

doi:10.15199/48.2016.02.03

Udary przepięciowe w obwodach elektroenergetycznych niskiego napięcia

Streszczenie. Opisano przebiegi i parametry przepięć występujących w obwodach zasilania elektroenergetycznego niskiego napięcia. Dokonano przeglądu znormalizowanych impulsów, który oparto głównie na normach IEEE oraz IEC. Przedstawiono główne podobieństwa i różnice koncepcji dotyczących klasyfikacji źródeł narażeń, miejsc narażeń oraz środków ochrony przed przepięciami.

Abstract. Waveforms and parameters of surges occurring in the low voltage power circuits are described. A review of standardized pulses is done, which is based primarily on the IEEE and IEC standards. The main similarities and differences in concepts regarding the classification of threat sources, places of occurrence, and measures for protection against surges are presented. (**Overvoltage surges in low-voltage power circuits**).

Słowa kluczowe: impuls, prąd piorunowy, przepięcie komutacyjne, ekspozycja na przepięcia, odporność udarowa.

Keywords: pulse, lightning current, switching overvoltage, exposure to surges, surge immunity.

Wstęp

Jednym z istotnych zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej jest identyfikacja zaburzeń mogących pojawiać się w obwodach zasilania elektrycznego. Wraz z szybkim rozwojem zastosowań i miniaturyzacją aparatury elektronicznej rozwijane są zarówno wiedza o środowisku elektromagnetycznym, jak i technologie wytwarzania i instalowania urządzeń przeznaczonych do ochrony przed oddziaływaniem zaburzeń. Niniejsza praca jest poświęcona udarom krótkotrwałym (ang. *surges*), które pojawiają się w sieci zasilającej przez czas zwykle wyraźnie krótszy od połowy okresu napięcia przemiennego, a mają energię na tyle dużą, że mogą uszkodzić urządzenia podłączone do sieci lub zakłócić ich pracę. Przedmiotem pracy nie są przepięcia trwające znacznie dłużej, a pojawiające się wskutek stanów awaryjnych. Nie są również omawiane serie krótkotrwałych impulsów EFT/B (ang. *Electrical Fast Transient/Burst*), ani wyładowania elektrostatyczne ESD (ang. *Electrostatic Discharge*). Dla syntetycznego ujęcia zagadnienia treść artykułu stanowi próbę kompilacji zaleceń wybranych ze standardów IEEE oraz IEC/EN [1-5]. Celem niniejszego opracowania nie jest szczegółowe wymienienie poziomów impulsów testowych dla różnych przyłączy urządzeń, lecz raczej uzasadnienie ich znormalizowanych przebiegów czasowych i wartości maksymalnych.

Ochrona przed oddziaływaniem przepięć jest ważnym punktem zagadnienia jakości energii elektrycznej. Przy analizie problemu jakości energii często prezentowana jest piramida względnych kosztów działań na rzecz poprawy tej jakości, przedstawiona na rysunku 1 [6]. Jak widać z tej prostej prezentacji graficznej, uziemianie i wyrównywanie potencjałów są działaniami podstawowymi, a jednocześnie najmniej kosztownymi. Bez nich inne działania nie przynoszą pożądanego efektów. Ograniczanie przepięć jest kolejnym schodkiem tej piramidy, dzięki stosunkowo małym względnym kosztom i znacznej efektywności.



Rys. 1. Piramida kosztów poprawy jakości energii elektrycznej [6]

Zagadnienie odporności na przepięcia w obwodach zasilania znalazło swoje odbicie m.in. w znanej krzywej ITIC (krzywej CBEMA), cytowanej w Europie mimo jej bezpośredniego zastosowania do sprzętu informatycznego w Ameryce Północnej, zasilanego z sieci elektrycznej o innym napięciu i częstotliwości. Krzywa ta służy do przedstawienia obszaru tolerancji sprzętu na wszelkiego rodzaju zaburzenia napięcia [7].

Przyczyny przepięć i ich propagacja w obwodach zasilania

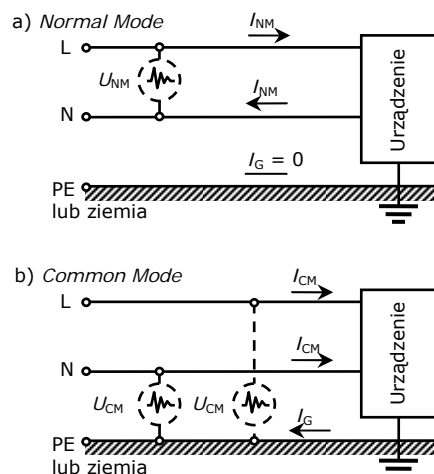
W normach IEEE [1, 2] zidentyfikowano dwie grupy pierwotnych przyczyn powstawania udarów:

- przepięcia spowodowane wyładowaniami atmosferycznymi,
- przepięcia komutacyjne.

Uwzględnia się również trzecią grupę zjawisk, które można nazwać przyczynami wtórnymi:

- interakcje między różnymi obwodami, szczególnie między obwodami zasilania i sieciami sygnałowymi, jeśli w jednym z nich pojawią się przepięcia.

Udary docierają do wrażliwych obwodów w zasadzie tak samo, jak i inne zakłócenia: przez przewodzenie, sprzężenie z polami strefy bliskiej źródła zakłóceń i promieniowanie. Udary o największej energii docierają zwykle za pośrednictwem instalacji przewodzących, a sposoby rozprzestrzeniania się zaburzeń przewodzonych można opisać za pomocą dwóch rodzajów propagacji: symetrycznego i niesymetrycznego (rys. 2).



Rys. 2. Rodzaje (mody) propagacji udarów przewodzonych: symetryczny (a) i niesymetryczny (b)

Należy podkreślić znaczenie rodzaju niesymetrycznego (ang. *Common Mode*), gdyż w taki sposób rozchodzą się udary nie tylko w instalacjach przeznaczonych do przewodzenia prądu, ale także we wszystkich metalowych instalacjach nieelektrycznych. Przepięcia te docierają do aparatury elektronicznej za pośrednictwem przewodów wyrównawczych (ochronnych) lub metalowych konstrukcji wsporczych. Szczególnym przykładem może być nagły wzrost potencjału uziomu przy wyładowaniu atmosferycznym, co może doprowadzić do rozległych uszkodzeń, jeśli system połączeń wyrównawczych w trafionym obiekcie jest niewłaściwie wykonany.

Udary przepięciowe w sieciach zasilających przenikają przez transformatory elektroenergetyczne nie podlegając obniżeniu wynikającemu z przekładni zwojowych, gdyż główną drogą przenikania impulsów mikrosekundowych przez transformatory są pojemności międzyzwojeniowe. Stosując transformatory o odpowiedniej konstrukcji, zawierające uziemione uzwojenia ekranujące, redukujące pojemność między uzwojeniami pierwotnym i wtórnym, można znacząco stłumić przepięcia przenikające do obwodów przyłączonych do uzwojeń wtórnych [6].

Prąd wyładowań atmosferycznych

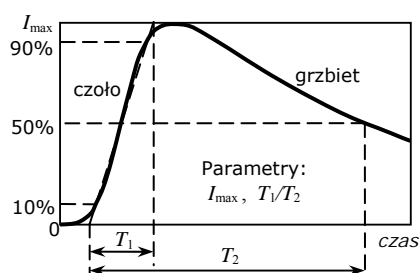
Oddziaływanie wyładowań atmosferycznych można najprościej podzielić na dwa scenariusze: pośredni i bezpośredni [1, 2]. W scenariuszu pierwszym, oddziaływania pośredniego, istnieją dwa mechanizmy sprężenia:

- udary pojawiające się w zewnętrznej sieci zasilającej, drogą galwaniczną lub wskutek zjawiska indukcji, i docierające do złącza elektroenergetycznego obiektu;
- pole elektryczne i magnetyczne penetrujące obiekt i sprzęgające się z okablowaniem wewnętrznym.

W rzadziej występującym scenariuszu drugim, bezpośrednim (w tym uderzenia pioruna w ziemię bardzo blisko obiektu), wyróżnia się trzy główne mechanizmy sprężenia:

- część prądu piorunowego wpływająca bezpośrednio do obwodów zasilania;
- udary indukowane w obwodach wewnętrznych obiektu;
- udary związane z lokalnym wzrostem potencjału uziomu, powodującym zadziałanie ograniczników przepięć zainstalowanych na wejściu do obiektu.

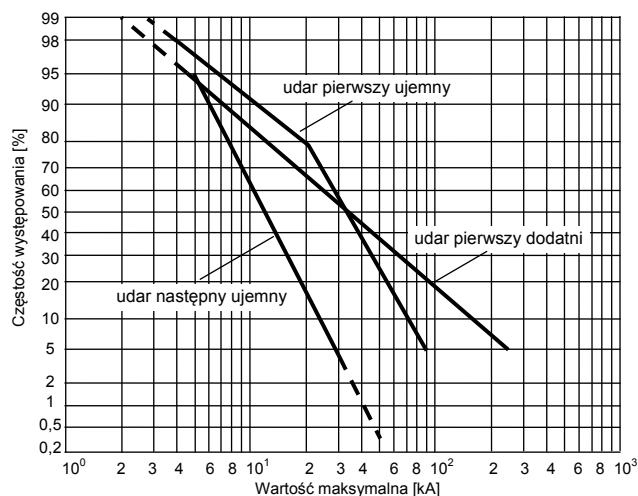
Scenariusze te dotyczą również linii sygnałowych. W ogólnym opisie środowiska elektromagnetycznego, scenariusz pierwszy obejmuje również przepięcia komutacyjne docierające do obiektu z zewnątrz. W szczególności dotyczy to opisu matematycznego udarów napięciowych i prądowych. Typowe udary towarzyszące wyładowaniom atmosferycznym są opisywane przebiegiem aperiodycznym o trzech parametrach: I_{max} – wartości maksymalnej, T_1 – czasie czoła i T_2 – czasie do półszczytu (rys. 3).



Rys. 3. Wykres standardowego impulsu aperiodycznego

Zwięzłe opisy typowego doziemnego wyładowania atmosferycznego można znaleźć w [8-10]. Parametry

wyładowań atmosferycznych charakteryzują się znacznym rozrzutem statystycznym. Zestawienie rozkładów częstości występowania różnych parametrów prądu pioruna znajduje się np. w [1, 3]. Na rysunku 4 przedstawiono wykresy skumulowanej częstości występowania wartości maksymalnych trzech typów wyładowań doziemnych.



Rys. 4. Skumulowany rozkład częstości występowania maksymalnych wartości prądu pioruna [1, 3]

Na podstawie opublikowanych wyników pomiarów opracowano standaryzowane parametry impulsów prądowych [3, 8-11]. Wykresy znormalizowanych przebiegów przedstawiono na rysunku 5. Porównanie przebiegów standaryzowanych z opublikowanymi wynikami pomiarów zamieszczono w [8]. Należy podkreślić, że przebiegi te dotyczą prądu samego pioruna, a nie udarów rozchodzących się w przewodach linii. Udary prądowe pojawiające się w obwodach mogą mieć podobny przebieg tylko przy bezpośrednim wpłynięciu do sieci części prądu piorunowego.

Maksymalne wartości natężenia prądu piorunowego, przed którymi należy zapewnić ochronę zgodnie z [3], są opisane impulsami:

- 200 kA, 10/350 μ s – pierwsze wyładowanie dodatnie;
- 100 kA, 1/200 μ s – pierwsze wyładowanie ujemne;
- 50 kA, 0,25/100 μ s – następne wyładowanie ujemne.

W normach PN-EN 62305 do opisu przebiegów prądu pioruna stosowany jest wzór Heidera [3, 8-11], którego parametry liczbowe są zestawione w tabelicy 1:

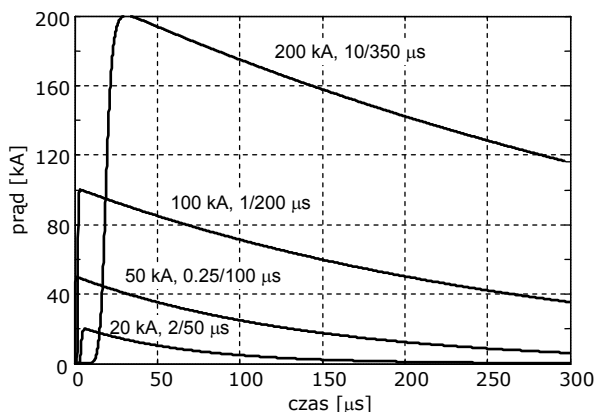
$$(1) \quad i(t) = \frac{I_m}{\eta} \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \exp(-t/\tau_2)$$

Celowe wydaje się również uwzględnianie impulsu 20 kA, 2/50 μ s [8, 12], który był stosowany m.in. w dawnej literaturze rosyjskiej, a ma parametry bliskie wartościom przeciętnym [13]. W tabelicy 1 dodano ten impuls.

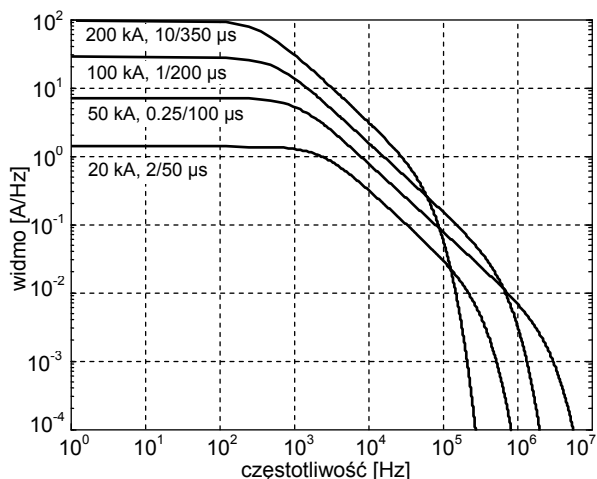
Tabelica 1. Współczynniki wzoru (1)

Parametr	Przebieg prądu			
	200 kA, 10/350 μ s	100 kA, 1/200 μ s	50 kA, 0,25/100 μ s	20 kA, 2/50 μ s
η	0,930	0,986	0,993	0,903
τ_1 [μ s]	19,0	1,82	0,454	3,8670
τ_2 [μ s]	485	285	143	66,507

Z wykresów widm amplitudowych (rys. 6) wynika, że główna część energii impulsów piorunowych zawiera się w paśmie częstotliwości do około 100 kHz, jednak z powodu znacznej energii niesionej przez te udary należy rozpatrywać pasmo nawet do około 10-20 MHz.



Rys. 5. Wykresy znormalizowanych przebiegów prądu pioruna

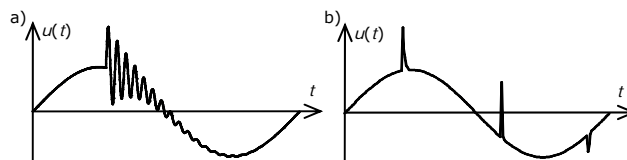


Rys. 6. Widma amplitudowe znormalizowanych impulsów prądu piorunowego

Przebiegi komutacyjne

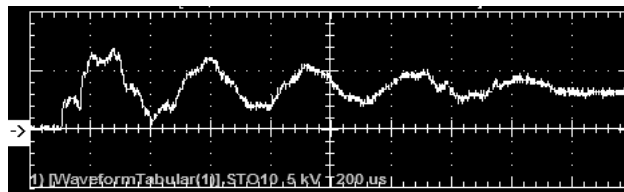
Najczęściej występującymi przebiegami w sieciach zasilających, znacznie częściej niż przebiegi towarzyszące uderzeniom piorunów, są przebiegi komutacyjne. Na ogół każda operacja łączeniowa czy stan awaryjny skutkuje pojawieniem się przebiegu. Nagła zmiana warunków pracy systemu powoduje powstanie zaburzenia, które zwykle ma charakter zanikających oscylacji, o częstotliwości znacznie większej od 50 Hz, ściśle określonej przez rezonansowe właściwości sieci. Zwykle obserwowane są oscylacje o częstotliwości od 5 kHz do 500 kHz (najczęściej od 30 kHz do 150 kHz); jako wartość znormalizowaną przyjęto 100 kHz [1, 2, 14, 15]. Ich wartość maksymalna zależy od wielu parametrów, w tym od typu obwodu, rodzaju wykonywanej operacji łączeniowej, impedancji przełączanych części sieci, itd. W większości przypadków maksymalna wartość napięcia tłumionych oscylacji jest w przybliżeniu dwukrotnie większa od amplitudy napięcia panującego w sieci (rys. 7a). Jeśli w sieci występują odbiorniki indukcyjne (transformatory, silniki), to przebiegi mogą mieć znacznie większe wartości. Dotyczy to również przerywania przepływu prądów zwarciovych. Różnorodność wartości maksymalnych jest związana z losowym związkiem procesów łączeniowych z chwilową wartością napięcia w sieci. Przebiegi komutacyjne mogą być również generowane wewnątrz obiektu podlegającego ochronie.

W obwodach zasilających bardzo często obserwowane są również przebiegi o charakterze aperiodycznym (rys. 3 i 7b), zwykle o wartościach maksymalnych od kilkuset woltów do kilku kilowoltów, i o czasie trwania od kilku do kilkudziesięciu mikrosekund.



Rys. 7. Przykłady przebiegów w obwodach zasilających

Przykład przebiegu komutacyjnego, zarejestrowanego przy załączeniu napięcia w sieci trakcyjnej 3 kV DC, przedstawiono na rysunku 8. Wartość maksymalna oscylacji przekracza 6 kV, a całkowity czas trwania stanu przejściowego wynosi około 1,7 ms. Jak wspomniano we wstępie, niniejsza praca nie dotyczy przebiegów trwających znacznie dłużej, pojawiających się wskutek stanów awaryjnych, które mogą powodować znaczne uszkodzenia.



Rys. 8. Przykład oscylogramu napięcia podczas załączenia linii 3 kV DC (podziałki: 5 kV/dz, 200 μs/dz)

Podczas opracowywania norm EMC ograniczono liczbę impulsów standaryzowanych tak, aby zaledwie kilka przebiegów mogło modelować typowe udary w obwodach zasilających i sygnałowych, zarówno komutacyjne, jak i pochodzenia atmosferycznego. Poniżej zostaną przedstawione opisy przebiegów czasowych udarów standaryzowanych [14], a oczekiwane wartości maksymalne będą opisane dalej.

Znormalizowany przebieg aperiodyczny napięcia rozwarciowego jest opisany za pomocą dwuwykładniczego impulsu 1,2/50 μs:

$$(2) \quad \begin{aligned} u(t) &= A \cdot V_m [1 - \exp(-t/\tau_1)] \exp(-t/\tau_2) = \\ &= A \cdot V_m [\exp(-t/a) - \exp(-t/b)], \end{aligned}$$

gdzie V_m – wartość maksymalna napięcia, $A = 1,037$, $\tau_1 = 0,4074 \mu s$, $\tau_2 = 68,22 \mu s$, $a = 68,22 \mu s$, $b = 0,405 \mu s$.

Znormalizowany przebieg aperiodyczny prądu zwarciovego jest opisany za pomocą impulsu 8/20 μs:

$$(3) \quad i(t) = A \cdot I_m t^3 \exp(-t/\tau)$$

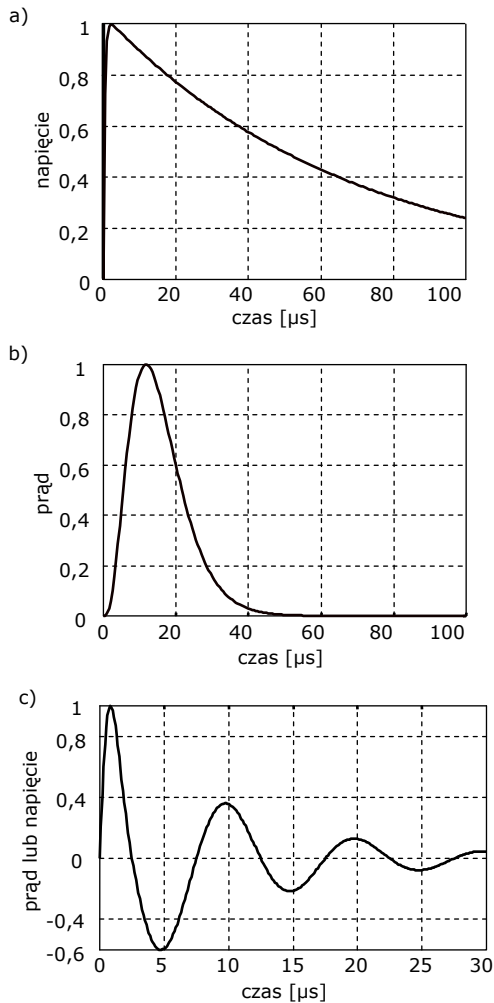
gdzie I_m – wartość maksymalna prądu, $A = 0,01243$, $\tau = 3,911 \mu s$.

Znormalizowany przebieg oscylacyjnie tłumiony napięcia rozwarciowego lub prądu zwarciovego jest opisany za pomocą impulsu 0,5 μs – 100 kHz:

$$(4) \quad x(t) = \begin{cases} B \cdot X_m y(t)(1 + \eta y(t)) & \text{dla } 0 \leq t \leq 2,5 \mu s \\ B \cdot X_m y(t) & \text{dla } t > 2,5 \mu s \end{cases}$$

gdzie $x(t)$ – napięcie lub prąd, X_m – wartość maksymalna napięcia lub prądu, $y(t) = A [1 - \exp(-t/\tau_1)] \exp(-t/\tau_2) \cos \omega t$, $A = 1,590$, $\tau_1 = 0,4791 \mu s$, $\tau_2 = 9,788 \mu s$, $\omega = 2\pi \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$, $B = 0,6205$, $\eta = 0,523$.

Wykresy tych przebiegów przedstawiono na rysunku 9. Do opisu przebiegów w liniach telekomunikacyjnych stosowane są ponadto impulsy 10/700 μs oraz 10/1000 μs, modelujące przebiegi zarówno napięcia, jak i prądu.

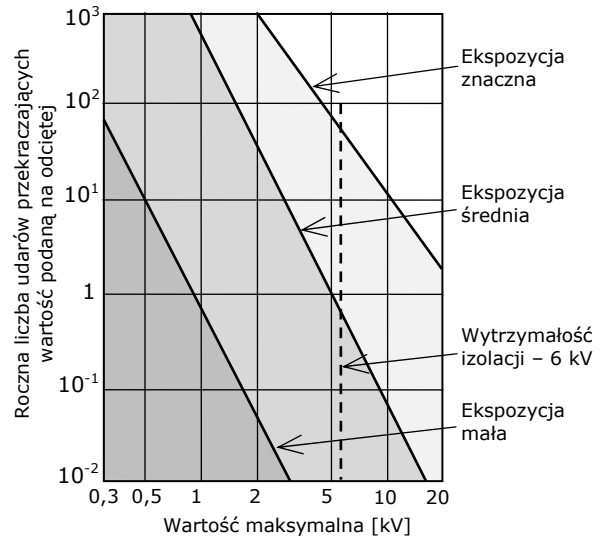


Rys. 9. Wykresy aperiodycznego impulsu napięciowego 1,2/50 μs (a) i prądowego 8/20 μs (b) oraz tłumionego przebiegu oscylacyjnego 0,5 μs – 100 kHz (c)

Ekspozycja obiektu na przebiecia według norm IEEE

Przebiecia są zjawiskiem tak powszechnym, że do ich analizy można stosować metody statystyczne. Poziom narażenia na przebiecia zależy w głównej mierze od funkcji obiektu (np. obiekt przemysłowy, budynek biurowy, budynek mieszkalny) oraz od jego lokalizacji (np. miasto, wieś, teren niezabudowany, bliskość obiektów przemysłowych) i położenia geograficznego. Wyniki wielu badań, zebrane m.in. w [1, 14], pozwalają na wyznaczenie przybliżonych zależności matematycznych, w tym tzw. reguły trzeciej potęgi. Według tej reguły (nie zawsze słusznej) przyjmuje się, że średnia roczna liczba N przebiec o wartości maksymalnej V , w tym przebiec piorunowych, jest w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalna do trzeciej potęgi napięcia: $N \sim V^{-3}$.

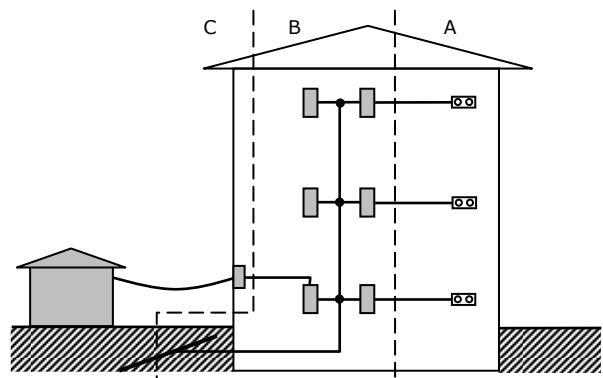
W opracowaniach IEEE [1, 2] wprowadzono jakościowe pojęcie ekspozycji na przebiecia, dokonując klasyfikacji na ekspozycję małą, średnią i znaczną, a odpowiednie wartości liczbowe przebiec i średnią roczną częstość ich występowania zebrano w postaci graficznej na rysunku 10. Na rysunku tym linią przerywaną zaznaczono wartość 6 kV, do której przebiecia wewnątrz budynków zwykle bywają ograniczane wskutek ograniczonej wytrzymałości izolacji (przebicia, przeskokki iskrowe), nawet przy braku ograniczników przebiec [1]. Ocenia się, że na zewnątrz budynków wartość ta wzrasta do 10 kV. W ocenie wartości 6 kV i 10 kV zalecenia IEEE oraz IEC/EN są zgodne.



Rys. 10. Ekspozycja na udary obiektu bez ograniczników przebiec

Z powodu znacznego zakresu możliwych impedancji źródeł oraz trudności wyznaczenia konkretnych wartości, w zaleceniach IEEE opracowano trzy szerokie kategorie lokalizacji dla reprezentacji zdecydowanej większości przypadków (rys. 11):

- A – długie odgałęzienia i gniazdka zasilające;
- B – wewnętrzne linie zasilające (wz), tablice rozdzielcze, krótkie odgałęzienia;
- C – linie zewnętrzne, przyłącza i złącza kablowe.



Rys. 11. Kategorie lokalizacji w standardach IEEE [1, 15]

Tablica 2. Udary testowe dla wybranych lokalizacji i ekspozycji

Kategoria lokalizacji	Test	Napięcie, prąd	Impedancja
A	oscylacje tłumione 0,5 μs – 100 kHz	6 kV, 0,2 kA	30 Ω
A	kombinacja impulsów 1,2/50 μs – 8/20 μs	6 kV, 0,5 kA	12 Ω
B	oscylacje tłumione 0,5 μs – 100 kHz	6 kV, 0,5 kA	12 Ω
B	kombinacja impulsów 1,2/50 μs – 8/20 μs	6 kV, 3 kA	2 Ω
C (ekspozycja mała)	kombinacja impulsów 1,2/50 μs – 8/20 μs	6 kV, 3 kA	2 Ω
C (ekspozycja znaczna)	kombinacja impulsów 1,2/50 μs – 8/20 μs	10 kV, 10 kA	1 Ω
Opcjonalnie			
C (ekspozycja mała)	oscylacje tłumione 0,5 μs – 100 kHz	6 kV	–
C (ekspozycja znaczna)	oscylacje tłumione 0,5 μs – 100 kHz	6 kV	–

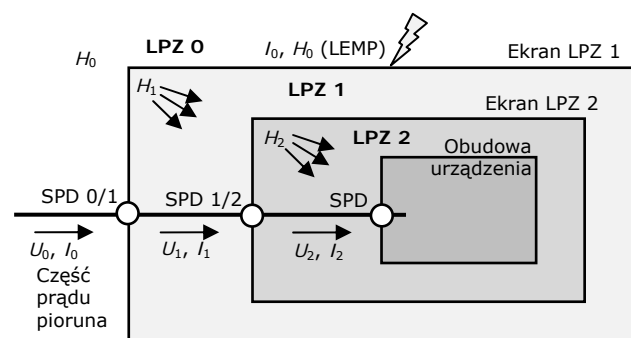
Impedancja źródeł udarów maleje przy przechodzeniu od lokalizacji A do C. Określono standaryzowane poziomy przepięć, odpowiednie dla danej lokalizacji i poziomu ekspozycji. W tabelicy 2 przedstawiono wybrane wartości udarów testowych fazowych i międzyfazowych, wymagane w normach IEEE. Udry testowe między przewodami N i PE są określone przez ciąg napięć 6 – 4 – 3 – 2 – 1 kV, zależnie od lokalizacji i ekspozycji.

Odporność udarowa według norm IEC/EN

Zamiast pojęć ekspozycji na przepięcia i kategorii lokalizacji, w normach IEC/EN dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej stosowane jest bardziej elastyczne pojęcie środowiska elektromagnetycznego. Wydaje się, że pozwala ono bardziej szczegółowo scharakteryzować zarówno lokalizację, jak i rodzaje spodziewanych zaburzeń elektromagnetycznych, nie tylko impulsowych. Jednocześnie wprowadzana jest bardziej szczegółowa klasyfikacja poziomów impulsów testowych, służących do laboratoryjnej symulacji przepięć, na które urządzenia powinny być odporne bez stosowania dodatkowych ograniczników przepięć SPD (ang. *Surge Protective Devices*). Poziomy testowe zaburzeń elektromagnetycznych znajdują się w odpowiednich normach, charakteryzujących dane środowisko, grupę wyrobów, lub konkretny wyrób. Wybrane parametry udarów testowych są zebrane w [11].

Poziomy wytrzymałości instalacji elektroenergetycznych są określone w normie PN-EN 60664-1 [5]. Poziomy wytrzymałości urządzeń telekomunikacyjnych są opisane w zaleceniach ITU-T K.20, K.21 i K.45 [16-18] (dostępne bezpłatnie w Internecie). Ogólne poziomy wytrzymałości urządzeń są określone w PN-EN 61000-4-5 [19] w opisach prób odporności na udary przewodzone. Probiercze poziomy napięciowe w [19] mają wartości maksymalne 0,5 – 1 – 2 – 4 kV przebiegu o kształcie 1,2/50 μ s, a probiercze poziomy prądowe mają wartości 0,25 – 0,5 – 1 – 2 kA przebiegu o kształcie 8/20 μ s.

Najsilniejsze udary w obwodach niskiego napięcia są powodowane przez wyładowania atmosferyczne, toteż zostaną one opisane dokładniej, na podstawie serii norm PN-EN 62305 [3]. W normach [3] zalecane jest stosowanie strefowej koncepcji ochrony odgromowej, która jest schematycznie zilustrowana na rysunku 12.



Rys. 12. Ilustracja strefowej koncepcji ochrony odgromowej budynku [3]

Na zewnątrz budynku określono strefę 0_A (LPZ – ang. *Lightning Protection Zone*). Obiekty znajdujące się w tej strefie są narażone na bezpośrednie trafienie pioruna (prąd I_0) oraz na oddziaływanie pola magnetycznego H_0 towarzyszącego wyładowaniu atmosferycznemu. Wpływ pola elektrycznego jest zaniedbywany w serii norm [3]; założenie to wydaje się wątpliwe. Również na zewnątrz budynku, ale w strefie ochronnej utworzonej przez układ zwodów piorunochronnych, określono strefę 0_B, w której

obiekty nie są już narażone na wyładowanie bezpośrednie, ale oddziaływanie pola magnetycznego H_0 jest takie samo, jak w strefie 0_A. Wewnątrz budynku, otoczonego siecią instalacji piorunochronnej istnieje strefa LPZ 1, charakteryzująca się mniejszym zagrożeniem urządzeń elektronicznych, dzięki ekranującemu działaniu instalacji odgromowej i – ewentualnie – zbrojenia ścian budynku, a także dzięki zainstalowaniu ograniczników przepięć (SPD 0/1) na granicy stref 0 i 1. Można określać kolejne strefy ochrony: LPZ 2, LPZ 3, itd. Próby zdefiniowania wartości maksymalnych przepięć strefach LPZ cytowano m.in. w [11]. W obwodach znajdujących się w strefie 0_B, do których nie wpływa prąd wyładowania bezpośredniego, określono:

- napięcie o wartości maksymalnej 10 kV przebiegu o kształcie 1,2/50 μ s, oraz
- prąd 5 kA przebiegu o kształcie 8/20 μ s.

W obwodach znajdujących się w strefie 1, określono maksymalny udar jako:

- impuls napięciowy 6 kV 1,2/50 μ s, oraz
- impuls prądowy 3 kA 8/20 μ s.

Wartości podane powyżej są bliskie udarom opisanym w tabelicy 2, jednak nie uzyskały one uznania w postaci zapisów normatywnych. W serii norm [3] określono natomiast poziomy udarów napięciowych i prądowych przytoczone poniżej.

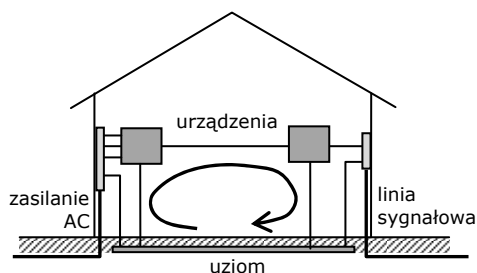
1. LEMP (ang. *Lightning Electromagnetic Pulse*) – główne źródło uszkodzeń: prąd pioruna I_0 lub jego część, o przebiegu 10/350 μ s, 1/200 μ s lub 0,25/100 μ s (1) oraz o wartości maksymalnej zgodnej z określonym poziomem ochrony odgromowej (od I do IV).
2. Poziomy wytrzymałości udarowej instalacji elektroenergetycznej – na podstawie kategorii przepięć od I do IV dla napięć znamionowych 230/400 V według PN-EN 60664-1 [5]. Kategorie te są określone odpowiednio wartościami 6 – 4 – 2,5 – 1,5 kV.
3. Poziomy wytrzymałości instalacji telekomunikacyjnej – zgodne z zaleceniami ITU [16-17].
4. Poziomy wytrzymałości urządzeń bez odpowiednich norm wyrobu – takie, jak określone dla przewodzonych (U, I) skutków pioruna w normie PN-EN 61000-4-5 [19]:
 - impulsy napięciowe 1,2/50 μ s o wartościach maksymalnych 4 – 2 – 1 – 0,5 kV oraz
 - impulsy prądowe 8/20 μ s o wartościach maksymalnych 2 – 1 – 0,5 – 0,25 kA.

Oddziaływanie między obwodami zasilania i sieciami sygnałowymi

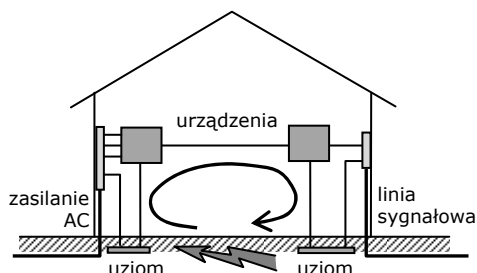
W przypadku urządzeń, które są podłączone nie tylko do sieci zasilającej, ale także do linii sygnałowych, powinna być przeanalizowana interakcja między obwodami zasilania i obwodami sygnałowymi. Zwykle wejścia linii zasilających i linii sygnałowych do budynku są od siebie oddalone, odległości między współpracującymi urządzeniami mogą być również duże, co może być przyczyną znacznych różnic potencjałów doprowadzanych przewodami do tego samego urządzenia, nawet mimo zainstalowania ograniczników przepięć na wszystkich wejściach do budynku (rys. 13).

Przykłady podobne do przedstawionego na rysunku 13 można mnożyć (komputery, faksy, telewizory, układy pomiarowe z transmisją danych na zewnątrz, przemysłowe szafy sterownicze). Przewody zasilające, ochronne i sygnałowe mogą tworzyć duże, niekorzystne pętle, a ciągłość połączeń z uziomem często bywa problematyczna.

Różnica potencjałów pojawiająca się w pętli zaznaczonej na rysunku 13 może być znacznie zwiększona wskutek realizacji błędnej koncepcji tzw. uziomów dedykowanych (izolowanych, wydzielonych), czyli rozdzielania uziomów w jednym budynku (rys. 14).



Rys. 13. Przykład konfiguracji niekorzystnej dla ochrony przed przepięciami; strzałką zaznaczono schematycznie prąd zaburzenia, który może popłynąć w utworzonej pętli



Rys. 14. Przykład błędnej koncepcji tzw. uziołów wydzielonych (zagrożenie w postaci znacznych różnic potencjałów)

Podsumowanie

Przedstawiono dwie główne koncepcje opisu przepięć pojawiających się w literaturze normalizacyjnej. W kolejnych edycjach zaleceń IEEE oraz IEC/EN można zauważyć postępujące zbliżenie opisów ilościowych impulsów standardowych, mimo istniejących różnic w zakresie opisów jakościowych.

Pierwotnymi przyczynami udarów pojawiających się w instalacjach elektrycznych są wyładowania atmosferyczne i procesy komutacyjne.

Ochrona instalacji elektrycznych i urządzeń przed udarami przepięciowymi należy do podstawowych i ekonomicznie uzasadnionych działań projektantów, wytwórców i użytkowników sprzętu elektronicznego.

Repertuar standaryzowanych kształtów przebiegów czasowych udarów i ich wartości maksymalnych jest racjonalnie ograniczony, z uwzględnieniem zarówno typowości przebiegów przepięć pojawiających się w instalacjach elektrycznych, jak i możliwości przeprowadzania powtarzalnych testów odporności urządzeń w laboratoriach.

Warto odnotowania jest sformułowanie zawarte w [2], które w wolnym tłumaczeniu brzmi następująco: „Należy bezwzględnie podkreślić, że opisy środowiska i zalecanych przebiegów testowych powinny być stosowane jako podstawa dla pomyślnych realnych zastosowań, z uwzględnieniem odpowiedniej analizy ryzyka, ale nie jako ślepy urzędniczy nakaz”.

Autor: dr hab. inż. Karol Aniserowicz, prof. nzw. w PB, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: k.aniserowicz@pb.edu.pl.

LITERATURA

- [1] IEEE Std C62.41.1-2002 – *IEEE guide on the surge environment in low-voltage (1000 V and less) AC power circuits*.
- [2] IEEE Std C62.41.2-2002 – *IEEE recommended practice on characterization of surges in low-voltage (1000 V and less) AC power circuits*.
- [3] PN-EN 62305 – seria norm: *Ochrona odgromowa*. Część 1: Zasady ogólne. Część 2: Zarządzanie ryzykiem. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia. Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach.
- [4] PN-HD 60364-4-443, *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych*. Część: 4-443: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed zaburzeniami napięciowymi i zaburzeniami elektromagnetycznymi – Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi.
- [5] PN-EN 60664-1, *Koordinacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia*. Część 1: Zasady, wymagania i badania.
- [6] D. Paul, “Low-voltage power system surge overvoltage protection”, *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 37, No. 1 (2001), 223-229.
- [7] D. Chapman, „Koszty niskiej jakości zasilania”, *Jakość zasilania – poradnik, zeszyt 2.1*, LPQI, Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A., Wrocław (2001).
- [8] K. Aniserowicz, *Analiza zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej w rozległych obiektach narażonych na wyładowania atmosferyczne*, Oficyna Wyd. Politechniki Białostockiej, <http://pbc.biaman.pl/dlibra>, Białystok (2005).
- [9] K. Aniserowicz, „Parametry piorunowych impulsów elektromagnetycznych”, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 5 (2014), 4-8.
- [10] G. Masłowski, *Analiza i modelowanie wyładowań atmosferycznych na potrzeby ochrony przed przepięciami*, Wyd. AGH, Kraków (2010).
- [11] R. Markowska, A. W. Sowa, *Ochrona odgromowa obiektów radiokomunikacyjnych*, Oficyna Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok (2013).
- [12] W. I. Krawczenko, *Grozozaszczyta radioelektronicznych sriedstw*, Radio i Swjaż (1991).
- [13] M. A. Uman, “Natural lightning”, *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 30, No. 3, May/June (1994), 785-790.
- [14] R. B. Standler, *Protection of electronic circuits from overvoltages*, Wiley & Sons, New York (1989).
- [15] F. D. Martzloff, “The development of a guideline on surge voltages in low-voltage AC power circuits”, *IEEE Power Engineering Society (PES) Summer Meeting*, Vancouver, Paper A 79 428-4 (1979).
- [16] Recommendation ITU K.20 (11/2011), *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents*.
- [17] Recommendation ITU K.21 (11/2011), *Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents*.
- [18] Recommendation ITU K.45 (11/2011), *Resistibility of telecommunication equipment installed in the access and trunk networks to overvoltages and overcurrents*.
- [19] PN-EN 61000-4-5, *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC)*. Część 4-5: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na udary.