



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki

Kierunek studiów:
Elektrotechnika

Agnieszka Pawlak

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23



Spis treści

1. Ochrona przed porażeniem elektrycznym	2
1.1. Ochrona podstawowa.....	3
1.2. Ochrona przy uszkodzeniu	4
2. Wyłączniki nadmiarowoprądowe	5
2.1. Charakterystyki wyłączników nadmiarowoprądowych	8
3. Przykład sprawdzenia skuteczności ochrony	10
3.1. Miernik parametrów instalacji – MPI-525.....	13
4. Koordynacja systemów ochrony na obiektach energetycznych	18
5. Badanie przekaźników termicznych.....	23
6. Literatura	26



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Ochrona przed porażeniem elektrycznym

Ochrona przed porażeniem elektrycznym realizowana na podstawie dokumentów Międzynarodowych Organizacji Normalizacyjnych (IEC i CENELEC) jest oparta na strukturze trójstopniowej:

Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim) zapobiega przepływowi prądu rażeniowego w warunkach normalnej pracy instalacji elektrycznej przez uniemożliwienie dotknięcia części czynnych urządzeń elektrycznych, których napięcie robocze mogłoby wywołać zagrożenie porażeniowe;

Ochrona przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim) skutecznie chroni człowieka przed skutkami znalezienia się pod niebezpiecznym napięciem dotykowym;

Ochrona uzupełniająca (ochronę podstawową i/lub ochronę przy uszkodzeniu) zapobiega porażeniom elektrycznym w razie niesprawności środków ochrony podstawowej i/lub ochrony przy uszkodzeniu, a także w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem elektrycznym.

Środki ochrony przed porażeniem:

Ochrona przed porażeniem elektrycznym jest częścią kompleksowej ochrony w obiekcie budowlanym zapewniającej bezpieczeństwo przed porażeniem elektrycznym ludzi i zwierząt hodowlanych, obejmującej:

- ochronę przed porażeniem elektrycznym,
- ochronę przed skutkami oddziaływania cieplnego,
- ochronę przed prądem przetężeniowym,
- ochronę przed spadkiem napięcia,
- ochronę przed przepięciami.
- ochronę przeciwpożarową.

W obwodach o napięciu znamionowym wyższym niż 50 V prądu przemiennego lub 120 V prądu stałego, a czasem także w obwodach o niższym napięciu, ochrona podstawowa i ochrona przy uszkodzeniu są realizowane przez dwa niezależne środki techniczne.

W obwodach o napięciu nieprzekraczającym 50 V a.c. lub 120 V d.c. zwykle stosuje się jeden środek techniczny, który jednocześnie zapewnia ochronę podstawową i ochronę przy uszkodzeniu.

W przypadku, gdy zastosowanie jednego ze środków ochrony nie gwarantuje wymaganego poziomu bezpieczeństwa i środka ochrony, to należy zastosować:

- a) dwa lub więcej niezależnych środków ochrony lub
- b) jeden środek ochrony wzmocnionej.



1.1. Ochrona podstawowa

Środki ochrony podstawowej:

- do powszechnego stosowania
 - izolacja podstawowa części czynnych,
 - obudowy,
- do stosowania w ograniczonym zakresie
 - przeszkody (ogrodzenia),
 - uniedostępnianie (umieszczenie poza zasięgiem ręki).

Izolacja podstawowa – przeznaczona do zapobiegania dotknięcia części czynnych. Polega ona na całkowitym i trwałym pokryciu części czynnych materiałem izolacyjnym stałym, który może być usunięty tylko przez zniszczenie. Izolacja podstawowa powinna być trwała i odporna na narażenia mechaniczne oraz wpływy elektryczne, termiczne, chemiczne, które mogą wystąpić podczas eksploatacji. Pokrycie farbą, pokostem i podobnymi produktami, zastosowane samodzielnie, nie są uznawane za izolację podstawową. Jeżeli izolacja podstawowa jest wykonana podczas montażu instalacji, to jej jakość powinna być potwierdzona próbami analogicznymi do tych, którym poddaje się izolację urządzeń produkowanych fabrycznie;

Obudowa – przeznaczona do zapobiegania dostępowi do części czynnych znajdujących się wewnątrz obudowy. Obudowa o stopniu ochrony co najmniej IP2X lub IPXXB powinna chronić przed umyślnym (niezamierzonym) dotknięciem palcem części czynnych lub ruchomych części mechanicznych.

Górne poziome powierzchnie obudowy powinny mieć zapewniony stopień ochrony co najmniej IP4X lub IPXXD. Obudowy powinny być trwale zamocowane, mieć dostateczną trwałość, a usunięcie ich powinno być możliwe jedynie przy użyciu klucza lub narzędzia.

Środki ochrony podstawowej takie jak przeszkody (ogrodzenia) lub uniedostępnianie (umieszczenie poza zasięgiem ręki), mogą być stosowane jedynie w instalacjach dostępnych dla osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych lub pozostających pod ich nadzorem.

1) Przeszkody (ogrodzenia) o stopniu ochrony mniejszym niż IP2X, powinny uniemożliwiać niezamierzone dotknięcie części czynnych lub zbliżenie ciała do części czynnych w trakcie normalnej obsługi urządzeń elektrycznych, natomiast nie chronią przed zamierzonym dotykiem spowodowanym rozmyślnym działaniem. Stosowane jak przeszkody np. bariery, poręcze lub linki mogą być usuwane bez użycia klucza lub narzędzia, jednak muszą być zabezpieczone przed niezamierzonym usunięciem;

2) Uniedostępnianie – to umieszczenie części czynnych poza zasięgiem ręki



człowieka znajdującego się na stanowisku dostępnym, bez korzystania ze środków pomocniczych np. narzędzi lub drabin. Ten środek ochrony podstawowej zapobiega przypadkowemu dotknięciu części czynnych. Jeżeli środki ochrony podstawowej: izolacja podstawowa, przegrody, obudowy, przeszkody lub bariery nie mają zastosowania, to umieszczenie części czynnej poza zasięgiem ręki może być właściwe.

1.2. Ochrona przy uszkodzeniu

Ochrona wymagana przy uszkodzenia izolacji podstawowej (zwarcie L-PE).

Główny celem stosowania ochrony przy uszkodzeniu jest niedopuszczenie do porażenia prądem elektrycznym w przypadku uszkodzenia izolacji lub jej zniszczenia.

Do ochrony przy uszkodzeniu, zgodnie z normą PN-HD 60364-4-41:2009, należy stosować niezależnie od środków ochrony podstawowej, jeden lub więcej środków ochrony przy uszkodzeniu, biorąc pod uwagę narażenia od wpływów zewnętrznych.

Środki ochrony przy uszkodzeniu:

do powszechnego stosowania

- 1) samoczynne wyłączenie zasilania,
- 2) izolacja podwójna, izolacja wzmocniona, ochronna osłona izolacyjna,
- 3) separacja elektryczna obwodu pojedynczego odbiornika,
- 4) bardzo niskie napięcie ze źródła bezpiecznego.

Do stosowania w ograniczonym zakresie

- 1) nieprzewodzące pomieszczenie;
- 2) nieuziemione połączenia wyrównawcze;
- 3) separacja elektryczna obwodu zasilającego więcej niż jeden odbiornik.

Samoczynne wyłączenie zasilania może być realizowane przez:

- a) zabezpieczenia przetężeniowe (np. bezpieczniki topikowe, wyłączniki nadprądowe) lub
- b) urządzenia różnicowoprądowe współpracujące z zabezpieczeniem nadprądowym dobranym do chronionego obwodu.

Urządzenie ochronne powinno być dobrane z uwzględnieniem charakterystyki pętli zwarciorowej (charakterystyki czasowo-prądowej).



2. Wyłączniki nadmiarowoprądowe

Wyłączniki nadmiarowoprądowe (instalacyjne), nazywane nadprądowymi, to kluczowe urządzenia ochrony instalacji elektrycznej przed skutkami przeciążeń i zwarc. Ich głównym zadaniem jest szybkie odłączenie zasilania w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości prądu, co minimalizuje ryzyko pożaru oraz porażenia prądem.

Zwarcie – jest to przepływ prądu o bardzo dużej wartości na skutek połączenia dwóch punktów obwodu poprzez impedancję o znikomo małej wartości. Sytuacja taka występuje zazwyczaj w przypadku uszkodzenia izolacji pomiędzy częściami czynnymi (takimi, które w czasie normalnej pracy są pod napięciem).

Przeciążenie – przepływ prądu większego niż prąd znamionowy urządzenia. Dla instalacji jest to prąd większy niż prąd znamionowy zabezpieczenia obwodu (wyłącznika nadmiarowoprądowego lub bezpiecznika topikowego).

Przeciążenia występują w dwóch przypadkach:

- jeżeli podłączymy do gniazd zbyt wiele odbiorników a suma pobieranych przez nie prądów przekroczy wartość znamionową zabezpieczenia,
- kiedy podłączony do obwodu silnik elektryczny obciążymy zbyt dużą mocą mechaniczną oraz podczas rozruchu silników elektrycznych.

W przypadku przeciążeń zjawiskiem szkodliwym jest nadmierne wydzielanie się ciepła, co może prowadzić do uszkodzenia izolacji i powłok izolacyjnych, a w konsekwencji do pożaru.

Podczas zwarc - poza ciepłem - pojawiają się oddziaływania pola magnetycznego wywołane przepływem zbyt dużego prądu.

Zasada działania:

Po załączeniu wyłącznika za pomocą dźwigni następuje zetknięcie jego styków za pomocą mechanizmu zamka. Prąd przepływa przez połączone szeregowo: zaciski łączeniowe, wyzwalacz elektromagnetyczny (cewka z rdzeniem ruchomym), styki główne, wyzwalacz termiczny (termobimetal). Jeżeli prąd przekroczy nieznacznie wartość znamionową zaczyna się nagrzewać termobimetal. Im większy jest prąd przeciążenia tym szybciej następuje nagrzewanie. W miarę nagrzewania ulega on wygięciu, aż w pewnym momencie popchnie on zamek co spowoduje otwarcie styków. Jeżeli nagle pojawi się bardzo duży prąd, to termobimetal nie zdąży się nagrzać, ale elektromagnes od razu wytworzy pole magnetyczne które przesunie rdzeń i otworzy zamek. W każdym z tych przypadków pomiędzy otwierającymi się



stykami powstanie łuk elektryczny. Pole magnetyczne cewki przesunie go do komory gaszenia łuku gdzie ulegnie on rozerwaniu i wygaszeniu. [7]

Najważniejsze parametry opisujące wyłącznik nadmiarowoprądowy:

1. Charakterystyka wyłącznika (np. B, C, D). Określa zależność czasu zadziałania wyłącznika od prądu, który przez niego płynie. Dotyczy to w szczególności przypadków zwarć.

Charakterystyka B – stosowana najczęściej w instalacjach domowych.

Charakterystyka C – stosowana w obwodach z urządzeniami o dużych prądach rozruchowych.

Charakterystyka D – stosowana tam, gdzie prądy rozruchowe są wyjątkowo wysokie.

2. Prąd znamionowy wyłącznika I_N - jest to natężenie prądu jakie może płynąć przez wyłącznik nieskończenie długo nie powodując jego zadziałania. Prąd znamionowy potrzebny jest do określenia wszystkich wartości granicznych charakterystyki. Standardowe prądy znamionowe wyłączników nadmiarowoprądowych to szereg: 6 A, 10 A, 13 A, 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 40 A, 50 A, 63 A, 80 A, 100 A, 125 A.

3. Napięcie znamionowe łączeniowe – wartość napięcia między przewodami jakie wyłącznik może rozłączać zachowując zdolności podane w specyfikacji.

4. Znamionowa zwarciodowa zdolność łączeniowa – jest to wartość natężenia prądu zwarciodowego jaka może być wyłączona przez wyłącznik. Zazwyczaj jest to 6kA, 10kA, 15kA. Wartości znamionowej zdolności łączeniowej I_{cn} zostały przedstawione na rysunku 1.

[Tekst alternatywny. Rysunek 1 przedstawia zestawienie wartości znamionowej zdolności łączeniowej I_{cn} dla wybranych wyłączników nadmiarowoprądowych produkcji Siemens (2015). Dane obrazują zależność między prądem znamionowym urządzeń a ich maksymalną zdolnością do bezpiecznego przerywania prądu zwarciodowego]



Wyłączniki nadmiarowoprądowe 5SL3, 5SL4, 5SL6, 5SY6, 5SY4, 5SY7, 5SY8, 5SY60 i 5SP4

	I_n [A]	IEC/EN 60898-1 1-bieg., 1-bieg.+N 230 V AC	2-, 3-, 4-bieg., 3-bieg.+N AC 400 V	IEC/EN 60947-2 1-bieg., 1-bieg.+N 230 V AC	2-, 3-, 4-bieg., 3-bieg.+N AC 400 V
		I_{cn} [kA]	I_{cn} [kA]	I_{cu} [kA]	I_{cu} [kA]
5SL3	0.3 ... 63	4.5		--	
5SL4	0.3 ... 63	10		10	
5SL6	0.3 ... 63	6		6	
5SY6 (bez 5SY60)	0.3 ... 6	6		30	
	8 ... 32	6		15	
	40 ... 63	6		10	
5SY4	0.3 ... 6	10		35	
	8 ... 32	10		20	
	40 ... 63	10		15	
	80	10		10	
5SY7	0.3 ... 2	15		50	
	3 ... 6	15		40	
	8 ... 10	15		30	
	13 ... 32	15		25	
	40 ... 63	15		20 ¹⁾	
5SY8	0.3 ... 2	--		70	
	3 ... 6	--		50	
	8 ... 10	--		40	
	13 ... 32	--		30	
	40 ... 63	--		25 ²⁾	
5SY30..	2 ... 40	4.5		--	--
5SY60..	2 ... 40	6	--	6	--
5SP4	80 ... 125	10		10	

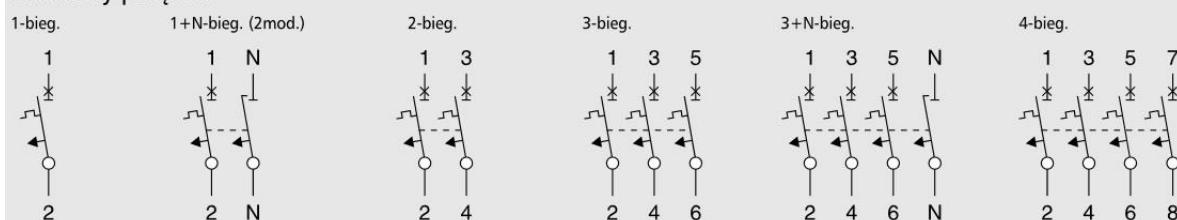
1) D50 i D63: $I_{cu} = 15$ kA.2) D50 i D63: $I_{cu} = 20$ kA.Rys. 1. Wartości znamionowej zdolności łączeniowej I_{cn} dla wybranych wyłączników nadmiarowoprądowych, [3]

Wyłącznikom nadmiarowoprądowym stawiane są szczególne wymagania w odniesieniu do zdolności łączeniowej. Wartości są ustandaryzowane i ustalone zgodnie z warunkami testowymi IEC/EN 60898-1/-2 lub DIN VDE 0641-11. W innych warunkach testowych możliwe jest również wyszczególnienie wartości wyższych niż przewidywane w IEC/EN 60898-1/-2 lub DIN VDE 0641-11.

Jedną taką normą jest IEC/EN 60947-2 lub DIN VDE 0660-101 dla wyłączników. [3]

[Tekst alternatywny. Rysunek 2 przedstawia schematy połączeń wyłączników nadprądowych różnych typów. Od lewej: schemat wyłącznika jednobiegunowego, następnie schemat wyłącznika jednobiegunowego z dodatkowym stykiem neutralnym (N), schemat wyłącznika dwubiegunowego, schemat wyłącznika trójbiegunowego, schemat wyłącznika trójbiegunowego z dodatkowym stykiem neutralnym (N), schemat wyłącznika czterobiegunowego]

Schematy połączeń



Rys. 2. Schematy połączeń wyłączników nadprądowych [1]

Oznaczenie 1+N wskazuje, że wyłącznik chroni jeden obwód (1) i dodatkowo posiada styk do podłączenia przewodu neutralnego (N). Jest to rozwiązanie stosowane głównie w instalacjach jednofazowych, gdzie wymagane jest zabezpieczenie zarówno obwodu fazowego, jak i neutralnego.

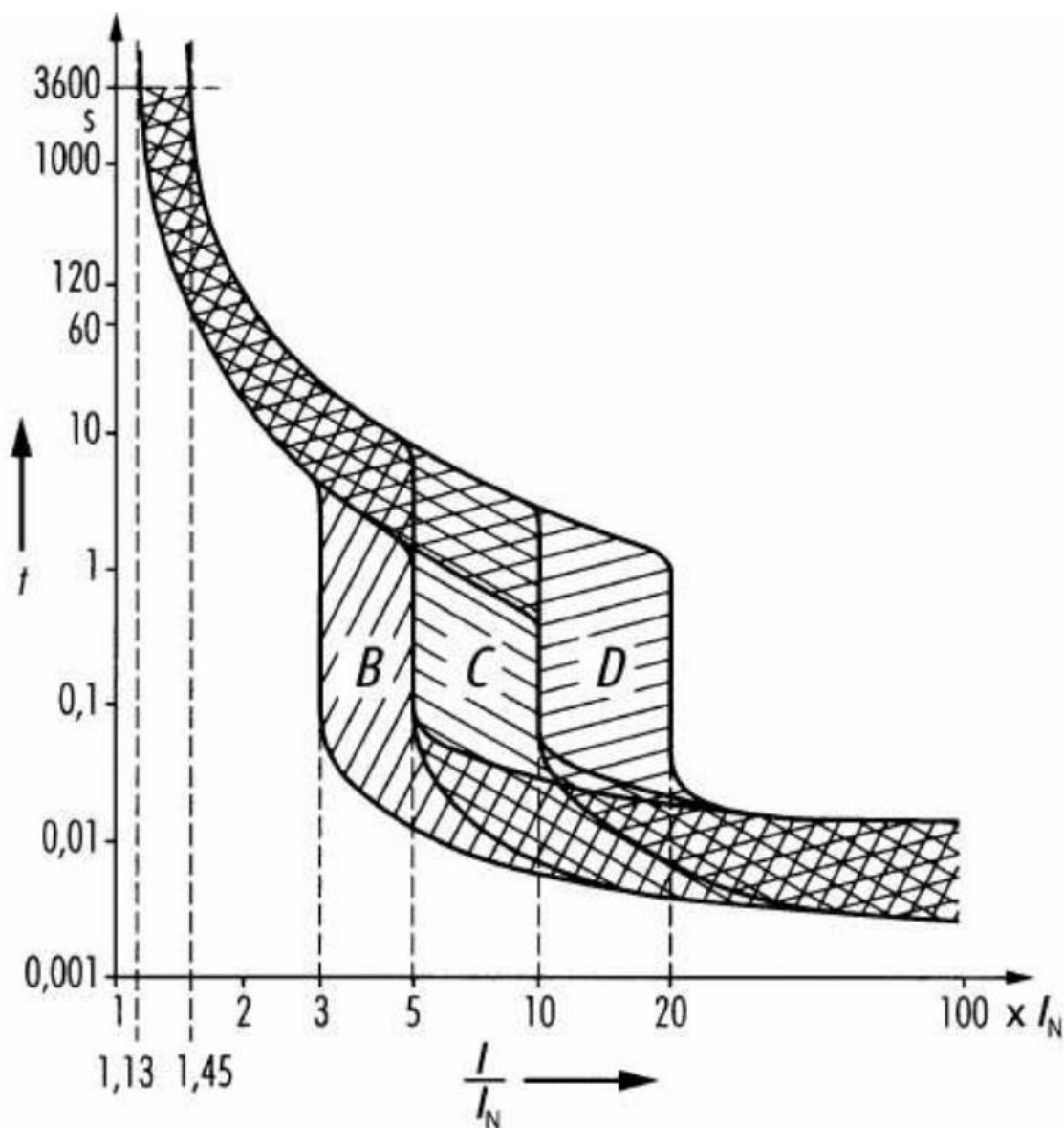
2.1. Charakterystyki wyłączników nadmiarowoprądowych

Charakterystyka wyłącznika nadmiarowoprądowego (oznaczana literami A, B, C, D, Z) określa, przy jakiej wartości prądu (wielokrotność prądu znamionowego) następuje szybkie wyzwolenie wyłącznika. W tabeli 1 zestawiono typy charakterystyk, zakresy zadziałania i typowe zastosowania wyłączników.

Tabela 1. Typy charakterystyk czasowo-prądowych

Typ charakterystyki	Zakres zadziałania (krotność I_n)	Typowe zastosowanie
A	2–3	Urządzenia bardzo czułe, elektronika, półprzewodniki
B	3–5	Obwody domowe, oświetlenie, urządzenia o małych prądach rozruchowych
C	5–10	Obwody przemysłowe, urządzenia z większymi prądami rozruchowymi (silniki, transformatory)
D	10–20	Urządzenia o bardzo dużych prądach rozruchowych (silniki, transformatory, urządzenia rentgenowskie)
Z	2–3	Bardzo szybka reakcja, czuła elektronika, obwody pomiarowe

[Tekst alternatywny. Rysunek 3 przedstawia wykresy dwuwymiarowe. Opis osi X: wielokrotności prądu znamionowego, opis osi Y - czas wyzwolenia wyłączników. Na wykresie znajdują się przedziały zadziałania wyłączników nadmiarowoprądowych dla urządzeń o charakterystyce typu B, C, D.]



Rys. 3. Charakterystyki wyzwalania wyłączników nadmiarowoprądowych [2]

Posługując się charakterystykami wyłącznika trzeba pamiętać, że:

- dolna linia na wykresie określa dla konkretnych wartości prądu czas, w którym żaden wyłącznik danego typu nie zadziała,
- obszar pomiędzy liniami, to dla danej wartości prądu przedział czasów, w których może nastąpić zadziałanie konkretnego wyłącznika,
- górna linia to czasy, przy których dla danego natężenia prądu zadziałanie jest pewne,
- liczby na osi poziomej wykresu należy pomnożyć przez prąd znamionowy wyłącznika, żeby uzyskać wartość prądu,



- oś pionowa jest wyskalowana logarytmicznie, to znaczy, że pomiędzy liczbą 0,1 a 1 kolejne linie oznaczają 0,2 0,3 itd., natomiast pomiędzy 1 a 10 kolejne linie oznaczają 2 3 4 itd.

Niezależnie od charakterystyki wyłącznika jego człon termiczny nie zadziała, jeżeli prąd w obwodzie jest mniejszy niż $1,13 \cdot I_N$. Jeżeli prąd przekroczy $1,45 \cdot I_N$ to człon termiczny na pewno zadziała w ciągu godziny. Obszar zakratkowany u góry wykresu to zakres działania członu termicznego.

Zadziałanie natychmiastowe (do 1s) zależy od charakterystyki wyłącznika. Dla każdej charakterystyki podawane są dwie liczby, z których pierwsza określa krotność prądu znamionowego, przy której człon natychmiastowy nie zadziała, a druga wartości przy których zadziała na pewno.

U dołu wykresu linie gwałtownie biegną w prawą stronę. Oznacza to, że pomimo wzrostu prądów płynących przez wyłącznik jego wyłączenie nie nastąpi w czasie krótszym niż kilka milisekund. Wynika to z czasu zadziałania członów mechanicznych oraz wygaszania łuku elektrycznego.

Dobór odpowiedniego wyłącznika nadmiarowoprądowego oraz analiza jego charakterystyki czasowo-prądowej są istotne dla skutecznej ochrony przeciwporażeniowej i ochrony instalacji elektrycznych przed skutkami zwarć i przeciążeń. Właściwy dobór powinien uwzględniać zarówno parametry instalacji, jak i charakterystykę odbiorników.

3. Przykład sprawdzenia skuteczności ochrony

Dla potwierdzenia skuteczności ochrony przy uszkodzeniu przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN należy ustalić:

- 1) z charakterystyki czasowo-prądowej zastosowanego urządzenia zabezpieczającego (np. wyłącznika nadmiarowoprądowego, bezpiecznika topikowego) – wartość prądu wyłączającego oraz
- 2) wartość impedancji pętli zwarciorowej L-PE. [5]

Przedstawione przykłady dotyczą przypadków niespełnionego i spełnionego warunku samoczynnego wyłączenia zasilania.

Z_p – zmierzona impedancja pętli zwarciorowej obejmującej źródło zasilania, przewód czynny aż do punktu zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia



a źródłem $[\Omega]$;

I_z – prąd zwarcia jednofazowego [A];

U_f – napięcie znamionowe prądu przemiennej sieci [V];

I_n – prąd znamionowy wyłączacza [A]

Przypadek nr 1.

Dla wybranego obwodu:

Dane:

$$U_f = 230 \text{ [V]}$$

$$I_n = 13 \text{ [A]}$$

$$Z_p = 8 \text{ } [\Omega]$$

$k = 2,5$ dla $I_n < 100 \text{ [A]}$ o działaniu szybkim

Prąd zwarcia jednofazowego I_z został obliczony w oparciu o wzór (1):

$$I_z = \frac{U_f}{Z_p} \quad (1)$$
$$I_z = \frac{U_f}{Z_p} = \frac{230}{8} = 28,75 \text{ [A]}$$

Prąd wyłączający I_w został obliczony na podstawie formuły (2):

$$I_w = k \cdot I_n \quad (2)$$

$$I_w = k \cdot I_n = 2,5 \cdot 13 = 32,5 \text{ [A]}$$

Sprawdzenie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania dokonano na podstawie wzoru (3):

$$I_w < 0,8 \cdot \frac{U_f}{Z_p} \quad (3)$$
$$0,8 \cdot \frac{U_f}{Z_p} = 0,8 \cdot 28,75 = 23 \text{ [A]}$$

$$I_w < 23 \text{ [A]}$$



Wniosek

W tym przypadku warunek samoczynnego wyłączenia zasilania nie został spełniony, zatem stwierdzono brak odpowiedniego stopnia ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym.

Przypadek nr 2.

Dla wybranego obwodu:

Dane:

$$U_f = 230 \text{ [V]}$$

$$I_n = 6 \text{ [A]}$$

$$Z_p = 0,56 \text{ [\Omega]}$$

$k = 2,5$ (współczynnik zależny od rodzaju wyzwalacza), dla $I_n < 100 \text{ [A]}$ o działaniu szybkim

Prąd zwarcia jednofazowego I_z został obliczony w oparciu o wzór (4):

$$I_z = \frac{U_f}{Z_p} \quad (4)$$
$$I_z = \frac{U_f}{Z_p} = \frac{230}{0,56} = 410,71 \text{ [A]}$$

Prąd wyłączający I_w został obliczony na podstawie formuły (5):

$$I_w = k \cdot I_n \quad (5)$$
$$I_w = k \cdot I_n = 2,5 \cdot 6 = 15 \text{ [A]}$$

Sprawdzenie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania określono na podstawie wzoru (6):

$$I_w < 0,8 \cdot \frac{U_f}{Z_p} \quad (6)$$
$$0,8 \cdot \frac{U_f}{Z_p} = 0,8 \cdot 410,71 = 328,57 \text{ [A]}$$

$$I_W < 328,57[A]$$

Wniosek

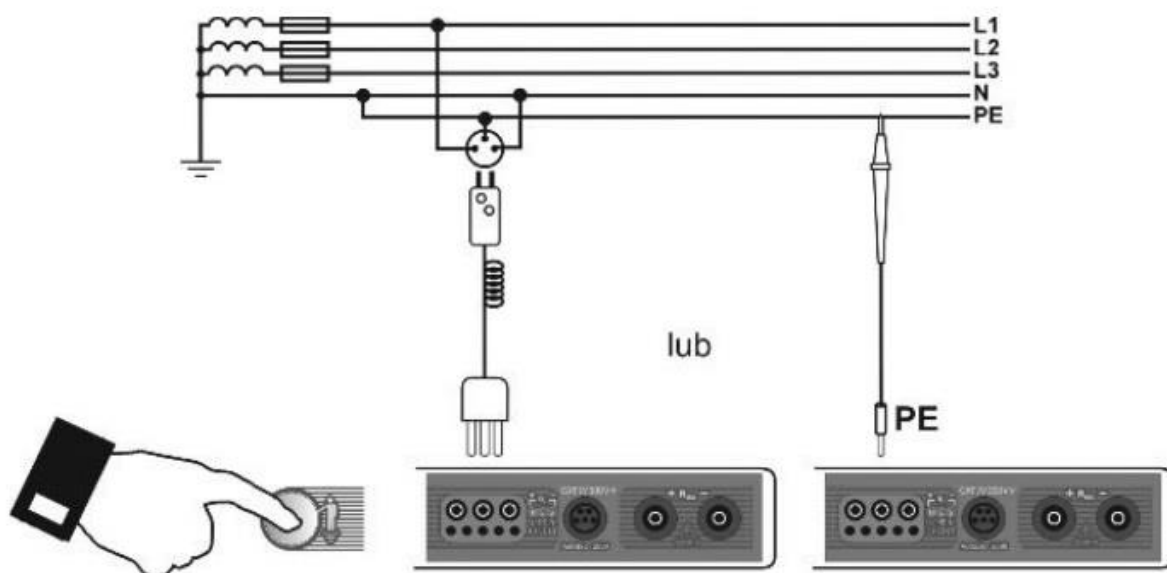
W tym przypadku warunek samoczynnego wyłączenia zasilania został spełniony, zatem stwierdzono prawidłowość ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym.

3.1. Miernik parametrów instalacji – MPI-525

Przyrząd MPI-525 jest przeznaczony do badań kontrolnych ochrony przeciwporażeniowej w sieciach elektroenergetycznych prądu przemiennego. Służy do wykonywania pomiarów, których wyniki określają stan bezpieczeństwa instalacji. Jest miernikiem cyfrowym, za pomocą którego można dokonać wiele rodzajów pomiarów. Wśród nich znajduje się także pomiar parametrów pętli zwarcia.

Na rysunku 4 przedstawiono sprawdzenie poprawności wykonania połączeń przewodu ochronnego za pomocą miernika MPI-525.

[Tekst alternatywny. Rysunek 4 przedstawia proces sprawdzania poprawności wykonania połączeń przewodu ochronnego z wykorzystaniem miernika wielofunkcyjnego Sonel MPI-525. Przedstawiono sposób podłączenia przewodów pomiarowych do badanego obwodu.]



Rys. 4. Sprawdzenie poprawności wykonania połączeń przewodu ochronnego [4]

Po podłączeniu miernika jak na rysunku 4, dotknąć palcem elektrodę dotykową i odczekać około 1 s. Po stwierdzeniu obecności napięcia na PE przyrząd wyświetla napis PE! (błąd w instalacji, przewód PE podłączony do fazowego) i generuje ciągły sygnał dźwiękowy. Możliwość ta jest dostępna dla wszystkich funkcji pomiarowych dotyczących wyłączników RCD oraz pętli zwarcia. Po stwierdzeniu obecności napięcia fazowego na przewodzie ochronnym PE należy natychmiast przerwać pomiary i usunąć błąd w instalacji.[4]

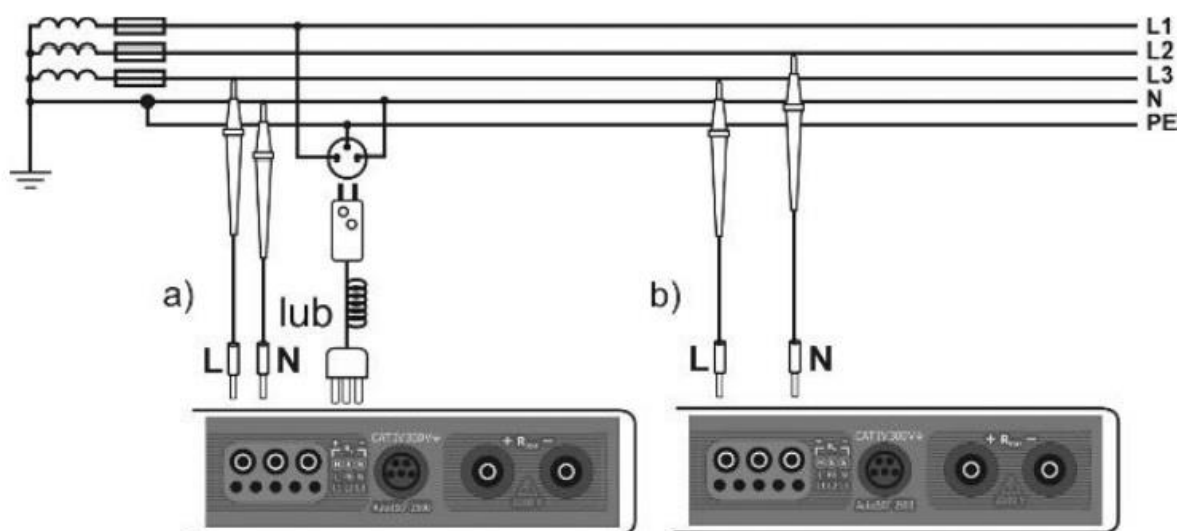
Przykład wykonania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie L-N i L-L przedstawiono na rysunku 5. Po ustawieniu przełącznika obrotowego wyboru funkcji i ustawieniu na pozycji $Z_{L-N, L-L}/U_{L-N, L-L}$, wyborze długości przewodu L, można wybrać napięcie do obliczeń spodziewanego prądu zwarcia I_k - nominalne U_n lub zmierzone U_0 .

Podłączenie przewodów pomiarowych zamieszczono na rysunku 5 odpowiednio dla:

a) pomiaru w obwodzie L-N lub

b) pomiaru w obwodzie L-L

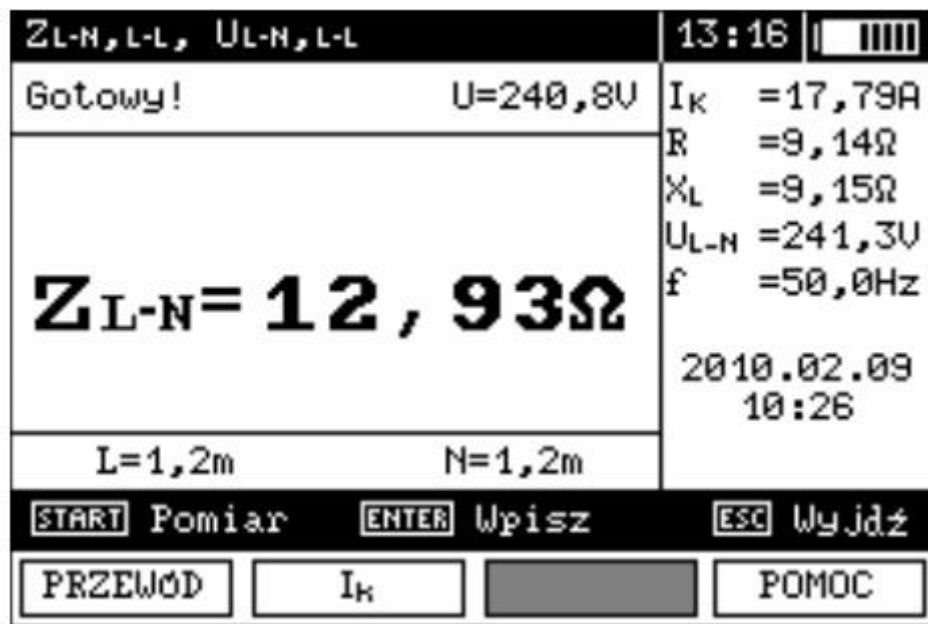
[Tekst alternatywny. Rysunek 5 przedstawia sposób podłączenia przewodów pomiarowych podczas wykonywania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie między przewodem fazowym a neutralnym (L–N) oraz między przewodami fazowymi (L–L). Zobrazowano konfigurację podłączenia miernika pomiarowego do zacisków badanego obwodu.]



Rys. 5. Podłączenie przewodów pomiarowych podczas wykonania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie L-N i L-L [4]

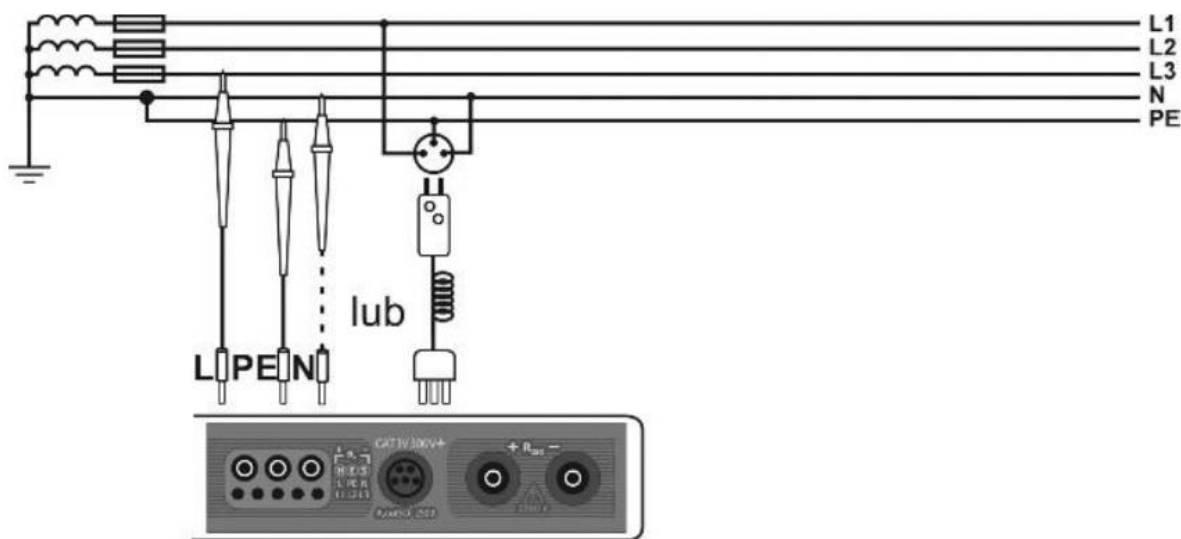
Na rysunku 6 przedstawiono uzyskany wynik pomiaru podczas wykonania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie L-N.

[Tekst alternatywny. Rysunek 6 przedstawia uzyskany wynik pomiaru parametrów pętli zwarcia wykonany za pomocą miernika wielofunkcyjnego. Na ekranie urządzenia widoczna jest zmierzona wartość impedancji pętli zwarcia.]



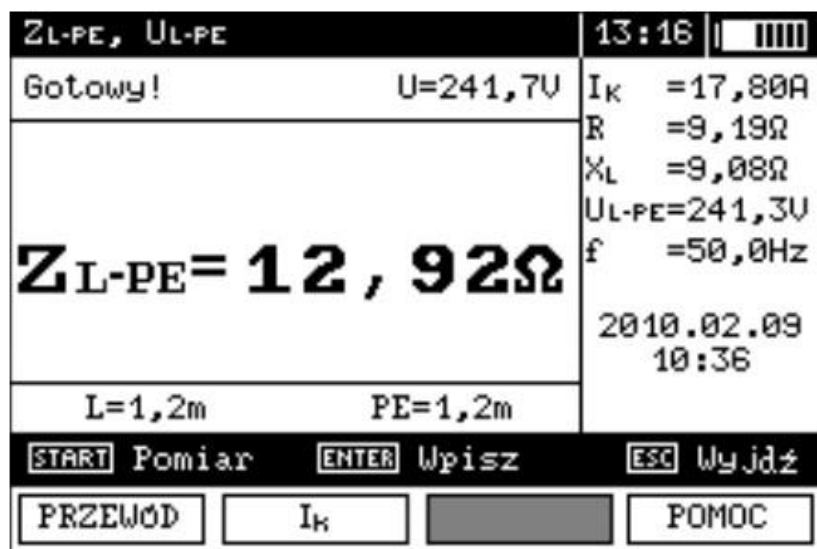
Rys. 6. Uzyskany wynik pomiaru parametrów pętli zwarcia [4]

[Tekst alternatywny. Rysunek 7 przedstawia sposób podłączenia przewodów pomiarowych podczas wykonywania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie pomiędzy przewodem fazowym i ochronnym (L-PE). Pokazano układ pomiarowy miernika wielofunkcyjnego wraz z przyłączami do punktów pomiarowych w instalacji elektrycznej.]



Rys. 7. Podłączenie przewodów pomiarowych podczas wykonania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie L-PE [4]

[Tekst alternatywny. Rysunek 8 przedstawia uzyskany wynik pomiaru parametrów pętli zwarcia wykonany za pomocą miernika wielofunkcyjnego. Na ekranie urządzenia widoczna jest zmierzona wartość impedancji pętli zwarcia pomiędzy przewodem fazowym i ochronnym (L-PE).]



Rys. 8. Przykładowy uzyskany wynik pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie L-PE [4]

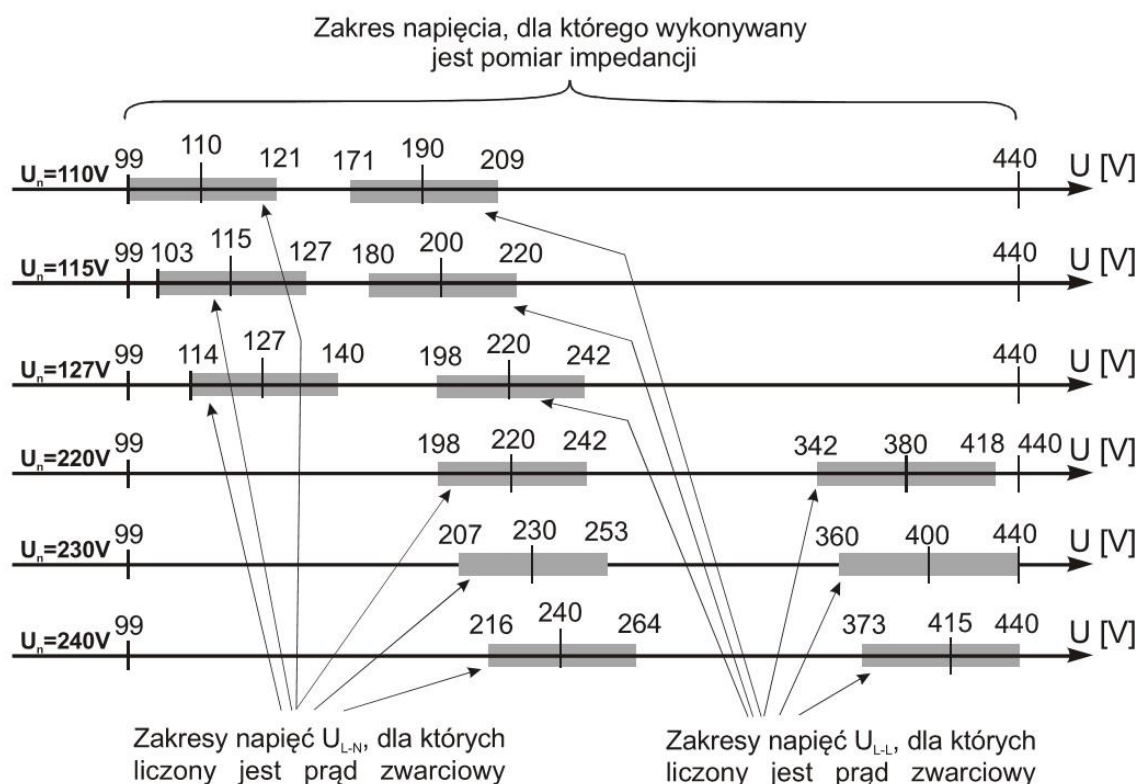
Przykład wykonania pomiaru parametrów pętli zwarcia w obwodzie L-PE przedstawiono na rysunku 7, a na rysunku 8 przedstawiono uzyskany, przykładowy wynik pomiaru w obwodzie L-PE.

Na podstawie wybranego napięcia nominalnego U_n miernik automatycznie rozpoznaje pomiar przy napięciu fazowym lub międzyfazowym i uwzględnia to w obliczeniach.

W przypadku, gdy napięcie mierzonej sieci jest poza zakresem tolerancji miernik nie będzie w stanie określić właściwego napięcia nominalnego do obliczenia prądu zwarcia. W takim przypadku zamiast wartości prądu zwarcia wyświetlone zostaną poziome kreski.

Na rysunku 9 przedstawiono zakresy napięć, dla których wykonywany jest pomiar impedancji i liczony jest prąd zwarcia przez miernik.

[Tekst alternatywny. Rysunek 9 przedstawia zakresy napięć, dla których wykonywany jest pomiar impedancji pętli zwarcia oraz obliczany prąd zwarcia przy użyciu mierników firmy Sonel. Zaprezentowano przedziały napięć, w których przyrząd realizuje pomiar w obwodach L–N, L–L.]



Rys. 9. Zakresy napięć, dla których wykonywany jest pomiar impedancji i liczony jest prąd zwarcia [4]



4. Koordynacja systemów ochrony na obiektach energetycznych

Koordynacja systemów ochrony w obiektach energetycznych polega na takim doborze, rozmieszczeniu i wzajemnym dostrojeniu urządzeń zabezpieczających i ochronnych, by zapewnić niezawodną, selektywną oraz efektywną ochronę ludzi, urządzeń i infrastruktury przy jednoczesnym ograniczeniu skutków awarii do niezbędnego minimum. Brak koordynacji zabezpieczeń może prowadzić do rozległych przerw w zasilaniu, nieproporcjonalnych do skali awarii.

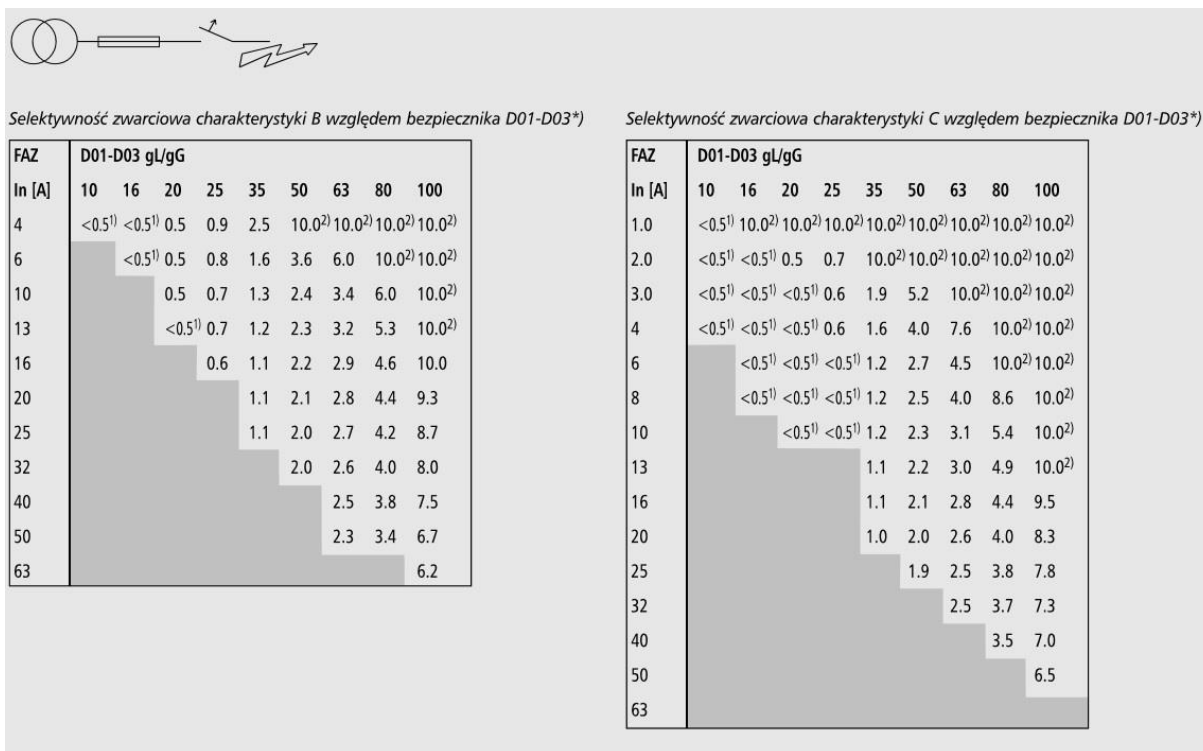
Kluczowe obszary koordynacji systemów ochrony:

Koordynacja zabezpieczeń nadmiarowoprądowych i zwarciovych

Obejmuje dobór wyłączników, bezpieczników, przekaźników i innych urządzeń zabezpieczających tak, by w przypadku zwarcia lub przeciążenia odłączyć wyłącznie uszkodzony fragment instalacji, pozostawiając resztę systemu w ruchu.

Systemy ochrony muszą być zaprojektowane tak, by pojedyncza awaria lub zwarcie nie powodowały wyłączenia większej części obiektu niż jest to konieczne do usunięcia usterki.

[Tekst alternatywny. Rysunek 10 przedstawia zależność selektywności zwarciovowej pomiędzy wyłącznikiem nadmiarowoprądowym a wkładkami topikowymi o typie D01, D02 i D03, na podstawie danych katalogowych EATON. Zaprezentowano obszary prądów zwarciovych, w których zachowana jest pełna selektywność działania zabezpieczeń, tj. ograniczenie wyłączenia do urządzenia znajdującego się bezpośrednio w miejscu zwarcia. Diagram umożliwia ocenę właściwego doboru zabezpieczeń szeregowych, zapewniającego selektywne i bezpieczne odłączenie uszkodzonego obwodu.]



Rys. 10 Selektywność zwarciova FAZ względem bezpiecznika D01-D03, [1]

W katalogach producentów zabezpieczeń nadmiarowoprądowych można znaleźć zestawienie selektywności lub braku selektywności określonych urządzeń. Przykład został zobrazowany na rysunku 10 i 11. Dla pełnej selektywności należy korzystać z tabel selektywności producentów, które określają dopuszczalne kombinacje wyłączników i bezpieczników.

Pole ciemne oznacza brak selektywności. Dodatkowe oznaczenia:

*) zasadniczo zgodnie z EN 60898 D.5.2.b,

1) granica selektywności I_s poniżej 0,5 kA

2) granica selektywności I_s = wytrzymałość zwarciova I_{cn} wyłącznika MCB (Miniature Circuit Breaker)

W przypadku zwarcia zachodzi selektywność pomiędzy wyłącznikiem FAZ a zasilającym bezpiecznikiem, aż do określonej wartości prądu I_s [kA] (w przypadku prądu zwarciova I_{ks} mniejszego od I_s , tylko wyłącznik nadprądowy wyzwoli, dla większych prądów zwarciova oba zabezpieczenia mogą zadziałać).

[Tekst alternatywny. Rysunek 11 przedstawia granice selektywności prądowej wyłączników nadmiarowoprądowych 5SY6 (bez 5SY60) oraz wkładek topikowych kategorii użytkowania gG, wyrażone w kiloamperach (kA), na podstawie danych technicznych firmy Siemens.]

Wyłączniki nadmiarowoprądowe	I_n [A] ¹⁾	Poprzedzająca wkładka topikowa								
		16 A	20 A	25 A	35 A	50 A	63 A	80 A	100 A	125 A
5SY6 (bez 5SY60)										
Charakterystyka B	6	0.3	0.4	0.7	1.2	3.0	3.2	T	T	--
	10	--	0.4	0.6	1.0	2.2	3.0	5.0	T	--
	13	--	--	0.5	1.0	2.2	3.0	5.0	T	--
	16	--	--	--	1.0	2.0	2.4	4.0	T	--
	20	--	--	--	--	2.0	2.4	4.0	T	--
	25	--	--	--	--	--	2.0	3.5	T	--
	32	--	--	--	--	--	1.7	2.0	T	--
	40	--	--	--	--	--	--	2.0	4.0	--
	50	--	--	--	--	--	--	--	4.0	--
Charakterystyka C	≤ 2	0.3	0.5	1.2	1.7	T	T	T	T	--
	3	0.3	0.4	0.8	1.4	4.0	5.0	T	T	--
	4	0.3	0.4	0.6	1.1	3.0	4.0	T	T	--
	6	--	0.4	0.6	1.0	2.4	3.2	T	T	--
	8	--	--	0.5	0.9	1.4	2.6	3.1	T	--
	10	--	--	0.5	0.9	1.4	2.1	3.1	T	--
	13	--	--	--	0.8	1.3	2.0	3.0	T	--
	16	--	--	--	0.8	1.3	2.0	3.0	T	--
	20	--	--	--	--	1.3	2.0	2.7	T	--
	25	--	--	--	--	--	2.0	2.4	5.0	--
	32	--	--	--	--	--	--	2.2	4.0	--
	40	--	--	--	--	--	--	--	3.5	--
	50	--	--	--	--	--	--	--	3.0	--
	63	--	--	--	--	--	--	--	3.0	--

Rys. 11 Granice selektywności wyłączników nadmiarowoprądowych / wkładek topikowych 3NA w kA, kategoria użytkowania gG, [3]

Dodatkowe oznaczenia:

$T \approx$ pełna selektywność do I_{cu}/I_{cn} znamionowej zwarciowej zdolności łączeniowej wyłącznika nadmiarowoprądowego.

1) W sieciach 240/415 V, 50 Hz, granice selektywności są zmniejszone o 10%.

Granice selektywności dla regulowanych wyzwalaczy odnoszą się do wartości maksymalnej, I_n = prąd znamionowy. $I_i \approx$ prąd wyzwolenia.

Systemy rozdzielcze mają zwykle postać sieci promieniowych. Zabezpieczenie nadmiarowoprądowe wymagane jest dla każdego zmniejszenia przekroju przewodu. W ten sposób powstaje połączenie szeregowo zabezpieczeń o różnych prądach znamionowych które, jeśli to możliwe, powinno być selektywne. Selektywność oznacza, że w przypadku awarii wyzwolone jest tylko urządzenie zabezpieczające będące bezpośrednio obok w obwodzie. Równoległe tory prądowe mogą podtrzymać przepływ mocy. Odpowiednia selektywność zapewnia, że w przypadku zwarcia lub przecięcia zadziała wyłącznie ten wyłącznik, który znajduje się najbliżej miejsca awarii, minimalizując wpływ na pozostałe części instalacji.

W przypadku wyłączników nadmiarowoprądowych z poprzedzającym zabezpieczeniem bezpiecznikowym, granice selektywności zależą w dużej mierze od granicznego prądu zadziałania oraz charakterystyki wyzwolenia wyłączników nadmiarowoprądowych oraz wartości energii przenoszenia (całki Joule'a) I^2t wkładki bezpiecznikowej. Powoduje to różne granice selektywności dla wyłączników nadmiarowoprądowych z różnymi charakterystykami i znamionowymi zdolnościami



wyłłączania. Zestawione wartości na rysunku 11 przedstawiają informacje o prądach zwarciovych, do których istnieje selektywność pomiędzy wyłącznikami nadmiarowoprądowymi i zabezpieczeniem poprzedzającym wg DIN VDE 0636-2. Wartości wyrażone w kA są wartościami granicznymi, które zostały ustalone w niekorzystnych warunkach testowych. W normalnych warunkach można się spodziewać znacznie lepszych wartości, w zależności od zabezpieczenia poprzedzającego [3].

Istnieją jednak pewne ograniczenia uzyskania selektywności. Pełna selektywność nie zawsze jest możliwa, zwłaszcza przy dużych prądach zwarciovych. Selektywność jest zapewniona do wartości granicznej prądu zwarciovego, po przekroczeniu której może dojść do jednoczesnego zadziałania kilku zabezpieczeń. Wartości te są ustalane w warunkach testowych i mogą się różnić w rzeczywistych instalacjach, dlatego zawsze należy uwzględniać margines bezpieczeństwa. W rzeczywistych warunkach pracy instalacji elektrycznej, które zazwyczaj są mniej obciążające niż laboratoryjne, selektywność może być zachowana nawet przy nieco wyższych prądach zwarciovych lub krótszych czasach działania, niż wynika to z danych katalogowych.

Koordinacja ochrony odgromowej i przepięciowej

Polega na zintegrowaniu ochrony odgromowej (zewnętrznej i wewnętrznej) z ochroną przed przepięciami oraz kompatybilnością elektromagnetyczną (EMC) urządzeń w obiekcie. Strefowa koncepcja ochrony pozwala na optymalizację rozmieszczenia urządzeń ograniczających przepięcia oraz skuteczne odprowadzenie prądów piorunowych do ziemi, minimalizując ryzyko uszkodzeń. Na rysunku 12 przedstawiono strefową koncepcję ochrony systemu elektronicznego. W obiekcie podzielonym na strefy przy przejściu z jednej strefy do drugiej następuje wyrównanie potencjałów wprowadzanych instalacji przewodzących, ograniczanie wartości szczytowych napięć i prądów udarowych występujących w instalacji elektrycznej oraz obwodach sygnałowych oraz ograniczanie impulsów pola elektromagnetycznego do określonych poziomów. Im wyższy numer strefy, tym niższe wartości dopuszczalnych poziomów zaburzeń udarowych [8].

Charakterystyka zagrożeń występujących w danej strefie:

Strefa 0A - Urządzenia są narażone na bezpośrednie działanie prądu piorunowego oraz oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przez prąd piorunowy.

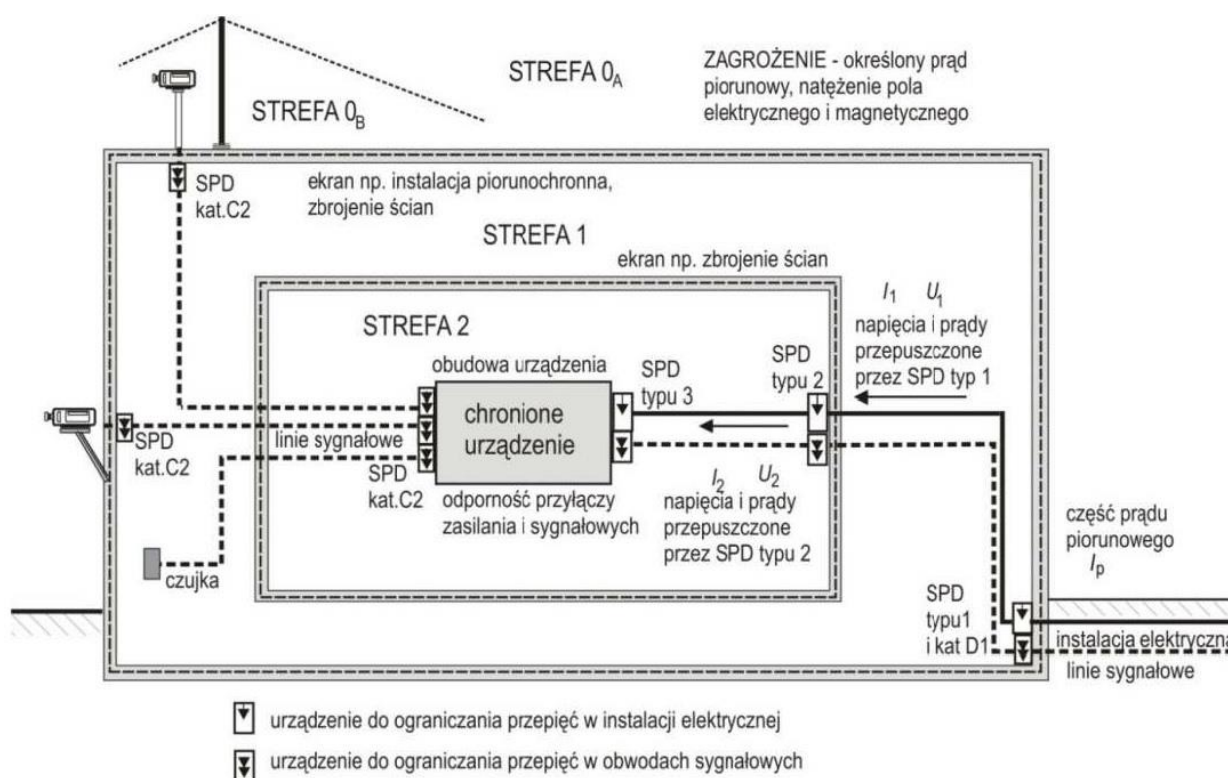
Strefa 0B - Urządzenia są narażone na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przez prąd piorunowy (analogicznie jak w strefie 0A) oraz napięć i prądów udarowych indukowanych przez prądy piorunowe.

Strefa 1- Pojedynczy ekran (np. przewodzące elementy konstrukcyjne obiektu) oraz układy urządzeń ograniczających przepięcia chronią urządzenia przed działaniem

impulsowego pola elektromagnetycznego oraz przed prądem piorunowym rozprzyskającym się w urządzeniu piorunochronnym obiektu.

Strefa 2 - Ochronę przed zaburzeniami impulsowymi tworzą kolejne ekrany oraz stopnie urządzeń ograniczających przepięcia w instalacji elektrycznej oraz w systemach przesyłu sygnałów. [8]

[Tekst alternatywny. Rysunek 12 przedstawia strefową koncepcję ochrony systemu elektronicznego, opartą na podziale chronionego obiektu na wyodrębnione strefy ochrony odgromowej. Każda strefa charakteryzuje się określonym poziomem zagrożenia od impulsów przepięciowych i elektromagnetycznych wywołanych wyładowaniami atmosferycznymi, co umożliwi stosowanie warstwowej ochrony urządzeń elektronicznych i instalacji energetycznych. Przechodzenie sygnałów pomiędzy strefami jest kontrolowane przez odpowiednie środki ochronne, takie jak różnego rodzaju ekrany, ograniczniki przepięć oraz połączenia wyrównawcze, które redukują poziom przepięć do bezpiecznych wartości.]



Rys. 12. Strefowa koncepcja ochrony systemu elektronicznego [8].



Koordinacja izolacji i uziemień

Dobór poziomów izolacji urządzeń oraz właściwe wykonanie uziemień (np. punktu neutralnego, ograniczników przepięć) zgodnie z normami PN i IEC oraz wytycznymi operatorów systemów przesyłowych. Zapewnienie odpowiedniej rezystancji uziemień oraz ich rozmieszczenia jest kluczowe dla skuteczności ochrony przeciwporażeniowej i ograniczenia przepięć.

Współpraca systemów ochrony na poziomie infrastruktury krytycznej

W obiektach o znaczeniu strategicznym, takich jak stacje elektroenergetyczne czy rozdzielnie, koordynacja ochrony obejmuje także współpracę z operatorami infrastruktury krytycznej oraz innymi systemami bezpieczeństwa. Wymaga to modelowania zależności między systemami, wymiany informacji o zagrożeniach oraz wdrażania wspólnych procedur reagowania.

Prawidłowa koordynacja systemów ochrony w obiektach energetycznych jest niezbędna dla zapewnienia bezpieczeństwa, niezawodności i ciągłości pracy infrastruktury elektroenergetycznej. Wymaga ona kompleksowego podejścia, obejmującego zarówno aspekty techniczne (dobór i konfiguracja urządzeń), jak i organizacyjne (współpraca operatorów, wdrażanie procedur i norm)

5. Badanie przekaźników termicznych

Pomiary czasów zadziałania przekaźników termicznych są przeprowadzane przy określonej wartości prądu probierczego. Podczas zajęć laboratoryjnych zadaniem studentów jest wykonanie pomiarów dla dwóch stanów przekaźników termicznych: na zimno i na ciepło. Przy pomiarach na zimno wymagany czas pomiędzy kolejnymi załączeniami należy przyjąć minimum 5 minut. Podczas pomiarów na ciepło ten czas ulega skróceniu do około 3 - 3,5 minuty, w zależności od odzyskanej zdolności do ponownego załączenia.

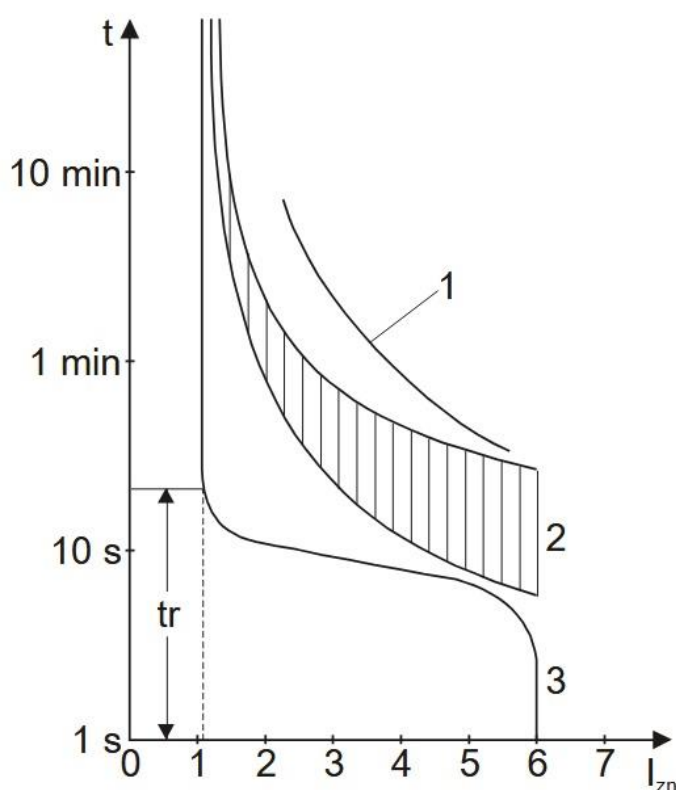
Charakterystyki czasowo – prądowe umożliwiają sprawdzenie zachowania się badanych urządzeń w różnych stanach pracy. Interpretacja wyników pomiarów sprowadza się do znalezienia różnic pomiędzy czasem zadziałania przekaźników termicznych z uwzględnieniem typu przeprowadzonego pomiaru. Oczekiwanym wynikiem jest skrócenie czasów zadziałania podczas pomiarów na ciepło. Taki stan jest wynikiem wcześniejszego nagrzania badanego przekaźnika względem temperatury otoczenia.

Przekaźniki termiczne działają na zasadzie wykorzystania właściwości termobimetalu do zmiany formy i stanu przy nagrzaniu. Element termobimetalowy składa się z dwóch warstw metali o różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej – warstwy czynnej (o większym współczynniku) i warstwy biernej (o mniejszym współczynniku).

Wraz ze wzrostem temperatury element wygina się w stronę warstwy biernej na skutek różnicy wartości współczynników rozszerzalności liniowej.

Na rysunku 13 przedstawiono charakterystyki czasowo – prądowe przekaźnika termicznego dobranego prawidłowo do silnika. Krzywa 1 odzwierciedla wytrzymałość cieplną silnika. Pasma krzywych zadziałania przekaźnika termicznego oznaczone zostały w obszarze 2. Krzywa 3 przedstawia zastępczy przebieg prądu rozruchowego silnika, czas t_r to czas rozruchu. Zabezpieczenie od przeciążeń jakim jest przekaźnik termiczny powinien mieć ściśle określony przebieg charakterystyki czasowo-prądowej.

[Tekst alternatywny. Rysunek 13 przedstawia charakterystyki czasowo-prądowe przekaźnika termicznego oraz silnika podczas rozruchu. Na wykresie pokazano zależność czasu zadziałania przekaźnika od wartości prądu, w kontekście dużych prądów rozruchowych silnika, które są wielokrotnie wyższe od prądu znamionowego. Charakterystyka przekaźnika zawiera element zwłoczny, który pozwala na opóźnione zadziałanie zabezpieczenia w zakresie prądów rozruchowych, zapobiegając niepotrzebnym wyłączeniom podczas normalnego startu silnika. Czas zadziałania maleje wraz ze wzrostem przekroczenia progu prądowego, gwarantując szybkie wyłączenie w przypadku zwarcia.]



Rys. 13. Charakterystyki czasowo-prądowe przekaźnika i silnika podczas rozruchu,[6]



Wymagania, które powinny być spełnione to:

- wyłączenie silnika winno nastąpić w przypadku wzrostu prądu ponad wartość znamionową w czasie tak krótkim, aby nie przekroczyć temperatury przejściowo dopuszczalnej przy zakłóceniach, lecz tak długim, aby maksymalnie wykorzystać moc silnika
- silnik nie powinien być wyłączony w przypadku pracy w zwykłych warunkach roboczych a przede wszystkim umożliwić jego rozruch. [6]

Na czas zadziałania przekazników termicznych mają także wpływ wartości prądów probierczych. Wraz ze zwiększaniem krotności prądu probierczego skróceniu ulega czas zadziałania przekaznika. Przy mniejszych krotnościach prądu probierczego czas zadziałania termika znacznie się wydłuża w porównaniu do większych krotności prądu. Taki stan jest związany z wolniejszym nagrzewaniem elementu termobimetalowego.

Pełna interpretacja uzyskanych wyników powinna uwzględniać wskazanie badanego przekaznika termicznego i wartości średniego czasu zadziałania urządzenia (z trzech pomiarów) wraz z podaniem zadanego prądu nastawczego. Powinna zostać podana różnica w czasie zadziałania przekaznika.



6. Literatura

✓ materiały zwarte:

1. Informacje techniczne - katalog EATON (dostęp 07.07.2025)
2. Markiewicz H. (2005). *Instalacje elektryczne*, Wydawnictwo WNT. Warszawa.
3. publikacje.siemens-info.com/pdf/85/Wy%C5%82%C4%85czniki%20nadmiarowopr%C4%85dowe%20SENTRON%20Podr%C4%99cznik.pdf (10.2015), (dostęp 08.07.2025)
4. Sonel S.A. (2023) Instrukcja obsługi Miernik parametrów instalacji MPI-525, 13.07.2023

✓ źródła internetowe:

5. <https://bezel.com.pl/2018/08/01/srodki-ochrony-przed-porazeniem> (dostęp 04.07.2025)
6. https://imsi.p.lodz.pl/sites/i25/files/2023-12/LAB_13.pdf (dostęp 10.07.2025)
7. https://zstio-elektronika.pl/pliki_t_automatyk/wylaczniki_instalacyjne_nadmiarowoprado we.pdf

✓ artykuły naukowe:

8. Sowa A., (2013). Koordynacja zaleceń ochrony odgromowej z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej 289, Elektrotechnika 33, RUTJEE, z. 33, styczeń-grudzień 2013, 231-248