

Robert ZIEMBA¹
Grzegorz MASŁOWSKI²
Lesław KARPIŃSKI³
Stanisław WYDERKA⁴
Grzegorz KARNAS⁵
Kamil FILIK⁶
Paweł SZCZUPAK⁷

BADANIE ROZPŁYWU DŁUGOTRWAŁEJ SKŁADOWEJ PRĄDU PIORUNOWEGO W INSTALACJACH OBIEKTU

W artykule przedstawiono wyniki badań poligonowych oraz symulacyjnych, rozptyłu składowej długotrwałej prądu piorunowego w urządzeniu piorunochronnym, kablowej linii zasilającej i instalacji elektrycznej budynku jednorodzinne. Badania przeprowadzono w 2014 roku na poligonie badawczym Politechniki Rzeszowskiej w miejscowości Huta Poręby. Rozptyw prądu w poszczególnych elementach badanego obiektu mierzono i rejestrowano za pomocą wielotorowego elektrooptycznego układu pomiarowego. Dla weryfikacji wyników pomiarów, przeprowadzono badania symulacyjne rozptywu prądu udarowego w elementach obiektu zamodelowanego w programie ATP-EMTP. Parametry schematu zastępczego urządzenia piorunochronnego badanego obiektu, w tym poziomych i pionowych uziomów, wyznaczono na podstawie ich wymiarów geometrycznych oraz wartości rezystywności gruntu. Wyniki badań komputerowych wykazały dobrą zgodność z rejestracjami eksperymentalnymi. Różnice wynikają głównie z przyjętych założeń upraszczających w modelu układu i generatora.

Słowa kluczowe: urządzenie piorunochronne, prąd piorunowy, badania poligonowe, modelowanie i symulacje komputerowe

¹ Autor do korespondencji: Robert Ziemia, Politechnika Rzeszowska, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651330, ziemba@prz.edu.pl

² Grzegorz Masłowski, Politechnika Rzeszowska, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651253, maslowski@prz.edu.pl,

³ Lesław Karpiński, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651330, lkarpi@prz.edu.pl

⁴ Stanisław Wyderka, Politechnika Rzeszowska, Katedra Ergoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 865 1773, swyderka@prz.edu.pl

⁵ Grzegorz Karnas, Politechnika Rzeszowska, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651243, gkarnas@prz.edu.pl

⁶ Kamil Filik, Politechnika Rzeszowska, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651298, kfilik@prz.edu.pl

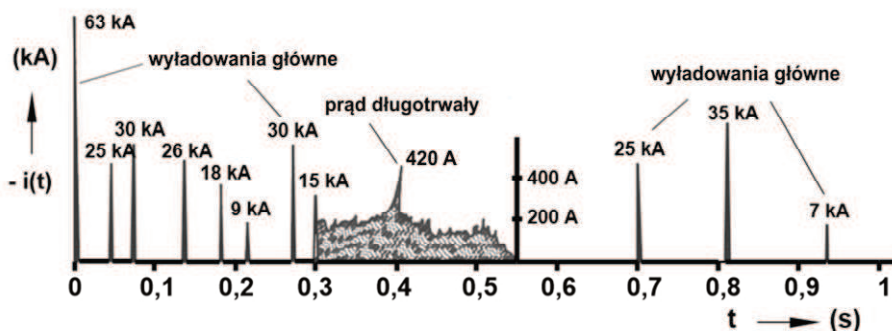
⁷ Paweł Szczupak, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651472, pszczup@prz.edu.pl

1. Wstęp

Natura wyładowań atmosferycznych jest bardzo złożona. Oddziaływanie wyładowań doziemnych trafiających w obiekty zmusza do prowadzenia badań eksperymentalnych w warunkach poligonowych, które pozwalają na uwzględnienie przede wszystkim rozplywu prądów udarowych w gruncie przy zastosowaniu układów o rzeczywistych rozmiarach [1]. W normach wyróżnia się cztery reprezentatywne składowe wyładowania doziemnego a ich parametry klasyfikuje się w zależności od klasy ochrony ogromowej obiektu [2]:

- pierwsza składowa wyładowania dodatniego: wartość szczytowa 100-200 kA, stromość narastania 10-20 kA/ μ s, czas czoła 10 μ s, czas do półszczytu 350 μ s, ładunek impulsowy 50-100 C, całkowity ładunek 150-300 C, energia właściwa 2, 5-10 MJ/ Ω ;
- pierwsza składowa wyładowania ujemnego: wartość szczytowa 50-100 kA, stromość narastania 50-100 kA/ μ s, czas czoła 1 μ s, czas do półszczytu 200 μ s;
- kolejne składowe wyładowania ujemnego: wartość szczytowa 25-50 kA, stromość narastania 100-200 kA/ μ s, czas czoła 0,25 μ s, czas do półszczytu 100 μ s;
- długotrwała składowa prądu: wartość szczytowa 200-400 A, całkowity ładunek 100-200 C, czas trwania 0,5 s.

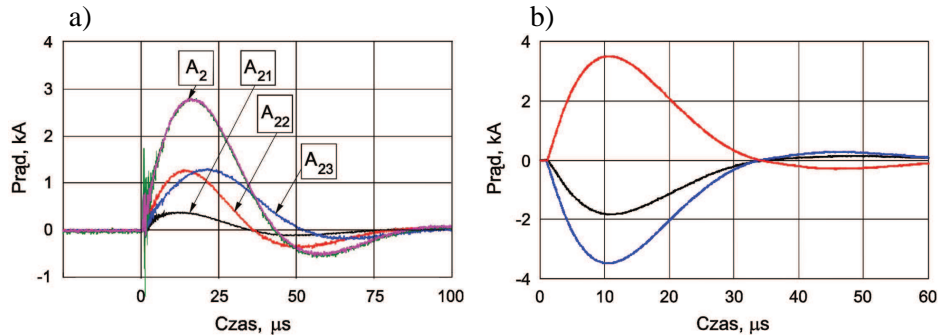
Na rysunku 1 przedstawiony jest szkic rejestracji rzeczywistego prądu ujemnego wyładowania doziemnego składającego się z jedenastu wyładowań głównych (składowych krótkotrwałych) i jednej składowej długotrwałej [3].



Rys. 1. Prąd piorunowy z kilkunastoma wyładowaniami głównymi i jednym prądem długotrwałym
Fig. 1. Lightning current discharges with several major and one of the long duration current

Na poligonie badawczym Politechniki Rzeszowskiej, pierwotnie zlokalizowanym na terenie Uczelni, a od 2012 r. w miejscowości Huta Poręby koło Dynowa, przeprowadzono w latach 2007-2013 szereg badań rozplywu składowych

krótkotrwałych prądu piorunowego (wyładowań głównych) w instalacji piorunochronnej i elektrycznej obiektu [3-10]. Udary prądowe wprowadzono z generatora udarów do zwołu odgromowego na dachu budynku. Rozptyw prądu w poszczególnych elementach badanego obiektu mierzono i rejestrowano początkowo z wykorzystaniem ekranowanych przewodów koncentrycznych i ostatnio za pomocą wielotorowego elektrooptycznego układu pomiarowego [11]. Wykorzystanie łączy światłowodowych i transmisji cyfrowej spowodowało wyeliminowanie zakłóceń indukowanych w torze pomiarowym w trakcie działania generatora (rysunek 2).

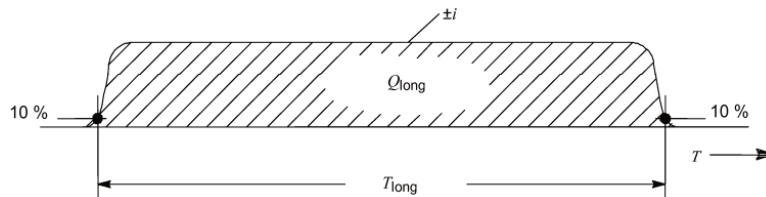


Rys. 2. Przykłady rejestracji udarów prądowych: a) przebiegi prądu w elementach urządzenia piorunochronnego zarejestrowane z zastosowaniem przewodów koncentrycznych i oscyloskopu b) przebiegi prądu zarejestrowane za pomocą prototypowego układu elektrooptycznego z przesyłem danych łączy światłowodowym w postaci cyfrowej

Fig. 2. Fig. 2. Comparison of different lightning current registration techniques. a) current waveforms in LPS obtained with application of conventional BNC wires and oscilloscope; b) similar registration but with fiber-optic digital link transmission applied

2. Generator udarów piorunowych długotrwałych

W 2014 roku do badań rozptywu prądu piorunowego wprowadzono generator składowej długotrwałej. Jego konstrukcja pozwala generować impulsy zgodne z definicją podaną w normie PN-EN 62305-1 [2] jak na rysunku 3.



Rys. 3. Określenie parametrów udaru długotrwałego (T_{long} – czas trwania, Q_{long} – ładunek udaru długotrwałego)

Fig. 3. Definitions of long duration stroke parameters (T_{long} – duration time, Q_{long} – long stroke charge)

Generator GUP – 10/100 jest unikalnym urządzeniem laboratoryjnym przeznaczonym do wytwarzania impulsów prądowych o kształcie prostokątnym i czasie trwania od kilku do 100 ms. Pozwala on na prowadzenie prób napięciem udarowym o amplitudzie od 1 kV do 10 kV i wartości maksymalnej prądu równej 1 kA. Maksymalna energia, która może być zgromadzona w baterii kondensatorów generatora wynosi 120 kJ.

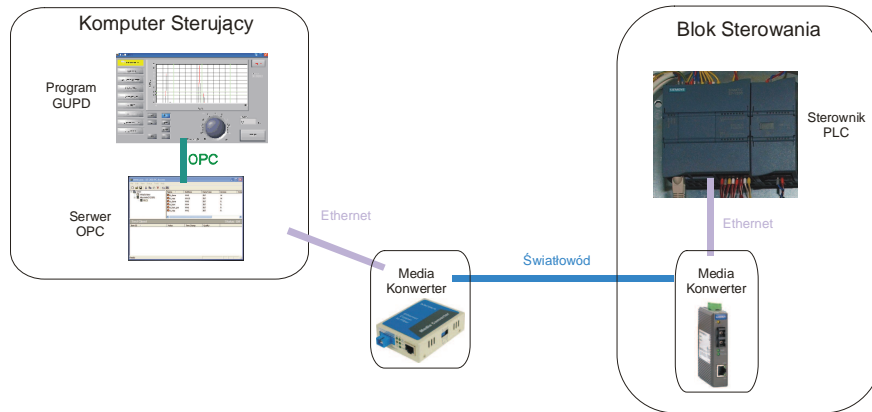
Rysunek 4 przedstawia generator GUP – 10/100 z widokiem tablic przyłączeniowych umożliwiającym kształtowanie impulsu wyjściowego. Generator składa się z dwóch niezależnych modułów połączonych ze sobą światłowodowym kablem kontrolno-sterującym. Jednostką sterującą jest natomiast laptop z zainstalowanym oprogramowaniem serwera oraz dedykowanym programem. Prosty serwer z protokołem OPC służy do komunikacji ze sterownikami programowalnymi. Oprogramowanie sterujące generatorem GUP – 10/100 zostało napisane w środowisku LabView i powstało specjalnie do jego obsługi. Dzięki protokołowi OPC program wymienia informacje z w blokiem sterowania generatora. Przyjęta konfiguracja generatora z łączem światłowodowym pozwala na uniknięcie zakłóceń pracy układu sterującego w trakcie badań.



Rys. 4. Generator udarów długotrwałych GUP – 10/100

Fig. 4. Long duration impulse current generator GUP – 10/100

Na rysunku 5 przedstawiony jest schemat układu komunikacji na stanowisku kontrolnym generatora.



Rys. 5. Schemat układu komunikacji na stanowisku

Fig. 5. Diagram of the communication station

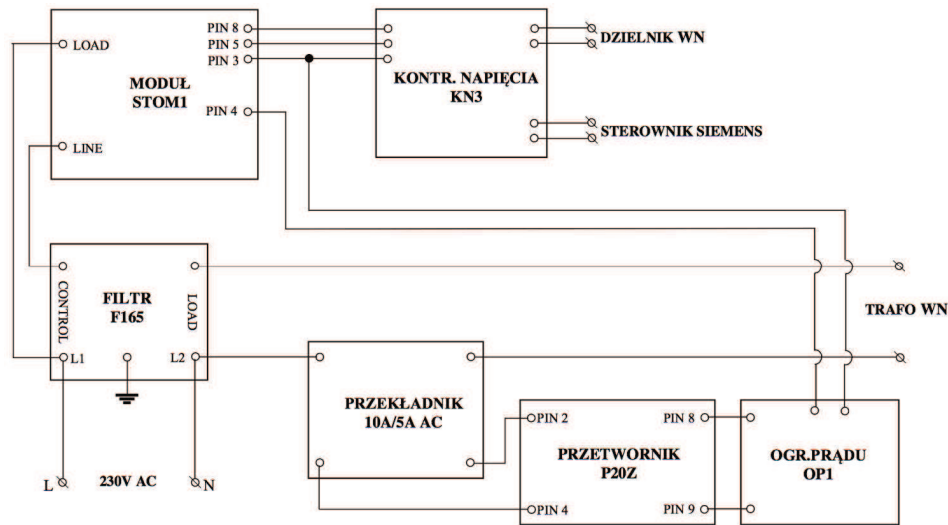
Komputer sterujący komunikuje się ze sterownikiem wbudowanym w blok sterowania przy pomocy Ethernetu przemysłowego. W celu zapewnienia izolacji galwanicznej zastosowano parę konwerterów zamieniających sygnał elektryczny na optyczny i odwrotnie. W generator wbudowany jest sterownik programowalny PLC, który komunikuje się z laptopem z zainstalowanym oprogramowaniem.

W skład części silnoprądowej generatora udarów wchodzi następujące podstawowe zespoły:

- bateria kondensatorów;
- zasilacz WN ;
- iskiernik załączający;
- bocznik prądowy o rezystancji 100 mΩ ;
- elementy formujące impuls prądowy.

Bateria kondensatorów składa się z 24 impulsowych kondensatorów typu IK – 2x50/10. W „oczkach” układu drabinkowego znajdują się trzy kondensatory. Każdy z nich zbudowany jest z dwóch sekcji o pojemności 50 μF. W celu zabezpieczenia kondensatorów przed elektroeksplozją każda sekcja jest przyłączona do obwodu przez odpowiednio dobrany bezpiecznik typu „fuse”. Taka konstrukcja umożliwia dodatkowo zmianę pojemności w „oczku” generatora od 50 μF do 300 μF, co w sposób istotny wpływa na parametry generowanych impulsów prądowych. Całkowita pojemność baterii generatorów wynosi 2,4 mF. Przy maksymalnym napięciu pracy wynoszącym 10 kV pozwala ona na zgromadzenie energii równiej około 120 kJ.

Układ zasilacza baterii kondensatorów składa się z transformatora, prostownika diodowego WN oraz systemu kontrolno-pomiarowego. Układ ten pozwala na zgromadzenie w kondensatorach energii zależnej od wybranego napięcia pracy. Schemat blokowy układu ładowania przedstawiono na rysunku 6.



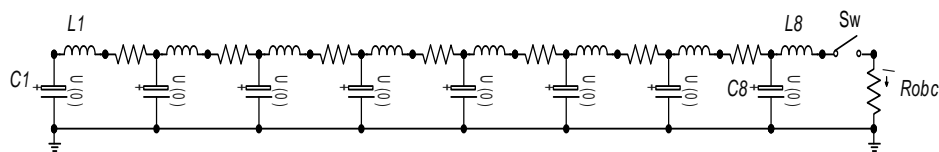
Rys. 6. Schemat układu sterowania ładownicą 10 kV

Fig. 6. Diagram of the control system of the 10 kV charger

Iskiernik załączający jest elementem pozwalającym na uruchomienie generatora. Składa się z dwóch elektrod. Jedna z elektrod jest ruchoma. Ruch jej jest wymuszony siłownikiem pneumatycznym. Taki system pozwala na pracę iskiernika w bardzo szerokim zakresie napięć (od 0,5 kV do 10 kV).

Zastosowany bocznik prądowy to niski indukcyjny rezystor pozwalający na pomiar i rejestrację impulsów prądowych o wartościach do kilku kA. Bocznik ten jest integralną częścią konstrukcji generatora. Podobnie dzielnik napięcia zbudowano w oparciu o dwa rezystory. W zależności od impedancji wejściowej układu rejestrującego jego przekładnia ma dwie wartości, a mianowicie dla wejścia wysokiimpedancyjnego (ok. $1\text{M}\Omega$) wynosi $K_u = 62$ a dla wejścia $50\ \Omega$ odpowiednio $K_u = 123$.

Jako podstawową konfigurację źródła prostokątnych impulsów prądowych zastosowano osiem sekcji układu drabinkowego LC jak na rysunku 7. W układzie tym można zmienić czas trwania impulsu poprzez zmianę pojemności i indukcyjności poszczególnych stopni generatora.



Rys. 7. Schemat generatora impulsów prostokątnych

Fig. 7. Circuit diagram of a generator for rectangular impulse currents

Dla generatora obciążonego rezystancją R_{obc} , daną zależnością

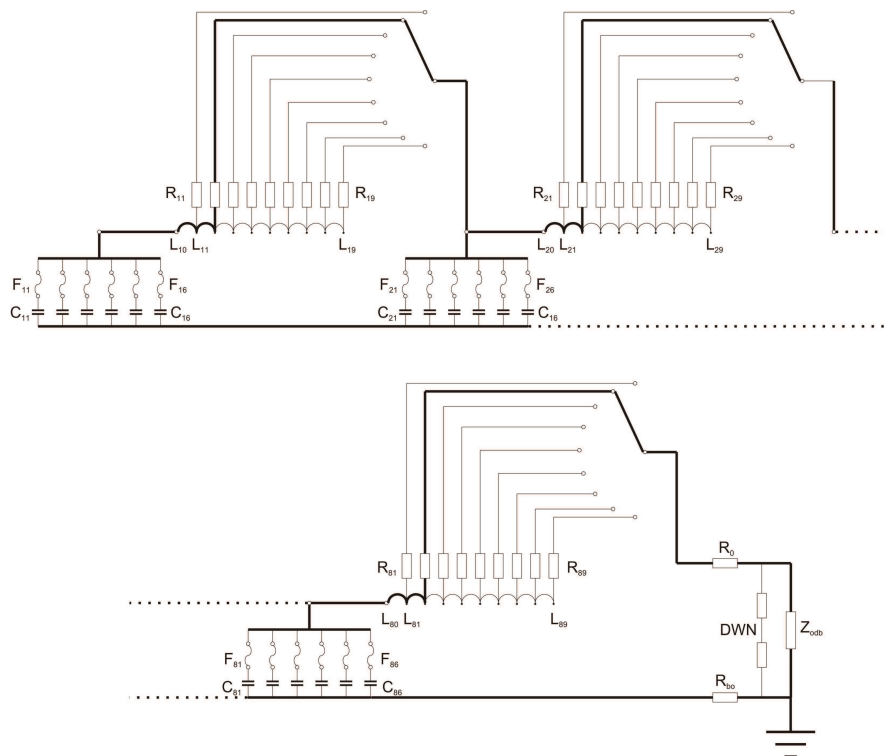
$$R_{obc} = \sqrt{L/C} \quad (1)$$

długość trwania impulsu może być wyznaczona z przybliżonej zależności:

$$T_d \approx 2 \frac{n-1}{n} \sqrt{LC} \quad (2)$$

gdzie: $L = nL_i$, $C = nC_i$, L_i – indukcyjność i -tej sekcji, C_i – pojemność i -tej sekcji, n – liczba sekcji generatora.

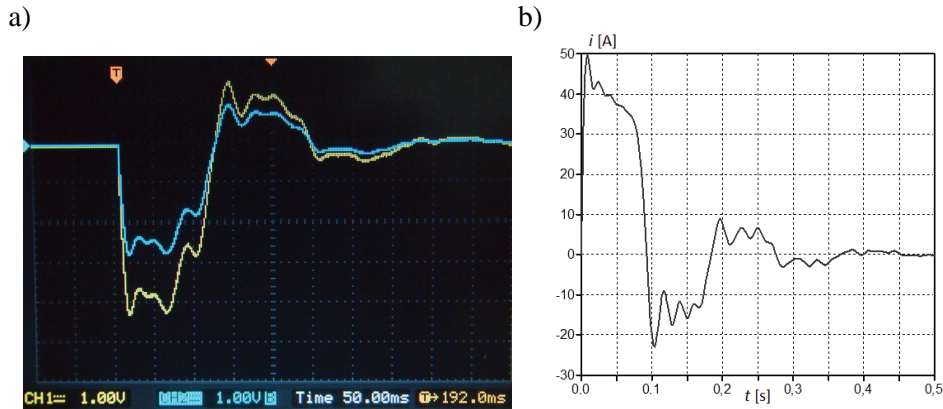
Dla czasów trwania impulsów z przedziału od 10 ms do 100 ms zastosowano 6 możliwości zmian pojemności (od 50 μ F do 300 μ F) oraz 9 możliwości zmian indukcyjności (od 1,85 mH do 153 mH). Na rysunku 8 przedstawiono uproszczony schemat zastępczy części formującej kształt impulsu generatora GUP - 10/100.



Rys. 8. Uproszczony schemat zastępczy generatora GUP – 10/100

Fig. 8. Simplified circuit diagram of the generator GUP – 10/100

Dla wybranych parametrów obwodu przeprowadzono symulacje prądu generatora w programie ATP-EMTP (zgodnie ze schematem jak na rysunku 7) i porównano je z wartościami zmierzonymi na stanowisku testowym. Na rysunku 9 przedstawiono zmierzony oraz obliczony przebieg prądu w układzie dla wartości pojemności i indukcyjności formujących $C_i = 300 \mu\text{F}$ i $L_i = 150 \text{ mH}$, oraz obciążenia rezystancyjnego $R_{\text{obc}} = 4,2 \Omega$. Na oscylogramie z rysunku 6a jest także widoczny przebieg napięcia generatora (krzywa niebieska). Przebiegi symulacyjne posiadają przeciwną polaryzację w stosunku do przebiegów zarejestrowanych z uwagi sposób definicji parametrów układu w programie.



Rys. 9. Przebieg impulsu prądowego generatora: a) zmierzony (żółty), b) obliczony

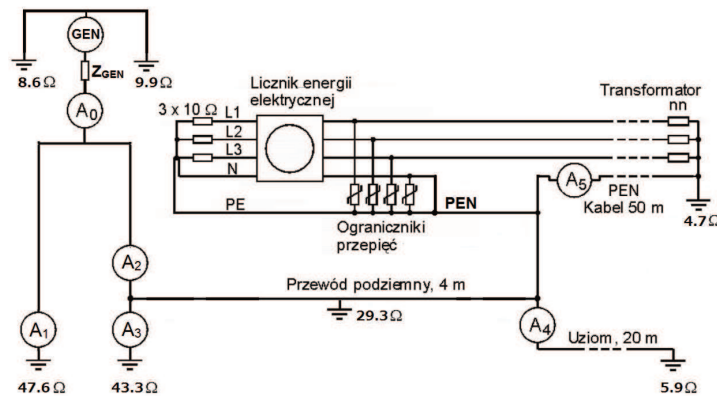
Fig. 9. Current impulse form of the generator: a) measured (yellow) b) calculated

3. Badania eksperymentalne i symulacje komputerowe

Od kilkunastu lat prowadzone są badania eksperymentalne rozplywu prądów w urządzeniach piorunochronnych zainstalowanych na budynkach mieszkalnych lub na ich pełnowymiarowych modelach fizycznych. Badania te, prowadzone również na poligonie Politechniki Rzeszowskiej we współpracy z Międzynarodowym Centrum Badań Wyładowań Atmosferycznych w Camp Blanding na Florydzie, polegają głównie na rejestracji przebiegów prądu wyładowań głównych wyładowań piorunowych rozplywających się w elementach badanego obiektu i dołączonej instalacji przewodzącej.

Kierując się potrzebą oceny zagrożenia obiektów budowlanych i ich wyposażenia składowymi długotrwałymi wyładowań piorunowych, przeprowadzono w lipcu 2014 r. na poligonie w Hucie Poręby pierwsze rejestracje rozplywu tych składowych w elementach opisanego niżej obiektu. Zgodnie z wiedzą autorów tego typu badania eksperymentalne nie były wcześniej nigdzie na świecie prowadzone w sposób kontrolowany.

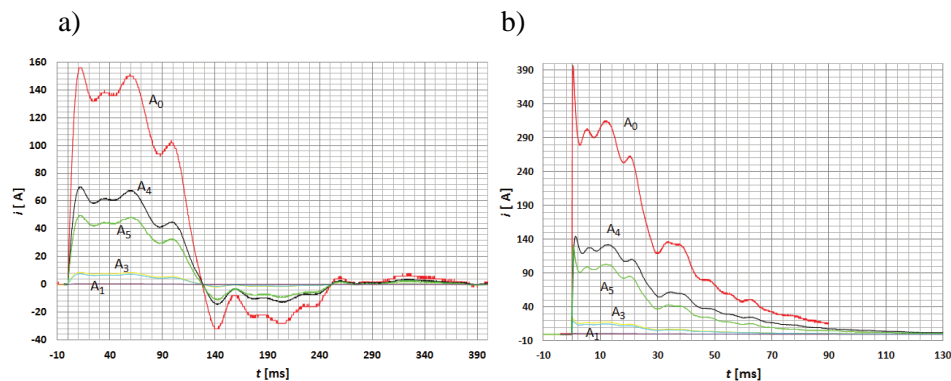
Schemat układu probierczego z zaznaczonymi punktami pomiarowymi (od A_0 do A_5) przedstawiony jest na rysunku 10. Podczas badań eksperymentalnych, rejestracje przeprowadzono dla kilku wartości napięcia naładowania generatora w zakresie od 1 do 4 kV oraz dla różnych czasów trwania impulsów (od 10 do 100 ms).



Rys. 10. Schemat elektryczny układu probierczego z zaznaczonymi punktami pomiarowymi rozplywu prądu udarowego

Fig. 10. Equivalent circuit of the test system with marked measurement points of surge current distribution

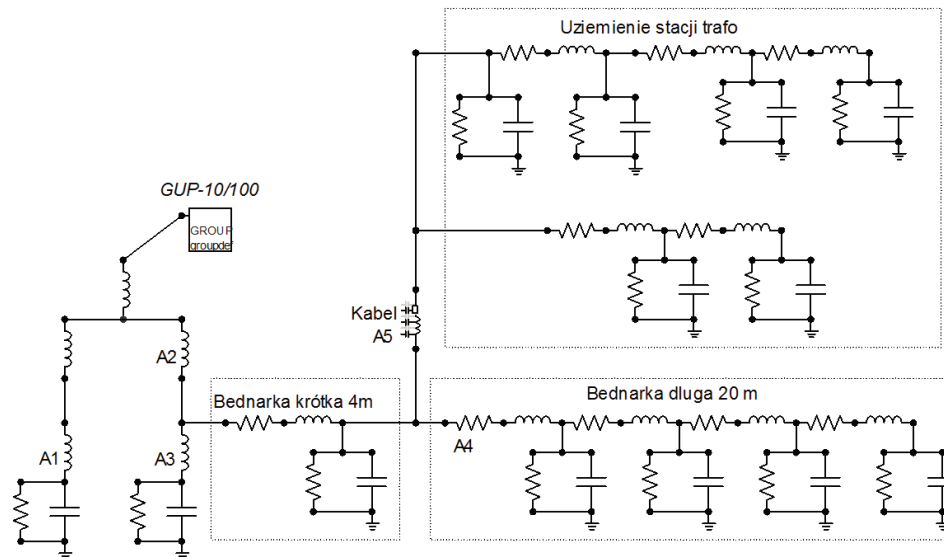
Na rysunku 11 przedstawiono zmierzone przebiegi prądów dla napięcia ładowania kondensatorów generatora wynoszącego 4 kV przy dwóch nastawach układu formującego zapewniających czasy trwania impulsów 100 ms i 20 ms. Oznaczenia przebiegów są zgodne z oznaczeniami punktów pomiarowych jak na rysunku 10.



Rys. 11. Zmierzony rozplyw prądów w badanym obiekcie: a) dla $T_d = 100$ ms, b) dla $T_d = 20$ ms

Fig. 11. Measured current distribution in the test object: a) for $T_d = 100$ ms, b) for $T_d = 20$ ms

Do analiz porównawczych z otrzymanymi wynikami pomiarów, opracowano model obwodowy badanego układu do symulacji komputerowych, w programie ATP-EMTP. Do tego celu zastosowano modele obwodowe przewodu podziemnego niez izolowanego (pionowego i poziomego), przewodu napowietrznego oraz kabla podziemnego [13, 14]. Na rysunku 12 przedstawiono schemat obwodowy analizowanego układu z zaznaczonymi punktami pomiarowymi przebiegów prądowych (A0, A1, A3, A4, A5).

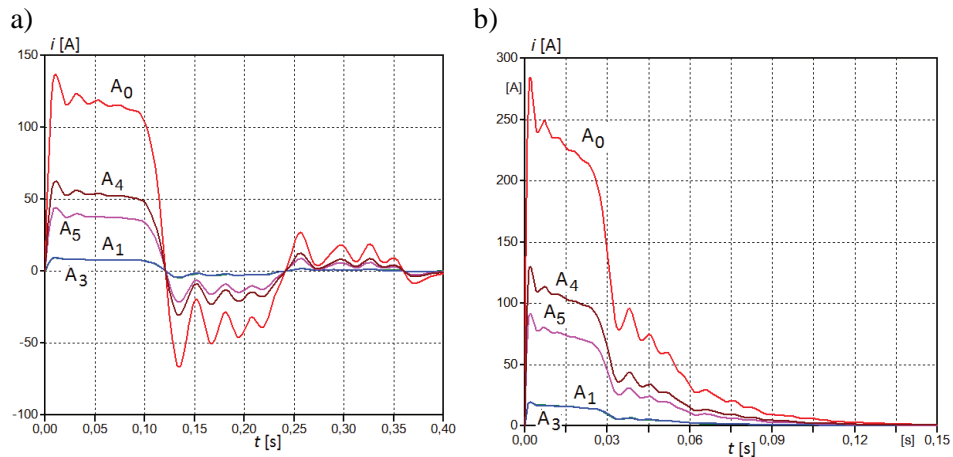


Rys. 12. Model obwodowy analizowanego układu z zaznaczonymi punktami pomiarowymi rozprywu prądu udarowego

Fig. 12. Lumped equivalent circuit of analyzed system with marked measurement points of surge current distribution

Na rysunku 13 przedstawiono obliczone w programie ATP-EMTP przebiegi prądów. Symulacje przeprowadzono dla takich samych wartości napięcia ładowania kondensatorów generatora oraz takich samych czasów trwania impulsów jak w trakcie badań eksperymentalnych..

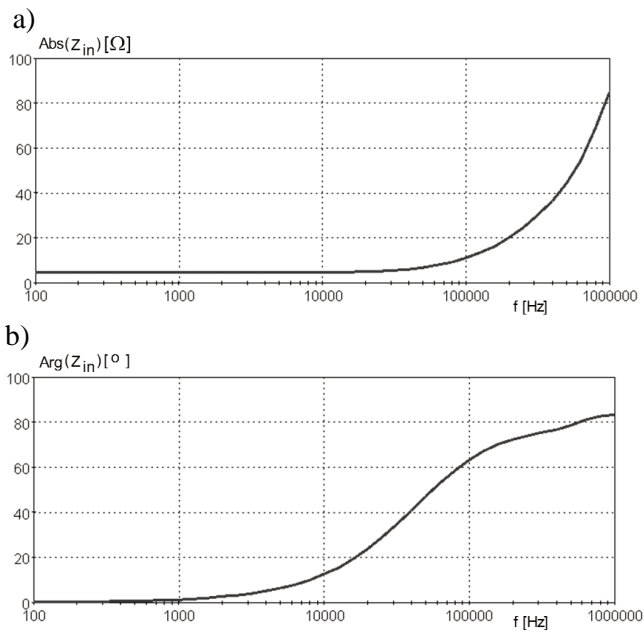
Wyniki uzyskane na podstawie modelu obwodowego (rysunek 13) wykazują dużą zgodność co do kształtu zmierzonych przebiegów (rysunek 11). Nieznaczne różnice wynikają między innymi z niedokładnego odwzorowania schematu zastępczego generatora, w którym nie uwzględniono wzajemnych sprzężeń magnetycznych pomiędzy cewkami. Ponadto nie uwzględniono w modelu obliczeniowym urządzeń podłączonych do instalacji elektrycznej budynku oraz pominięto podłączenie układu zasilającego budynek do transformatora i napowietrznej linii zasilającej.



Rys. 13. Obliczony rozptyw prądów w badanym obiekcie: a) dla $T_d = 100 \mu\text{s}$, b) dla $T_d = 20 \mu\text{s}$

Fig. 13. Calculated current distribution in the test object: a) for $T_d = 100 \mu\text{s}$, b) for $T_d = 20 \mu\text{s}$

Celem oceny wpływu charakterystyki częstotliwościowej układu, wyznaczono moduł i fazę jego impedancji wejściowej $Z_{in}(f)$ (rysunek 14).



Rys. 14. Charakterystyki częstotliwościowe impedancji wejściowej badanego układu: a) amplitudowa $\text{Abs}(Z_{in})$, b) fazowa $\text{Arg}(Z_{in})$

Fig. 14. Frequency characteristics of the input impedance of the analysed system: a) amplitude $\text{Abs}(Z_{in})$, b) phase $\text{Arg}(Z_{in})$

Charakterystyka amplitudowa do częstotliwości rzędu kilkudziesięciu kHz jest praktycznie stała, co świadczy o rezystancyjnym charakterze układu związanym głównie z rezystancjami elementów uziemienia (uziomy pionowe budynku, bednarki, uziom stacji transformatorowej). Potem do częstotliwości 1 MHz uwidacznia się jego charakter indukcyjny. Potwierdza się to w przebiegach czasowych z rysunku 13, gdzie kształty prądów w różnych punktach układu są bardzo podobne a ich proporcje wynikają głównie z wartości rezystancji w analizowanym układzie.

4. Podsumowanie

Na poligonie Politechniki Rzeszowskiej w Hucie Poręby przeprowadzono po raz pierwszy kontrolowane badania rozptyłu prądów udarowych o parametrach zbliżonych do składowych długotrwałych wyładowań piorunowych, dla wybranej konfiguracji urządzenia piorunochronnego i dołączonej instalacji elektrycznej. Wyniki pomiarów wskazują na wyraźną zależność podziału prądów udarowych od rezystancji uziemień poszczególnych elementów badanego obiektu, a także od długości obwodów, przez które przepływają. Zależność ta jest jednoznaczna w przypadku dużych różnic między wartościami rezystancji uziemień. W przypadku niewielkich różnic wartości tych rezystancji, rzędu kilkunastu procent, silniejszy wpływ na podział prądu mają wartości reaktancji obwodów i ich uziemień. Uzyskane wyniki cechują się, w pewnym zakresie, podobieństwem do wyników rozptyłu składowych głównych wyładowań piorunowych uzyskanych w czasie wcześniejszych badań przeprowadzonych na Florydzie i w Hucie Poręby. Podobne są relacje między wartościami maksymalnymi prądu w poszczególnych elementach badanego obiektu w odniesieniu do relacji między rezystancjami ich uziemień. Odmiennie, niż w przypadku krótkotrwałych składowych głównych wyładowań piorunowych, rozptywające się w poszczególnych elementach obiektu składowe długotrwałe mają takie same kształty. Wpływ zależnej od częstotliwości impedancji uziemień na relatywnie wolniej zmieniające się przebiegi prądu składowych długotrwałych jest znacznie mniejszy w porównaniu do jej wpływu na szybkozmienne przebiegi składowych głównych. Uzyskane wartościowe wyniki pomiarów stanowią zachętę do prowadzenia dalszych badań eksperymentalnych, a także symulacyjnych, w celu dokładniejszego poznania istotnych uwarunkowań wpływających na rozptył prądów udarowych odwzorowujących składową długotrwałą wyładowań piorunowych w urządzeniu piorunochronnym, instalacji elektrycznej i sieci zasilającej obiektu budowlanego.

Literatura

- [1] Masłowski G.: Analiza i modelowanie wyładowań atmosferycznych na potrzeby ochrony przed przepięciami. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, seria: Rozprawy, Monografie, nr 208, Kraków, 2010
- [2] PN-EN 62305-1:2008 Ochrona odgromowa - Część 1: Zasady ogólne
- [3] Rakov V.A., Uman M.A., Lightning, physics and effects. Cambridge University Press, 2003
- [4] Rakov V.A., Uman M.A., Fernandez M.I., Mata C.T., Rambo K.J., Stapleton M.V., and Sutil R.R., Direct Lightning Strikes to the Lightning Protection System of a Residential Building: Triggered-Lightning Experiments, IEEE Trans. on Pow. Del., 17 (2002), n.2, pp. 575-586
- [5] DeCarlo B. A., Rakov V. A., Jerauld J. E., Schnetzer G. H., Schoene J., Uman M. A., Rambo K. J., Kodali V., Jordan D. M., Maxwell G., Humeniuk S., Morgan M., Distribution of Currents in the Lightning Protective System of a Residential Building - Part I: Triggered-Lightning Experiments, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, n. 4, Oct. 2008 pp. 2439-2446
- [6] Masłowski G., Rakov V.A., Wyderka S., Bajorek J., DeCarlo B.A., Jerauld J., Schnetzer G.H., Schoene J., Uman M.A., Rambo K.J., Jordan D.M. and Krata W., Testing of Lightning Protective System of a Residential Structure: Comparison of Data Obtained in Rocket-Triggered Lightning and Current Surge Generator Experiments, High Voltage Engineering, China, 34 (2008), n. 12, pp. 2575-2582
- [7] Masłowski G., Wyderka S., Rakov V.A., DeCarlo B.A., Li L., Bajorek J., Ziamba R., Measurements and numerical modeling of currents in lightning protective system of a residential building. X International Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, November 9-13, 2009, pp. 587-592.
- [8] Masłowski G., Wyderka S., Rakov V.A., DeCarlo B.A., Li L., Bajorek J., Ziamba R., Experimental investigation and numerical modeling of surge currents in lightning protective system of a residential building, Journal of Lightning Research, No. 4, 2012, pp. 18-26
- [9] Masłowski G., Wyderka S., Bajorek J., Ziamba R., Badanie efektywności urządzenia piorunochronnego niewielkiego obiektu budowlanego. Przegląd Elektrotechniczny, R. 86 nr 5/2010, ss. 229-232
- [10] Masłowski G., Wyderka S. Układ probierczo-pomiarowy do poligonowych badań narażeń piorunowych, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), R. 88, NR 5a, 2012, ss. 67-72
- [11] Buczek Ł., Wyderka S., Jaworski M., Światłowodowy system szerokopasmowej rejestracji sygnałów elektrycznych w środowisku wysokich napięć i silnych zaburzeń elektromagnetycznych, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), R. 88, NR 9a, 2012, ss. 171-174
- [12] Klaus Schon, "High Impulse Voltage and Current Measurement Techniques: Fundamentals - Measuring Instruments - Measuring Methods", Springer, 2013
- [13] Sunde, E. D., Earth Conduction Effects in the Transmission Systems, New York: Dover, 1968.
- [14] Juan A. Martinez Velasco (Ed.), Power System Transients. Parameter Determination, CRC Press, Boca Raton, London, New York, October 2009

INVESTIGATION OF DISTRIBUTION OF LONG DURATION COMPONENT OF LIGHTNING CURRENT IN THE STRUCTURE INSTALATIONS

Summary

The first controlled experimental study of lightning continuous current distribution in the lightning protection system supplied with the electrical system was conducted in 2014 at the open site in Huta Poręby, Poland. The measurement results show that the surge current distribution depends on the individual grounding resistance, as well as, the length of the circuit. This relationship is clear in the case of large differences between the values of grounding resistance. For slight differences in these values, that is of the order of several percent, a stronger influence on the current distribution have a reactance of the lightning protection system. The obtained results were compared to those obtained during previous tests conducted in Florida and Huta Poręby regarding of the distribution of lightning return stroke currents. It turns out that the relationship of amplitudes of the currents in the individual parts of the lightning protection system with respect to the relationship between the grounding resistances are very similar. However, the continuous current components have the same shape in the different conductors of lightning protection system, differently than in the case of return stroke components. It means that the impact of frequency dependent grounding impedance on the shape of continuous current components is much smaller than in the case of much faster return stroke components. The effectiveness of lightning continuous current dissipation to the ground locally is a few percent larger than for return stroke currents. The obtained valuable measurements provide an incentive for further experimental and computational research in order to better know the most important conditions affecting the distribution of continuous current in the lightning protection system.

Keywords: lightning protection system, surge current, measurements and simulations

DOI: 10.7862/re.2015.13

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: kwiecień 2015