

# OCHRONA PRZED PRZEPIĘCIAMI SYSTEMÓW POMIAROWYCH W ENERGETYCE

Andrzej W. Sowa

Politechnika Białostocka

*Stworzenie warunków zapewniających pewne i bezawaryjne działanie urządzeń elektronicznych wymaga przeprowadzenia oceny zagrożenia przepięciowego występującego w miejscach ich zainstalowania. Następnie należy porównać poziomy występujących przepięć z dopuszczalnymi poziomami odporności udarowej urządzeń oraz dobrać, jeśli jest to konieczne, odpowiednie urządzenia do ograniczania przepięć. Taki tok postępowania zastosowano przy określaniu wymagań, jakie powinny spełniać urządzenia ograniczające przepięcia dochodzące do układów pomiaru energii elektrycznej.*

*Poniżej przedstawiono podstawowe informacje o przepięciach występujących w instalacjach elektrycznych do 1000 V oraz w sieciach średnich napięć. Zestawiono również wymagane poziomy odporności liczników energii elektrycznej na działanie napięć udarowych. Powyższe informacje wykorzystano do doboru urządzeń ograniczających przepięcia dochodzące do układów pomiaru energii elektrycznej połączonych bezpośrednio lub pośrednio do sieci elektroenergetycznej.*

## I. ZAGROŻENIE PRZEPIĘCIOWE URZĄDZEŃ

Układy pomiaru energii mogą być podłączone do sieci elektroenergetycznej:

- bezpośrednio, dotyczy to głównie urządzeń w sieci 400/230 V,
- półpośrednio, połączone przez przekładniki prądowe,
- pośrednio, połączone przez przekładniki prądowe i napięciowe.

W zależności od układu połączeń, urządzenia mogą być narażone na oddziaływanie części prądu piorunowego oraz wszelkiego rodzaju przepięcia występujących w sieciach elektroenergetycznych różnych napięć.

W celu oceny występującego zagrożenia przedstawiono krótką charakterystykę przepięć atmosferycznych i łączeniowych występujących w liniach elektroenergetycznych różnych napięć oraz instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym

### 1.1. Zagrożenie udarowe występujące w instalacji elektrycznej do 1000 V

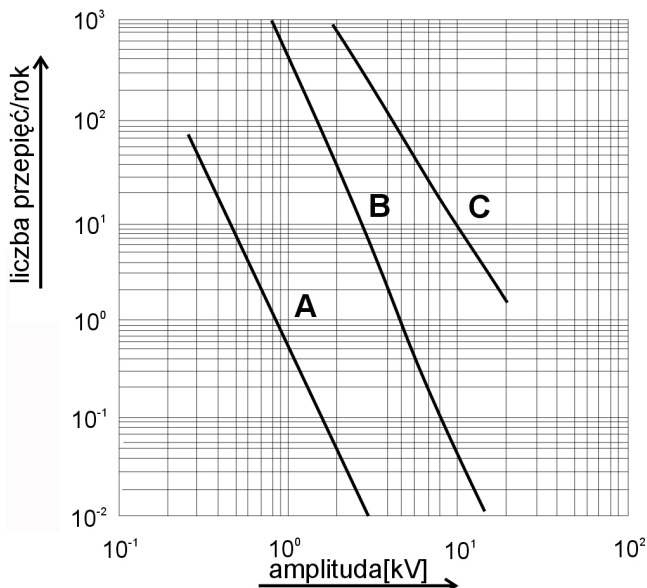
Wyniki rejestracji prowadzonych w sieciach zasilających niskiego napięcia wykazały, że w większości przypadków przepięcia występujące w instalacji elektrycznej do 1000 V mają formę tłumionej sinusoidy lub przebiegi dwuwykładnicze. Na podstawie dostępnych danych można przyjąć, że w ciągu roku w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym wystąpią przepięcia o następujących wartościach szczytowych:

<b>300 - 500 V</b>	kilkadziesiąt przypadków,
<b>500 - 1000 V</b>	kilkanaście przypadków,
<b>1000 - 5000V</b>	kilka przypadków;
<b>ponad 5000 V</b>	pojedyncze przypadki.

W sieci elektroenergetycznej ułożonej w terenie podmiejskim lub wiejskim liczba przepięć o amplitudach **przekraczających 1 kV** będzie wielokrotnie większa.

W ciągu roku może nawet wystąpić kilka przypadków przebiegów o wartościach szczytowych **przekraczających 5kV**.

Podjęmowane są również próby uporządkowania dostępnych wyników i wykreślenia krzywych umożliwiających wyznaczanie liczby przebiegów o dowolnej amplitudzie, jakie mogą wystąpić w ciągu roku w instalacji elektrycznej. Przykład takich przebiegów przedstawiono na rys. 1. Otrzymane krzywe wyznaczono uwzględniając różny "stopień wystawienia" obwodów niskonapięciowych sieci zasilających na działanie impulsów zakłócających.

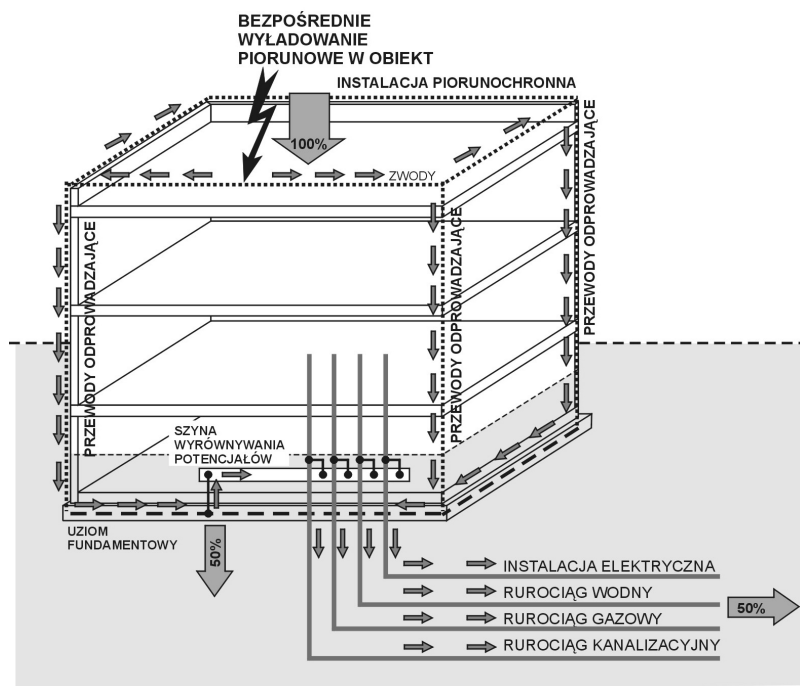


**Rys. 1.** Krzywe określające liczby przebiegów o różnych amplitudach wywołanych w ciągu roku w obwodach sieci zasilającej przez zewnętrzne źródła zakłóceń

- **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.

W obiekcie budowlanym posiadającym urządzenie piorunochronne instalacja elektryczna i dołączone do niej urządzenia pomiaru energii mogą być również narażone na bezpośrednie oddziaływanie części prądu piorunowego. Takie zagrożenie występuje podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany. W takim przypadku do przybliżonego oszacowania rozplywu prądów piorunowych można przyjąć, że połowa prądu piorunowego wpływa do systemu uzimowego obiektu, a pozostała część rozplywa się w instalacjach przewodzących dochodzących do tego obiektu.

Ogólny przykład takiego podziału prądu piorunowego przedstawiono na rys. 2.



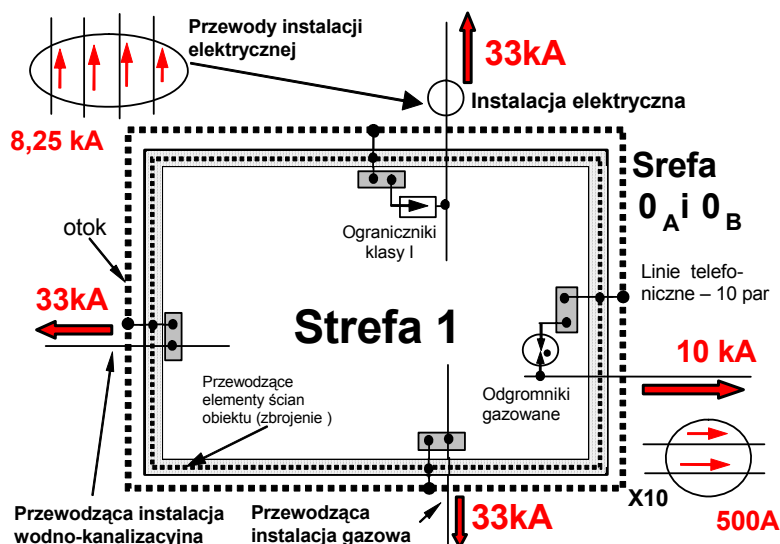
**Rys. 2.** Ogólny podział prądu piorunowego w przewodzących instalacjach w obiekcie budowlanym

Posiadając informacje o instalacjach dochodzących do obiektu można określić prądy płynące w poszczególnych przewodach.

Przykład podziału prądu w dużym obiekcie budowlanym, w którym pracują wrażliwe urządzenia i systemy elektryczne i elektroniczne, do którego dochodzą:

- ◆ instalacja wodno-kanalizacyjna,
- ◆ instalacja gazowa,
- ◆ instalacja elektryczna (system sieci TN-C)
- ◆ linie telekomunikacyjne

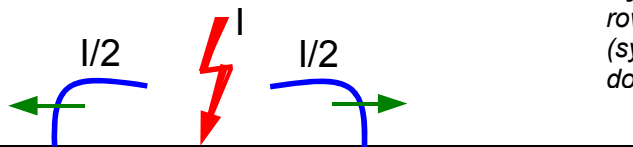
przedstawiono na rys. 3.



**Rys. 3.** Przykładowy rozprzężenie prądu piorunowego w różnorodnych instalacjach dochodzących do obiektu budowlanego

## 1.2. Przepięcia w sieci elektroenergetycznej

Najgroźniejszym przypadkiem jest bezpośrednie wyładowanie piorunowe w przewody linii elektroenergetycznej. Do przybliżonej oceny zagrożenia można przyjąć, że impedancja kanału wyładowania jest duża i piorun uderzający w linię jest traktowany jak źródło prądowe podłączone do przewodu ułożonego nad powierzchnią ziemi (rys. 4).



**Rys. 4.** Wprowadzenie prądu udarowego do przewodu nad ziemią (symulacja bezpośredniego wyładowania piorunowego w linię)

Zakładając, że dla rozprzężającego się prądu udarowego wartość impedancji falowej przewodu  $Z_0$  nad ziemią zawiera się pomiędzy  $400 \Omega$  -  $500 \Omega$ , otrzymujemy wartość napięcia

$$U = Z_0 \cdot \frac{I}{2}$$

Przykładowo, dla prądu piorunowego o wartości szczytowej  $I = 40 \text{ kA}$  i impedancji falowej  $Z_0 = 400 \Omega$  otrzymujemy  $U = 8000 \text{ kV}$ .

Jest to wartość teoretyczna. W rzeczywistych liniach wystąpią przeskoki iskrowe na izolatorach i nastąpi ograniczenie wartości przepięcia atmosferycznego. Poziom ograniczania przepięć uzależniony jest od spadku napięcia na indukcyjności przewodu i rezystancji uziomu słupa, na którym nastąpił przeskoczek.

Częstość wyładowań piorunowych w linię elektroenergetyczną uzależniona jest od jej wymiarów, lokalnej częstości wyładowań piorunowych w analizowanym obszarze oraz ekranujących właściwości otoczenia linii.

Dla linii elektroenergetycznej biegnącej w otwartym obszarze częstość wyładowań piorunowych w linię można określić z zależności:

$$N = A \cdot N_g \cdot 10^{-6}$$

gdzie:

$A$  - powierzchnia zbierania wyładowań piorunowych [ $\text{m}^2$ ],  
 $N_g$  - roczna częstość wyładowań piorunowych [wyładowanie/ $\text{km}^2$  rok].

W przybliżonej analizie można przyjąć

$$A = 6 \cdot H \cdot L$$

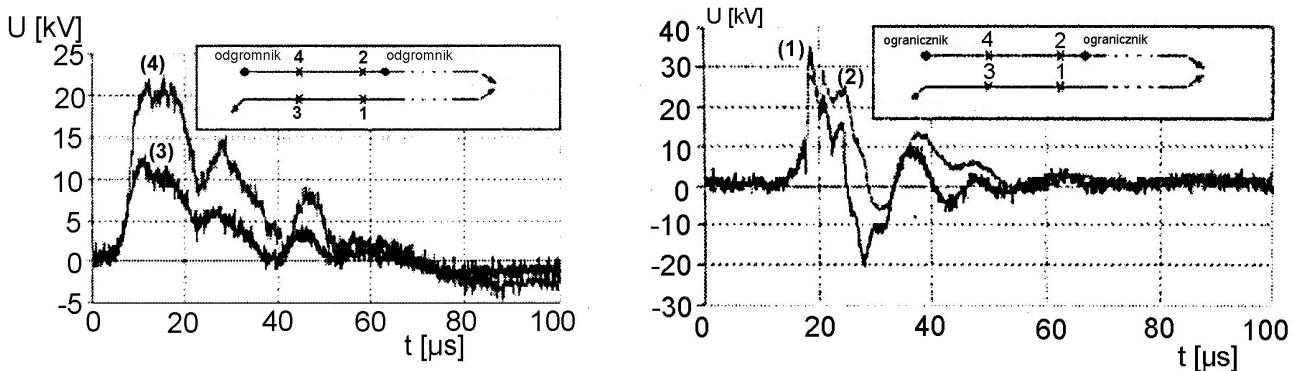
gdzie:  $L$  - długość linii [ $\text{m}$ ],  $H$  - wysokość linii.

Przykładowo dla  $H = 5 \text{ m}$ ,  $L = 1000 \text{ m}$ ,  $N_g = 1,8$  wyładowania /  $\text{km}^2$  rok otrzymujemy  $N = 0,054$  wyładowania / rok

### 1.3. Przepięcia indukowane w liniach elektroenergetycznych

Znacznie częściej, w porównaniu z przypadkiem bezpośredniego wyładowania piorunowego, występują przepięcia atmosferyczne indukowane w liniach elektroenergetycznych. Przepięcia atmosferyczne indukowane mają najczęściej przebiegi aperiodyczny lub oscylacyjny tłumiony.

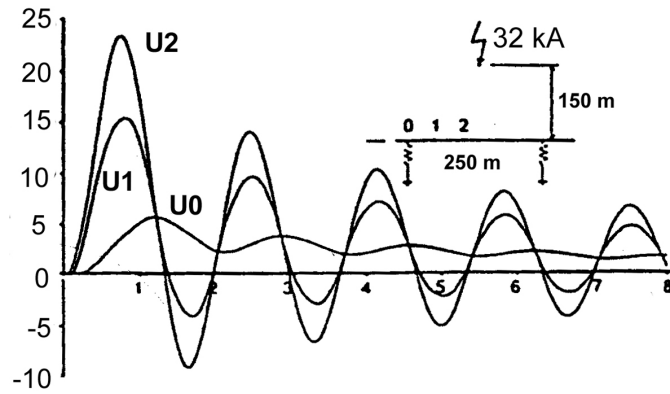
Przykładowe przebiegi przepięć rejestrowanych w liniach elektroenergetycznych średnich napięć przedstawiono na rys. 5.



**Rys. 5.** Oscylogramy przepięć atmosferycznych indukowanych w różnych punktach linii

Podobnie jak w przypadku wyładowań bezpośrednich, tworzone są również modele matematyczne kanał z prądem piorunowych – linie napowietrzne.

Przykład obliczeń przepięcia atmosferycznego indukowanego w linii odległej o 150 m od miejsca wyładowania piorunowego przedstawiono na rys. 6.



**Rys. 6.** Przepięcia atmosferyczne indukowane w różnych punktach linii

Uproszczoną zależność określającą wartość szczytową napięcia  $U$  indukowanego pomiędzy przewodem a ziemią można przedstawić w postaci:

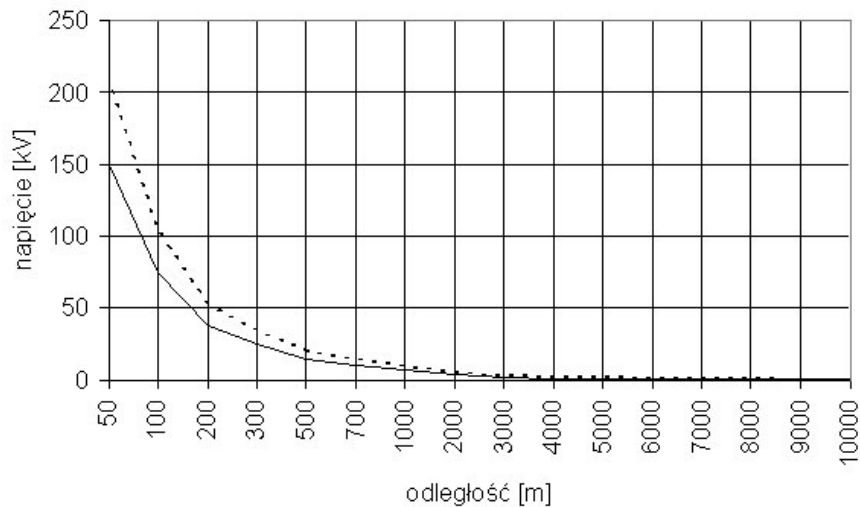
$$U = 30 \cdot (H/d) \cdot I$$

gdzie:

$I$  - prąd piorunowy [kA],

$H$  - wysokość zawieszenia przewodu nad ziemią [m],

$d$  - odległość pomiędzy przewodem a miejscem uderzenia pioruna [m].



**Rys. 7.** Napięcia indukowane w linii nad ziemią w funkcji odległości od miejsca wyładowania (linia ciągła  $H = 5$  m, linia przerywana  $H = 7$  m)

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

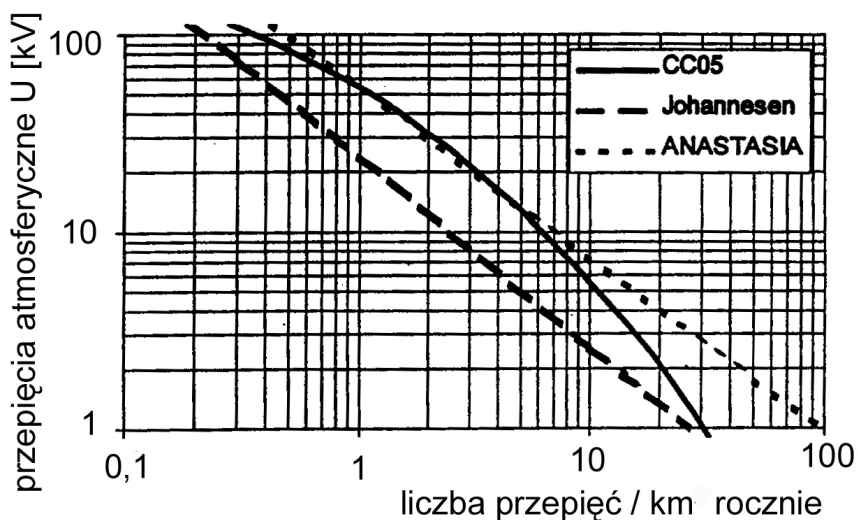
Liczba przepięć wynosi:

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

gdzie  $N_i$  - liczba indukowanych przepięć.

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).

Przykładowo, wyniki obliczeń uzyskanych przy pomocy powyższej zależności (oznaczenie CC05) przedstawiono rys. 8. Dodatkowo przedstawiono również krzywe proponowane przez innych autorów [3].



Rys. 8. Liczba przebiegów o różnych amplitudach wyznaczona dla linii  $L = 1 \text{ km}$ ,  $H = 10 \text{ m}$ ,  $N_g = 1$ ,

#### 1.4. Przepięcia wewnętrzne

Stany nieustalone w sieciach elektroenergetycznych powstające podczas nagłych zmian napięcia zasilającego lub konfiguracji układu połączeń poszczególnych elementów w systemie elektroenergetycznym są źródłem tzw. **przebiegów wewnętrznych**. Wśród tych przebiegów najczęściej występującymi są:

- Przepięcia powstające podczas wyłączania i ponownego załączania nieobciążonych linii lub baterii kondensatorów, przerywaniu niewielkich prądów indukcyjnych, likwidacji zwarć przy pomocy szybkich układów automatyki SPS.
- Przepięcia wywołane nagłymi zmianami obciążenia, zjawiskami rezonansu i ferorezonansu, niezaniżającymi zvarciami jedno- lub dwufazowymi z ziemią.
- Przepięcia występujące podczas zwarć doziemnych w sieciach elektroenergetycznych.
- Przepięcia powstające po zadziałaniu układów ochrony przepięciowej wywołane gwałtowną zmianą napięcia i towarzyszący temu przepływ prądów udarowych.
- Bezpośredni styk przewodów sieci elektroenergetycznej o różnych napięciach.

Część z przedstawionych typów przebiegów wewnętrznych występuje a sieciach średnich napięć. W takim przypadku zagrożenie urządzeń technicznych wynika z możliwości przenoszenia przebiegów na stronę niskonapięciową transformatorów energetycznych.

## 2. POZIOMY ODPORNOŚCI UDAROWEJ LICZNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Jednym z podstawowych wymagań elektrycznych jest zachowanie odpowiednich właściwości dielektrycznych przy działaniu różnorodnych napięć, jakie mogą wystąpić w naturalnych warunkach. Odwzorowanie występujących zagrożeń uzyskano badając liczniki napięciem udarowym oraz napięciem przemiennym.

**W przypadku napięcia udarowego wykorzystywany jest udar o wartości szczytowej 6 000 V oraz kształcie 1,2/50 [6,7].**

Zakres badań liczników zestawiono w tabelicy 1.

**Tablica 1. Zakres badań liczników napięciem udarowym [6,7]**

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.	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.
	Próba toru napięciowego – napięcie udarowe połączone pomiędzy każdy z zacisków a masę.	
	Próby torów pomocniczych (przewidywane do zasilania z sieci lub przekładnika) o napięciu wyższym od 40 V.	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. OCHRONA PRZED PRZEPIĘCIAMI UKŁADÓW POMIARU ENERGII

Zasady ograniczania przepięć dochodzących do układów pomiaru energii przedstawione zostaną dla:

- liczników energii elektrycznej w instalacjach energii elektrycznej w obiektach budowlanych (połączenie bezpośrednie),
- układów pomiarowych dołączonych do przekładników prądowych i napięciowych (układy półpośrednie i pośrednie).

W przypadku bezpośredniego połączenia liczników ograniczanie przepięć poniżej 6000 V można zapewnić stosując ograniczników przepięć. Typowe układy połączeń ograniczników przepięć przedstawiono na rys. 9. W celu ograniczenia prądów upływu zalecane jest stosowanie ograniczników iskiernikowych [8,9].

W przypadku obiektu z urządzeniem piorunochronnych będą to ograniczniki przepięć typu I (badane zgodnie z wymogami testów klasy I), które zapewniają ochronę przed wszelkiego rodzaju przepięciami oraz przed bezpośrednim oddziaływaniem części prądu piorunowego.

Napięciowe poziomy ograniczania przepięć ograniczników powinny zawierać się poniżej 4000 V lub, uwzględniając wymagania normy PN-IEC 60364-4-443 [10], powinny wynosić poniżej 2500 V.

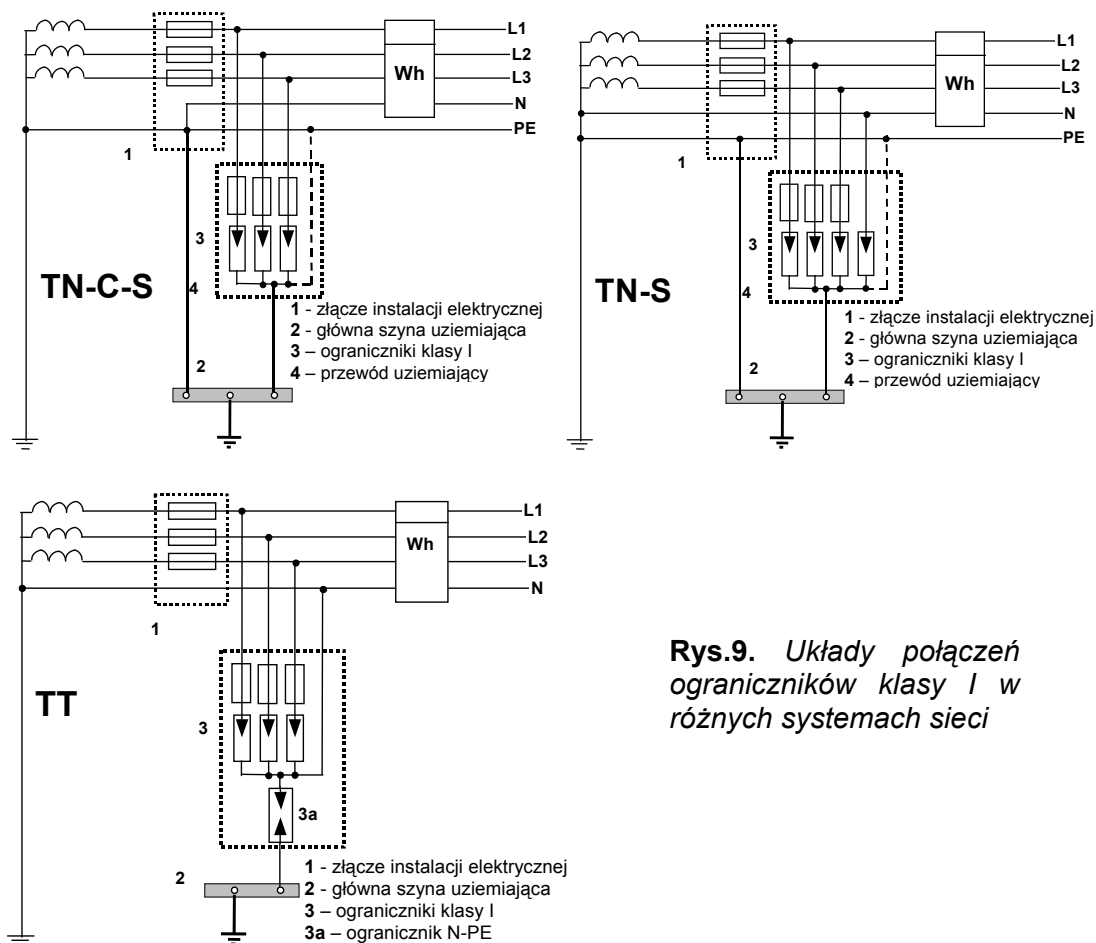
W przypadku braku zagrożeń stwarzanych przez oddziaływanie prądów piorunowych należy rozważyć ochronę tworzoną przez układy ograniczników typu II (klasy II). W celu eliminacji prądów upływu mogą to być ograniczniki zawierające szeregowo połączenie iskiernika i warystora.

W przypadku układów pomiaru energii, które dodatkowo wykonują inne funkcje np. przesyłają dane pomiarowe (droga radiowa lub łącza kablowe) należy również dobrać ograniczniki przepięć w torach przesyłu sygnałów oraz liniach zasilających.

Ograniczanie przepięć w układach półpośrednich i pośrednich przedstawione zostanie na przykładzie pomiarów w stacji wysokich napięć.

We współczesnych stacjach wysokich napięć budynki nastawni mogą znajdować się w znacznej odległości od miejsca montażu przekładników, co stwarza konieczność stosowania w obwodach wtórnych przewodów o długościach dochodzących do kilkuset metrów.

W takich układach, w przypadku przepięć w liniach wysokich napięć, mogą wystąpić również przepięcia o znacznych wartościach, stwarzające zagrożenie dla izolacji urządzeń w nastawni.



**Rys.9.** Układy połączeń ograniczników klasy I w różnych systemach sieci

Przebiegi przenoszą się ze strony pierwotnej na wtórny droga sprzężeń magnetycznego, elektrycznego i galwanicznego. Sprzężenia powodują, że w miejscu pomiarów mogą wystąpić napięcia udarowe doziemne oraz różnicowe.

Z danych literaturowych wynika, że napięcia doziemne mogą osiągać wartości nawet do kilku kilowoltów, a w przypadku sprzężeń galwanicznych dochodzą nawet do 20 kV [1,2,4].

Sprzężenia galwaniczne wywołane są przez różnice potencjałów uziomów stacji i nastawni. Jeśli uwzględnimy następujące wymagania:

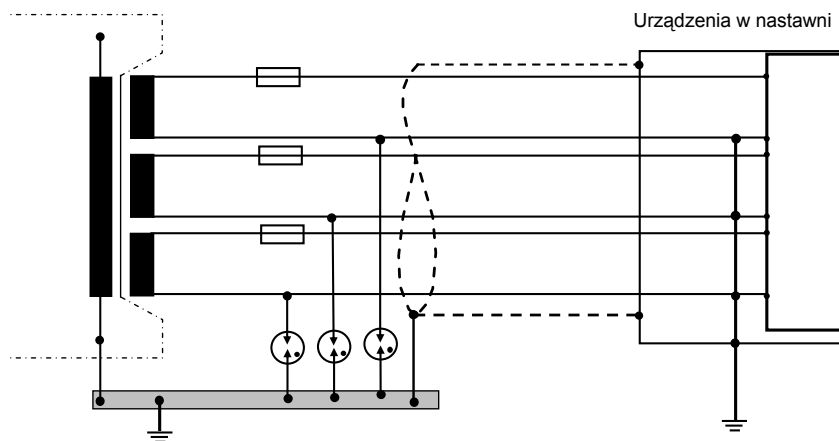
- obowiązkowe uziemienie uzwojeń wtórnych przekładników,
- niedopuszczanie do uziemiania w kilku miejscach np. w rozdzielni i nastawni

To różnica potencjałów może być groźna dla uzwojeń izolacji liczników. Rozwiązaniem może być uziemianie w nastawni. W takich przypadkach nie wnosimy potencjałów z siatki uziemiającej z rozdzielni do nastawni. Jeśli uzwojenia wtórne są uziemione w nastawni to do ograniczania różnic potencjałów przy przekładniku można zastosować iskierniki gazowe. Przykład takiego połączenia przedstawiono na rys. 10. Jeśli uziemienie zostało wykonane w bliskim sąsiedztwie przekładnika to iskierniki gazowe można zastosować w budynku nastawni.

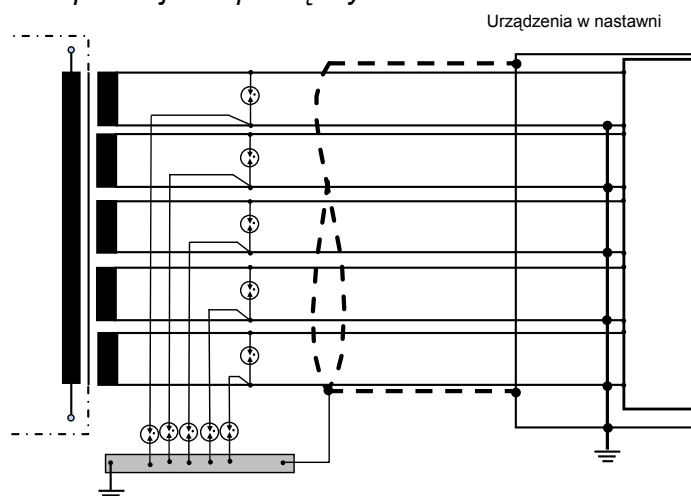
Podobny sposób ograniczania różnic potencjałów można zastosować w przypadku przekładników prądowych. W przykładzie przedstawionym na rys.11 ograniczanie są zarówno różnice potencjałów pomiędzy systemami uziomów jak i przebiegi występujące pomiędzy przewodami w obwodzie wtórnym.

#### 4. OGRANICZANIE PRZEPIĘĆ W SYSTEMACH PRZESYŁU SYGNAŁÓW

Obecnie coraz częściej stosowane są nowe systemy pomiarowe ze zdalnym odczytem energii elektrycznej. W takich przypadkach może powstać konieczność ograniczania przebiegów w systemach przesyłu sygnałów.



Rys. 10. Ograniczenie różnic potencjałów pomiędzy uziomami rozdzielni i nastawni



Rys.11. Przykład ograniczania przepięć w układzie z przekładnikiem prądowym.

Typowe elementy wykorzystywane do ograniczania przepięć w systemach przesyłu sygnałów oraz ich podstawowe parametry zestawiono w tabelicy 2.

Tablica 2. Zestawienie podstawowych parametrów charakteryzujących elementy zabezpieczające

Element	Dioda zabezpieczająca	Warystor	Odgromnik
Parametr			
Oznaczenie graficzne			
Charakterystyka U/I	asymetryczna	symetryczna	symetryczna
Poziom ochrony	6V - 190 V	20V - 2000V	65V- 12 000V
Prąd udarowy (8/20)	do 1 kA	do 25 kA	do 60 kA
Pochłaniana energia	do 1 J	do 1800 J	do 60 J
Obciążenie stałe	do 1 W	do 2 W	800 WW (1s.)
Czas odpowiedzi	< 10 ps	< 25 ns	zależy do du/dt
Pojemność	300pF - 15 000pF	40pF - 40 000pF	0,5pF - 7 pF
Dopuszczalne zmiany zakresu ochronnego	± 5%, ± 10%	± 10 %	± 15 %
Prąd upływu	< 5uA	< 0,2 mA	< 15 nA
Zakres temperatur	-65°C - + 175°C	-40°C - + 125°C	-55°C - + 130°C

Jeśli oddzielne użycie pojedynczych elementów ochronnych nie zapewnia dostatecznego poziomu ochrony przed przepięciami to należy zastosować układy zabezpieczające. Łączenie elementów ochronnych w układy umożliwi zsumowanie ich ochronnych zalet i wyeliminowanie niepożądanych efektów związanych z ich oddzielnym zastosowaniem.

Typowy układ ograniczający przepięcia składa się z pojedynczych elementów zabezpieczających połączonych elementami wzdlużnymi, nazywane również elementami odsprzęgającymi. Tworząc system ograniczania przepięć można wykorzystać przedstawione poniżej etapy postępowania (tablica 3.).

**Tablica 3.** Etapy postępowania przy doborze układu ograniczającego przepięcia w systemach przesyłu sygnałów

Etap	Zakres działań	Źródło informacji
1	Określenie odporności portów sygnałowych urządzeń na działanie udarów dochodzących z linii przesyłu sygnałów.	Wyniki badań prowadzonych przez producenta
2	Określenie podstawowych danych charakteryzujących znamionowe warunki pracy urządzenia.	Dane znamionowe chronionego systemu
3	Określenie stopnia zagrożenia udarowego urządzenia.	Normy i zalecenia
4	<b>Wstępny określenie właściwości urządzeń ochrony przepięciowej.</b>	
5	Określenia liczby stopni ochronnych w torze przesyłu sygnałów.	
6	Określenie maksymalnych dopuszczalnych napięć sygnałów roboczych $U_{NS}$ i wybór układu ochrony przepięciowej o trwałym napięci pracy $U_C$ spełniającym warunek $U_C \geq U_{NS}$	
7	Określenie sposobu przesyłu sygnałów (napięcie znamionowe niesymetryczne w układzie przewód - przewód lub napięcie znamionowe symetryczne w układzie przewód - „ziemia”) i dobranie odpowiedniego układu ochronnego.	
8	Określenie maksymalnego prądu roboczego występującego w systemie przesyłu sygnałów $I_{NS}$ i wybór układu ochrony przepięciowej o prądzie znamionowym $I_{NO}$ spełniającym warunek $I_{NO} \geq I_{NS}$	
9	Określenie znamionowej częstotliwości sygnałów $f_{NS}$ w analizowanym systemie i porównanie z częstotliwością znamionową $f_{NOGR}$ lub graniczną $f_{GRAN}$ ogranicznika. Układ powinien spełniać warunek $f_{NS} \geq f_{NOGR} \quad , \quad f_{NS} \geq f_{GRAN}$	
10	Wybór układu posiadającego dodatkowe impedancje odprzęgające w przypadku ochrony urządzenia, w którym wejścia sygnałowe posiadają własne elementy ochronne (np. fabrycznie zamontowane warystory lub diody).	Producent chronionych urządzeń
11	Porównanie wartości elementów odsprzęgających zastosowanych w układzie ogranicznika z wartościami dopuszczalnymi w danej linii przesyłu sygnałów.	
12	<i>Wybór sposobu montażu i „uziemiania” ogranicznika przepięć</i>	Instrukcje montażowe ograniczników
13	Ocena poprawności połączeń ograniczników przepięć w torze sygnałowym i w instalacji elektrycznej.	Schematy instalacji elektrycznej

## 5. ZAKOŃCZENIE

Stosowanie coraz doskonalszych układów pomiaru energii oraz wzrost wymagań dotyczących ich możliwości stwarza konieczność przeanalizowania ich zagrożenia przepięciowego oraz podjęcie odpowiednich środków ochrony.

W przypadku analizowanych układów dodatkowym problemem jest konieczność wyeliminowania wpływu zastosowanych urządzeń ograniczających przepięcia na pracę chronionych liczników.

## 6. 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.
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. : Überspannungsschutzeinrichtungen der Anforderungsklasse B. Richtlinie für den Einsatz in Hauptstromversorgungssystemen.
9. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke VDEW – e.V. Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz.
10. PN-IEC 60364-4-443:1999, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przez przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.