeprowadzono w układzie z różnicowym pomiarem promieniowania UV. Schemat blokowy przedstawiono na rys. 1. Układ składa się z dwóch fotodiód SG01S (firmy SGLUX), których zakres pomiarowy mieści się w przedziale od 210 nm do 380 nm. Maksymalna czułość o wartości 0,13 A/W występuje dla fali o długości 285 nm. Charakterystykę odpowiedzi widmowej diody przedstawiono na rys. 2. Obszar aktywny diody wynosi 0,054 mm².

Obie fotodiody obejmują swoim zasięgiem obszar generacji promieniowania UV. Jedna z fotodiód została wyposażona w filtr promieniowania UV. Prąd płynący przez każdą z fotodiód był niezależnie wzmacniany w przetworniku prąd-napięcie. Wykorzystano wzmacniacze operacyjne OPA128 o bardzo małej wartości prądu polaryzacji. Wyjściowe sygnały napięciowe z przedwzmacniaczy były podawane na wzmacniacz pomiarowy INA114 z wejściem różnicowym o dużym współczynniku tłumienia sygnału wspólnego CMRR. Dzięki takiemu rozwiązaniu filtrowana była składowa wspólna promieniowania i niektóre rodzaje zakłóceń. W ten sposób uzyskuje się filtrację



Rys. 1. Schemat blokowy zaproponowanego układu pomiarowego

Fig. 1. Measurement device block scheme

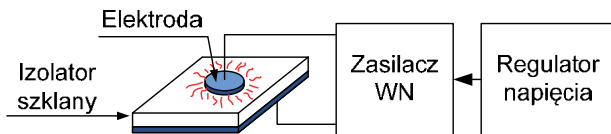


Rys. 2. Charakterystyka czułości fotodiody SG01S (wg [4])

Fig. 2. Photodiode SG01S sensitive characteristics (acc. [4])

składowej widzialnej promieniowania, a wzmacniana jest jedynie część promieniowania w zakresie UV. Na wyjściu wzmacniacza pomiarowego znajdował się wtórnik napięciowy zastosowany w celu zmniejszenia rezystancji wyjściowej. Sygnał wyjściowy był podawany do komputera, w którym był przetwarzany na postać cyfrową przy użyciu przetwornika analogowo-cyfrowego karty pomiarowej CHS-3160. Do komunikacji z kartą pomiarową i do przetwarzania oraz wizualizacji danych wykorzystano środowisko MATLAB.

Obiektem badań był izolator szklany o grubości 5 mm, który umieszczono na uziemionej metalowej płycie (rys. 3). Na powierzchni izolatora umieszczono metalową elektrodę o średnicy



Rys. 3. Schemat obiektu pomiarowego

Fig. 3. Measuring object schematic

10 cm podłączoną do zasilacza wysokiego napięcia (WN). Zasilacz miał możliwość regulacji napięcia w zakresie od 0 do 30 kV. Po przyłożeniu odpowiedniej wartości napięcia na powierzchni izolatora powstawały wyładowania ślizgowe o charakterze niepełnym. Po przekroczeniu wartości krytycznej napięcia następowało wyładowanie zupełne i przebicie izolatora szklanego.

Wyniki pomiarów

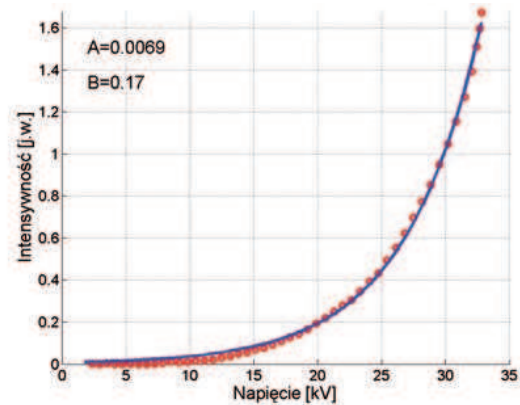
Wykonano pomiary zmian intensywności promieniowania UV dla różnych wartości napięć. Pomiary przeprowadzono zwiększając wartość napięcia zasilającego od 0 do 32 kV. Górna wartość napięcia jest graniczną wartością występowania WNZ. Powyżej wartości 35 kV następowało przebicie badanego układu. Przyrost napięcia wynosił 500 V/s. W trakcie zwiększania napięcia co 1 sekundę wykonywano pomiar emitowanego przez WNZ promieniowania. Częstotliwość próbkowania wynosiła 10 kHz. Rejestrowano 10 000 próbek, a następnie uzyskiwane wyniki były uśredniane. Czujnik promieniowania znajdował się w odległości 50 cm od elektrody WN. Była to minimalna odległość, którą przyjęto jako bezpieczną ze względu na możliwość przebicia układu pomiarowego. Następnie zwiększano odległość krokiem co 10 cm do 2,5 m. Dla każdej odległości pomiar był powtarzany. Uzyskane w ten sposób wyniki pomiarów, dla wybranych charakterystycznych odległości, pokazano na rys. 4–10.

Na rys. 4 przedstawiono zależność intensywności promieniowania UV od wartości napięcia zasilającego badany izolator. Zależność aproksymowano krzywą wykładniczą, zakładając model wyrażony wzorem (1)

$$I = Ae^{BU} \quad (1)$$

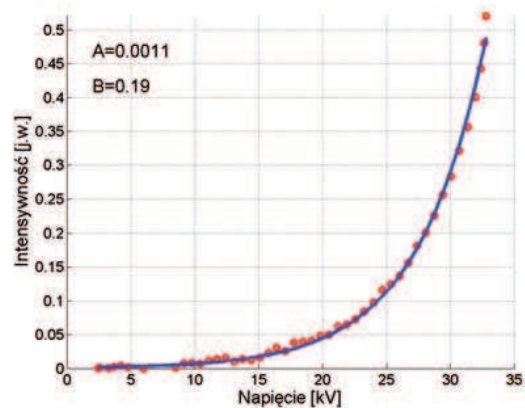
gdzie: I – wartość prądu, U – wartość napięcia zasilającego badany izolator, A , B – stałe zależne od odległości układu pomiarowego od badanego obiektu.

Analogiczny model przyjęto również dla wszystkich prezentowanych w artykule zależności. Dla każdego przypadku na wykresach przedstawiono wyznaczone wartości stałych A i B .



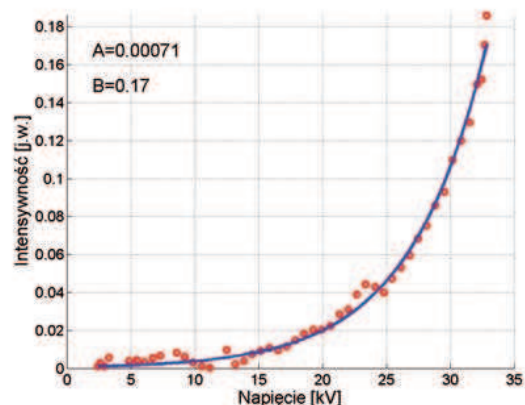
Rys. 4. Zależność intensywności względnej promieniowania UV od wartości napięcia dla odległości 0,5 m

Fig. 4. Dependence of UV intensity on voltage at by the distance of 0.5 m



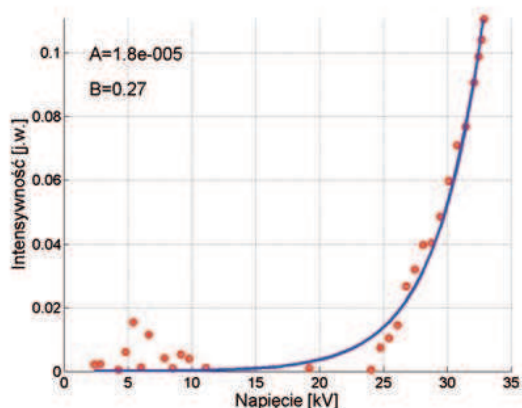
Rys. 5. Zależność intensywności względnej promieniowania UV od wartości napięcia dla odległości 1 m

Fig. 5. Dependence of UV intensity on voltage for the distance of 1 m



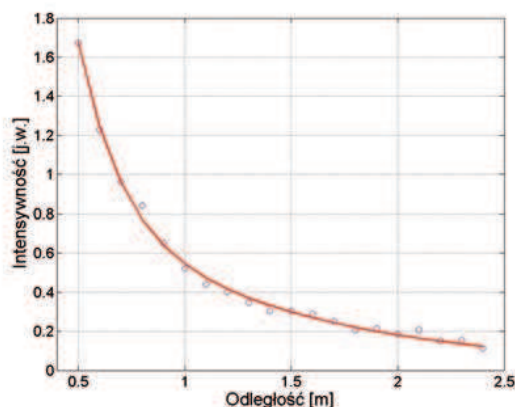
Rys. 6. Zależność intensywności względnej promieniowania UV od wartości napięcia dla odległości 2 m

Fig. 6. Dependence of UV intensity on voltage for the distance of 2 m



Rys. 7. Zależność intensywności względnej promieniowania UV od wartości napięcia dla odległości 2,5 m

Fig. 7. Dependence of UV intensity on voltage for the distance of 2.5 m



Rys. 8. Zależność maksymalnej intensywności względnej promieniowania UV od wartości odległości między czujnikiem pomiarowym a badanym obiektem, przy stałej wartości napięcia zasilającego równej 32 kV

Fig. 8. The dependence of maximal UV intensity on the distance between a sensor and the object for constant voltage of 32 kV

Współczynnik determinacji w każdym przypadku przekraczał wartość 0,95.

Zależność przedstawiona na rys. 5, która została wyznaczona dla odległości 1 m, wskazuje na podobną jak dla odległości 0,5 m tendencję wzrostową. Można zaobserwować, że znacząco zmniejszyły się wartości intensywności przy tych samych wartościach napięcia odpowiadającym mniejszym odległościom.

Również dla odległości 2 m (rys. 6) obliczona charakterystyka zachowuje kształt swojego przebiegu, przy czym wartości są blisko 10 razy mniejsze w porównaniu z najmniejszą analizowaną odległością (0,5 m).

Dla maksymalnej mierzonej odległości 2,5 m (rys. 7) można zaobserwować duże rozrzuty wartości dla mniejszych napięć wynikające z niepewności pomiaru. Wzrost intensywności można zaobserwować dopiero dla napięć przekraczających wartość 25 kV.

Na rys. 8 przedstawiono zależność maksymalnej intensywności, przy stałej wartości napięcia równej 32 kV wyznaczoną dla wszystkich badanych odległości. Charakterystykę aproksymowano krzywą opisaną równaniem (2)

$$I = 11,6e^{-5,1x} + 1,24e^{-0,96x} \quad (2)$$

gdzie: I – wartość prądu, x – odległość czujnika pomiarowego od najbardziej wysuniętej części górnej elektrody WN.

Z przedstawionej na rys. 8 zależności wynika, że odległość czujnika od obiektu generacji ma znaczący wpływ na jakość pomiarów, tzn. na udział niepewności w uzyskiwanych wynikach. Aby można było rejestrować przy większych odległościach od badanego izolatora szklanego, w wykorzystywanym układzie pomiarowym, musi być możliwość zmiany wzmocnienia.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdzono, że:

- 1) WNZ modelowane na izolatorze szklanym w powietrzu generowały promieniowanie optyczne w większości w zakresie UV
- 2) nie stwierdzono znaczącej wartości promieniowania w zakresie widzialnym i podczerwieni
- 3) wartość napięcia zasilającego badany układ wykładniczo wpływa na intensywność promieniowania w zakresie UV
- 4) z analizy wpływu odległości czujnika pomiarowego od badanego obiektu wynika, iż intensywność emitowanego promieniowania wykładniczo maleje wraz ze wzrostem odległości.

Ponadto wykazano, że układ różnicowy pomiaru UV może zostać wykorzystany do badania intensywności wyładowań niezupełnych w wysokonapięciowych układach izolacyjnych.

Bibliografia

1. Aggarwal R.K., Johns A.T., Jayasinghe J.A.S.B., Su W.: *An overview of the condition monitoring of overhead lines*. Electric Power Systems Research Vol. 53 Issue 1, 2000, p. 15–22.
2. Liu F., Wang W.C., Zheng W., Wang Y.N.: *Optical Study of Radicals (OH, O, H, N) in a Needle-plate Negative Pulsed Streamer Corona Discharge*. Plasma Chem Plasma Process 26, 2006, p. 469–480.
3. Muchr M., Schwarz R.: *Experience with optical partial discharge detection*. Materials Science – Poland Vol. 27 No. 4/2, 2009.
4. www.irsystem.com/product/misc/uvsensor/pdf/SG01S.pdf.

Analysis of UV radiation generated by surface partial discharges

The article presents measurement results of ultraviolet relative radiation intensity measured for a model glass insulator placed in the air. The radiation was generated by partial discharges. The effect of voltage on intensity-discharge generation of optical radiation is emitted. Furthermore, the influence of the distance from the electrode sensor, to which high voltage was applied on the measurement results.

Keywords: UV detection, high voltage devices, partial discharges diagnostics

dr inż. Paweł Frącz

Adiunkt Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, pracownik Katedry Wysokich Napięć. Jego dorobek naukowy obejmuje 30 publikacji z zakresu diagnostyki wysokonapięciowych urządzeń elektroenergetycznych z wykorzystaniem nieniszczących metod pomiarowych.

e-mail: p.fracz@po.opole.pl

