

Łukasz DRUŻYŃSKI*, Jerzy JANISZEWSKI*

BADANIA MODELOWE GENERATORÓW UDARÓW TESTOWYCH DO BADAŃ NISKONAPIĘCIOWYCH OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ

W artykule przedstawiono tematykę związaną z urządzeniami do ograniczania przepięć. Przedstawiono wymagania norm oraz omówiono urządzenia niezbędne do ich testowania. Przeprowadzono symulacje komputerowe działania wybranych testowych generatorów probierczych. Wyznaczono charakterystyczne parametry otrzymywanych udarów. Określono wpływ zmiany poszczególnych parametrów schematu zastępczego generatora, na kształt uzyskiwanego przebiegu udaru testowego. Przeprowadzone badania symulacyjne nakierowane są na praktyczne wykorzystanie różnych typów generatorów. Przedstawione wyniki mogą przyczynić się do usprawnienia procesu projektowania testowych generatorów udarów. Mogą być również pomocne, podczas eksploatacji już pracujących urządzeń testowych.

SŁOWA KLUCZOWE: ogranicznik przepięć, generator udaru kombinowanego, udar prądowy, udar napięciowy, LTspice.

1. WPROWADZENIE

Zmieniające się warunki atmosferyczne oraz liczne procesy łączeniowe spowodowały zintensyfikowane użycie ograniczników przepięć, jako urządzeń do ochrony różnych części systemu elektroenergetycznego przed negatywnymi skutkami przepięć różnego pochodzenia. Zapewnienie ich niezawodnej pracy jest przyczyną zainteresowania urządzeniami do ich testowania oraz powstania norm określających, jakie wymagania powinny spełniać.

Urządzeniem do ograniczania przepięć SPD (z ang. Surge Protection Device) nazywa się urządzenie przewidziane do ograniczania przepięć przejściowych i odprowadzania prądów udarowych, wyposażone, w co najmniej jeden element nieliniowy. Wyróżnia się SPD typu ucinającego napięcie oraz ograniczającego napięcie. Pierwsze charakteryzują się dużą impedancją przy braku napięcia, zmniejszającą się w sposób gwałtowny wraz z pojawieniem się udaru napięciowego. Natomiast SPD typu ograniczającego, charakteryzują się dużą impedancją

* Politechnika Poznańska.

przy braku napięcia, zmniejszającą się w sposób ciągły (proporcjonalnie) wraz z pojawieniem się udaru napięciowego. Jako elementy ucinające zwykle wykorzystuje się iskierniki. Jako elementy ograniczające stosuje się warystory, rzadziej diody ograniczające [1].

2. WYMAGANIA NORMATYWNE DOTYCZĄCE NISKONAPIĘCIOWYCH OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ

2.1. Wiadomości podstawowe

Każde urządzenie elektryczne dopuszczone do eksploatacji powinno spełniać odpowiednie wymagania, które zapewniają jego poprawną oraz bezpieczną pracę. Podobnie urządzenia do ograniczania przepięć wykonuje się z uwzględnieniem norm, odpowiednich dla danej konstrukcji oraz rodzaju i poziomu napięcia znamionowego. Istnieją, zatem odrębne dokumenty dotyczące urządzeń niskonapięciowych oraz wysokonapięciowych, dla różnych rodzajów urządzeń ograniczających przepięcia. Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia, wykonywane są według normy PN-EN 61643-11, której najnowsze wydanie zostało opublikowane w 2013 roku [1].

2.2. Wymagania i próby

Norma [1] określa wymagania, jakie muszą spełniać niskonapięciowe ograniczniki przepięć oraz nakłada określone obowiązki na ich producentów. Urządzenie powinno zostać odpowiednio oznakowane, przez naniesienie m. in. znaku producenta, największego napięcia trwałej pracy U_c i napięciowego poziomu ochrony U_p oraz klasy testu i parametrów próby. Oznaczenia na urządzeniu powinny być nieusuwalne i czytelne, nie powinny być umieszczone na śrubach oraz innych elementach, które podczas normalnej eksploatacji mogą być wyjmowane. W tabeli 1 przedstawiono rodzaje testów przeprowadzanych w celu potwierdzenia spełnienia określonych wymagań. Produkt powinien spełniać wymagania elektryczne, mechaniczne, środowiskowe i materiałowe. Najistotniejsze z punktu widzenia konieczności wykorzystania testowych generatorów udarów są wymagania elektryczne.

Rodzaj badania, zależy od typu SPD, przeznaczenia oraz sposobu montażu. Poszczególnym typom ograniczników przepięć od 1 do 3 odpowiadają próby klasy od 1 do 3. W przypadku urządzeń dostępnych w zasięgu ręki, należy przeprowadzić próbę skuteczności ochrony przed dotykiem bezpośrednim. Obligatoryjnym badaniem dla każdego typu SPD jest określenie napięciowego

poziomu ochrony. Kolejną próbą jest próba działania, w której symuluje się normalne warunki pracy ogranicznika przepięć. Przed przystąpieniem do właściwej próby należy określić wartość prądu następczego. Od jego wartości zależą parametry źródła napięcia, do którego przyłącza się badaną próbkę.

Norma dokładnie określa parametry udarów, ich ilość oraz czas przerw pomiędzy kolejnymi próbami. Kryteriami oceny wyników próby działania są stabilność cieplna ogranicznika (określana po każdym udarze) oraz oględziny próbki. Stabilność cieplną sprawdza się przez pomiar składowej czynnej prądu płynącego przez próbkę lub przez sprawdzenie poboru mocy. Jeżeli składowa czynna prądu I_c (prądu płynącego przez ogranicznik pod wpływem napięcia trwałej pracy) lub moc wydzielona na ograniczniku, maleją w sposób płynny w czasie ostatnich 15 minut, próbkę uznaje się za stabilną cieplnie. Natomiast w przypadku oględzin, próbka nie powinna wykazywać śladów przebicia ani przeskoków iskry. Kolejnymi próbami, które należy przeprowadzić jest szereg pomiarów, w których sprawdza się poprawność działania odłącznika (jeżeli występuje) oraz bezpieczeństwo przeciążonego SPD. Należy również przeprowadzić próbę wytrzymałości elektrycznej oraz próbę uszkodzenia przy przepięciach dorywczych [1].

Tabela 1. Rodzaje testów przeprowadzanych na ogranicznikach przepięć

Rodzaj wymagań	Testy
Elektryczne	Skuteczności ochrony przed dotykiem bezpośrednim Pomiar prądu resztkowego Określenie napięciowego poziomu ochrony Próba działania Próby odłączników i bezpieczeństwa działania przeciążonych SPD Pomiar rezystancji izolacji Próba wytrzymałości elektrycznej Zachowanie przy przepięciach dorywczych
Mechaniczne	Próba niezawodności śrub części przewodzących i połączeń Próba niezawodności zacisków do przewodów zewnętrznych Sprawdzenie odstępów izolacyjnych powietrznych i dróg upływu Wytrzymałość mechaniczna
Środowiskowe i materiałowe	Odporność na wnikanie ciał stałych i wody Wytrzymałość cieplna Próby nacisku kulą Odporność na nadmierne gorąco i ogień Odporność na wyładowania powierzchniowe

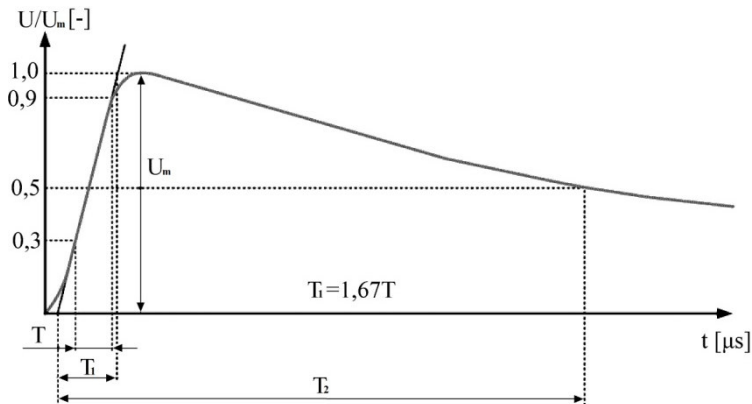
3. TESTOWE GENERATORY UDARÓW

3.1. Wiadomości podstawowe

Zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w poprzednim rozdziale, w celu testowania ograniczników przepięć, niezbędne jest wygenerowanie udaru prądowego i napięciowego o ściśle określonych parametrach. Urządzeniem służącym do wytworzenia fali udarowej jest generator udaru. Istnieje kilka rozwiązań generatorów, różniących się rodzajem oraz kształtem otrzymywanego przebiegu. Wyróżnia się generatory napięć udarowych, generatory prądów udarowych oraz generatory kombinowane, generujące zarówno impuls napięciowy i prądowy [2].

Przedstawione w artykule badania i model symulacyjny dotyczą generatora udarów fali kombinowanej, który w otwartym obwodzie wytwarza impuls napięciowy o kształcie 1,2/50. Natomiast w zwartym obwodzie, impuls prądowy o kształcie 8/20.

Kształt udaru definiowany jest przez umowny czas trwania czoła T_1 oraz czas do półszczytu T_2 . Czasy te podawane są w mikrosekundach. Na rysunkach 1 oraz 2 przedstawiono przebiegi udaru napięciowego i prądowego z zaznaczonymi charakterystycznymi wielkościami.

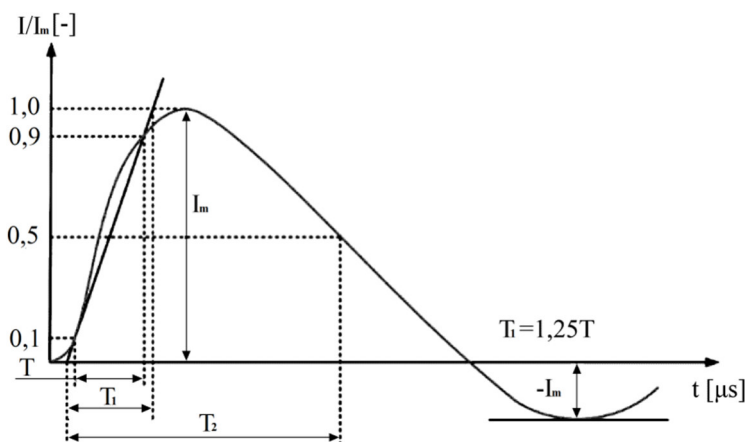


Rys. 1. Przebieg udaru napięciowego; T – czas narastania przebiegu od 30% do 90% wartości szczytowej, T_1 – umowny czas trwania czoła, T_2 – czas do półszczytu, U_m – wartość szczytowa napięcia [3]

Zgodnie z normą [3] umowny czas trwania czoła udaru prądowego, to czas, jaki upłynął przy wzroście prądu od 10% do 90% jego wartości szczytowej pomnożony przez 1,25. Natomiast umowny czas trwania czoła udaru napięciowego, to czas, jaki upłynął przy wzroście napięcia od 30% do 90% jego wartości szczytowej pomnożony przez 1,67.

W celu zdefiniowania umownego czasu do półszczytu, niezbędne jest wprowadzenie pojęcia umownego początku udaru. Umowny początek udaru, jest to punkt na wykresie przebiegu napięcia lub prądu w funkcji czasu, określony przez przecięcie osi czasu z linią wyznaczoną, jako prosta przechodząca przez dwa punkty odniesienia na czole udaru. Punkty odniesienia w przypadku udaru prądowego powinny być określone dla 10% i 90% wartości szczytowej, natomiast w przypadku udaru napięciowego dla 30% i 90% wartości szczytowej [3].

Kolejnym parametrem określającym udar jest wartość szczytowa napięcia U_m i prądu I_m . W badaniach ograniczników przepięć amplituda udaru prądowego powinna być krotnością znamionowego prądu wyładowczego I_n lub maksymalnego prądu wyładowczego I_{max} [1].



Rys. 2. Przebieg udaru prądowego; T – czas narastania przebiegu od 10% do 90% wartości szczytowej, T_1 – umowny czas trwania czoła, T_2 – czas do półszczytu, I_m – wartość szczytowa prądu [3]

Przez znormalizowany udar prądowy rozumie się udar o kształcie $8/20 \mu s$. Tolerancje kształtu znormalizowanego udaru prądowego są następujące [1]:

- wartość szczytowa $\pm 10\%$,
- umowny czas trwania czoła $\pm 10\%$,
- czas do półszczytu $\pm 10\%$.

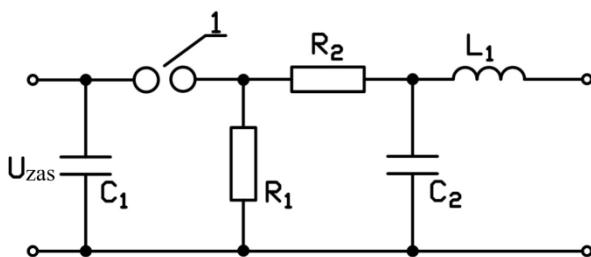
Dodatkowo, ważnym parametrem, który należy spełnić jest głębokość przeładowania k definiowana, jako stosunek wartości szczytowej pierwszej biegunowości udaru prądowego do wartości szczytowej drugiej biegunowości, wyrażony w procentach. Parametr ten nie powinien być większy niż 30%.

Przez znormalizowany udar napięciowy rozumie się udar o kształcie $1,2/50 \mu s$. Tolerancje kształtu znormalizowanego udaru napięciowego są następujące [1]:

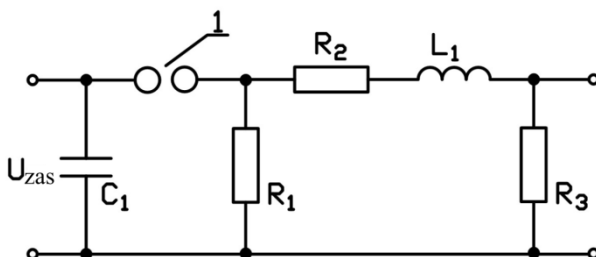
- wartość szczytowa $\pm 5\%$,
- umowny czas trwania czoła $\pm 30\%$,
- czas do półszczytu $\pm 20\%$.

3.2. Generator udaru kombinowanego

Generatory napięciowo-prądowe są urządzeniami, które w jednej konstrukcji łączą generator udarów prądowych oraz generator udarów napięciowych. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono schematy równoważnych generatorów udarów kombinowanych o różnych konstrukcjach.



Rys. 3. Generator udaru kombinowanego konstrukcja 1; 1 – iskiernik włączający [4]



Rys. 4. Generator udaru kombinowanego konstrukcja 2; 1 – iskiernik włączający [5]

W zamkniętym obwodzie generowany jest udar prądowy natomiast w obwodzie otwartym udar napięciowy. Wielkością charakteryzującą generator udaru kombinowanego jest impedancja pozorna (wewnętrzna) Z_f . Określana, jako stosunek wartości szczytowej udaru napięciowego w otwartym obwodzie do wartości szczytowej prądu w obwodzie zamkniętym. Wartość ta zwykle wynosić 2Ω [1].

Istnieje wiele możliwych wartości poszczególnych elementów, dla których można otrzymać żądane kształty udarów. Wyznaczenie tych parametrów często wspomagane jest komputerowo. Parametrami początkowymi do takiej analizy są kształt udaru (czasy T_1 i T_2) oraz impedancja pozorna Z_f [4].

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Model generatora

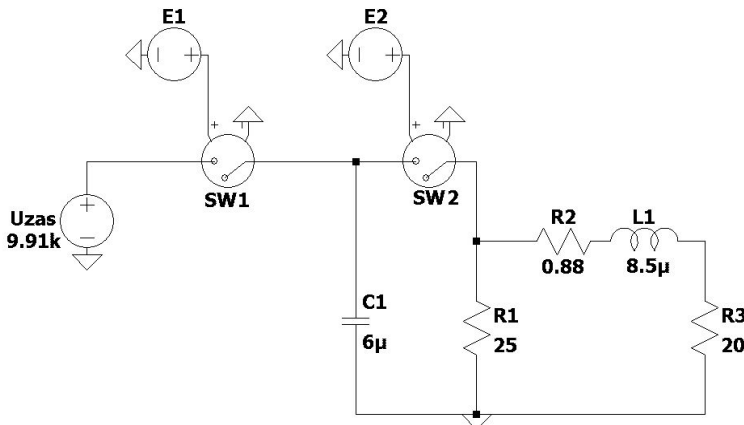
Badania symulacyjne wykonano z wykorzystaniem oprogramowania LTSpice [6]. Oprogramowanie udostępniane jest w ramach darmowej licencji, przez producenta elementów półprzewodnikowych i układów scalonych – Analog Devices. Oryginalnym autorem oprogramowania jest Mike Engelhard.

W pracy zamodelowano działanie testowych generatorów uderów kombinowanych, o schematach zastępczych zgodnych z rysunkami 3 i 4. W symulacjach wykorzystano parametry elementów schematu zastępczego generatorów wg tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie parametrów schematu zastępczego modelowanych generatorów

Parametry schematu wg:	C_1 [μF]	C_2 [nF]	L_1 [μH]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]
[7]	6,0	–	8,5	25,0	0,880	20
[4]	12,0	–	9,1	7,8	1,302	30
[8]	11,5	–	5,5	10,5	0,390	13
[5]	16,0	340	8,0	4,0	1,300	–

Na rysunku 5 zaprezentowano przykładowy model wykorzystany do symulacji działania generatorów uderów testowych.

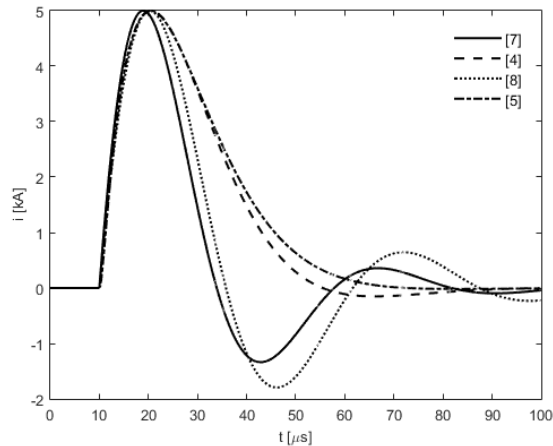


Rys. 5. Przykładowy model generatora uderów testowych zbudowany w LTSpice

Układy zasilono ze źródła napięcia stałego U_{zas} , o takiej wartości, aby na wyjściu generatora otrzymać uder prądowy o amplitudzie 5 kA. Początkowo łącznik $SW1$ jest zamknięty, $SW2$ jest otwarty. Po naładowaniu pojemności $C1$,

źródło zasilania zostaje odłączone za pomocą łącznika *SW1*. W tej samej chwili łącznik *SW2* załącza kondensator do pozostałego układu, inicjując udar. Łączniki sterowane są napięciowo przez źródła o prostokątnym przebiegu *E1* i *E2*. Wartość napięcia 1 V oznacza pozycję otwartą łącznika. Wartość napięcia -1 V oznacza pozycję zamkniętą łącznika. Dodatkowo wprowadzono opóźnienie równe 10 μs , po którym dochodzi do opisanej sekwencji łączeniowej.

Na rysunku 6 przedstawiono przebiegi otrzymanych udarów prądowych, uzyskane na podstawie parametrów generatora z tabeli 2. Parametry charakterystyczne wraz ze sprawdzeniem ich zgodności z normą zapisano w tabelach 3 i 4.



Rys. 6. Przebiegi prądu udarowego dla badanych modeli generatora udarów kombinowanych

Tabela 3. Parametry otrzymanych udarów prądowych

Parametry schematu wg:	U_{zas} [kV]	I_m [kA]	$-I_m$ [kA]	T [μs]	T_2 [μs]	T_1 [μs]	k [%]
[7]	9,91	5,00	1,34	5,49	17,81	6,86	26,7
[4]	10,62	5,00	0,15	6,29	25,00	7,86	3,0
[8]	5,30	5,00	1,79	6,43	19,79	8,04	35,9
[5]	9,89	5,00	0,02	5,99	25,65	7,49	0,3

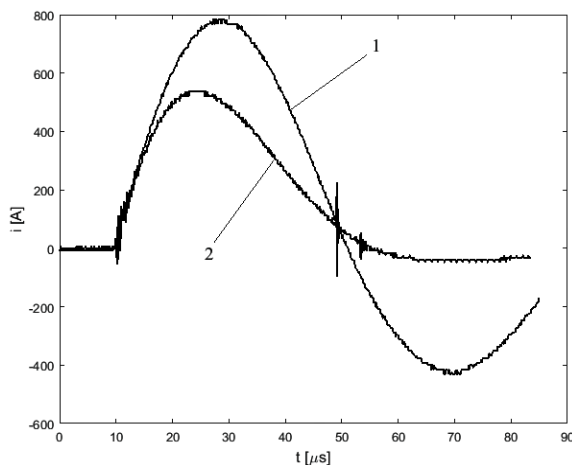
T – czas narastania przebiegu od 10% do 90% wartości szczytowej;
 T_1 – umowny czas trwania czoła udaru prądowego; T_2 – czas do półszczytu udaru prądowego; U_{zas} – napięcia zasilania generatora udaru; I_m – wartość szczytowa fali udaru prądowego; k – przeładowanie.

Tabela 4. Sprawdzenie zgodności kształtów udarów prądowych z normą [1]

Parametry schematu wg:	T_1 [μ s]	δT_1 [%]	Zgodność z normą	T_2 [μ s]	δT_2 [%]	Zgodność z normą	k [%]	Zgodność z normą
[7]	6,86	14,22	NIE	17,81	10,95	NIE	26,7	TAK
[4]	7,86	1,75	TAK	25,00	25,00	NIE	3,0	TAK
[8]	8,04	0,50	TAK	19,79	1,05	TAK	35,9	NIE
[5]	7,49	6,38	TAK	25,65	28,25	NIE	0,3	TAK

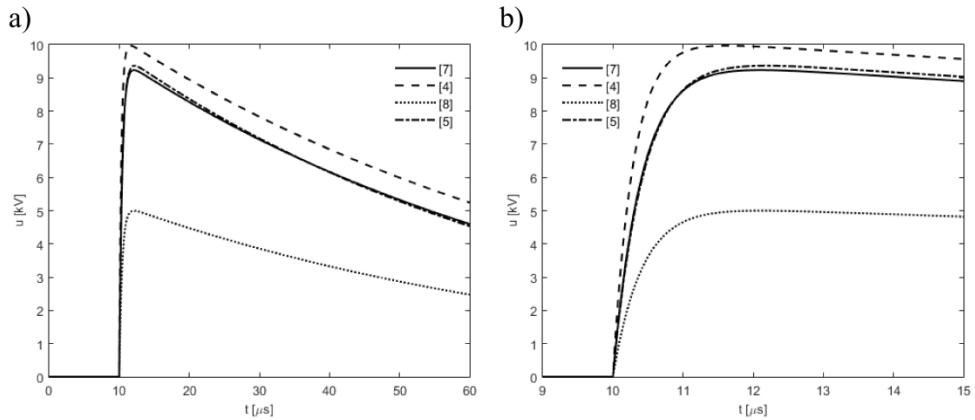
δT_1 – błąd względny umownego czasu trwania czoła udaru prądowego wyznaczony w stosunku do wymaganych 8 μ s; δT_2 – błąd względny czasu do półszczytu udaru prądowego wyznaczony w stosunku do wymaganych 20 μ s.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe przebiegi udarów prądowych z badań weryfikacyjnych rzeczywistego generatora zbudowanego wg rysunku 4. Wartość napięcia U_{zas} podczas prób wynosiła 1000 V.



Rys. 7. Przebiegi udarów prądowych rzeczywistego generatora; 1 – $L_1 = 9,7 \mu\text{H}$, $C_1 = 13,77 \mu\text{F}$, $R_1 = 25 \Omega$, $R_2 = 0,38 \Omega$; 2 – $L_1 = 9,7 \mu\text{H}$, $C_1 = 13,77 \mu\text{F}$, $R_1 = 25 \Omega$, $R_2 = 1,02 \Omega$

Na rysunku 8 przedstawiono przebiegi otrzymanych udarów napięciowych, uzyskane na podstawie parametrów generatora z tabeli 2. Parametry charakterystyczne zapisano w tabelach 5 i 6.



Rys. 8. Przebiegi napięcia uderowego dla badanych modeli generatora uderów kombinowanych;
a) przebieg pokazujący kształt impulsu; b) początkowy przebieg impulsu

Tabela 5. Parametry otrzymanych uderów napięciowych

Parametry schematu wg:	U_{zas} [kV]	U_m [kV]	T [μs]	T_2 [μs]	T_1 [μs]	Z_f [Ω]
[7]	9,91	9,23	0,74	49,53	1,23	1,85
[4]	10,62	9,97	0,51	53,68	0,85	1,99
[8]	5,30	5,00	0,73	49,16	1,22	1,00
[5]	9,89	9,36	0,77	47,98	1,28	1,87

T – czas narastania przebiegu od 30% do 90% wartości szczytowej;
 T_1 – umowny czas trwania czoła uderu napięciowego; T_2 – czas do półszczytu uderu napięciowego; U_m – wartość szczytowa uderu napięciowego; Z_f – impedancja pozorna generatora.

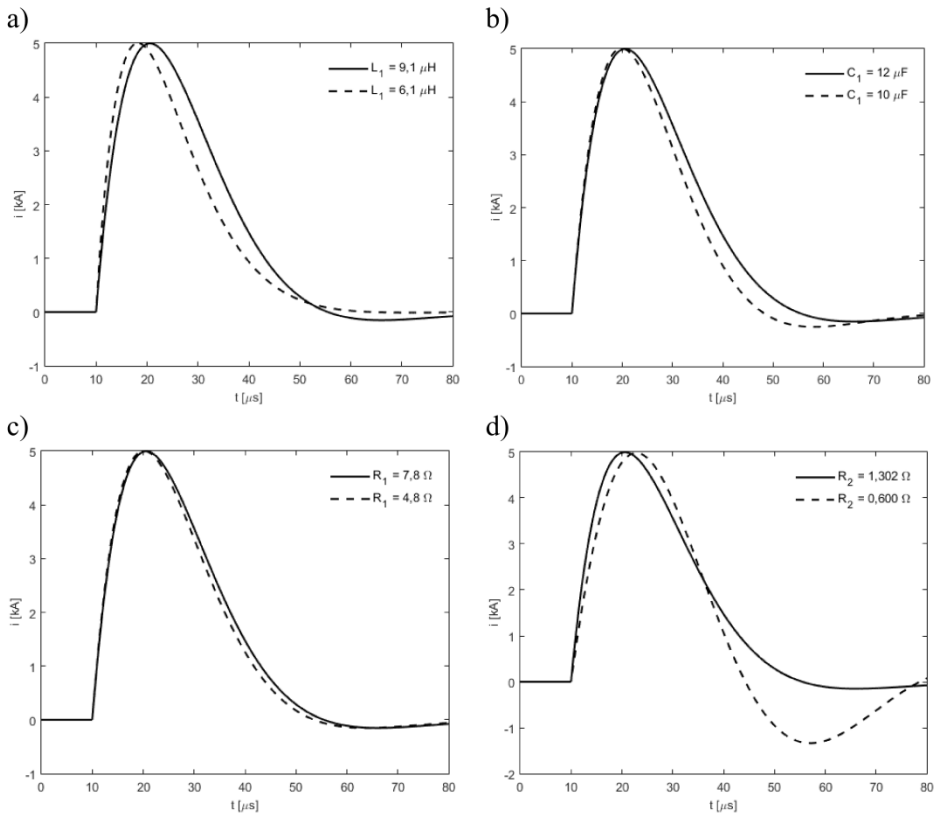
Tabela 6. Sprawdzenie zgodności kształtów uderów prądowych z normą [1]

Parametry schematu wg:	T_1 [μs]	δT_1 [%]	Zgodność z normą	T_2 [μs]	δT_2 [%]	Zgodność z normą
[7]	1,23	2,57	TAK	49,53	0,94	TAK
[4]	0,85	28,89	TAK	53,68	7,36	TAK
[8]	1,22	1,31	TAK	49,16	1,68	TAK
[5]	1,28	6,60	TAK	47,98	4,04	TAK

δT_1 – błąd względny umownego czasu trwania czoła uderu prądowego wyznaczony w stosunku do wymaganych 1,2 μs ; δT_2 – błąd względny czasu do półszczytu uderu prądowego wyznaczony w stosunku do wymaganych 50 μs .

4.2. Wpływ zmiany parametrów elementów schematu zastępczego generatora na kształt udaru prądowego

Symulacje wykonano dla generatorów z rysunków 3 i 4 o parametrach zamieszczonych w tabeli 2, każdorazowo zmieniając wartość tylko jednego parametru (pozostałe pozostawiając bez zmian). W celu bardziej przejrzystego pokazania wpływu zmiany poszczególnych parametrów schematu zastępczego generatora na kształt otrzymywanego przebiegu, dostosowano wartość napięcia zasilającego U_{zas} , w taki sposób, aby otrzymywać jednakową wartość amplitudy. Oczywiście jest, że zmniejszenie wypadkowej impedancji generatora, spowoduje konieczność zmniejszenia napięcia zasilania, w celu utrzymania amplitudy udaru na stałym poziomie. Otrzymane przebiegi pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Przebiegi prądu udarowego dla dwóch różnych wartości; a) indukcyjności cewki L_1 ; b) pojemności głównej generatora C_1 , c) rezystancji poprzecznej R_1 , d) rezystancji podłużnej R_2

5. ANALIZA WYNIKÓW

Na podstawie przedstawionych wyników badań symulacyjnych można stwierdzić, że otrzymane udary prądowe dla wszystkich badanych struktur oraz parametrów, nie spełniają wymagań normatywnych. Inaczej prezentują się wyniki analizy kształtu udaru napięciowego. We wszystkich badanych przypadkach zostały spełnione wymagania.

Zmiana wartości indukcyjności cewki L_1 znacząco wpływa na prędkość narastania udaru prądowego – kształtuje umowny czas trwania czoła udaru T_1 . Im mniejsza wartość indukcyjności, tym większa stromość narastania udaru, co skutkuje krótszym czasem T_1 . Nie obserwuje się wzrostu dynamiki zaniku udaru. Zmniejszenie czasu do półszczytu wynika z przesunięcia wierzchołka charakterystyki oraz niewielkiej zmiany punktu umownego początku udaru. Szybsze osiągnięcie wartości maksymalnej oraz brak wzrostu dynamiki zaniku udaru, powoduje zmniejszenie przeładowania.

Zmiana wartości pojemności kondensatora głównego C_1 znacząco wpływa na prędkość opadania udaru prądowego – kształtuje czas do półszczytu T_2 . Im mniejsza wartość pojemności, tym kondensator potrzebuje mniej czasu na rozładowanie, co skutkuje krótszym czasem T_2 . Dodatkowo szybsza dynamika zaniku udaru powoduje wzrost przeładowania. Należy zauważyć, że zmiana wartości pojemności kondensatora głównego przy niezmiennych wartości pozostałych elementów, pozwoliła na osiągnięcie kształtu udaru prądowego wymaganego przez normę. Spełnione zostały wymagania dotyczące umownego czasu trwania udaru prądowego T_1 , czasu do półszczytu udaru prądowego T_2 oraz przeładowania k .

Zmiana wartości rezystancji poprzecznej R_1 nie wpływa na prędkość narastania udaru prądowego. Nieznacznie wpływa natomiast na prędkość opadania udaru prądowego. Im mniejsza wartości rezystancji, tym większa stromość opadania udaru prądowego. Nie obserwuje się wpływu na przeładowanie.

Zmiana wartości rezystancji podłużnej R_2 znacząco wpływa na prędkość narastania i opadania udaru prądowego. Im mniejsza wartości rezystancji, tym dłuższy czas narastania i krótszy czas opadania przebiegu prądu z testowego generatora udarów. Dodatkowo obserwuje się wpływ na przeładowanie. Im mniejsza wartość rezystancji, tym większe przeładowanie.

6. PODSUMOWANIE

Wyniki analizy otrzymanych kształtów udarów, w szczególności prądowych pokazują, że szczególnie trudne jest jednoczesne spełnienie warunków: umownego czasu trwania czoła udaru T_1 , czasu do półszczytu T_2 oraz przeładowania k , wymaganych normą. Dowodzi to złożoności problemu projektowania testowych generatorów udarów.

Badania symulacyjne i weryfikacyjne potwierdziły silną zależność parametrów wytwarzanego udaru prądowego od wartości elementów stosowanych w konstrukcjach generatorów.

LITERATURA

- [1] PN-EN 61643:2013-06, Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Wymagania i metody badań.
- [2] Flisowski Z., Technika Wysokich Napięć, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2017.
- [3] IEC 60060-1:2010, High-voltage test techniques. General definitions and test requirements.
- [4] Wróbel Z., Możliwości stosowania wybranych modeli generatorów udarowych w analizie zagrożeń urządzeń sterowania ruchem kolejowym, TTS Technika Transportu Szynowego, Tom R.16, nr 7-8, Rocznik 2010.
- [5] IEEE std C62.41.1-2002, IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits.
- [6] High performance SPICE simulation LTspice, URL: <https://www.analog.com>.
- [7] Marukatat N., Tuethong P., Yutthagowith P., Design and Construction of Combination Wave Generator, 2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 3-6 Sept. 2019.
- [8] PN-EN IEC 60664-1, Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia. Zasady, wymagania i badania.

MODEL STUDIES OF SURGE TEST GENERATORS FOR TESTING LOW-VOLTAGE SURGE PROTECTIVE DEVICES

This article deals with the subject of surge protective devices. It presents requirements of standards for surge protective devices and discusses equipment necessary for their testing. Computer simulations of selected test generators were carried out. Characteristic parameters of obtained surges were determined. The influence of changes of individual parameters of the substitute diagram of the generator on the waveform of the test stroke was determined. The simulation studies are aimed at their practical application. The results can help to improve the design process of the surge test generators. The results can also be helpful for the operation of already working test devices.

(Received: 06.08.2021, revised: 31.10.2021)