

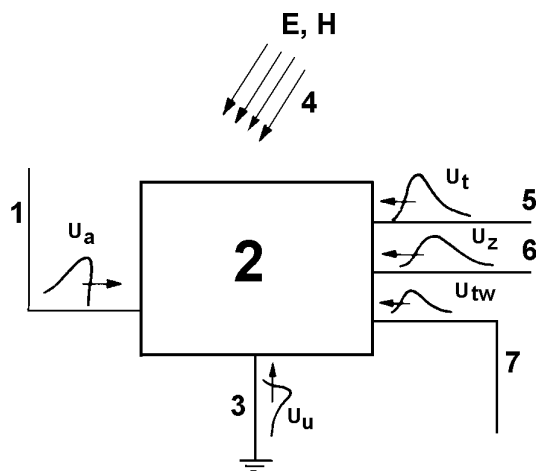
OGRANICZANIE PRZEPIĘĆ W SYSTEMACH PRZESYŁU SYGNAŁÓW



Ochrona przepięciowa systemów automatyki, pomiarów i kontroli

Andrzej Sowa

Cechą charakterystyczną współczesnych urządzeń i systemów elektronicznych jest ich niewielka odporność udarowa. Dotyczy to zarówno odporności urządzeń na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego, jak i odporności na działanie napięć i prądów udarowych dochodzących do tych urządzeń z sieci zasilającej oraz z linii przesyłu sygnałów (rys.1.). Zapewnienie poprawnego i bezawaryjnego działania urządzeń wymaga zastosowania, odpowiednio dobranych do występującego zagrożenia, układów ochronnych.



Rys.1. Przykład różnorodnych sposobów przenikania zakłóceń do urządzenia.

- 1 - antena,
- 2 - urządzenie elektroniczne,
- 3 – lokalny punkt wyrównywania potencjałów,
- 4 - impulsowe pole elektromagnetyczne działające bezpośrednio na urządzenie
- 5 - przewody transmisji sygnałów,
- 6 - przewody zasilające,
- 7- przewody transmisji sygnałów pomiędzy urządzeniami wewnątrz danego obiektu.

Rozpatrując zagrożenie udarowe należy zwrócić szczególną uwagę na przepięcia powstające sporadycznie, o znacznych wartościach szczytowych, które są w stanie zniszczyć urządzenia. Brak informacji o tego rodzaju zagrożeniu powoduje, że jest ono najczęściej lekceważone i nieuwzględniane zarówno przez instalatorów jak i użytkowników urządzeń.

Stopień zagrożenia stwarzanego przez napięcia udarowe dochodzące do urządzeń technicznych najlepiej ocenić znając nakłady finansowe ponoszone przez towarzystwa ubezpieczeniowe na naprawy oraz wymianę sprzętu elektronicznego uszkodzanego lub zniszczonego przez przepięcia. W krajach o dużym nasyceniu sprzętem elektronicznym ocenia się, że rocznie wypłaty na ten cel sięgają ok. 30% - 35% ogólnej sumy wypłacanej na pokrycie szkód wywołanych przez wszelkiego rodzaju przyczyny.

Przepięcia są szczególnie groźne dla urządzeń pracujących w rozbudowanych systemach elektronicznych np. 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.

Wśród szczególnie zagrożonych urządzeń i systemów należy wymienić systemy elektroniczne pracujące w obiektach na otwartym terenie np. oczyszczalnie ścieków.

Większość systemów elektronicznych wymaga zastosowania odpowiednio dobranych układów i systemów ochrony przeciwprzepięciowej, dzięki którym można uniknąć lub znacznie ograniczyć szkody wywołane przez wyładowanie piorunowe oraz różnego rodzaju przepięcia.

Podstawowe zasady ochrony przepięciowej

Zaprojektowanie i wykonanie poprawnie działającego systemu ochrony przed przepięciami wymaga posiadania niezbędnych informacji charakteryzujących:

- podstawowe źródła zagrożeń oraz wytwarzane przez nie napięcia udarowe,
- poziomy odporności urządzeń oraz systemów na działanie napięć udarowych,
- właściwości stosowanych środków zabezpieczających.

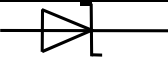
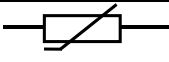

W krajach Unii Europejskiej na producentów urządzeń nałożony jest obowiązek deklarowania spełnienia norm europejskich dotyczących poziomów odporności i wytrzymałości urządzeń na zakłócenia panujące w danym środowisku.

Polisce część norm europejskich już wprowadzono i niektórzy producenci podają wyniki badań odporności udarowej urządzeń. Posiadając takie informacje należy dobrać elementy lub układy ograniczające w taki sposób aby ograniczały przepięcia do wartości nie przekraczających poziomów odporności udarowej chronionego urządzeń.

Elementy ochronne

Elementy wykorzystywane do ochrony przed przepięciami powinny charakteryzować się możliwością 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 powinna ponownie narastać do dużych wartości. Podstawowe elementy wykorzystywane do ochrony przed przepięciami zestawiono w tabl. 2.

Tablica 2. Zestawienie podstawowych parametrów charakteryzujących elementy zabezpieczające

Element / Parametr	Dioda zabezpieczająca	Warystor	Odgromnik
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

Elementy ochronne stosowane w systemach automatyki i pomiarów powinny być łatwe do montażu.

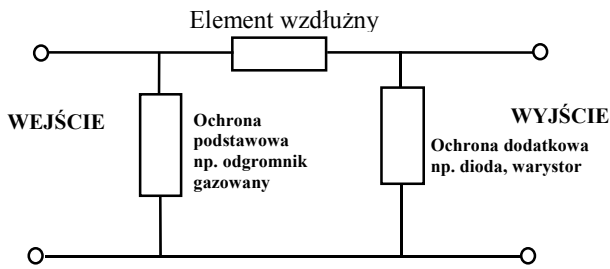
Układy ograniczające przepięcia

Układy zabezpieczające stosujemy w przypadkach, gdy oddzielne użycie pojedynczych elementów ochronnych nie zapewni dostatecznego

poziomu ochrony przed przepięciami.

Łączenie elementów ochronnych w układy umożliwia 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 wzduż-

nymi, nazywane również elementami odsprężającymi (rys.2.).



Rys.2. Ogólny układ połączeń dwustopniowego układu zabezpieczającego przed przepięciami

Jako elementy wzdłużne najczęściej stosowane są rezystancje lub indukcyjności.

Ogólne zasady tworzenia systemu ochrony przepięciowej

Przed przystąpieniem do doboru układu ochronnego należy zebrać informacje dotyczące:

- odporności analizowanych urządzeń na udary dochodzące z linii przesyłu sygnałów,
- stopnia zagrożenia piorunowego i przepięciowego,
- podstawowych parametrów przesyłanych sygnałów oraz stosowanego okablowania.

Kolejnym etapem pracy jest poprawny dobór i rozmieszczenie układów ochronnych i ich prawidłowy montaż. W celu ułatwienia rozwiązania problemów występujących przy doborze, rozmieszczeniu i montażu układów ochronnych i przy tworzeniu systemów ochrony przepięciowej opracowano wieloetapowy tok postępowania. Krótką charakterystykę jego poszczególnych etapów zestawiono w Tablicy 3.

Tablica 3 . Etapy postępowania przy tworzeniu systemu ochrony przepięciowej w układach AKP

Etap	Zakres działań	Źródło informacji
1	Określenie odporności 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	Wstępny określenie właściwości urządzeń ochrony przepięciowej	
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 $I_{NO} \cdot I_{NS}$	
9	Określenie znamionowej częstotliwości sygnałów f_{NS} w analizowanym systemie i porównanie z częstotliwością znamionową f_{NOGR} lub graniczną f_{GRAN} ogranicznika	
10	Wybór układu posiadającego dodatkowe impedancje odsprężające 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 odsprężających zastosowanych w układzie ogranicznika z wartościami dopuszczalnymi w danej linii przesyłu sygnałów.	
12	Wybór sposobu montażu i „uziemiania” ogranicznika przepięć	Instrukcje montażowe ograniczników
13	Ocena poprawności połączeń ograniczników przepięć w torze sygnałowym i w instalacji elektrycznej.	Schematy instalacji elektrycznej

Szczegółowa analiza poszczególnych etapów postępowania przekracza ramy niniejszego opracowania. Poniżej uwaga zwrócona zostanie jedynie na najważniejsze etapy.

Podstawową sprawą przy doborze i rozmieszczeniu ograniczników przepięć jest posiadanie informacji o odporności udarowej urządzeń (Etap 1). W przypadku urządzeń i systemów automatyki, pomiarów i kontroli istnieją normy i zalecenia określające zakres badań oraz wymagane poziomy odporności udarowej.

Przykładowe wartości odporności różnorodnych urządzeń na działanie narażeń impulsowych zestawiono w tablicy 4 i 5.

Tablica 4. Wymagania dotyczące odporności urządzeń elektronicznych

Miejsce wnikania udarów	Rodzaj narażenia	Sprzęt pomiarowy, sterowania i laboratoryjne		Roboty przemysłowe
		Wartość probiercza minimalna	Wartość probiercza podwyższona	
WE/WY sygnalizacja i sterowanie	EFT/B	1 kV	1 kV	1 kV
	Udary	1 kV ^{2),3)}	1 kV ^{2),3)}	1 kV ^{2),3)}
WE/WY jw. dołączone bezpośrednio do sieci	EFT/B	1 kV	2 kV	2 kV
	Udary	0,5 kV ¹⁾ / 1 kV ²⁾	1 kV ¹⁾ / 2 kV ²⁾	1 kV ¹⁾ / 2 kV ²⁾
Zasilanie ac	EFT/B	1 kV	2 kV	2 kV
	Udary	0,5 kV ¹⁾ / 1 kV ²⁾	1 kV ¹⁾ / 2 kV ²⁾	2 kV ¹⁾ / 4 kV ²⁾
Zasilanie dc	EFT/B	1 kV	2 kV	
	Udary	0,5 kV ¹⁾ / 1 kV ²⁾	1 kV ¹⁾ / 2 kV ²⁾	
EFT/B – serie szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych,		1) linia - linia		
Udary – narażenia udarowe		2) linia - ziemia		
		3) tylko w przypadku linii długiej		

W tablicach 4 i 5 ograniczono się tylko do przedstawienia odporności urządzeń na narażenia udarowe (o mikrosekundowym charakterze zmian) oraz serie szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych (nanosekundowy charakter zmian).

Tablica 5. Wymagania dotyczące odporności sterowników programowalnych i indywidualnych urządzeń peryferyjnych

Rodzaj narażenia	Poziomy odporności udarowej		
	Wszystkie zasilacze	Cyfrowe WE/WY U ≥ 24 V	Cyfrowe WE/WY U < 24 V, WE/WY analogowe, WE/WY komutacyjne
EFT/B			
normalne	2 kV	1 kV	0,5 kV
podwyższone	4 kV	2 kV	0,5 kV
Udary			
normalny	1kV	1 kV	nie wymagane
podwyższony	2 kV	2 kV	nie wymagane

W kolejnych etapach (Etapy 3 i 4) ograniczania narażeń impulsowych należy uwzględnić występujące zagrożenie (Etap 3) i dobrać ograniczniki (Etap 4) zapewniające ochronę przed:

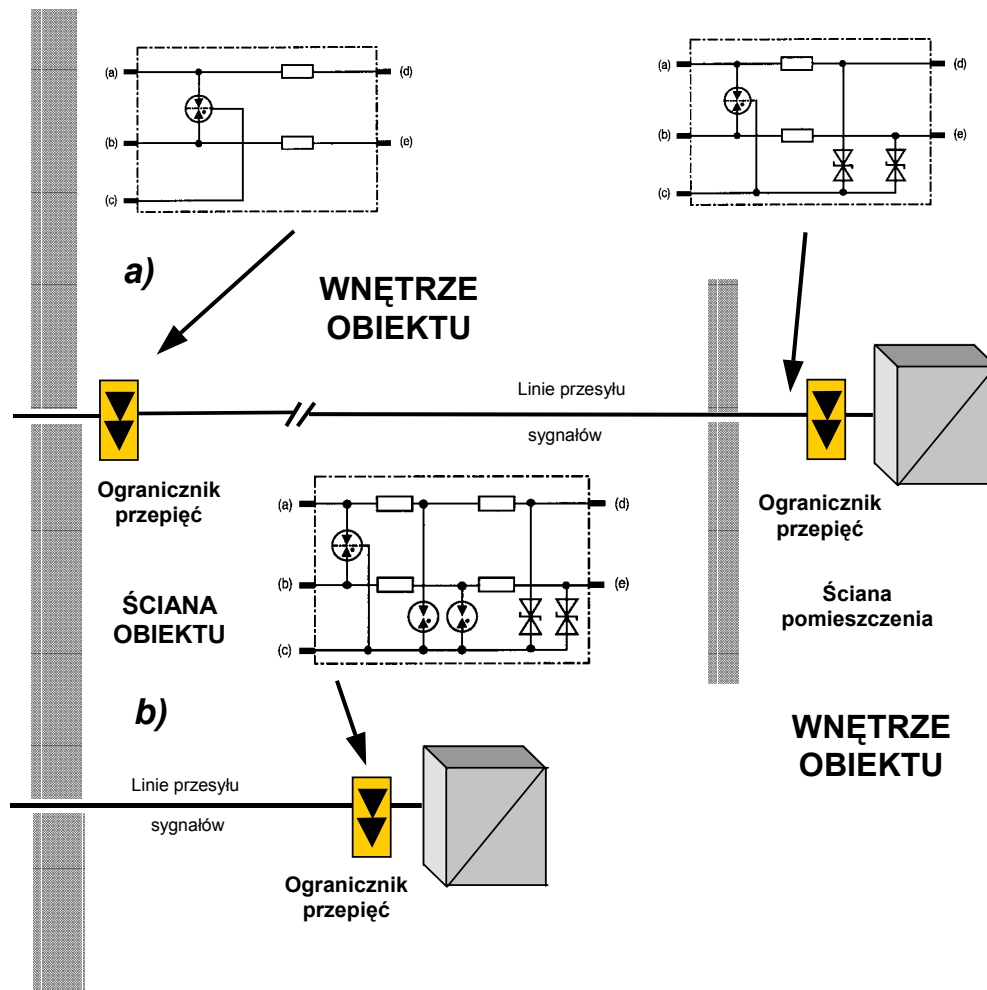
- Bezpośrednim działaniem prądów piorunowych lub zwarciovych. Układy ochrony przepięciowej powinny być odporne na działanie prądów udarowych o wartościach szczytowych 2,5kA – 5kA i kształcie 10/350.
- Przepięciami atmosferycznymi indukowanymi, przepięciami przepuszczonymi przez pierwszy stopień ochrony lub generowanymi przez inne źródła zakłóceń. Należy stosować układy ochrony przepięciowej odporne 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 (do 10 kA) i kształcie 8/20.

Podstawowe zasady określania liczby stopni ochronnych i ich właściwości zestawiono w tabl. 6. Należy zaznaczyć, że na działanie prądów udarowych narażone są tylko te urządzenia do których dochodzą przewody wychodzące na zewnątrz obiektu budowlanego. Do ochrony przed tego rodzaju narażeniem można zastosować układ dwu ograniczników przepięć. Pierwszy z nich będzie umieszczony w miejscu wprowadzania przewodów do obiektu, a drugi bezpośrednio przed urządzeniem (rys.3.).

Tablica 6. Podstawowe zasady określania liczby stopni ochrony

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

*) przy odporności powyżej 1000 V można nie stosować układów ochronnych.



Rys.3. Przykładowe rozwiązania ochrony dla pojedynczej pętli prądowej 0-20 mA a) system "rozłożony" dwu ograniczników, b) „skupiony” system jednego ogranicznika

Taki układ ochrony zalecany jest w przypadku urządzenia umieszczonego wewnątrz obiektu.

W przypadku urządzeń instalowanych w pobliżu miejsc wprowadzania przewodów do obiektu można zastosować jeden wielostopniowy (najczęściej trójstopniowy) ogranicznik przepięć.

Do ochrony przed przepięciami powstającymi w liniach przesyłu sygnałów nie wychodzących poza obiekt budowlany można zastosować jednostopniowe (układy diod) lub dwustopniowe (ograniczniki gazowane i diody) układy ochronne.

W zależności od sposobu przesyłu sygnałów należy uwzględnić poziom ograniczenia udarów w układach przewód - przewód lub przewód - ziemia.

Określenie liczby stopni ochronnych w obiekcie (Etap 5) należy dokonać na podstawie istniejącego zagrożenia, poziomu odporności udarowej urządzeń oraz ich rozmieszczenia w obiekcie.

Urządzenie o odporności udarowej od strony wejść sygnałowych na poziomie ponad 1000V:

- ◆ układ jednostopniowy (jeden lub dwa odgromniki gazowane),

Urządzenie o odporności udarowej od strony wejść sygnałowych poniżej 1000 V:

- ◆ pojedynczego wielostopniowego układu ochronnego,
- ◆ dwóch układów ochronnych.

Przewód łączący ogranicznik przepięć z lokalną szyną wyrównywania potencjałów lub obudową urządzenia powinien być możliwie najkrótszy dzięki temu unikamy spadków napięcia na jego indukcyjności.

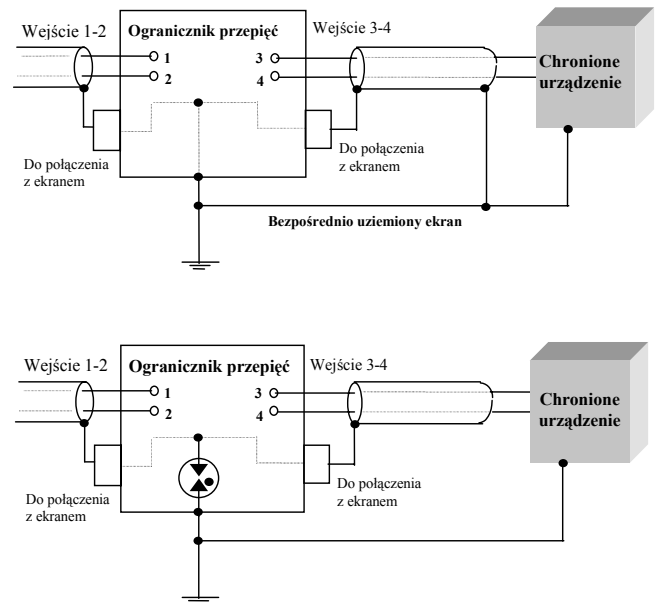
Dotyczy to szczególnie ograniczników przeznaczonych do ochrony przed działaniem prądu piorunowego.

Należy również uwzględnić zalecenia dotyczące możliwości łączenia ekranów przewodów z lokalnymi systemami wyrównywania potencjałów.

Jeśli znamionowe warunki pracy zalecają izolowanie ekranu przewodu dochodzącego do urządzenia (ekran nie może być połączony z lokalnym punktem wyrównywania potencjałów) należy, w celu wyrównywania różnic po-

tencjałów występujących np. podczas piorunowego wyładowania doziemnego, połączyć ekran przez iskiernik z lokalnym punktem wyrównywania potencjałów.

Przykładowe połączenia ograniczników przepięć stosowanych w torze przesyłu sygnałów, którego powinien być izolowany lub uziemiony przedstawia rys.4.



Rys.4. Układy połączeń ograniczników przepięć w przypadku ekranu, który może być uziemiany lub ekranu izolowanego.

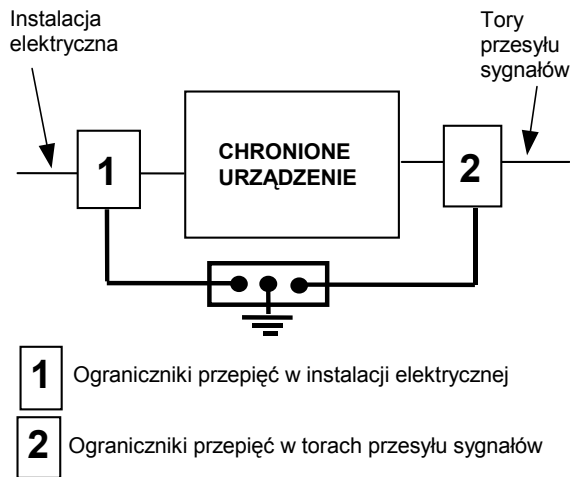
W końcowym etapie analizy należy ocenić poprawność ochrony w instalacji elektrycznej.

W przypadku obiektów przemysłowych zalecanym rozwiązaniem jest dwu- lub trój-stopniowy układ ograniczników przepięć klasy I, II lub nawet III.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na ochronę przez różnicami potencjałów powstających pomiędzy :

- przewodami w poszczególnych instalacjach dochodzących do urządzenia,
- pomiędzy różnorodnymi instalacjami dochodzącymi do urządzenia.

Optymalnym sposobem ochrony jest umieszczenie ograniczników w pobliżu chronionego urządzenia (rys.5.).



Rys.5. Ochrona urządzenia od strony zasilania oraz linii przesyłu sygnałów

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 bezpośrednie 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.

Literatura

1. Missala T .: *Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń energoelektroniki. Wymagania dotyczące odporności na zakłócenia elektromagnetyczne.* Przegląd Elektrotechniczny nr 7, 1997.
2. Sowa A., Jęzak S.: *Ochrona przed przepięciami w typowych obiektach Zakładów Energetycznych.* Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, Poznań 1999
3. Wiesinger J., Hasse P.: *Blitzschutz der Elektronik* VDE VERLAG GMBH, 1999
4. Sowa A.: *Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa* . Kielce 1998
5. PN-86/E-06600: *Automatyka i pomiary przemysłowe. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń. Ogólne wymagania i badania.*
6. PN-IEC 1131-2: 1996: *Sterowniki programowalne. Wymagania i badania sprzętu.*