

Ochrona urzadzzen koŃcowych poprzez wlaŃciwà koordynacjê ograniczników przepiej

Jaroslaw Wiater

Koordinacja energetyczna ograniczników przepiej jest warunkiem niezbędnym do zapewnienia bezpieczeŃstwa instalacjom elektrycznym i pracujàcym w nich urzàdzeniom. Artykuł prezentuje teoretyczny aspekt tego zagadnienia uzupełniony wynikami pomiarów wybranych ukłàdów do ograniczania przepiej, skłàdajàcych siê z: iskiernika, kombinowanego ogranicznika przepiej (iskiernik + warystor), rŃznego typu warystorów, ukłàdu z elementem odsprzegajàcym.

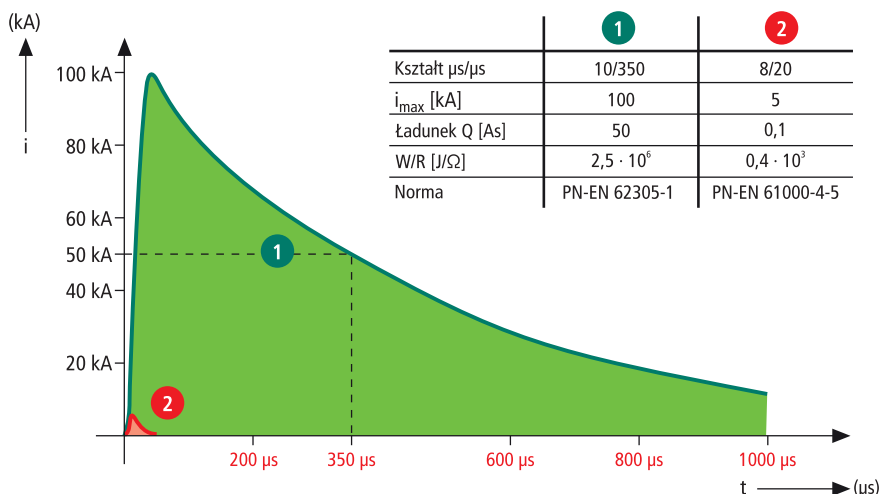
Stworzenie warunków zapewniajàcych pewne i niezawodne działanie systemu elektroenergetycznego oraz pracujàcych w nich nowoczesnych elektronicznych systemów pomiarowych wymaga posiadania podstawowych informacji o:

- charakterze narażeń udarowych występujàcych w systemie elektroenergetycznym,
- poziomach odporności udarowej stosowanych urzàdzen elektronicznych,
- wlaŃciwoŃciach i zasadach doboru odpowiednich rozwiàzàni wykorzystywanych do ochrony przed narażeniami udarowymi,
- urzàdzeniach oraz systemach, z którymi one wspŃpracujà.

Zagrozenia przepiejciowe

Układy pomiaru zużycia energii elektrycznej narażone sà na działanie przepiej pojawiajàcych siê w sposób losowy w wybranych czêŃciach rozbudowanego systemu przesyłu i rozdziału energii. Zaburzenia mogà wystàpić zarŃwno w liniach napowietrznych jak i kablowych. Źródłem zaburzeŃ może być lokalny wzrost potencjałów i występujàce rŃnice potencjałów wywołane przez napięcia i pràdy udarowe powstajàce podczas:

- operacji łàczeniaowych wykonywanych w obwodach WN/SN w normalnym i awaryjnym stanie pracy stacji,
- bezpoŃrednich wyładowaŃ piorunowych na terenie stacji lub w bliskim ich sąsiedztwie,
- wyładowaŃ piorunowych w napowietrz-



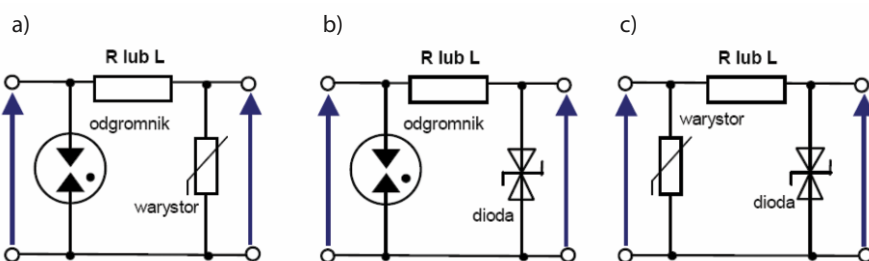
Rys. 1. Zależność energetyczna prądów udarowych 10/350 μs i 8/20 μs

- ne linie przesyłowe WN/SN, SN/nn,
- działania ograniczników przepiej w obwodach WN, SN i nn.

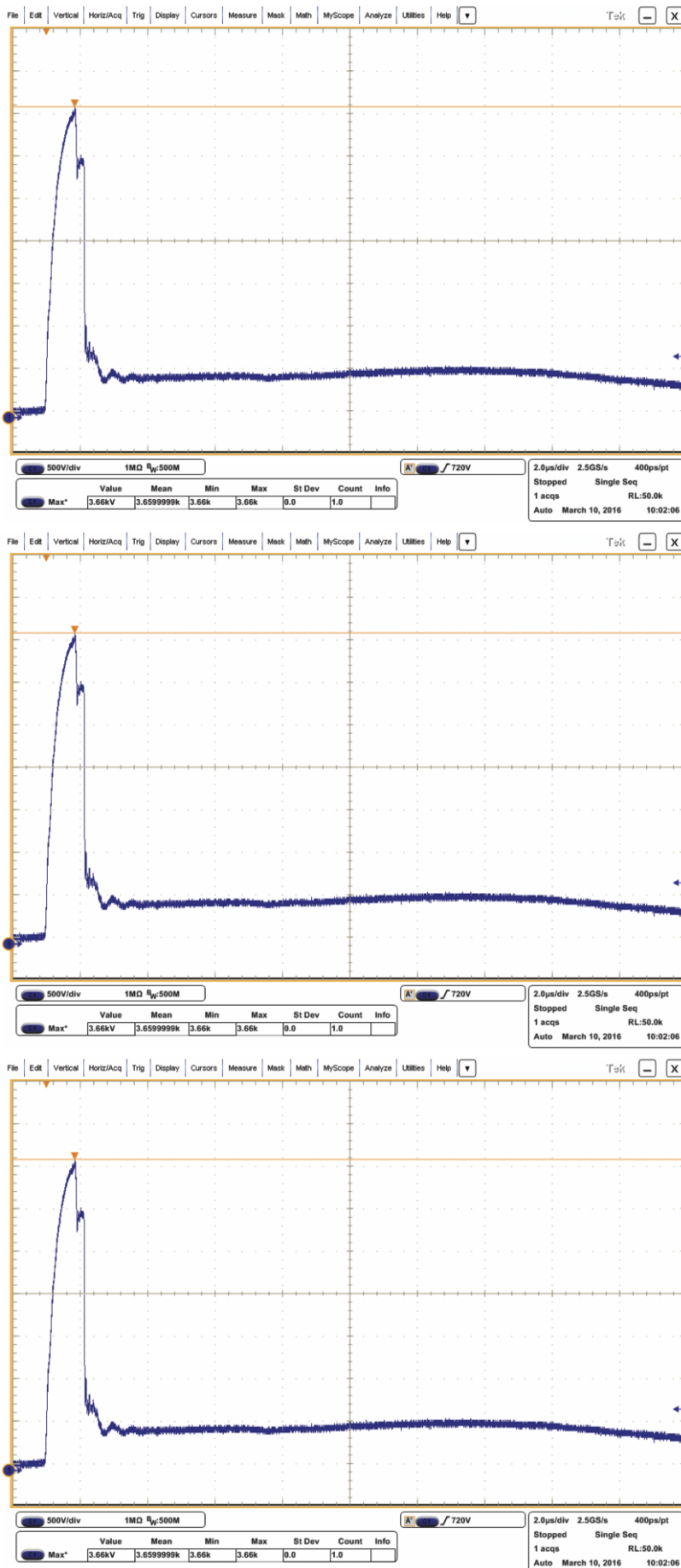
Napięcia i pràdy udarowe mogà być równieŝ źródłem impulsowego pola elektromagnetycznego oddziałujàcego bezpośrednio na urzàdzenia. Zaburzenia impulsowe pola elektromagnetycznego mogà być promieniowane przez urzàdzenia elektroenergetyczne i linie wysokich napięć podczas stanów nieustalonych w systemie.

Dobór i koordynacja energetyczna ograniczników przepiej

Aby skutecznie ochronić urzàdzenia przed skutkami przepiej, naleŝy przede wszystkim posiadać informacjê o wartoŃciach znamionowych napięć udarowych wytrzymywanych przez te urzàdzenia. Dodatkowo naleŝy posiadać wiedzê na temat



Rys. 2. Przykłady rozwiàzàni ukłàdów ochrony przepiejciowej [4].



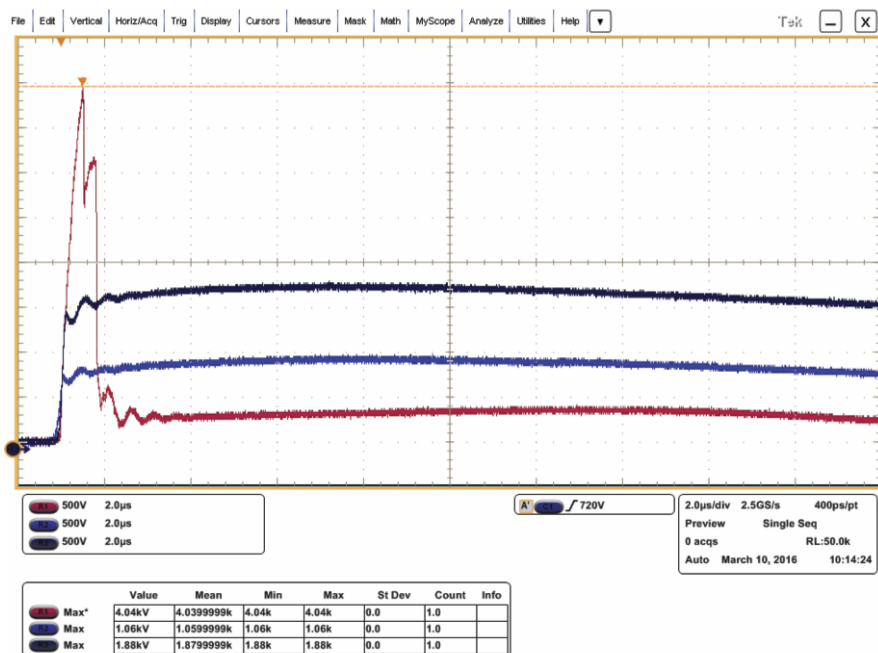
Rys. 3. Rzeczywiste przebiegi napięć (500 V/div, 2 µs/div) na:
 a – odgromniku,
 b – elemencie wzdłużnym,
 c – warystorze

instalacji elektrycznej, do której urządzenie ma być podłączone. Te dwie informacje pozwalają wybrać właściwy ogranicznik przepięć, tak aby napięcie na wejściu chronionego urządzenia nie przekraczało jego wytrzymałości udarowej. Ze względu na rozbudowaną instalację elektryczną nie da się pominąć podczas doboru ogranicznika przepięć konieczności właściwego skoordynowania podziału energii udarów pomiędzy innymi elementami ograniczającymi przepięcia zainstalowanymi już w instalacji elektrycznej.

Wytrzymałość udarowa ograniczników

Każdy ogranicznik przepięć ma pewną określoną zdolność do przenoszenia przez siebie pewnej energii udaru. Jeśli po zadziałaniu ogranicznika przepięć energia przez niego przeniesiona przekroczy dopuszczalną wartość, wówczas może dojść do uszkodzenia ogranicznika przepięć, a nawet do jego eksplozji. Ilość energii, którą może przez siebie przenieść ogranicznik przepięć jest ściśle powiązana z zastosowaną do jego budowy technologią. Największą energię mogą wytrzymać ograniczniki przepięć zbudowane w oparciu o iskierniki. W dalszej kolejności są układy kombinowane składające się z iskiernika i warystora, następnie same warystory, a na samym końcu znajdują się diody zabezpieczające (tzw. Transile). Na podstawie informacji zamieszczonych na ograniczniku przepięć można szacunkowo określić jego zdolność do przenoszenia energii udaru.

W przypadku ograniczników T1 (patrz norma PN-EN 61643-11: 2013 [1]) najważniejszym parametrem jest jego wytrzymałość na udarowy prąd impulsowy (I_{imp} lub $I_{10/350}$). Dla ograniczników T2 (patrz norma PN-EN 61643-11: 2013 [1]) jest to znamionowy prąd wyładowczy (I_n). Bardzo często popełnianym błędem jest mylenie wyżej wymienionych parametrów, co może skutkować niewłaściwym doбором. Prąd impulsowy określa zdolność ogranicznika do odprowadzania prądu odpowiadającego energii bezpośredniego doziemnego wyładowania piorunowego (10/350 µs), zaś znamionowy prąd wyładowczy określa zdolność ogranicznika do odprowadzania prądu odpowiadającego prądowi indukowanemu podczas wyładowania piorunowego (8/20 µs). Na rysunku 1 zamieszczono przebieg pokazujący różnicę w energiach przenoszonych przez prąd 10/350 µs i 8/20 µs.



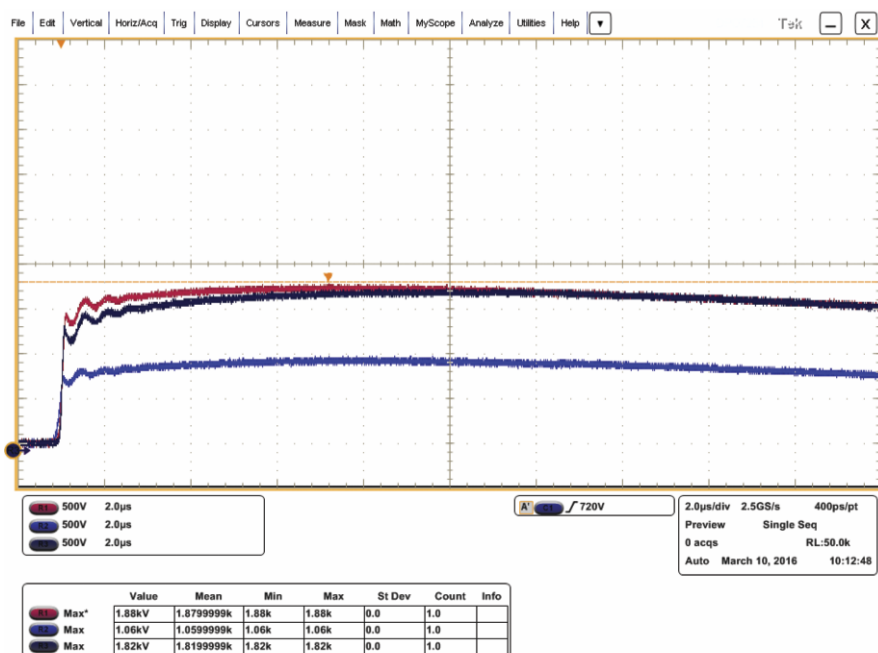
Rys. 4. Napięcie panujące na iskierniku (CH1 – krzywa koloru czerwonego), warystorze nr 1 (CH2 – krzywa koloru niebieskiego), warystorze nr 2 (CH3 – krzywa koloru czarnego) (CH1/CH2/CH3 500 V/div, 2 μ s/div)

Rozmieszczenie ograniczników prądów

Ograniczniki prądów należy umieszczać tak, aby w poszczególnych punktach zabezpieczanej instalacji elektrycznej nie zostały przekroczone dopuszczalne wartości napięć. Mając na uwadze strefową koncepcję ochrony odgromowej jak również rozległość chronionej instalacji elektrycznej, konieczne jest stosowanie kilkustopniowego układu do ograniczania prądów. W podzielonym na strefy obiekcie, przy przejściu z jednej strefy do drugiej ko-

nieczne jest ograniczanie wartości szczytowych prądów występujących w instalacjach niskonapięciowych oraz impulsów pola elektromagnetycznego do poziomów dopuszczalnych w danej strefie [2] [3]. Poszczególne ograniczniki prądów powinny odprowadzać (do np.: przewodu ochronnego PE dla sieci TN-S, PEN dla sieci TN-C itp.) część prądu udarowego. O właściwym doborze ograniczników prądów decyduje w głównej mierze:

- charakter narażeń udarowych,
- rodzaj chronionego układu,
- sposób budowy ogranicznika (iskier-



Rys. 5. Napięcie panujące na warystorze nr 1 (CH1 – krzywa koloru czerwonego), warystorze nr 2 (CH2 – krzywa koloru niebieskiego), warystorze nr 3 (CH3 – krzywa koloru czarnego) (CH1/CH2/CH3 500 V/div, 2 μ s/div)

nik/warystor/układ kombinowany) – zdolność do odprowadzania udarów prądowych,

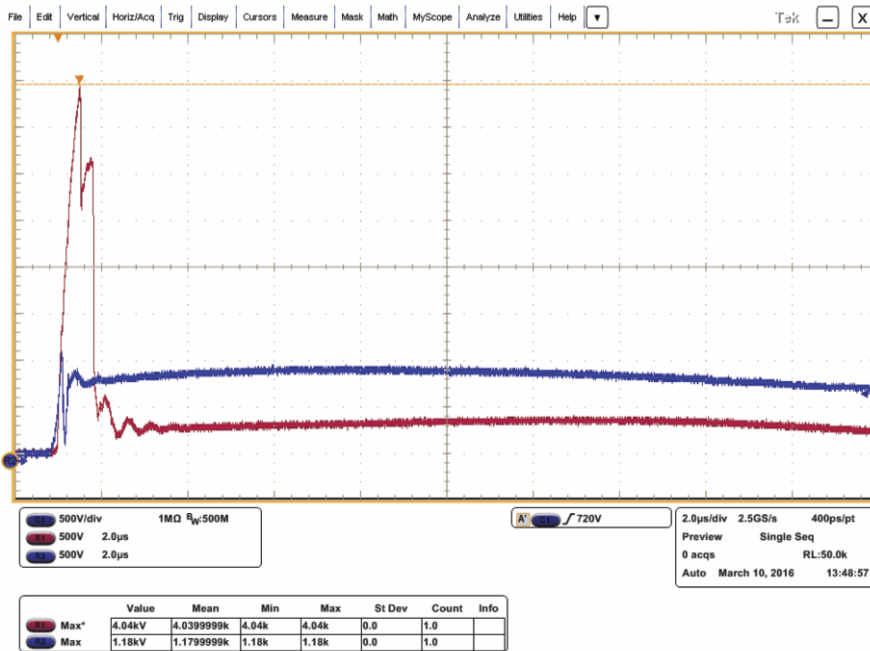
- napięciowy poziom ochrony (UP) ogranicznika prądów.

Kilkustopniowe układy zabezpieczające umożliwiają zsumowanie ich ochronnych zalet i wyeliminowanie niepożądanych efektów związanych z ich oddzielnym zastosowaniem. Bezsporną zaletą ogranicznika iskierkowego jest zdolność do przewodzenia prądów udarowych o bardzo dużych energiach. Wadą jest ich dość długi czas, jaki potrzebują aby zadziałać. Zaletą ograniczników warystorowych jest szybkość działania, wadą zaś mała wytrzymałość na prądy udarowe.

Wielostopniowy układ ochronny

Typowy wielostopniowy układ składa się z dwóch elementów ograniczających napięcia i elementu wzdluznego. W przypadku układu składającego się z dwóch elementów ochronnych element wzdluzny koordynuje ich wzajemne działanie oraz ogranicza wartość prądu, który może popłynąć przez drugi z elementów ochronnych. Przykładowe rozwiązania typowych układów zabezpieczających przedstawia rys. 2.

Zasada działania dwustopniowego układu zaprezentowanego na rysunku 2a jest następująca. W momencie, gdy do wejścia układu dotrze udar napięciowy i napięcie na warystorze przekroczy napięcie przebiecia lawinowego, zaczyna on przewodzić. Płynący przez warystor prąd powoduje wzrost spadku napięcia na rezystorze pomiędzy warystorem a odgromnikiem. Suma spadków napięć na rezystorze i diodzie odkłada się na odgromniku i gdy przekroczy wartość dynamicznego napięcia zapłonu, wówczas nastąpi jego zadziałanie, przez co zostanie ograniczony prąd płynący przez warystor [4]. W rzeczywistej instalacji elektrycznej element wzdluzny reprezentowany jest przez odcinek przewodu o minimalnej długości niezbędnej do właściwego skoordynowania pracy poszczególnych elementów. Jeśli w danej instalacji elektrycznej nie będzie zachowana właściwa koordynacja pracy ograniczników, może dojść do sytuacji, w której pierwszy działający element ograniczający prąd tak mocno je zredukuje, że kolejny nie będzie mógł zadziałać, gdyż nie zostanie przekroczone napięcie, przy którym on zaczyna przewodzić prąd. Prowadzi to bezpośrednio do przekroczenia dopuszczalnej energii udaru przenoszanej



Rys. 6. Napięcie panujące na ograniczniku iskiernikowym (CH1 – krzywa koloru czerwonego) i na ograniczniku kombinowanym składającym się z iskiernika i warystora (CH2 – krzywa koloru niebieskiego) (CH1/CH2/CH3 500 V/div, 2 μ s/div)

przez ogranicznik przepięć, który zadziałał jako pierwszy. Bardzo często kończy się to jego uszkodzeniem lub eksplozją.

Koordinacja pracy i koordynacja energetyczna

Aby bardziej przybliżyć zasadę koordynacji pracy i koordynacji energetycznej ograniczników przepięć, na rysunku 4 pokazano rzeczywiste przebiegi napięć panujących na ogranicznikach przepięć podczas ich pracy. Ich wzajemna relacja bezpośrednio przekłada się na kolejność działania, a co za tym idzie, na skuteczność ochrony przepięciowej lub w ekstremalnym przypadku na jej brak. Z przedstawionego przebiegu wynika, że napięcie niezbędne do zadziałania ogranicznika iskiernikowego wynosi 4,06 kV. Do zadziałania warystora nr 1 niezbędne jest napięcie o wartości 1,06 kV, zaś dla warystora nr 2 niezbędne jest napięcie 1,88 kV. Jeśli w instalacji elektrycznej najpierw zostanie zastosowany element o niższym napięciu zadziałania lub nie będzie zapewniona wzajemna koordynacja, może dojść do uszkodzenia przy pierwszym przepięciu o energii przekraczającej wytrzymałość ogranicznika o najmniejszym napięciu zadziałania. Pierwszy ogranicznik, który zadziała, tak obniży napięcie w instalacji, że napięcie na drugim ograniczniku nie przekroczy progu jego zadziałania.

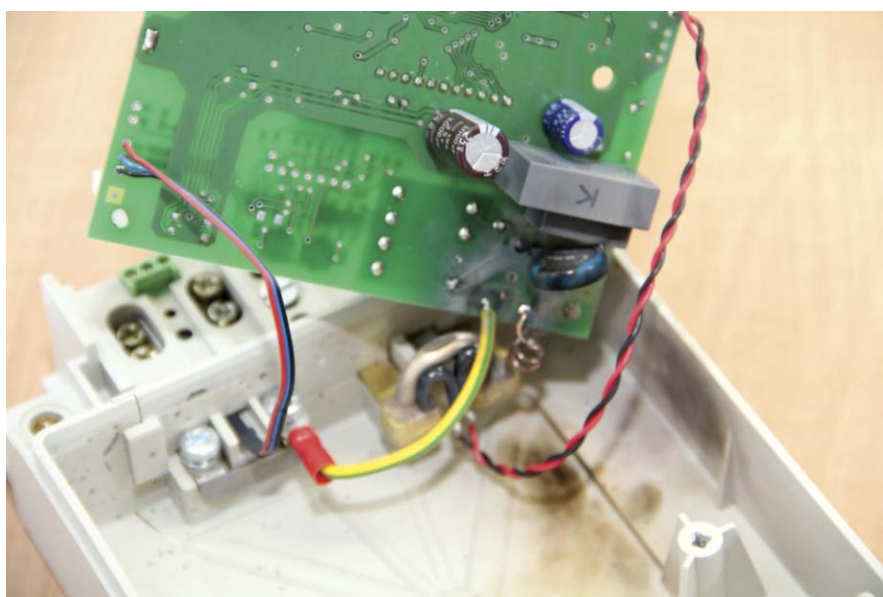
Sprawę dodatkowo komplikuje fakt, iż ogranicznik iskiernikowy potrzebuje około 1 μ s, aby zaczął działać. Dodatkowo wy-

musza to konieczność stosowania właściwej koordynacji pracy i koordynacji energetycznej ograniczników przepięć.

Na rysunku 5 zamieszczono przebiegi napięć panujących na różnych ogranicznikach warystorowych. Krzywa napięcia panującego na ograniczniku warystorowym nr 1 i nr 2 jest bardzo do siebie zbliżona. Różnica w napięciu niezbędnym do zadziałania ogranicznika przepięć wynosi około 85 V. Warystory nr 1 i nr 2 pochodzą od tego samego producenta, z różnych serii produkcyjnych. W przypadku równoległego połączenia warystor nr 2 zadziała szybciej, niż warystor nr 1. Wniosek z powyższego jest następujący, iż bezpośrednie połączenie równoległe ograniczników warystorowych nie powoduje wzajemnego zwiększenia ich wytrzymałości udarowej jak i całej chronionej instalacji.

W układach do ograniczania przepięć zwiększenie wytrzymałości udarowej jest możliwe tylko poprzez zastosowanie kilku elemen-

R E K L A M A



Rys. 7. Uszkodzony licznik energii elektrycznej na skutek niewłaściwej koordynacji energetycznej ograniczników przepięć

tów ograniczających przepięcia właściwie między sobą skoordynowanych. Przedstawione subtelne różnice w rzeczywistości mogą się przełożyć na niewłaściwe działanie układu ograniczającego przepięcie, a nawet mogą prowadzić do jego uszkodzenia.

Na rysunku 6 przedstawiono przebieg napięcia panującego podczas pracy iskriernikowego ogranicznika przepięć i kombinowanego ogranicznika przepięć składającego się z iskiernika i warystora prawidłowo wzajemnie ze sobą skoordynowanych. Wyraźnie widać różnice w poziomie napięcia i szybkości działania układu. Wytrzymałość udarowa nowoczesnych układów kombinowanych jest taka sama jak dla ograniczników iskiernikowych, przy jednoczesnym obniżeniu napięciowego poziomu ochrony.

Praktyczny przykład błędnego doboru ograniczników przepięć

Obecnie w całej Polsce dokonywana jest sukcesywna wymiana liczników energii elektrycznej indukcyjnych na elektroniczne. Ten krok, mający dostosować nasz kraj do standardów europejskich, niesie za sobą ryzyko zwiększenia strat powstałych w wyniku przepięć. Napowietrzne linie energetyczne niskiego napięcia są zabezpieczane liniowymi warystorowymi ogranicznikami przepięć, bardzo często nieskoordynowanymi energetycznie z ogranicznikami przepięć instalowanymi w licznikach energii elektrycznej. Na rysunku 7 przedstawiono licznik energii elektrycznej

uszkodzony na skutek niewłaściwej koordynacji energetycznej ograniczników przepięć.

Podsumowanie

Stosowanie coraz doskonalszych układów elektronicznych w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych stwarza konieczność przeanalizowania ich zagrożeń udarowych oraz podjęcia odpowiednich środków ochrony. Należy mieć na uwadze fakt, iż nowoczesne rozwiązania techniczne bazują w większości przypadków na układach sterowanych przez komputery. Napięcia znamionowe pracy systemów komputerowych są z roku na rok coraz bardziej obniżane ze względu na straty energii – obecnie są to napięcia rzędu kilku woltów. Należy zauważyć, że postęp technologiczny zmniejsza odporność urządzeń na przepięcia a ich uszkodzenia niosą za sobą bardzo duże straty finansowe. Wymusza to bardziej skuteczną ochronę urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed przepięciami poprzez m.in. stosowanie wielostopniowych układów ograniczających. Tylko prawidłowa wzajemna koordynacja energetyczna zapewni skuteczną ochronę przed przepięciami, na które urządzenia są coraz bardziej czułe.

dr inż. Jarosław Wiater
Autor jest pracownikiem naukowym
Politechniki Białostockiej



LITERATURA

- [1] PN-EN 61643-11: 2013 Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia – Wymagania i metody badań;
- [2] PN-EN 62305-1: 2011 Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne;
- [3] Sowa A. W.: Ochrona urządzeń oraz systemów elektronicznych przed narażeniami piorunowymi. Rozprawy Naukowe Nr 219. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2011;
- [4] Augustyniak L., Markowska R., Sowa A.: Elementy i układy do ograniczania przepięć. Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych. Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej, Politechnika Białostocka 2007.