

**ANDRZEJ SOWA            JAROSŁAW WIATER**  
**Politechnika Białostocka**

**OGRANICZANIE PRZEPIĘĆ W OBWODACH LICZNIKÓW  
ENERGII ELEKTRYCZNEJ**

Opiniodawca:

Maszynopis dostarczono

*Streszczenie – W artykule przedstawiono zasady ograniczania przepięć dochodzących do liczników energii elektrycznej dołączonych w sposób bezpośredni lub pośredni do sieci elektroenergetycznej. Uwzględniono możliwość występowania zagrożeń stwarzanych przez prąd piorunowy, przepięcia łączeniowe oraz przepięcia atmosferyczne.*

**1. WSTĘP**

Stan bezawaryjnego działania elektronicznych, wielofunkcyjnych liczników energii elektrycznej można zapewnić ograniczając do odpowiednich poziomów przepięcia występujące w instalacji elektrycznej oraz w systemach przesyłu sygnałów. Dobierając i rozmieszczając urządzenia do ograniczania przepięć SPD (Surge Protective Devices) należy uwzględnić występujące narażenia udarowe oraz poziomy wytrzymałości udarowej portów zasilania i sygnałowych chronionych liczników.

**2. POZIOMY WYTRZYMAŁOŚCI UDAROWEJ LICZNIKÓW**

Jednym z podstawowych wymagań elektrycznych, jakie powinny spełniać liczniki, jest zachowanie odpowiednich właściwości dielektrycznych przy działaniu różnorodnych napięć, jakie mogą wystąpić w naturalnych warunkach. Do odwzorowania narażeń udarowych liczników wykorzystywane jest napięcie udarowe o wartości szczytowej 6 000 V oraz kształcie 1,2/50 [6, 7].

Podstawowy zakres badań wytrzymałości udarowej liczników zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Zakres badań wytrzymałości udarowej liczników

Zakres badań	Sposób prowadzenia badań	Uwagi
Badania izolacji torów i izolacji między torami	Próby dla poszczególnych torów, które podczas normalnej pracy są odizolowane od innych torów.	Zaciski torów niebadanych powinny być połączone z masą.
	Wspólne próby torów napięciowych i prądowych.	W przypadku połączenia obu torów.
	Napięcie doprowadzane do wspólnego punktu oraz każdego swobodnego końca torów napięciowych.	W przypadku wspólnego, połączonego z masą, punktu kilku torów napięciowych.
	Próba toru prądowego - napięcie udarowe połączone pomiędzy każdy z zacisków a masę. Próba toru napięciowego – napięcie udarowe połączone pomiędzy każdy z zacisków a masę.	Tory napięciowe i prądowe rozdzielone i każdy ma oddzielną izolację. Próby niezależnie dla każdego toru. Zaciski, które nie są badane powinny być połączone z masą.
	Próby torów pomocniczych (przewidywane do zasilania z sieci lub przekładnika) o napięciu wyższym od 40V.	Próby na takich samych warunkach jak próby torów napięciowych.
Badania izolacji torów względem masy	Wszystkie zaciski torów elektrycznych licznika połączone. Napięcia udarowe doprowadzane pomiędzy wszystkie tory elektryczne a masę.	Do połączonych zacisków elektrycznych należy również połączyć zaciski pomocnicze.

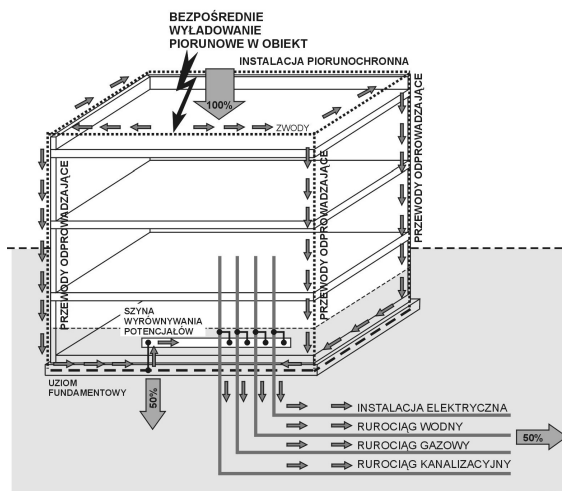
### 3. NARAŻENIA UDAROWE LICZNIKÓW

Liczniki energii elektrycznej mogą być podłączone do sieci elektroenergetycznej bezpośrednio, przez przekładniki prądowe (połączenie półpośrednie) lub przez przekładniki prądowe i napięciowe (połączenie pośrednie). W zależności od układu połączeń, liczniki mogą być narażone na oddziaływanie części prądu piorunowego oraz wszelkiego rodzaju przepięć występujących w sieciach elektroenergetycznych różnych napięć.

#### 3.1. Zagrożenie udarowe w instalacji elektrycznej do 1000 V

W obiekcie budowlanym posiadającym urządzenie piorunochronne instalacja elektryczna i dołączone do niej urządzenia pomiaru energii mogą być narażone na bezpośrednie oddziaływanie części prądu piorunowego. Takie

zagrożenie występuje podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany (rys.1.).



W zaleceniach zawartych w normie dotyczącej ochrony odgromowej [9] przyjęto, że podczas wyładowania w obiekt do instalacji przewodzących dochodzących do obiektu może popłynąć połowa prądu piorunowego.

Rys.1. Przykładowy rozptył prądu piorunowego w obiekcie budowlanym

Znacznie częściej liczniki narażone są na działanie przepięć dochodzących z sieci elektroenergetycznej do obiektu budowlanego. W większości przypadków występujące przepięcia mają kształt tłumionej sinusoidy lub przebieg dwuwykładniczy. Na podstawie dostępnych danych można przyjąć, że w ciągu roku w instalacji elektrycznej wystąpią pojedyncze przepięcia o wartościach szczytowych w przedziale od 1000 V do 5000 V.

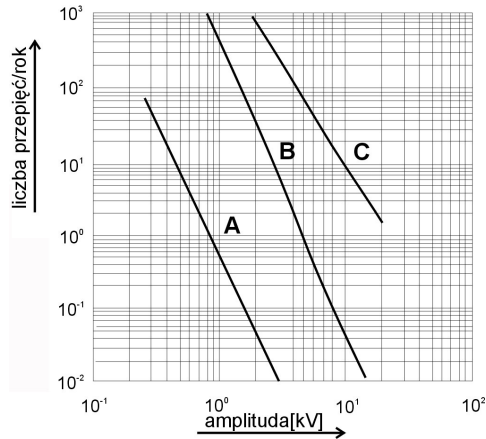
W sieci elektroenergetycznej ułożonej w terenie podmiejskim lub wiejskim liczba przepięć będzie wielokrotnie większa. W ciągu roku mogą wystąpić przepięcia o wartościach szczytowych **przekraczających 5 kV**.

Podjęmowane są również próby uporządkowania dostępnych wyników i wykreślenia krzywych umożliwiających wyznaczenie liczby przepięć o dowolnej amplitudzie, jakie mogą wystąpić w ciągu roku w instalacji elektrycznej. Przykład takich przebiegów przedstawiono na rys. 2.

Otrzymane krzywe wyznaczono uwzględniając różny "stopień wystawienia" obwodów niskonapięciowych sieci zasilających na działanie impulsów zakłócających.

### 3.2. Zagrożenie udarowe w sieci elektroenergetycznej średniego napięcia

Najgroźniejszym przypadkiem jest bezpośrednie wyładowanie piorunowe w przewody linii elektroenergetycznej. Częstość wyładowań uzależniona jest od



- **krzywa A** (małe wystawienie na zakłócenia) ; przebiegi w podziemnych kablach zasilających ułożonych w miastach,
- **krzywa B** (wystawienie średnie); przebiegi w biegnących przez tereny podmiejskie kablach podziemnych z dołączonymi odcinkami linii napowietrznych,
- **krzywa C** (wystawienie duże); przebiegi w liniach napowietrznych biegnących przez tereny niezabudowane.

Rys.2. Krzywe określające liczby przebiegów o różnych amplitudach wywołanych w ciągu roku w obwodach sieci zasilającej przez zewnętrzne źródła zakłóceń

wymiarów linii, lokalnej częstości wyładowań piorunowych w analizowanym obszarze oraz ekranujących właściwości otoczenia. W takich przypadkach wartości napięć i prądów dochodzących do przekładników stosowanych przy pomiarach półpośrednich lub pośrednich uzależnione są od poziomów napięć przeskoku na izolatorach oraz od spadku napięć na indukcyjnościach przewodów i rezystancjach uziomów słupów, na których nastąpiły przeskoki.

Znacznie mniejsze wartości osiągają przebiegi atmosferyczne indukowane. Najczęściej mają one przebieg aperiodyczny lub oscylacyjny tłumiony. Uproszczoną zależność określającą wartość szczytową napięcia  $U$  indukowanego pomiędzy przewodem a ziemią można przedstawić w postaci:

$$U = 30 \cdot (H/d) \cdot I \quad [kV]$$

gdzie:

$I$  - prąd piorunowy [kA],  $H$  - wysokość zawieszenia przewodu nad ziemią [m],  
 $d$  - odległość pomiędzy przewodem a miejscem uderzenia pioruna [m].

Istnieje również możliwość określenia liczby przebiegów o danej wartości szczytowej uwzględniając wymiary linii oraz roczną częstość wyładowań piorunowych w analizowanym obszarze. Liczba przebiegów wynosi:

$$N_i = 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot N_g \cdot H \cdot L \cdot \left[ 3,5 + 2,5 \cdot \log \frac{30 \cdot (1-c)}{U} \right]^{3,75}$$

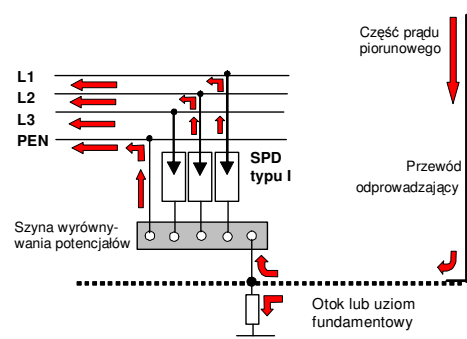
gdzie  $N_i$  - liczba indukowanych przebiegów.

Współczynnik  $c$  określa redukujący czynnik wprowadzany przez uziemiony przewód neutralny lub ochronny ( $c = 0$ , jeśli brak wymienionych przewodów,  $c = 0,7$  lub  $0,9$  w zależności od uziemiania przewodów).

W sieci elektroenergetycznej przepięcia powstają również podczas nagłych zmian napięcia zasilającego lub konfiguracji układu połączeń poszczególnych elementów systemu, tzw. **przepięcia łączeniowe**.

### 3. OCHRONA PRZED PRZEPĘCIAMI URZĄDZEŃ DO POMIARU ENERGII

W przypadku bezpośredniego połączenia liczników do instalacji elektrycznej ochronę instalacji i liczników przed działaniem części prądu piorunowego zapewniają SPD typu I. Rozpływ prądu piorunowego w sieci TN-C posiadającej SPD podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany przedstawiono na rys. 3.



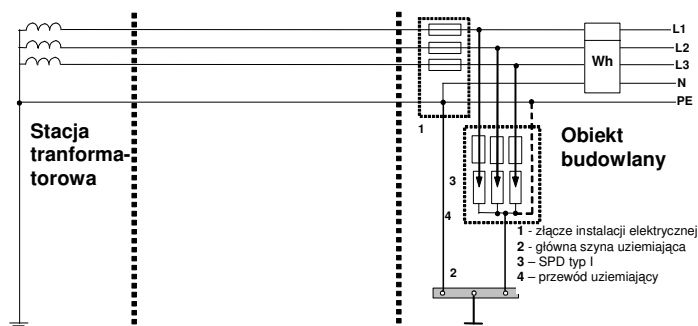
Rys. 3. Rozpływ prądu piorunowego w instalacji elektrycznej systemu TN-C (przypadek bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany)

W najbardziej niekorzystnych warunkach można przyjąć wystąpienie prądu piorunowego o wartości szczytowej 200 kA (wymóg I poziomu ochrony odgromowej) oraz doprowadzanie do obiektu tylko instalacji elektrycznej systemu TN-C. W takim układzie w pojedynczym przewodzie instalacji elektrycznej może popłynąć prąd udarowy o wartości szczytowej dochodzącej do 25 kA i kształcie 10/350  $\mu$ s.

Zalecenie przyjmowania mniejszych wartości prądów piorunowych w pojedynczych przewodach (do 12,5 kA) zawarto w normie omawiająca zasady ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej [10].

W układzie przedstawionym na rys. 3. licznik umieszczony przed układem SPD (patrząc od strony zasilania) będzie narażony na bezpośrednie działanie części prądu piorunowego o wartości szczytowej dochodzącej do 75 kA oraz napięć udarowych o wartości szczytowej dochodzących do 4 000 V.

Zmiana miejsca montażu licznika, za układem SPD (rys.3.) eliminuje zagrożenie stwarzane przez prądy piorunowe.



Rys.3. Wyrównanie potencjałów w instalacji elektrycznej – licznik za układem SPD

Liczniki narażone są tylko na działanie napięć udarowych o wartościach dochodzących do 4000 V. W celu ograniczenia prądów upływu zalecane jest stosowanie iskiernikowych urządzeń do ograniczania przepięć typu I[8].

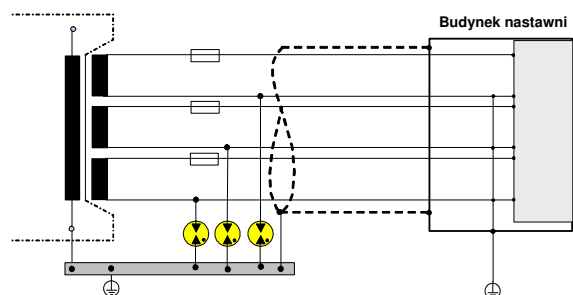
W instalacjach, w których występują tylko przepięcia atmosferyczne i łączeniowe należy rozważyć możliwość zastosowania układów SPD typu II, zawierających szeregowe połączenie iskierników i warystorów (eliminacja prądów upływu).

Zasady ograniczania przepięć w układach półpośrednich i pośrednich przedstawione zostaną na przykładach układów pomiarowych w stacjach elektroenergetycznych, w których budynki nastawni mogą znajdować się w znacznej odległości od miejsca montażu przekładników. Stwarza to konieczność stosowania w obwodach wtórnych przewodów o długościach dochodzących nawet do kilkuset metrów. W takich układach przepięcia przenoszą się ze strony pierwotnej na wtórną drogą sprzężeń magnetycznego, elektrycznego i galwanicznego. Sprzężenia powodują, że w miejscu pomiarów mogą wystąpić napięcia udarowe doziemne oraz różnicowe.

Dane literaturowe oraz wyniki badań prowadzonych przez autorów niniejszej opracowania wykazują, że napięcia doziemne mogą osiągać wartości do kilku kilowoltów, a w przypadku sprzężeń galwanicznych nawet do 20 kV [1,2,4].

Sprzężenia galwaniczne wywołane są przez różnice potencjałów uziomów stacji i nastawni. Jeśli uwzględnimy wymogi obowiązkowego uziemienia uzwojeń wtórnych przekładników oraz niedopuszczanie do uziemiania w kilku miejscach np. w rozdzielni i nastawni, to równica potencjałów może być groźna dla uzwojeń izolacji liczników. Rozwiązaniem może być uziemianie w nastawi. W

takich przypadku nie wnosimy potencjałów z siatki uziemiającej z rozdzielni do nastawni.

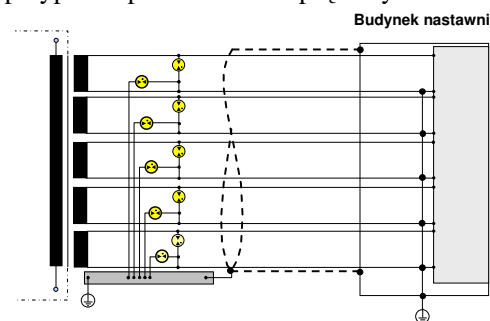


Jeśli uzwojenia wtórne są uziemione w nastawni to do ograniczenia różnic potencjałów przy przekładniku można zastosować iskierniki gazowe (rys. 4.).

Rys. 4. Ograniczenie różnic potencjałów pomiędzy uziomami rozdzielni i nastawni

Jeśli uziemienie zostało wykonane w bliskim sąsiedztwie przekładnika to iskierniki gazowe należy zamontować w budynku nastawni. Dynamiczne napięcie zapłonu zastosowanych iskierników powinno być mniejsze od 6 kV.

Podobny sposób ograniczania różnic potencjałów można zastosować w przypadku przekładników prądowych.



W przykładzie przedstawionym na rys.5 ograniczenie są zarówno różnice potencjałów pomiędzy systemami uziomów jak i przepięcia występujące pomiędzy przewodami w obwodzie wtórnym.

Rys.5. Przykład ograniczania przepięć w układzie z przekładnikiem prądowym.

W przypadku przesyłania danych pomiarowych (droga radiowa lub łączy kablowe) należy również ograniczać przepięcia w dochodzące do portów sygnałowych i zasilających liczników.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Stosowanie coraz doskonalszych liczników energii elektrycznej stwarza konieczność:

- przeanalizowania narażeń udarowych w miejscach ich zainstalowania,

- porównania występującego zagrożenia z poziomami wytrzymałości udarowej liczników,
- instalowania urządzeń do ograniczania przepięć.

Dobierając i rozmieszczając urządzenia ograniczające przepięcia należy dążyć do wyeliminowania ich wpływu na pracę chronionych liczników.

### LITERATURA

- [1] Wiszniewski A.: Przekładniki w elektroenergetyce. WNT Warszawa 1982.
- [2] Nowicz R.: Przekładniki napięciowe. Klasyczne, specjalne i niekonwencjonalne. Monografie Politechniki Łódzkiej, 2003,
- [3] Technical Report General Basic information regarding surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems.
- [4] Kasprzak A., Orlikowski M., Brodecki D.: Badanie przenoszenia zakłóceń impulsowych w przekładnikach. Zeszyty Politechniki Łódzkiej, Elektryka z.96,
- [5] Koszmider A.: Właściwości indukcyjnych przekładników wysokonapięciowych w świetle wymagań dyrektywy kompatybilnościowej. Zeszyty Politechniki Łódzkiej, Elektryka z.100, str. 171-182
- [6] PN-93/E-06504 Liczniki energii elektrycznej. Liczniki indukcyjne energii czynnej prądu przemiennego klasy 0,5, 1, 2.
- [7] PN-E-06506 Liczniki energii elektrycznej. Liczniki indukcyjne energii biernej klasy 3.
- [8] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke VDEW – e.V. : Überspannungsschutz-zeinrichtungen der Anforderungsklasse B. Richtlinie für den Einsatz in Hauptstromversorgungssystemen.
- [9] PN-IEC 61312-1 Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogólne.
- [10] CEI IEC 60364-5-53 Electrical installations In buildings – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control.

### OVERVOLTAGE PROTECTION IN CIRCUITS OF ALTERNATING CURRENT ELECTRICITY METERS

#### Abstract

Article presented the basic information about overvoltage protection in circuits of electricity meters which are connected directly or indirectly to power systems. In analysis the protection against some parts of lightning currents and all types of overvoltages was considered.