

OGRANICZANIE PRZEPIĘĆ W SYSTEMACH POMIARÓW, AUTOMATYKI I STEROWANIA

Andrzej W. Sowa

Politechnika Białostocka

Cechą charakterystyczną współczesnych urządzeń systemów elektronicznych jest ich stosunkowo niewielka odporność na działanie napięć i prądów udarowych dochodzących z sieci zasilającej oraz z linii przesyłu sygnałów. Napięcia i prądy udarowe są szczególnie groźne dla urządzeń pracujących w rozbudowanych systemach elektronicznych np. w systemach sterowania i pomiarów w zautomatyzowanych zakładach przemysłowych. W takich przypadkach nawet drobne uszkodzenie pojedynczego urządzenia może spowodować unieruchamienie całego systemu i zatrzymanie lub ograniczenie produkcji.

Rozpatrując zagrożenie udarowe należy zwrócić szczególną uwagę na przepięcia powstające sporadycznie, o znacznych wartościach szczytowych, które:

- mogą uszkodzić urządzenia,
 - są najczęściej lekceważone i niewzględniane zarówno przez instalatorów jak i użytkowników urządzeń.
- Ochrona przed tego rodzaju zagrożeniem i stworzenie warunków zapewniających poprawne i bezawaryjne działanie urządzeń i systemów elektronicznych wymaga zastosowania, odpowiednio dobranych i rozmieszczonych ograniczników przepięć.*

1. PODSTAWOWE ZASADY OGRANICZANIA PRZEPIĘĆ

Właściwie dobrany i zamontowany układ do ograniczania przepięć w systemach przesyłu sygnałów powinna zapewnić bezawaryjne działanie urządzeń oraz nie wpływać na jakość ich pracy. Do ograniczania przepięć wykorzystywane są zarówno pojedyncze elementy ochronne jak i układy składające się z kilku odpowiednio połączonych elementów. Elementy ograniczające przepięcia charakteryzuje możliwość zmiany własnej impedancji w zakresie od bardzo dużych wartości podczas normalnej pracy chronionego urządzenia do wartości bardzo małych w chwili wystąpienia przepięcia. Po zaniku przepięcia impedancja ponownie narasta do dużych wartości.

Dobór układu ograniczającego przepięcia w systemach przesyłu sygnałów wymaga:

- wstępnej oceny zagrożenia przepięciowego chronionego portu,
- wybrania takiego typu testu, który w sposób najbardziej zbliżony odwzorowuje występujące zagrożenie,
- zastosowanie układu do ograniczania przepięć, który badano zgodnie z wymaganiami wybranego testu.

Zestawienie zakresu badań układów ograniczających przepięcia w systemach przesyłu sygnałów zestawiono w tablicy 1.

Dobierając układ ograniczający przepięcia w systemie przesyłu sygnałów należy uwzględnić informacje o poziomach odporności udarowej przyłączy sygnałowych chronionych urządzeń. Ograniczając rozważania tylko do przepięć atmosferycznych i łączeniowych, należy określić wymagania dotyczące poziomów odporności urządzeń na działanie:

- **jednokierunkowych (jednobiegunowych) udarów** powodowanych przez przepięcia łączeniowe i piorunowe o mikrosekundowym charakterze zmian [4],
- **niepowtarzalnych, tłumionych przebiegów sinusoidalnych** powstających podczas procesów łączeniowych w liniach zasilających lub sterujących oraz wyładowań atmosferycznych [3],
- **powtarzalnych szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych** o nanosekundowym charakterze zmian (EFT/B – ang. Electrical Fast Transient – Burst) [5],

Tablica 1. Zakres badań różnych kategorii układów ograniczających przepięcia [10]

Kategoria	Typ testu	Napięcie w obwodzie otwartym	Prąd płynący po zwarceniu
A1	Bardzo wolno narastający	≥ 1 kV Szybkość narastania od 0,1kV/s do 100 kV/s	10 A 0,1 A/ μ s do 2 A/ μ s ≥ 1 000 μ s (czas trwania)
A2	AC		
B1	Wolno narastający	1 kV 10/1 000	100 A 10/1 000
B2		1 kV lub 4 kV 10/1 000	25 A lub 100 A 5/300
B3		≥ 1 kV 100 V/ μ s	10 A, 25 A lub 100 A 10/1 000
C1	Szybko narastający	0,5 kV lub 1 kV 1,2/50	0,25 kA lub 0,5 kA 8/20
C2		2 kV, 4 kV lub 10 kV 1,2/50	1 kA, 2 kA lub 5 kA 8/20
C3		≥ 1 kV 1 kV/ μ s	10 A, 25 A lub 100 A 10/1 000
D1	Dużej energii	≥ 1 kV	0,5 kA, 1 kA lub 2,5 kA 10/350
D2		≥ 1 kV	1 kA, 2,5 kA 10/250

Przykładowe wartości poziomów odporności przyłączy sygnałowych oraz zasilania prądem stałym urządzeń stosowanych w systemach kontrolno-pomiarowych i sterowania na działanie powyższych udarów zestawiono w tabl. 2.

Tablica 2. Wymagane poziomy wytrzymałości na udary 5/50 ns i 1,2/50-8/20 μ s przyłączy zasilania i sygnałowych urządzeń elektronicznych

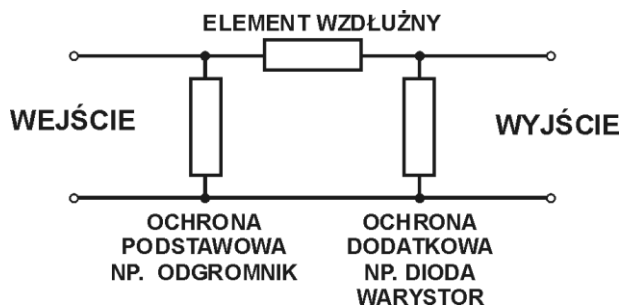
Poziomy odporności przyłączy sygnałowych urządzeń	
Urządzenia elektryczne i elektroniczne (NAMUR NE 21)	Linie sygnałowe, cyfrowe, pomiarowe oraz sterujące: <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 ns - \pm 500V, udary 1,2/50-8/20 - 1 000V/500V
Urządzenia stosowane w kolejnictwie (PN-EN 50121-4)	Porty sygnałowe: <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 ns - \pm 2000V, udary 1,2/50-8/20 - 2 000V/1 000V
Sprzęt pomiarowy, sterujący i laboratoryjny (PN-EN 61010-1)	Przyrządy pomiarowe, automatyki i urządzenia laboratoryjne: <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 - 1 000V poziom podwyższony (zastosowanie przemysłowe) <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 - 1 000V, udary 1,2/50-8/20 - 1 000V
Poziomy wytrzymałości przyłączy zasilania prądem stałym	
Urządzenia elektryczne i elektroniczne (NAMUR NE 21)	Urządzenie elektryczne i elektroniczne automatyki przemysłowej <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 - 2 000V, udary 1,2/50-8/20 - 1 000V / 500V
Przełączniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczające (PN-IEC 60255-22-4)	Przełączniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczające do normalnego zastosowania w elektrowniach, stacjach elektroenergetycznych i zakładach przemysłowych. <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 ns - 2000 V \pm 10%
Sprzęt pomiarowy, sterujący i laboratoryjny (PN-EN 61010-1)	Przyrządy pomiarowe, automatyki i urządzenia laboratoryjne: <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 - 1 000V poziom podwyższony (zastosowanie przemysłowe) <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 - 2 000V, udary 1,2/50-8/20 - 2 000V / 1 000V
Urządzenia stosowane w kolejnictwie (PN-EN 50121-4)	Porty zasilania urządzeń sygnalizacji i telekomunikacji <ul style="list-style-type: none"> udary 5/50 ns - 2000V, udary 1,2/50-8/20 - 2000V/1000V

2. UKŁADY OGRANICZAJĄCE PRZEPIĘCIA

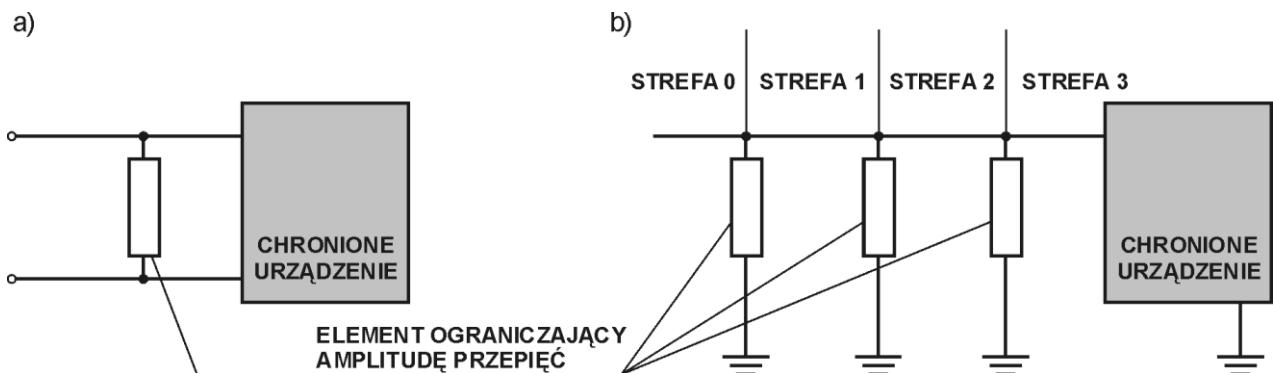
Podstawowymi elementami ograniczającymi przepięcia w systemach przesyłu sygnałów są iskierniki gazowe, warystory lub diody zabezpieczające.

Elementy ograniczające przepięcia łączone są w układy, co umożliwia zsumowanie ich ochronnych zalet i wyeliminowanie niepożądanych efektów związanych z ich oddzielnym zastosowaniem. Typowy układ do ograniczania przepięć, nazywany również urządzeniem ograniczającym przepięcia **SPD** (ang. Surge Protective Devices) składa się z pojedynczych elementów zabezpieczających połączonych elementami wzdłużnymi, nazywanymi również elementami odprzegajającymi (rys.1.). Jako elementy wzdłużne mogą być stosowane są rezystancje, indukcyjności, pojemności lub filtry.

Układ ograniczający przepięcia może być włączony bezpośrednio przed chronionym urządzeniem (rys.2a.) lub w miejscach przejścia między poszczególnymi strefami ochronnymi (rys.2b)



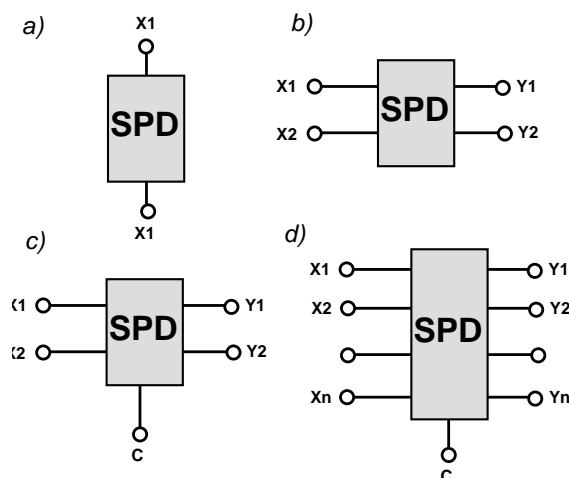
Rys.1. Przykład układu zabezpieczającego przed przepięciami



Rys.2. Ogólny przykład instalowania elementów ograniczających przepięcia: a) bezpośrednio przed urządzeniem, b) w miejscach przejścia między strefami ochronnymi

W zależności od wewnętrznego układu połączeń elementów ograniczających przepięcia oraz wymagań chronionego obwodu można, wśród układów do ograniczania przepięć, wyodrębnić następujące rozwiązania (rys.3.):

- z jednym przyłączem (bramką), układ jest włączane równolegle do obwodu chronionego (rys.3a),
- z dwoma parami przyłączy (pary wejściowa i wyjściowa) pomiędzy którymi włączona jest określana impedancja szeregową, układ jest włączane szeregowo do obwodu chronionego (rys.3b),
- z dwoma parami przyłączy (pary wejściowa i wyjściowa) oraz przyłącza do połączenia z lokalnym systemem wyrównywania potencjałów (rys.3c.),
- z dwoma kompletami przyłączy wejściowych i wyjściowych oraz przyłącza do połączenia z lokalnym systemem wyrównywania potencjałów (rys.3d).



Rys.3. Ogólne schematy typowych układów do ograniczania przepięć:
a) z jednym przyłączem, b) z dwoma parami przyłączy, c) z dwoma parami przyłączy i przyłączem „uziemiającym”, d) z dwoma kompletami przyłączy i przyłączem „uziemiającym”

3. OGÓLNE ZASADY DOBORU URZĄDZEŃ DO OGRANICZANIA PRZEPIĘĆ

Dobierając urządzenia ograniczające przepięcia i ich rozmieszczenie w systemach przesyłu sygnałów oraz niskonapięciowych obwodach zasilających należy uwzględnić:

- wielkości charakteryzujące znamionowe warunki pracy chronionego urządzenia,
- odporność chronionego urządzenia na udary dochodzące z linii przesyłu sygnałów,
- strefę zagrożenia, w której urządzenie będzie zainstalowane,
- typy i rozmieszczenie przewodów dochodzących do urządzenia,
- istniejące w systemie przesyłu sygnałów elementy i układy ochrony przed przepięciami,
- wymagany poziom niezawodności pracy.

Przedstawione ogólne zasady postępowania wykorzystano przy opracowaniu dokładnego sposobu doboru układów do ograniczania przepięć w dowolnym systemie przesyłu sygnałów. Dodatkowo uwzględniono podstawowe wymaganie, jakim jest brak wpływu układów ograniczających przepięcia na jakość pracy chronionego urządzenia lub systemu. Uwzględniając powyższe wymagania opracowano wieloetapowy tok postępowania przy prawidłowym doborze i montażu układów ograniczających przepięcia w systemach przesyłu sygnałów.

ETAP 1. Określenie, na podstawie informacji dostarczonych przez producenta, odporności portów sygnałowych urządzeń na działanie udarów dochodzących z linii przesyłu sygnałów (przykład przedstawiono w Tabelicy 2.).

ETAP 2. Określenie podstawowych danych charakteryzujących znamionowe warunki pracy urządzenia

W analizowanym obwodzie należy określić:

- znamionowe i maksymalne dopuszczalne napięcie przesyłanych sygnałów,
- maksymalny prąd występujący w liniach przesyłu sygnałów,
- częstotliwość graniczną,
- sposób przesyłu sygnałów (układy symetryczne lub niesymetryczne),
- dopuszczalne tłumienie w linii przesyłu sygnałów,
- impedancję falową linii przesyłu sygnałów,
- dopuszczalną impedancję jaka można wstawić w torze przesyłu sygnałów,

- rodzaje złącz stosowanych w systemie przesyłu sygnałów,
- rodzaj elementów lub układów ochrony przepięciowej zastosowanych bezpośrednio w urządzeniu (w przypadku ochrony wprowadzonej przez producenta urządzenia).

ETAP 3. Określenie stopnia zagrożenia udarowego urządzenia i wstępny dobór właściwości układów ograniczający przepięcia

Analizując zagrożenie udarowe należy uwzględnić możliwość oddziaływania na urządzenia lub linie sygnałowe zagrożeń stwarzanych przez:

- **Części prądu piorunowego lub prądy zwarciove w sieci elektroenergetycznej.** Takie zagrożenie występuje w stacjach elektroenergetycznych, obiektach budowlanych posiadających instalację piorunochronną do których dochodzą sygnałów zewnątrz linie przesyłu sygnałów lub w obiektach bez instalacji odgromowej w przypadku doprowadzania napowietrznych linii sygnałowych.
- **Przepięcia atmosferyczne indukowane.** Ochronę przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi należy zastosować w systemach przesyłu sygnałów w obiektach:
 - posiadających instalację piorunochronną ale linie sygnałowe nie wychodzą na zewnątrz obiektu,
 - nie posiadających instalacji piorunochronnej, do których z zewnątrz dochodzą linie sygnałowe,
 - bez instalacji piorunochronnej, linie sygnałowe nie wychodzące na zewnątrz obiektu .

W pierwszym przypadku zalecane jest stosowanie układów do ograniczania przepięć zapewniających ochronę przed działaniem prądów udarowych o wartościach szczytowych 2,5 kA – 5 kA i kształcie 10/350. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi, przepięciami przepuszczonymi przez pierwszy stopień ochrony lub generowanymi przez inne źródła zakłóceń wymaga zastosowania układów ograniczających przepięcia odpornych na działanie:

- napięć udarowych o wartościach szczytowych od kilkuset V do kilku kV i kształcie 1,2/50,
- prądów udarowych o wartościach szczytowych od kilkuset A do kilku kA (nawet do 10 – 20 kA) i kształcie 8/20.

Do ograniczania przepięć można wykorzystać układ pojedynczy wielostopniowy lub dwa układy odpowiednio rozmieszczone (tablica 3. i rys. 4.).

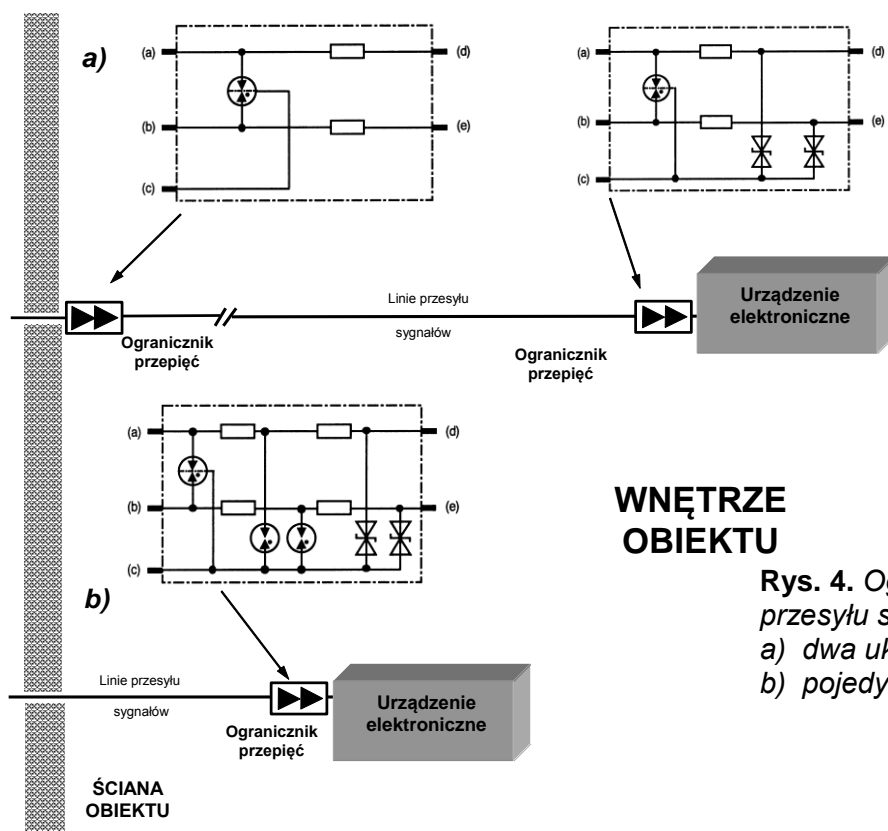
Tablica 3. Zasady określania liczby stopni ochrony

Opis układu	Zagrożenie	Poziom odporności udarowej portu	Układy ograniczające przepięcia
Linie przesyłu sygnałów dochodzą z zewnątrz do obiektu (istnieje zagrożenie bezpośrednim oddziaływaniem prądów piorunowych)	Prądy udarowe 2,5kA – 5 kA kształt 10/350	większy równy 1000V	Jednostopniowy układ odgromników gazowanych
		mniejszy od 1000V	Jeden wielostopniowy układ ograniczania przepięć 2 układy - rozmieszczenie: wejście do obiektu i przy urządzeniu
Długie linie przewodów systemu przesyłów ułożone w obiekcie budowlanym	Prądy udarowe kilka-kilkanaście kA, kształt 8/20	większy równy 1000V	Jednostopniowy układ odgromników gazowanych
		mniejszy od 1000V	Układ wielostopniowy
Krótkie linie przewodów ułożone wewnątrz obiektu	Prądy udarowe kilkadziesiąt-kilkaset A kształt 8/20	*) mniejszy od 1000V	Jednostopniowy układ warystorów lub diod ochronnych

*) przy odporności powyżej 1000 V można nie stosować układów ograniczających przepięcia

ETAP 4. Określenie maksymalnych dopuszczalnych napięć sygnałów roboczych U_{NS} i wybór układu ograniczające przepięcia o znamionowym napięciu pracy U_C spełniającym warunek

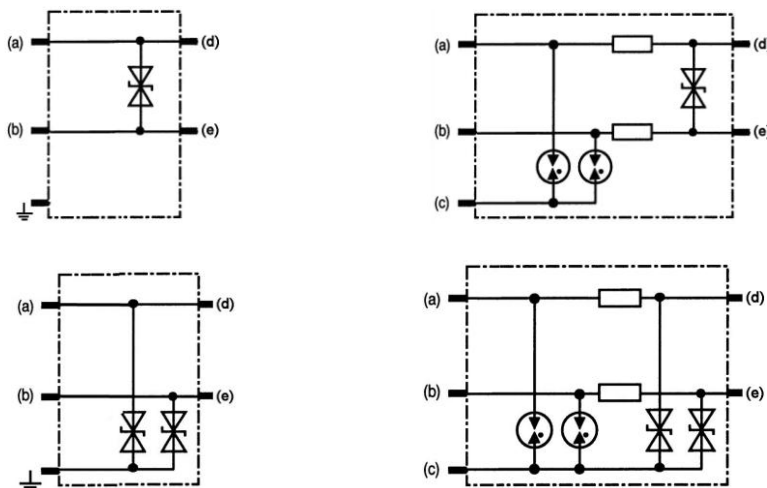
$$U_C \geq U_{NS}$$



Rys. 4. Ograniczanie przepięć w linii przesyłu sygnałów;
 a) dwa układy ograniczające przepięcia,
 b) pojedynczy układ wielostopniowy

ETAP 5. Określenie sposobu przesyłu sygnałów i dobranie odpowiedniego układu do ograniczania przepięć.

Dobierając układ ograniczający przepięcia należy uwzględnić wymagane poziomy ograniczania napięć symetrycznych i niesymetrycznych. Przykładowo na rys. 5. przedstawiono układy ograniczające przepięcia symetryczne i niesymetryczne do różnych poziomów.

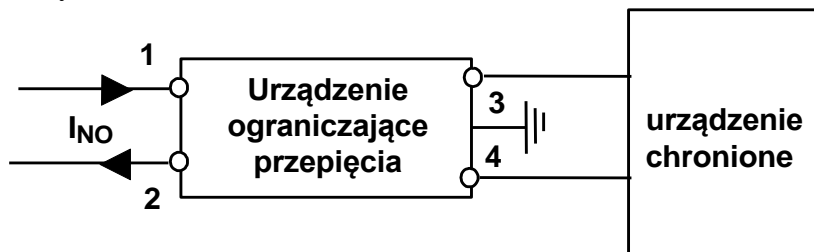


Rys.5. Ochrona w systemach symetrycznych i niesymetrycznych

ETAP 6. Określenie maksymalnego prądu roboczego występującego w systemie przesyłu sygnałów I_{NS} i wybór układu ograniczającego przepięcia o prądzie znamionowym I_{NO} spełniającym warunek

$$I_{NO} \geq I_{NS}$$

Połączenie układu do ograniczania przepięć i chronionego portu sygnałowego z oznaczeniem prądu I_{NO} przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Przykład prądu w linii z układem ograniczającym przepięcia

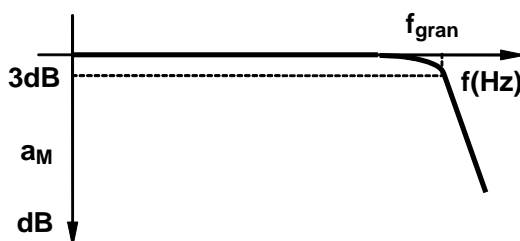
ETAP 7. Określenie znamionowej częstotliwości sygnałów f_{NS} w analizowanym systemie i porównanie z częstotliwością znamionową f_{NOGR} lub graniczną f_{GRAN} układu do ograniczania przepięć.

Układ ograniczających przepięcia nie może zniekształcać przesyłanych sygnałów. Właściwości częstotliwościowe takich układów są charakteryzowane przez:

- częstotliwość znamionowa f_{NOGR} ,
- częstotliwość graniczna f_{GRAN} (lub tzw. „pasmo przenoszenia”).

Tłumienie jakie wprowadzają układy ograniczające przepięcia przy tych częstotliwościach są najczęściej na poziomie 1 dB (częstotliwość znamionowa) lub 3 dB (częstotliwość graniczna).

Przykładową charakterystyką zmian tłumienia wprowadzanego przez odgromnik w funkcji częstotliwości przedstawiono na rys.7.



Rys.7. Przykład zmian tłumienia w funkcji częstotliwości dla typowego układu chroniącego przed przepięciami

Ogranicznik dobierany do ochrony urządzenia lub systemu przesyłu sygnałów f_{NS} powinien spełniać następujące warunki:

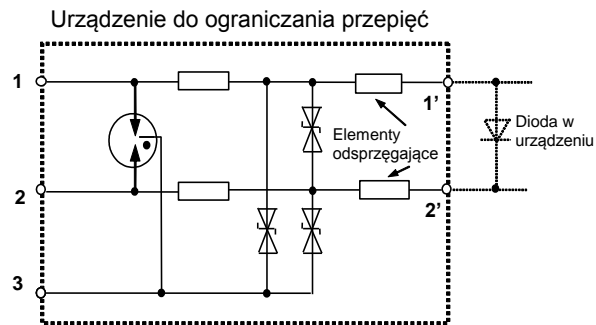
$$f_{NS} \leq f_{NOGR}$$

$$f_{NS} < f_{GRAN}$$

ETAP 8. Wybór układu ograniczającego posiadającego dodatkowe impedancje odprzegające w przypadku jego montażu przed urządzeniem, którego porty sygnałowe posiadają własne elementy ograniczające przepięcia (np. wewnątrz urządzenia zamontowano fabrycznie warystory lub diody).

Instalując układ do ograniczania przepięć bezpośrednio przed urządzeniem posiadającym „własne” elementy ograniczające przepięcia należy zapewnić właściwą ich współpracę. Wymaga to porównania właściwości układu i elementów i oceny możliwości wzajemnej koordynacji działania. W rzeczywistych warunkach przeprowadzenie takiej analizy i ocena możliwości współpracy „zewnętrzny układu ograniczania przepięć” z wewnętrznymi elementami ochronnymi jest najczęściej niemożliwa.

W takich przypadkach, do ochrony urządzeń posiadających „własne” elementy lub układy ochronne należy zastosować układy posiadające dodatkowe elementy odsprzegające (rys. 8).

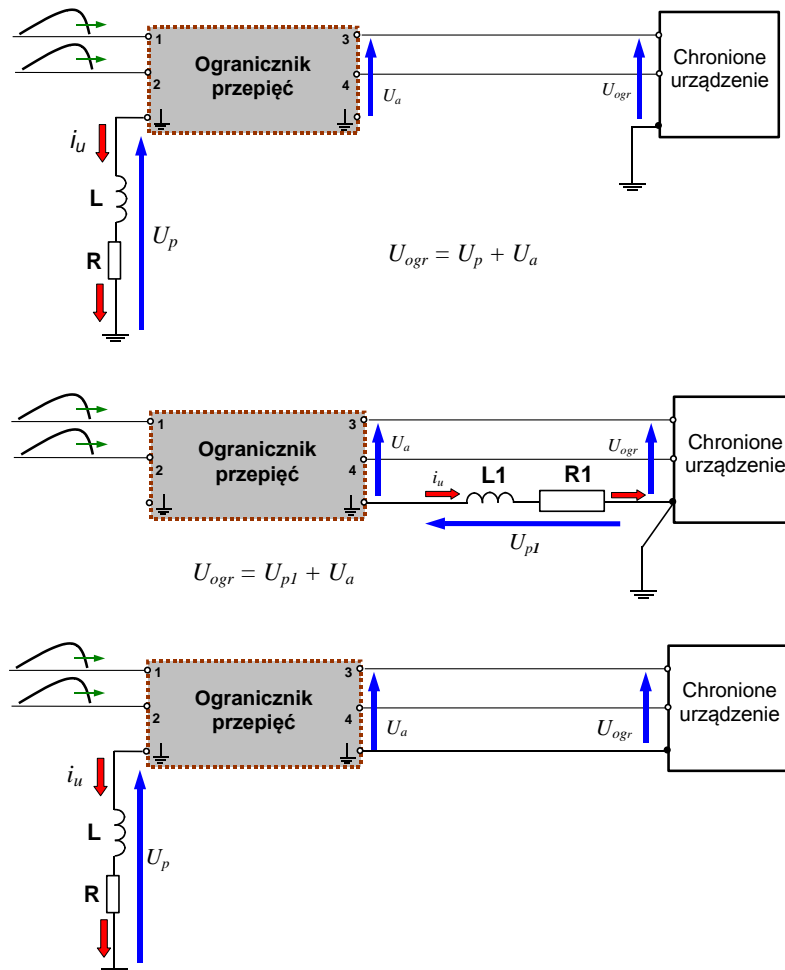


Rys.8. Dodatkowe elementy odsprężające w układzie chroniącym przed przepięciami

ETAP 9. Porównanie wartości elementów odsprężających zastosowanych w układzie ograniczającym przepięcia z wartościami dopuszczalnymi w danej linii przesyłu sygnałów.

ETAP 10. Wybór sposobu „uziemia” „układu ograniczającego przepięcia

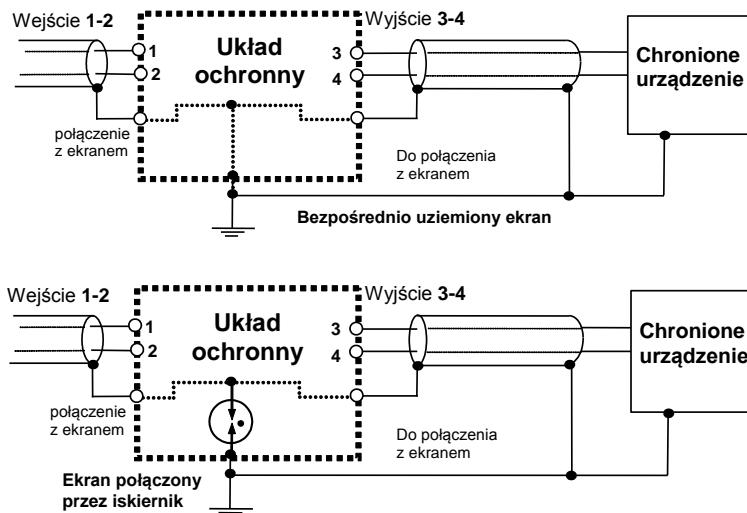
Przewód łączący układ ograniczający przepięcia z elementem uziemionym (np. lokalna szyna wyrównawcza lub uziemiona obudowa urządzenia) powinien być możliwie najkrótszy dzięki temu unikamy spadków napięć na jego indukcyjności. Dotyczy to szczególnie układów przeznaczonych do ochrony przed działaniem części prądu piorunowego. Przykłady połączeń, w których występują znaczne spadki napięć na indukcyjnościach przewodów zagrażających urządzeniu, przedstawiono na rys.9.



Rys.9. Przykłady połączeń układów ochronnych z lokalną szyną wyrównawczą:
a), b) błędne- występują spadki napięć na przewodach,
c) poprawne - spadki napięć są ograniczone.

Należy również uwzględnić zalecenia dotyczące możliwości uziemiania w liniach przesyłu sygnałów. Jeśli znamionowe warunki pracy zalecają izolowanie ekranu przewodu dochodzącego do urządzenia (ekran nie może być uziemiony) należy, w celu wyrównywania różnic potencjałów, ekran połączyć z elementem uziemionym przez ogranicznik gazowy.

Przykładowe połączenia ograniczników przepięć stosowanych w torze przesyłu sygnałów, którego powinien być izolowany lub uziemiony przedstawia rys.10.



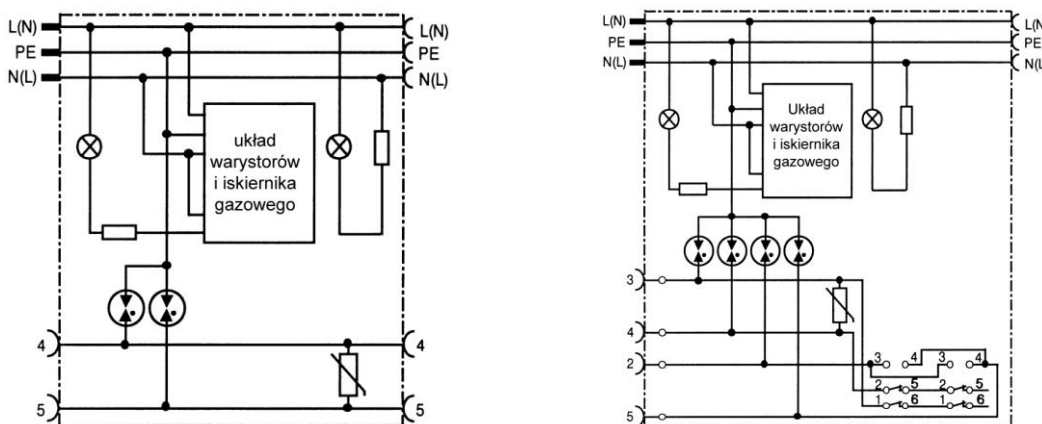
Rys.10. Przykłady połączeń układów chroniących przed przepięciami w przypadku ekranu, który może być uziemiany lub ekranu izolowanego.

ETAP 11. Ocena poprawności połączeń układów do ochrony przed przepięciami w torze sygnałowym i w instalacji elektrycznej.

Podstawową zasadą ochrony przed przepięciami jest zapobieganie powstawaniu różnic potencjałów pomiędzy dochodzącymi do urządzenia:

- przewodami w poszczególnych instalacjach,
- różnorodnymi instalacjami.

Ogólną zasadę ochrony przedstawiono na rys.11. Do urządzenia dochodzą linie przesyłu sygnałów oraz przewody instalacji elektrycznej. W każdej z tych instalacji zastosowano układ ograniczający przepięcia między przewodami. Dodatkowo układy są uziemione w jednym punkcie np. są połączone z przewodem PE,



Rys.11. Układy ograniczające przepięcia dochodzące z instalacji elektrycznej oraz z linii przesyłu sygnałów

4. ZAKOŃCZENIE

Postępując zgodnie z przedstawionymi zasadami można zapewnić bezawaryjne działanie wszystkich urządzeń systemu elektronicznego nawet w przypadku bezpośredniego uderzenia piorunu w obiekt i wystąpienia zagrożenia jakie stwarza bezpośrednio oddziaływanie prądu piorunowego.

Bardzo często użytkownik, ze względów ekonomicznych, wymaga jedynie zapewnienia bezawaryjnego działania wybranych urządzeń w danym systemie zakładając możliwość uszkodzenia poszczególnych urządzeń lub czujników.

W takim przypadku można ograniczyć zakres ochrony, ale należy wykonywać to bardzo rozważnie uwzględniając również przedstawione zasady doboru ograniczników przepięć.

5. LITERATURA

- [1] Hasse P.: Overvoltage protection of low voltage systems. 2nd Edition, The Institute of Electrical Engineers. London 2000.
- [2] Sowa A.: Kompleksowa ochrona odgromowa i przepięciowa. COSiW SEP, Warszawa, 2005.
- [3] PN-EN 61000-4-4:1998, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na serie szybkich zakłóceń impulsowych.
- [4] PN-EN 61000-4-5:1998, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na udary.
- [5] PN-EN 61000-4-12:1999, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na przebiegi oscylacyjne. Podstawowa publikacja EMC.
- [6] PN-EN 61000-6-2:2002, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 6-2: Normy ogólne - Wymagania dotyczące odporności w środowisku przemysłowym.
- [7] PN-EN 61010-1:2000, Wymagania bezpieczeństwa elektrycznych przyrządów pomiarowych, automatyki i urządzeń laboratoryjnych.
- [8] PN-EN 61131-2:2004(U). Sterowniki programowalne. Część 2: Wymagania i badania dotyczące sprzętu.
- [9] PN-EN 60255-22-4:2003(U), Przekładniki energoelektryczne. Część 22-4: Badania odporności na zakłócenia elektryczne przekładników pomiarowych i urządzeń zabezpieczających. Badania odporności na szybkozmiennne zakłócenia przejściowe.
- [10] PN-EN 61643-21:2004, Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 21: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych. Wymagania eksploatacyjne i metody badań.
- [11] PN-T-83020:1996, Ochronnik telefoniczny abonencki. Ogólne wymagania i badania.
- [12] NAMUR NE 21:1998, Elektromagnetische Vertraglichkeit von Betriebsmitteln der Prozess- und Labortechnik.
- [13] PN-EN 55024:2000, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Urządzenia informatyczne. Charakterystyka odporności. Metodyka pomiaru i dopuszczalne poziomy.
- [14] PN-EN 61643-311:2002(U), Elementy do niskonapięciowych urządzeń ograniczających przepięcia – Część 311: Wymagania dla iskierników gazowych (GDT).
- [15] PN-IEC 61312-1:2001, Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogólne.
- [16] PN-IEC/TS 61312-3:2004, Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Część 3: Wymagania dotyczące urządzeń do ograniczania przepięć (SPD).