

WPŁYW DOBORU PRZEWODÓW I URZĄDZEŃ ZABEZPIEZAJĄCYCH NA NIEZAWODNOŚĆ ZASILANIA I BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH

The Influence of Line and Protecting Devices Selection on Supply Reliability and Safety of Electric Installation Use

Jan STRZAŁKA

Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: W referacie przedstawiono analizę wpływu doboru przekroju przewodów i ich zabezpieczeń przetężeniowych na niezawodność zasilania oraz bezpieczeństwo pożarowe i przeciwporażeniowe w instalacjach elektrycznych. Zwrócono uwagę na wybiórczość działania zabezpieczeń w rozbudowanych układach instalacji elektrycznych.

Summary: The paper presents analysis of influence of wiring cross-section and their overcurrent protecting devices selection on supply reliability and fire and anti-shock safety in electric installations. A selective protection in extended systems of electric installations is considered.

Słowa kluczowe: instalacje elektryczne, zabezpieczenia, selektywność
Keywords: electric installations, protection, selectivity

1. WSTĘP

Prawidłowy dobór i montaż przewodów, zapobiegający ich przegrzaniu w eksploatacji, odgrywa ważną rolę w zapewnieniu niezawodności pracy instalacji elektrycznych oraz w ich bezpieczeństwie pożarowym i przeciwporażeniowym. Ważne znaczenie w tym zakresie ma również prawidłowy dobór urządzeń zabezpieczających, które powinny stanowić ochronę przewodów przed przeciążeniem i przed zwarcie.

W ostatnich latach miały miejsce głębokie zmiany przepisów w zakresie instalacji elektrycznych. Nowo ustanowione ustawy „Prawo budowlane” [22] i „Prawo energetyczne” [23] unieważniły szereg obowiązujących do niedawna aktów prawnych dotyczących instalacji. Niektóre z tych przepisów zastąpione zostały ustanowionymi w ostatnich kilku latach normami bądź rozporządzeniami. W ostatnich dziesięciu latach nastąpiła również duża zmiana asortymentu i parametrów urządzeń zabezpieczających. Wzrosły również wymagania użytkowe odbiorców w stosunku do instalacji, zarówno w zakresie niezawodności, jak i bezpieczeństwa eksploatacji.

W referacie przedstawiono w sposób syntetyczny zmiany uwarunkowań w zakresie projektowania instalacji elektrycznych oraz omówiono zasady i kryteria doboru przekroju prze-

wodów oraz zabezpieczeń przeciążeniowych i zwarciovych. Zwrócono uwagę na konieczność zapewnienia selektywności działania zabezpieczeń przetężeniowych.

2. ZASADY DOBORU PRZĘKROJU PRZEWODÓW W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH

2.1. Ogólne zasady doboru przewodów i kryteria doboru ich przekroju

Przewody i kable stosowane w instalacjach elektrycznych do 1 kV powinny być tak dobrane, aby:

- 1) w trakcie ich użytkowania nie występowały uszkodzenia powodowane szkodliwym oddziaływaniem środowiska,
- 2) w warunkach normalnej pracy nie występowało ich nadmierne nagrzewanie się,
- 3) zapewniona była odpowiednia jakość energii, określana głównie odchyleniami napięcia od wartości znamionowej.

Oddziaływania środowiska warunkują głównie wybór odpowiedniego typu przewodu lub kabla oraz sposób ich ułożenia w instalacji, który wywiera wpływ na intensywność wymiany ciepła z otoczeniem.

Tabela 1 Podstawowe rodzaje instalacji

Oznaczenia	Sposób wykonania instalacji
A1	przewody w rurze instalacyjnej, ułożone w izolowanej cieplnie ścianie
A2	przewody wielożyłowe w rurze instalacyjnej, ułożone w izolowanej cieplnie ścianie
B1	przewody w rurze instalacyjnej, ułożone na ścianie drewnianej
B2	przewody wielożyłowe w rurze instalacyjnej, ułożone na ścianie drewnianej
C	przewody jednożyłowe lub wielożyłowe, ułożone na ścianie drewnianej
D	kable nieopancerzone ułożone w ziemi (bezpośrednio lub w osłonach)
E	przewody wielożyłowe w powietrzu (w odległości co najmniej 0,3 średnicy zewnętrznej przewodu od ściany)
F	przewody jednożyłowe w powietrzu (w odległości co najmniej jednej średnicy przewodu od ściany)
G	przewody jednożyłowe w powietrzu oddalone od siebie

Oprócz ustalenia typu i sposobu ułożenia przewodu istotne znaczenie ma również dobór jego przekroju. Najczęściej o wyborze przekroju przewodów w instalacjach elektrycznych decydują następujące kryteria:

- obciążalność prądowa długotrwała,
- dopuszczalny spadek napięcia,
- wytrzymałość mechaniczna,
- skuteczność ochrony przeciwporażeniowej.

2.2. Dobór przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą

Przewody i kable elektroenergetyczne charakteryzują się obciążalnością prądową długotrwałą I_Z ograniczoną dopuszczalnym przyrostem temperatury. Wyznaczenie przekroju przewodów ze względu na nagrzewanie prądem obciążenia długotrwałego w praktyce sprowadza się do dobrania z odpowiednich tabel najmniejszego z przekrojów, dla którego spełniony jest warunek:

$$I_Z \geq I_B \quad (1)$$

gdzie:

I_Z — obciążalność prądowa długotrwałą,

I_B — prąd obliczeniowy (roboczy) linii.

Przyjmuje się, że prąd obliczeniowy (roboczy) linii równy jest prądowi znamionowemu pojedynczego odbiornika lub prądowi wyznaczonemu z mocy szczytowej dla grupy odbiorników. Obciążalności prądowe długotrwałe przewodów i kabli podawane są w odpowiednich tabelach, w zależności od typu i przekroju przewodów oraz od sposobów ich ułożenia.

Podstawowym aktem prawnym regulującym przez wiele lat zasady doboru przewodów do obciążeń prądem elektrycznym było zarządzenie ministra górnictwa i energetyki z 1974 r. [27]. Zgodnie z postanowieniami nowego prawa energetycznego [23], zarządzenie to utraciło moc prawną w 1995 r., a w jego miejsce nie wprowadzono żadnych innych postanowień regulujących zasady ustalania obciążalności prądowej przewodów. W tej sytuacji pomocna może być, przekazana do

ustanowienia, norma PN-IEC 60364-5-523 [15], określająca dopuszczalne obciążalności przewodów i kabli. W normie tej wyróżniono 80 przykładów rozwiązania instalacji, z których każdy odwołuje się do jednego z 9 podstawowych rodzajów instalacji, oznaczonych literami A-G. Podstawowe rodzaje wykonania instalacji i ich oznaczenia przyjęte w tej normie podano w tabeli 1.

Norma zawiera 12 tabel obciążalności długotrwałej oraz 7 tabel współczynników poprawkowych lub zmniejszających odnoszących się do wymienionych wyżej tabel obciążalności prądowej.

Przy określaniu obciążalności prądowej w normie PN-IEC 60364-5-523 [15] przyjęto następujące założenia:

1. — obliczeniowa temperatura otoczenia ϑ_o wynosi:
 - $+30^\circ\text{C}$ dla przewodów i kabli prowadzonych w powietrzu,
 - $+20^\circ\text{C}$ dla kabli ułożonych w ziemi lub w przepustach;
2. — dopuszczalna temperatura żyły przewodu w warunkach obciążania długotrwałego wynosi:
 - 70°C dla przewodów o izolacji z polichlorku winylu (PVC),
 - 90°C dla przewodów o izolacji z polietylenu usieciowanego (XLPE) lub gumy etylenowo-propylenowej (EPR).
3. — w obwodach trójfazowych nie uwzględniono obciążenia przewodu neutralnego lub ochronno-neutralnego; jeżeli przez przewody te może przepływać prąd o znacznej wartości, to fakt ten należy wziąć pod uwagę przy wyznaczaniu obciążalności przewodu 4- lub 5-żyłowego.

W przypadku, gdy temperatura otoczenia lub warunki ułożenia nie odpowiadają założonym, do określenia obciążalności należy stosować współczynniki poprawkowe. Podobnie należy postąpić, gdy występuje większa liczba przewodów lub kabli w jednej grupie (wiązce) oraz gdy przewody ułożone są w korytkach i na drabinkach.

W tabeli 2 podano przykładowe dopuszczalne obciążalności długotrwałe przewodów (kabli) o żyłach miedzianych i aluminiowych o izolacji polwinitowej (PVC) dla różnych sposobów ich ułożenia i dla różnej liczby żył.

2.3. Dobór przekroju przewodów ze względu na dopuszczalny spadek napięcia

W instalacjach elektrycznych często ostrzejsze warunki przy doborze przekroju przewodów stawia kryterium nieprzekraczania dopuszczalnego spadku napięcia. Wartości dopuszczalnych spadków napięcia określały odpowiednie przepisy lub wytyczne projektowe. I tak, w odniesieniu do instalacji nieprzemysłowych dopuszczalne spadki napięcia w poszczególnych elementach instalacji elektrycznej (tzn. w wewnętrznej linii zasilającej (wlz) i w instalacji odbiorczej) w warunkach normalnych określały przepisy budowy urządzeń elektroenergetycznych [16] rozporządzeniem MEiEA oraz MAG-TiOŚ z 1977 r., które jednak zostało uchylone poprzez wprowadzone w 1994 r. nowe prawo budowlane [22]. Z kolei wytyczne projektowania sieci zakładów przemysłowych określały dopuszczalne spadki napięcia w przemysłowych sieciach rozdzielczych i odbiorczych przeznaczonych do zasilania odbiorników siłowych i oświetleniowych.

Tabela 2. Obciążalności długotrwałe przewodów w izolacji PVC

Przekrój znamio- nowy mm ²	Sposób ułożenia i liczba żył							
	przewody jedno- żyłowe w rurach i wielożyłowe w ścianach		przewody jedno- żyłowe w rurach na ścianie		przewody wielożyłowe na ścianie		kable w przepustach i w ziemi	
	2	3	2	3	2	3	2	3
Przewody (kable) o żyłach miedzianych								
1,5	14,5	13	17,5	15,5	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	24	21	26	24	29	24
4	26	24	32	28	35	32	38	31
6	34	31	41	36	46	41	47	39
10	46	42	57	50	63	57	63	52
16	61	56	76	68	85	76	81	67
25	80	73	101	89	112	96	104	86
35	99	89	125	111	138	119	125	103
50	119	108	151	134	168	144	148	122
70	151	136	192	171	213	184	183	151
95	182	164	232	207	258	223	216	179
120	210	188	269	239	299	259	246	203
150	240	216	-	-	344	294	278	230
185	273	245	-	-	392	341	312	258
240	321	286	-	-	461	403	361	297
Przewody (kable) o żyłach aluminiowych								
10	36	32	44	39	49	44	48	40
16	48	43	59	53	66	59	62	52
25	63	57	79	69	83	73	80	66
35	77	70	98	86	103	91	96	80
50	93	84	118	105	125	110	113	94
70	118	107	150	133	160	140	140	117
95	142	129	181	161	195	170	166	138
120	164	149	210	186	226	197	189	157
150	189	170	-	-	261	227	213	178
185	215	194	-	-	298	259	240	200
240	252	227	-	-	352	305	277	230

Po utracie ważności przepisów z 1977 r. nie wprowadzono w zasadzie nowych regulacji prawnych omawianego zagadnienia. Norma PN-IEC 60364-5-523 [15], na obecnym etapie, nie normalizuje dopuszczalnych spadków napięcia. Podaje jedynie ogólne zalecenia, aby łączny spadek napięcia między początkiem instalacji a urządzeniem odbiorczym nie przekraczał 4% napięcia znamionowego instalacji, nie określa natomiast wymagań w odniesieniu do poszczególnych elementów instalacji, np. wewnętrznych linii zasilających, co nie jest bez znaczenia m.in. dla jakości dostarczanej energii elektrycznej.

Przepisy niemieckie VDE [6] uzależniają wartości dopuszczalnych spadków napięcia w włz-ach budynków mieszkalnych od mocy przesyłanej i określają je na poziomie od 0,5% dla mocy poniżej 100 kVA do 1,5% dla mocy powyżej 400 kVA. Należy oczekiwać, że w przyszłości opracowane zostaną odpowiednie zalecenia w tym zakresie.

2.4. Dobór przekroju przewodów ze względu na wytrzymałość mechaniczną

Przewody i kable w instalacjach powinny być dobrane z uwzględnieniem ich wytrzymałości mechanicznej. Przepisy wprowadzone w nie obowiązującym aktualnie zarządzeniu z 1974 r. [27] określały najmniejsze przekroje żył przewodów gołych i izolowanych, dopuszczalne ze względu na wytrzymałość mechaniczną. Przekrój przewodów dobrany wg innych kryteriów nie mógł być mniejszy niż określony w przepisach przekrój minimalny S_{min} ze względu na wytrzymałość mechaniczną.

Norma PN-IEC 60364 (poprzednio PN/E-05009) wprowadza szczegółowe wymagania w odniesieniu do przekrojów przewodów ochronnych, uziemiających i wyrównawczych w instalacjach elektrycznych. Przekrój żył przewodów ochronno-neutralnych PEN miedzianych nie może być mniejszy niż

Tabela 3. Wymagany przekrój przewodu ochronnego

Przekrój przewodu fazowego w mm ²	Przekrój odpowiadającego przewodu ochronnego S_{PE} w mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$0,5 \cdot S$

10 mm², a przewodów aluminiowych 16 mm². Wymaganie to znacznie ogranicza możliwość stosowania układu TN-C w instalacjach odbiorczych, zwłaszcza w budownictwie mieszkalnym i ogólnym, gdzie występują z reguły małe przekroje przewodów fazowych, a osprzęt instalacyjny nie pozwala na użycie przewodów o większych przekrojach.

Najmniejsze dopuszczalne przekroje żył przewodów ochronnych PE zostały uzależnione od przekroju żył fazowych i nie powinny być mniejsze niż podano w tabeli 3.

Ponadto, gdy przewody te nie są jedną z żył przewodu (kabla) wielożyłowego, wówczas ich przekrój nie może być mniejszy niż 2,5 mm², jeżeli są one chronione przed uszkodzeniami mechanicznymi, oraz 4 mm², jeżeli takiej ochrony nie ma.

Przekrój żył przewodów uziemiających miedzianych i stalowych ułożonych w ziemi powinien być nie mniejszy niż 16 mm², jeżeli są one chronione przed korozją, oraz 25 mm² w przypadku przewodów miedzianych i 50 mm² dla stalowych, gdy brak skutecznej ochrony przeciwkorozyjnej.

Norma PN-IEC 60364 określa również szczegółowe wymagania w odniesieniu do żył przewodów wyrównawczych głównych i miejscowych (dodatkowych) CC, które uzależnione są od przekrojów przewodów ochronnych PE i ochronno-neutralnych PEN.

2.5. Dobór przekroju przewodów ze względu na skuteczność ochrony przeciwporażeniowej

W przypadku zastosowania w instalacji samoczynnego wyłączenia zasilania, jako sposobu ochrony przed dotykiem pośrednim, przekroje przewodów w sieci o układzie TN powinny być tak dobrane, aby w warunkach zakłóceń nastąpiło zadziałanie urządzenia odłączającego zasilanie w czasie nie dłuższym od podanego w normie PN-IEC 60364 (poprzednio PN/E-05009), czyli aby został spełniony warunek:

$$I_k \geq I_a \quad (2)$$

gdzie:

- I_k — spodziewany prąd zwarciaowy,
- I_a — prąd zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia odłączającego zasilanie w czasie wymaganym przepisami, określony z charakterystyki czasowo-prądowej urządzenia zabezpieczającego.

Przy wyznaczaniu spodziewanej wartości prądu zwarciaowego w instalacji elektrycznej metodą obliczeniową przyjmuje się na ogół, że rzeczywista impedancja jest o 25% większa od impedancji obliczeniowej, przy założeniu metalicznego zwarcia przewodu fazowego z przewodem ochronnym lub ochronno-neutralnym, z pominięciem impedancji zestyków,

przekładników i innych elementów.

W instalacjach elektrycznych przy wyznaczaniu impedancji pętli zwarciaowej często pomija się reaktancję, przyjmując tylko rezystancję przewodu fazowego i ochronnego (ochronno-neutralnego) na odcinku między transformatorem a odbiornikiem, dla którego dokonuje się sprawdzenia warunku skuteczności ochrony.

Impedancja obwodów zwarciaowych powinna być na tyle mała, aby prąd zwarciaowy powodował zadziałanie zabezpieczeń w odpowiednio krótkim czasie. W niektórych przypadkach może to powodować konieczność doboru przewodów o większym przekroju żył, niż wynikałoby to z warunków obciążalności prądowej i dopuszczalnego spadku napięcia, lub potrzebę ograniczenia długości obwodów odbiorczych.

3. ZASADY DOBORU ZABEZPIECZEŃ PRZEWODÓW W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH

3.1. Ogólne zasady instalowania zabezpieczeń

Przewody i kable łączące odbiorniki energii elektrycznej z punktem zasilania mogą być narażone na przetężenia, powodowane przeciążeniami i zwarciami. Dla zabezpieczenia przewodów roboczych instalacji elektrycznych przed skutkami przeciążeń i zwarć, należy stosować urządzenia zabezpieczające, powodujące samoczynne wyłączenie danego obwodu instalacji.

Zabezpieczenie przed prądem przetężeniowym powinno być instalowane we wszystkich przewodach fazowych i w zasadzie przerywać prąd tylko w fazie, w której nastąpiło przetężenie. Przerwanie obwodu we wszystkich przewodach fazowych jest wymagane wówczas, gdy przerwanie przepływu prądu w jednej z faz mogłoby spowodować zagrożenie, np. w przypadku obwodów zasilających silniki trójfazowe.

Jeżeli w układzie sieciowym TN i TT przewód neutralny N ma przekrój co najmniej równy lub równoważny przekrojowi przewodów fazowych, to nie jest wymagane stosowanie w nim zabezpieczeń przetężeniowych i wyposażanie go w urządzenia przerywające przepływ prądu, jeżeli natomiast przekrój przewodu neutralnego jest mniejszy od przekroju przewodów fazowych, wymagane jest zastosowanie zabezpieczenia przetężeniowego, odpowiedniego do tego przekroju. Urządzenie zabezpieczające powinno przerywać przepływ prądu w przewodach fazowych, natomiast nie musi powodować przerwy w przewodzie neutralnym.

W przewodzie neutralnym można nie stosować zabezpieczeń przetężeniowych, jeżeli jednocześnie spełnione są następujące dwa warunki:

- przewód neutralny jest zabezpieczony przed skutkami prądu zwarciaowego przez zabezpieczenia usytuowane w przewodach fazowych;
- największa wartość prądu w przewodzie neutralnym, przewidywana w normalnych warunkach pracy, jest znacznie mniejsza od obciążalności długotrwałej tego przewodu.

W układzie IT norma PN-IEC 60364 nie zaleca używania przewodu neutralnego. W przypadku jego zastosowania, w każdym obwodzie powinno znajdować się urządzenie zabezpieczające, przerywające przepływ prądu we wszystkich przewodach danego obwodu, łącznie z przewodem neutralnym.

Do połowy 1994 r. zasady doboru zabezpieczeń nadmiarowoprądowych przewodów i kabli określała norma PN-57/E-05022 zawarta w przepisach budowy urządzeń elektroenergetycznych [16], która umożliwiała wyznaczanie największych wartości prądów znamionowych wkładek bezpiecznikowych, w zależności od rodzaju przewodów i ich obciążalności długotrwałej oraz od sposobu i warunków użytkowania przewodów. Całkowitą zmianę zasad zabezpieczeń przewodów wprowadziła norma PN-91/E-05009/43, zastąpiona ostatnio PN-IEC 60364-4-43 [13].

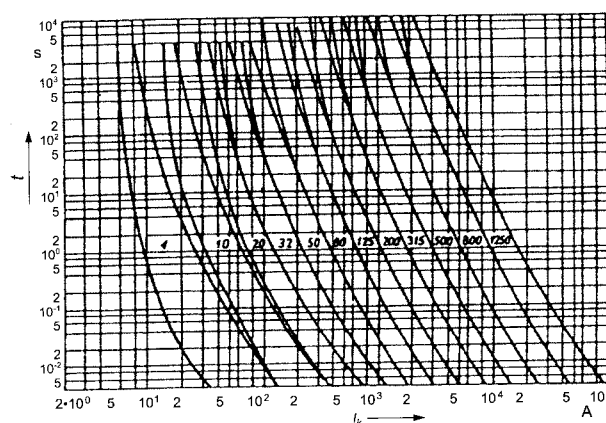
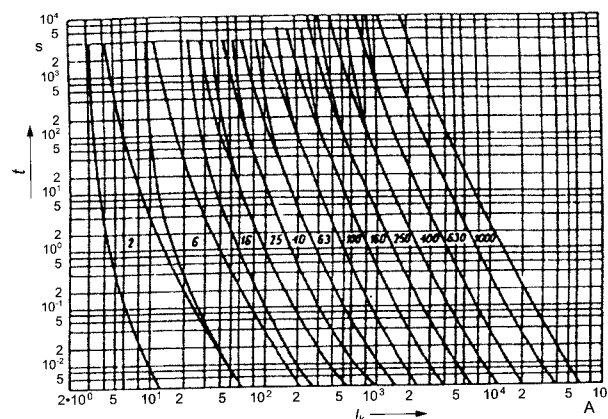
3.2. Rodzaje urządzeń zabezpieczających

Zabezpieczanie przewodów przed skutkami przeciążeń i zwarć uzyskiwane jest poprzez instalowanie na początku chronionego odcinka instalacji odpowiedniego urządzenia zabezpieczającego. Obowiązująca w tym zakresie norma [13] wyróżnia trzy rodzaje urządzeń zabezpieczających, przy czym w każdym z nich można wykorzystać określone łączniki elektroenergetyczne:

- 1) zabezpieczenia przeciążeniowe - urządzenia zabezpieczające tylko przed skutkami prądu przeciążeniowego, których rolę mogą spełniać:
 - wyłączniki wyposażone w wyzwalacze przeciążeniowe, np. termobimetalowe,
 - bezpieczniki topikowe ogólnego przeznaczenia z pełnozakresową charakterystyką wyłączania;
- 2) zabezpieczenia zwarciovowe - urządzenia zabezpieczające tylko przed skutkami prądu zwarciovowego, których rolę mogą pełnić:
 - wyłączniki wyposażone w wyzwalacze zwarciovowe elektromagnetyczne,
 - bezpieczniki topikowe ogólnego przeznaczenia z pełnozakresową charakterystyką wyłączania,
 - wkładki topikowe dobezpieczeniowe (z niepełnozakresową charakterystyką wyłączania);
- 3) zabezpieczenia przeciążeniowo-zwarciovowe — urządzenia zabezpieczające jednocześnie przed skutkami prądu przeciążeniowego lub/i prądu zwarciovowego, których rolę mogą spełniać:
 - wyłączniki wyposażone w wyzwalacze przeciążeniowe i wyzwalacze zwarciovowe,
 - wyłączniki współpracujące z bezpiecznikami topikowymi,
 - wyłączniki wyposażone w wyzwalacze przeciążeniowe i dobezpieczeniowe wkładki topikowe,
 - bezpieczniki topikowe ogólnego przeznaczenia z pełnozakresową charakterystyką wyłączania.

Najbardziej rozpowszechnionym urządzeniem zabezpieczającym jest bezpiecznik. Jest to urządzenie proste i tanie, które kontroluje wartości prądu w obwodzie. Bezpiecznik jest doskonałym zabezpieczeniem zwarciovym, lecz znacznie gorzej wypada w roli zabezpieczenia przeciążeniowego. Zaletą bezpieczników jest ich zdolność do ograniczania prądu zwarciovowego. Bezpieczniki są najbardziej niezawodnym urządzeniem powodującym samoczynne wyłączenie zasilania w celu ochrony przeciwporażeniowej.

Istotnym parametrem bezpiecznika jest jego klasa, rozumiana jako typ charakterystyki czasowo-prądowej wkładki bezpiecznikowej. Klasa bezpiecznika jest scharakteryzowana dwiema literami, z których pierwsza oznacza zakres zdolności wyłączania, a druga kategorię użytkowania.



Rys.1. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe bezpieczników topikowych typu gG. I_k — spodziewany prąd zwarciovowy

W zakresie zdolności wyłączania normy przewidują wykonanie wkładek typu:

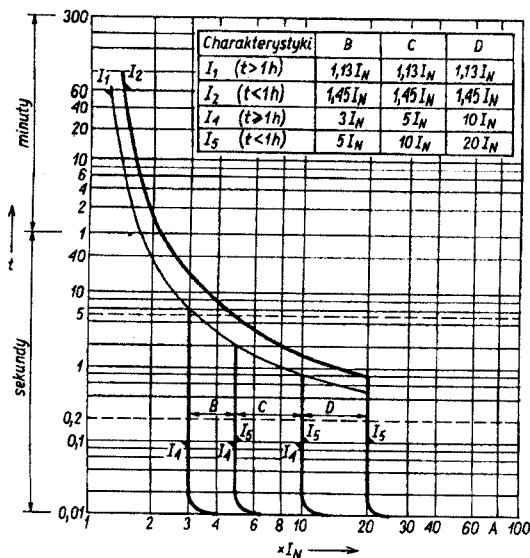
- g — o pełnozakresowej zdolności wyłączania,
- a — o niepełnozakresowej zdolności wyłączania, tzn. wkładka wyłączająca poprawnie prąd zawarty między najmniejszym prądem wyłączalnym ($I_{\min} < 4I_n$) a znamionowym prądem wyłączalnym.

Produkowane są wkładki do następujących kategorii użytkowania:

- G — wkładka ogólnego przeznaczenia, do zabezpieczania przewodów, o charakterystyce czasowo-prądowej zbliżonej do dawnych wkładek zwłocznich,
- F — wkładka o charakterystyce szybkiej, wycofana z normalizacji międzynarodowej,
- M — wkładka do zabezpieczania silników i urządzeń rozdzielczych,
- R — wkładka do zabezpieczania urządzeń półprzewodnikowych,
- Tr — wkładka do zabezpieczania transformatorów,
- B — wkładka do zabezpieczania urządzeń w podziemiach kopalń.

Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyki czasowo-prądowe pasmowe bezpieczników instalacyjnych klasy gG zalecanych do zabezpieczania przewodów w instalacjach.

Z charakterystyk pasmowych bezpieczników odczytuje się wartości prądu odpowiadające górnej krzywej probierczej, a więc maksymalnym czasem wyłączenia. Oprócz klasy bezpiecznika, do jego podstawowych parametrów należą:



Rys. 2. Charakterystyki pasmowe B, C i D wyłączników nadprądowych

- napięcie znamionowe bezpiecznika U_n ,
- prąd znamionowy ciągły wkładki bezpiecznikowej I_n ,
- prąd znamionowy wyłączalny wkładki bezpiecznikowej I_c ,
- prąd ograniczony i_{ogr} określający obciążenia elektrodynamiczne,
- całka Joule'a wyłączania $I^2 t$ określająca narażenia cieplne.

Bardziej uniwersalnym urządzeniem zabezpieczającym, umożliwiającym wielokrotne zadziałanie, jest wyłącznik. W zależności od przeznaczenia, można wyróżnić dwie grupy wyłączników:

- wyłączniki do zabezpieczania pojedynczych odbiorników małej mocy obejmujące:
 - wyłączniki nadprądowe odbiornikowe, do wbudowania, wyposażone w nienastawialne wyzwalacze przeciążeniowe termobimetalowe i zwarciove elektromagnetyczne,
 - wyłączniki nadprądowe silnikowe, z wyposażeniem jak wyżej oraz ew. w wyzwalacze podnapięciowe;
- wyłączniki do zabezpieczania obwodów rozdzielczych i ew. pojedynczych odbiorników obejmujące:
 - wyłączniki nadprądowe instalacyjne, wyposażone w nienastawialne wyzwalacze przeciążeniowe termobimetalowe i zwarciove elektromagnetyczne,
 - wyłączniki sieciowe budowy zwężonej typu „kompakt” wyposażone w nastawialne lub nienastawialne wyzwalacze przeciążeniowe termobimetalowe i zwarciove elektromagnetyczne oraz w wyzwalacze napięciowe,
 - wyłączniki stacyjne, wyposażone w nastawialne przekaźniki przeciążeniowe, zwarciove, różnicowoprądowe, napięciowe i inne.

Wszystkie te wyłączniki mogą być ograniczające i nie ograniczające.

Przy doborze wyłącznika i jego wyposażenia należy wziąć pod uwagę następujące główne parametry:

- napięcie znamionowe wyłącznika U_n ,
- prąd znamionowy ciągły wyłącznika I_n ,
- prąd znamionowy wyłączalny wyłącznika I_{cm} ,
- prąd nastawczy wyzwalacza lub przekaźnika przeciążeniowego I_p ,

— prąd nastawczy wyzwalacza lub przekaźnika zwarciovego I_z .
Miarą narażeń elektrodynamicznych i cieplnych urządzeń za wyłącznikiem są:

- prąd zwarciove udarowy (dla wyłącznika nie ograniczającego) lub prąd ograniczony wyłącznika (dla wyłącznika ograniczającego),
- skutek cieplny prądu zwarciovego (całka Joule'a) $I_{th}^2 T_k$, obliczony z prądu zwarciovego zastępczego cieplnego I_{th} oraz czasu trwania zwarcia T_k .

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe wyłączników nadprądowych.

Poszczególne typy wyłączników instalacyjnych przeznaczone są do ochrony instalacji:

- typ A — z elementami elektroniki (nie przewidywany w normalizacji międzynarodowej IEC),
- typ B — ogólnego przeznaczenia,
- typ C — z silnikami elektrycznymi,
- typ D — z urządzeniami o dużych udarach prądowych (transformatory, elektromagnesy, silniki o bardzo trudnym rozruchu itp.).

3.3. Zasady doboru zabezpieczeń przeciążeniowych

Zabezpieczenia przeciążeniowe mają czasowo-prądową charakterystykę zależną, tj. działają ze zwłoką czasową odwrotnie proporcjonalną do wartości prądu i nie są w zasadzie przewidziane do wyłączania prądów zwarciowych. Urządzenie zabezpieczające powinno być tak dobrane, aby przerwanie przepływu prądu przeciążeniowego nastąpiło zanim wystąpi niebezpieczeństwo uszkodzenia izolacji przewodów, połączeń lub zagrożenie dla otoczenia na skutek nadmierne-go wzrostu temperatury.

Zabezpieczenia przeciążeniowe przewodów powinny być instalowane na początku obwodu oraz w miejscach, poza którymi następuje zmniejszenie się obciążalności przewodów, a istniejące już zabezpieczenia nie chronią tych odcinków obwodu. Dotyczy to:

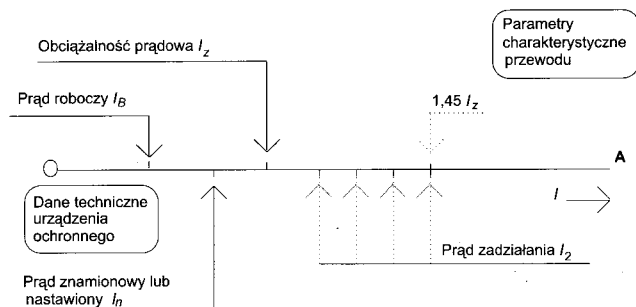
- zmniejszenia przekroju przewodów lub zmiany rodzaju przewodów,
- pogorszenia się warunków chłodzenia w wyniku zmiany sposobu ułożenia przewodów, istnienia innych instalacji lub podwyższonej temperatury otoczenia.

Można nie stosować dodatkowych zabezpieczeń, jeżeli nie chroniona część obwodu nie przekracza długości 3 m i nie ma rozgałęzień, ani gniazd wtoczkowych, oraz jest zabezpieczona skutecznie przed prądami zwarcioowymi, a instalacja jest wykonana w sposób ograniczający do minimum niebezpieczeństwo powstania zwarcia, np. przez dodatkowe zabezpieczenie przed wpływami zewnętrznymi, i nie znajduje się w pobliżu materiałów łatwopalnych.

Szczegółowe informacje na temat możliwości niestosowania zabezpieczeń przed skutkami prądu przeciążeniowego podaje norma PN-IEC 60364-4-473:1999 [14]. Norma ta zaleca również niestosowanie zabezpieczeń przeciążeniowych ze względu na bezpieczeństwo w następujących przypadkach:

- w obwodach wzbudzenia maszyn wirujących,
- w obwodach zasilających elektromagnesy dźwigowe,
- w obwodach wtórnych przekładników prądowych.

Charakterystyka działania urządzenia zabezpieczającego przewody od przeciążenia powinna spełniać następujące dwa warunki:



Rys. 3. Relacja między prądami w obwodach zabezpieczonych przed skutkami przeciążeń. I_B — prąd obliczeniowy (roboczy), I_n — prąd znamionowy urządzenia zabezpieczającego, I_Z — obciążalność prądowa długotrwała przewodu, I_2 — prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (3)$$

$$I_2 \leq 1,45 I_Z \quad (4)$$

w których:

I_B — prąd obliczeniowy (roboczy) lub prąd znamionowy odbiornika, jeżeli z danego obwodu jest zasilany po jedynym odbiorniku,

I_n — prąd znamionowy lub prąd nastawienia urządzenia zabezpieczającego,

I_Z — prąd obciążalności prądowej długotrwałej przewodu,

I_2 — prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego.

Te same dwa warunki w odniesieniu do przeciążeniowego zabezpieczenia przewodów przedstawione są w postaci graficznej na rysunku 3.

Obciążalność prądową długotrwałą przewodów lub kabli I_Z należy przyjmować zgodnie z zasadami opisanymi wyżej w rozdziale 2.

Jeżeli urządzenie zabezpieczające chroni kilka przewodów połączonych równolegle, prąd I_Z może być wyznaczony jako suma obciążalności prądowej wszystkich przewodów, pod warunkiem jednak, że w każdym z przewodów płynie prąd proporcjonalny do ich obciążalności prądowej. Oznacza to, że przewody powinny być tego samego typu, tej samej długości, i podobnie ułożone.

Występujący we wzorze (4) prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego należy określić jako krotność prądu znamionowego wyłącznika lub bezpiecznika wg zależności:

$$I_2 = k_2 I_n \quad (5)$$

gdzie:

k_2 — współczynnik krotności prądu powodującego zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w określonym czasie umownym, przyjmowany jako równy:

- 1,6–2,1 dla wkładek bezpiecznikowych,
- 1,45 dla wyłączników nadprądowych o charakterystyce B, C i D,

I_n — prąd znamionowy urządzenia zabezpieczającego.

Większa wartość współczynnika k_2 dla bezpieczników powoduje, że wyłączniki mają lepiej dopasowane charakterystyki przeciążeniowe do ochrony przewodów przed przecią-

żeniem. Pozwala to na stosowanie przewodów o mniejszej obciążalności prądowej długotrwałej, a więc o mniejszym przekroju, co przynosi wymierne korzyści ekonomiczne.

3.4. Zasady doboru zabezpieczeń zwarciovych

Zabezpieczenia zwarciovowe powinny być dobrane tak, aby przerwanie prądu zwarciovego następowało zanim wystąpi niebezpieczeństwo uszkodzeń cieplnych i mechanicznych w przewodach lub ich połączeniach.

Zabezpieczeniami zwarciovymi mogą być:

- bezpieczniki lub
- wyłączniki samoczynne z wyzwalaczami zwarciovymi.

Stosując wyłączniki samoczynne jako urządzenia zabezpieczające należy pamiętać, aby wartość prądu zwarciovego była co najmniej równa prądowi działania wyzwalaczy zwarciovych, wyłączających z czasem własnym ok. 30–50 ms., w zasadzie niezależnym od wartości prądu zwarciovego. W pewnych przypadkach, gdy użyje się wyłączników z wyzwalaczami zwłocznymi, czas działania urządzeń zabezpieczających może wynosić 100–500 ms.

Miejsce usytuowania zabezpieczeń zwarciovych powinno być w zasadzie takie samo, jak zabezpieczeń przeciążeniowych. Szczegółowe przypadki, w których można nie stosować zabezpieczeń przed skutkami prądu zwarciovego określa norma PN-IEC 60364-4-473:1999 [14].

Każde urządzenie zabezpieczające przed skutkami prądu zwarciovego powinno spełniać następujące wymagania:

1. Zdolność wyłączalna urządzeń zabezpieczających (bezpieczników, wyłączników samoczynnych) powinna być nie mniejsza od spodziewanego prądu zwarciovego w miejscu ich zainstalowania, zgodnie z zależnością:

$$I_{nw} \geq I_{ws} \quad (6)$$

gdzie:

I_{nw} — prąd znamionowy wyłączalny urządzenia zabezpieczającego,

I_{ws} — spodziewana wartość prądu wyłączeniowego obwodu (w sieci nn praktycznie wartość prądu początkowego w miejscu zwarcia I_k).

2. Czas przepływu prądu zwarciovego powinien być taki, aby temperatura przewodów nie przekroczyła wartości granicznej dopuszczalnej przy zwarciu dla tego typu przewodów. Czas ten, w sekundach, nie powinien przekroczyć wartości granicznej dopuszczalnej, wyznaczonej wg wzoru:

$$T_{km} \leq (k S / I_k)^2 \quad (7)$$

w którym:

S — przekrój przewodu w mm²,

I_k — wartość skuteczna prądu zwarciovego w A,

k — współczynnik liczbowy, odpowiadający jednosekundowej dopuszczalnej gęstości prądu podczas zwarcia, zależny od właściwości materiału przewodowego i rodzaju izolacji, przyjmowany zgodnie z tabelą 4.

3. Prąd znamionowy I_n urządzenia zabezpieczającego przed skutkami prądu zwarcia musi być większy od obciążalności prądowej długotrwałej przewodów I_Z :

$$I_n > I_Z \quad (8)$$

Tabela 4. Wartości współczynnika k różnych rodzajów przewodów

Rodzaj przewodu	Wartość współczynnika k [A · s ^{1/2} /mm ²]
Przewody o izolacji z gumy powszechnego użytku, z butylenu, z polietylenu usieciowanego lub z gumy etylenowo-propylenowej:	
— z żyłami miedzianymi	135
— z żyłami aluminium	87
Przewody o izolacji z PVC:	
— z żyłami miedzianymi	115
— z żyłami aluminium	74

Podane wyżej wymaganie 1. może w pewnych przypadkach ograniczać możliwość stosowania niektórych konstrukcji łączników, zwłaszcza o niewielkich wartościach prądu znamionowego ciągłego i prądu wyłączalnego. Ze względu na bardzo duży prąd wyłączalny bezpieczników, wymaganie to najczęściej jest spełnione w sposób naturalny i nie ogranicza możliwości stosowania bezpieczników najbardziej właściwych do celów zabezpieczeń wg kryteriów doboru innych niż prąd wyłączalny.

Dopuszcza się odstępstwa od wymagania dotyczącego zdolności wyłączalnej urządzeń zabezpieczających w przypadkach, w których:

- przed tymi urządzeniami, od strony zasilania, znajdują się urządzenia o wystarczającej zdolności wyłączania;
- urządzenia i przewody znajdujące się za danym urządzeniem zabezpieczającym wytrzymują bez uszkodzeń przepływ prądu zwarciovego.

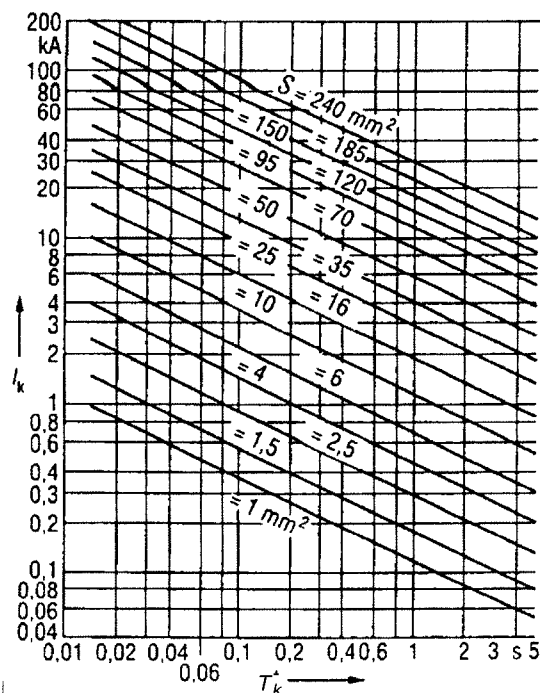
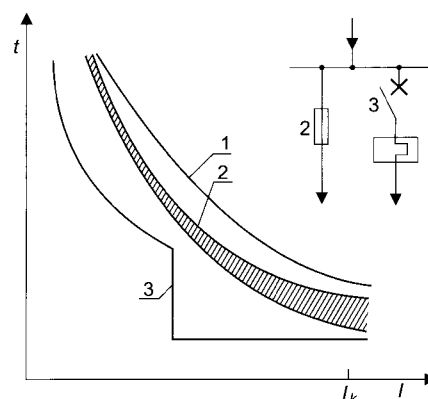
Ocena skuteczności działania zabezpieczeń przewodów przed cieplnym oddziaływaniem prądów zwarciovych polega na porównaniu charakterystyk czasowo-prądowych przewodów określonych zależnością (7) z charakterystykami zabezpieczeń zwarciovych przewodów.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe charakterystyki dla przewodów z żyłami miedzianymi o przekrojach od 1 do 240 mm² o izolacji z PVC.

Warunek skuteczności ochrony jest spełniony, jeżeli charakterystyka czasowo-prądowa przewodu przebiega powyżej charakterystyki czasowo-prądowej dobranego zabezpieczenia w całym zakresie prądów przetężeniowych, jakie mogą wystąpić w obwodzie (rys.5).

Przebiegi charakterystyk czasowo-prądowych przewodów i bezpieczników jako zabezpieczeń przetężeniowych, przedstawione na rysunku 6a wskazują, że przewody są zabezpieczone, jeżeli prądy zwarciove są większe od prądu I_{kA} . Dla zapewnienia pełnej ochrony przetężeniowej przewodów celowe jest zastosowanie, oprócz zabezpieczeń zwarciovych, również zabezpieczenia przeciążeniowego. Zdolność wyłączalna zabezpieczeń przeciążeniowych powinna być nie mniejsza od prądu I_{kB} . Przy prądach większych od prądu I_{kB} występuje wcześniejsze zadziałanie zabezpieczeń zwarciovych niż przeciążeniowych.

Przebiegi charakterystyk czasowo-prądowych przewodów i wyłączników, jako zabezpieczeń przetężeniowych, przedstawione na rysunku 6b wskazują, że przewody są zabezpieczone, jeżeli prądy zwarciove są nie większe od prądu I_{kB} .

Rys. 4. Graniczne dopuszczalne wartości prądów zwarciovych I_k i czasów trwania zwarcia T_k dla przewodów miedzianych o izolacji z PVC

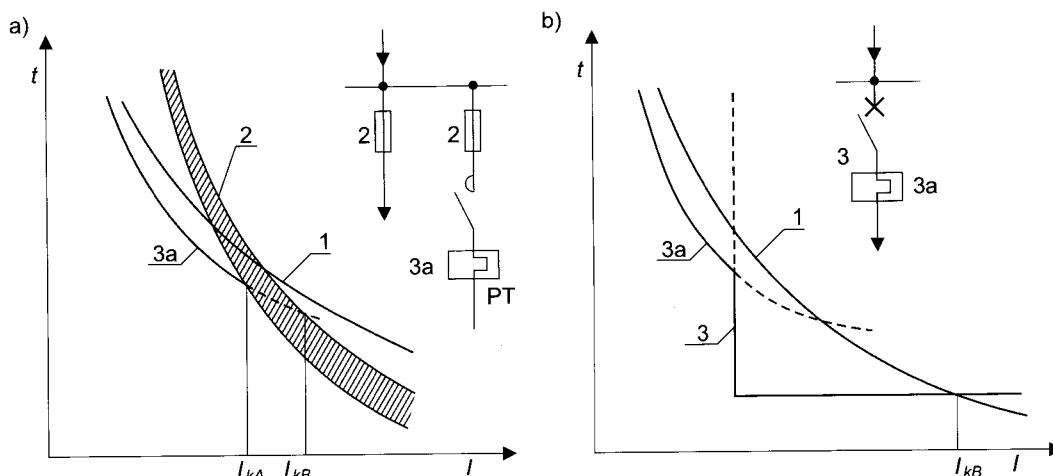
Rys. 5. Charakterystyki czasowo-prądowe: 1 — przewodu, 2 — bezpieczników, 3 — wyłącznika samoczynnego, zabezpieczających skutecznie przewody przed prądami zwarciovymi

Jeżeli prądy zwarciove osiągają wartości większe od I_{kB} , to celowe jest zastosowanie dodatkowego zabezpieczenia, przez zainstalowanie bezpieczników, wyłączających obwód, przy prądach zwarciovych większych niż I_{kB} , z czasem znacznie krótszym niż wyłącznik.

Bezpieczniki i wyłączniki ograniczają energię, jaka przepływa w obwodzie w czasie zwarcia, od momentu jego wyłą-

czenia. Energia ta wyrażona całką $\int_0^{T_k} i_k^2 dt$, wyznaczoną

z uwzględnieniem składowej bezkresowej prądu zwarciovego i_k , powinna być nie większa od energii, jaka może być akumulowana w przewodach, bez przekroczenia temperatury granicznej dopuszczalnej krótkotrwale, równej $k^2 S^2$.



Rys. 6. Charakterystyki czasowo-prądowe przewodów (1) bezpieczników (2) oraz wyłączników przetężeniowych łączników samoczynnych (3), przy których w pewnych zakresach prądów zwarciovych nie są spełnione warunki ochrony: a) z bezpiecznikami, b) z wyłącznikami

Przy bardzo krótkich czasach przepływu prądów zwarciovych, krótszych niż 0,1s, istotny jest udział składowej bezokresowej prądu zwarciovego. W takim przypadku w rozważaniach dotyczących skuteczności działania zabezpieczeń zwarciovych przewodów należy porównać graniczną dopuszczalną wartość energii, jaka może być akumulowana przez przewód, i energii wydzielonej w przewodzie w czasie zwarcia.

Wytrzymałość zwarciova cieplna przewodu jest wystarczająca, jeżeli wartość wyrażenia $k^2 S^2$ przewodu jest większa od wartości $I^2 t$, wyznaczonej z uwzględnieniem składowej bezokresowej prądu zwarciovego.

Na rysunku 7 przedstawiono zależność $\int_0^{T_k} i_k^2 dt$ od prądu

zwarciovego I_k bezpieczników i wyłączników instalacyjnych o charakterystykach czasowo-prądowych typu B i C, o zdolności wyłączalnej 6 kA, o różnych wartościach prądów znamionowych oraz podano wartości $k^2 S^2$ przewodów miedzianych o izolacji z PVC o przekrojach 1,5 mm² i 2,5 mm².

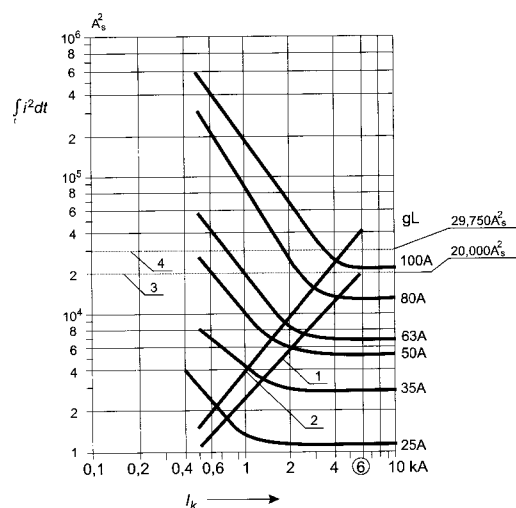
Przykładowo, dla prądu zwarciovego $I_k = 6$ kA, wartość

wyrażenia $\int_0^{T_k} i_k^2 dt$ wyłącznika 16 A jest równa 20 000 A²·s,

zaś $k^2 S^2$ przewodu 2,5 mm² wynosi 29 750 A², co oznacza, że wyłącznik ten chroni skutecznie przewód przed skutkami przepływu prądu zwarciovego.

Zabezpieczenia zwarciove przewodów stanowią również ważny element systemu ochrony przeciwporażeniowej, polegającej na samoczynnym wyłączeniu zasilania w czasie, który nie może przekroczyć 5s w obwodach rozdzielczych oraz dziesiętnych części sekundy w obwodach odbiorczych zasilających odbiorniki przemieszczalne (ręczne, przenośne i ruchome).

Dla spełnienia warunku skutecznego wyłączenia, w niektórych przypadkach konieczne jest zastosowanie urządzeń zabezpieczających o mniejszym prądzie znamionowym lub urządzeń innego typu, np. wyłączników samoczynnych zamiast bezpieczników.



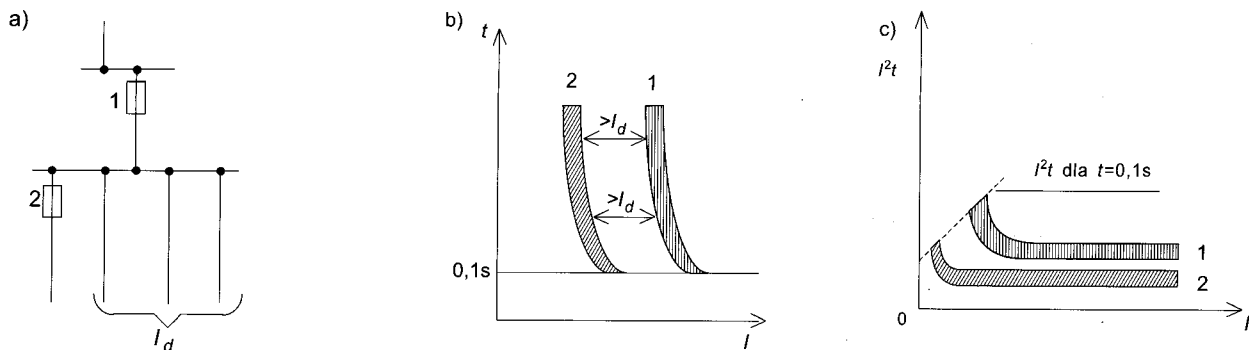
Rys. 7. Zależności całki Joule'a $\int_0^{T_k} i_k^2 dt$ bezpieczników typu gL 25-100

A oraz wyłączników instalacyjnych typu S190 B16A — prosta 1 i C63 A, — prosta 2 od prądu zwarciovego spodziewanego I_k , wartości $k^2 S^2$ przewodów miedzianych 1,5 mm² (prosta 3) oraz 2,5 mm² (prosta 4)

3.6. Selektowność zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych

W instalacjach elektrycznych pracujących z reguły w układach promieniowych kilkustopniowych stosuje się zazwyczaj co najmniej kilka zabezpieczeń przetężeniowych połączonych szeregowo.

W razie zwarcia w końcowej części obwodu prąd zwarciovy o tej samej wartości przepływa przez kilka urządzeń zabezpieczających, które powinny działać w sposób selektywny, tzn. w przypadku zakłóceń wywołujących przetężenie powinno działać tylko jedno zabezpieczenie, zainstalowane najbliżej miejsca uszkodzenia w kierunku źródła zasilania. Zabez-



Rys. 8. Zasady oceny wybiórczości działania bezpieczników na kolejnych stopniach zabezpieczeń: a) wzajemne usytuowanie bezpieczników, b) sprawdzenie wybiórczości przeciążeniowej, c) sprawdzenie wybiórczości zwarciowej

pieczenia przetężeniowe działają selektywnie (wybiórczo), jeżeli ich pasmowe charakterystyki czasowo-prądowe nie przecinają się, ani nie mają wspólnych obszarów działania.

Badanie wybiórczości przy przetężeniach wymaga posługiwania się charakterystykami czasowo-prądowymi $t=f(I)$ urządzeń zabezpieczających w zakresie przeciążeniowym (umownie przy $t > 0,1$ s) i charakterystykami całek Joule'a $I^2t=f(I)$ w zakresie zwarciowym (przy $t < 0,1$ s). Ogólnie znane charakterystyki $t=f(I)$ są mylące w zakresie dużych prądów zwarciowych, bo operują wtedy umownymi, a nie rzeczywistymi wartościami, zarówno prądu, jak i czasu, a ponadto są bezużyteczne w ocenie wybiórczości, jeśli co najmniej jedno z urządzeń wyłączających zwarcie działa ograniczająco. Z kolei charakterystyki $I^2t=f(I)$ są użyteczne tylko w najkrótszych czasach, kiedy nagrzewanie ma charakter adiabaticzny.

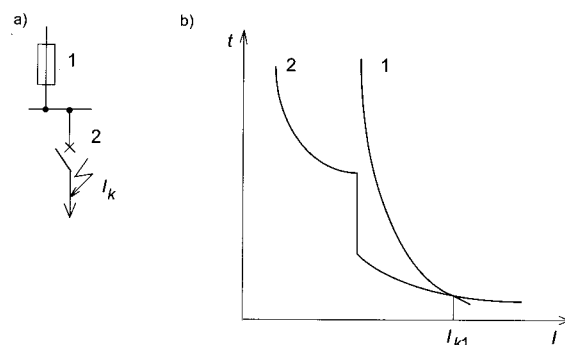
Zasadę realizowania selektywności zabezpieczeń przetężeniowych przedstawiono na rysunkach 8–12 dla różnych rodzajów tych zabezpieczeń, połączonych szeregowo.

W układzie bezpiecznik-bezpiecznik (rys. 8) stosowanie bezpieczników o prądach znamionowych różniących się o jeden stopień często nie zapewnia selektywności działania, zwłaszcza w przypadku występowania prądów zwarciowych o dużych wartościach.

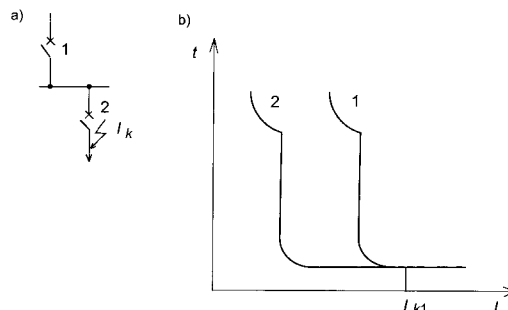
W przypadku bezpieczników selektywność jest zapewniona, jeśli iloraz prądów znamionowych kolejno po sobie występujących bezpieczników tego samego typu wynosi co najmniej 1,6.

W układzie bezpiecznik-wyłącznik (rys. 9) selektywność działania obydwu zabezpieczeń jest zapewniona, jeśli spodziewany prąd zwarciowy nie przekracza wartości I_{k1} , odpowiadającej przecięciu obu charakterystyk czasowo-prądowych. W układzie wyłącznik-wyłącznik (rys. 10, 11 i 12) dla zapewnienia selektywności powinien być zachowany margines czasowy między charakterystykami czasowo-prądowymi kolejnych zabezpieczeń, wynoszący co najmniej 100 ms.

W obwodach, w których są zainstalowane dwa wyłączniki lub więcej, warunkiem selektywności działania tych aparatów w przypadkach zwarć jest więc, aby wszystkie wyłączniki, poza ostatnim w obwodzie, były wyposażone w wyzwacze elektromagnetyczne dwuczłonowe (bezzwłoczne i zwłoczne) lub tylko zwłoczne, o krótkiej nastawialnej zwłoce czaso-



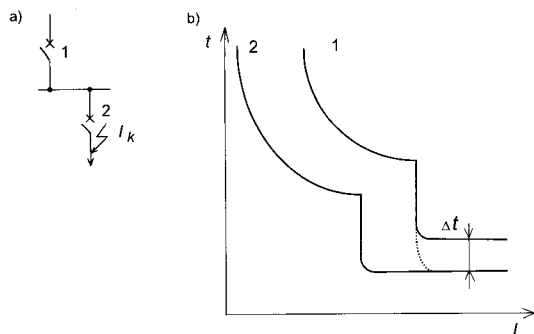
Rys. 9. Selektowność pomiędzy wyłącznikiem i bezpiecznikiem przy spodziewanym prądzie zwarciowym I_k : a) układ połączeń b) charakterystyka czasowo-prądowa. Selektowność zapewniona dla $I_k < I_{k1}$



Rys. 10. Selektowność działania w układzie dwóch wyłączników: a) układ połączeń, b) charakterystyka czasowo-prądowa 1 — charakterystyka czasowo-prądowa wyłącznika o większym prądzie znamionowym I_{n1} , 2 — charakterystyka czasowo-prądowa wyłącznika o mniejszym prądzie znamionowym I_{n2} . Selektowność zapewniona dla $I < I_{k1}$

wej. Możliwość uzyskania selektywności działania zapewniają również wyłączniki selektywne, na przykład wyłącznik S90 produkcji AEG, charakteryzujący się silnym ograniczeniem prądowym.

Producenci urządzeń zabezpieczających w materiałach firmowych i katalogowych podają charakterystyki niezbędne dla oceny selektywności przeciążeniowej i zwarciowej w instalacjach elektrycznych. Większość z nich podaje również praktyczne wskazówki umożliwiające dobór urzą-



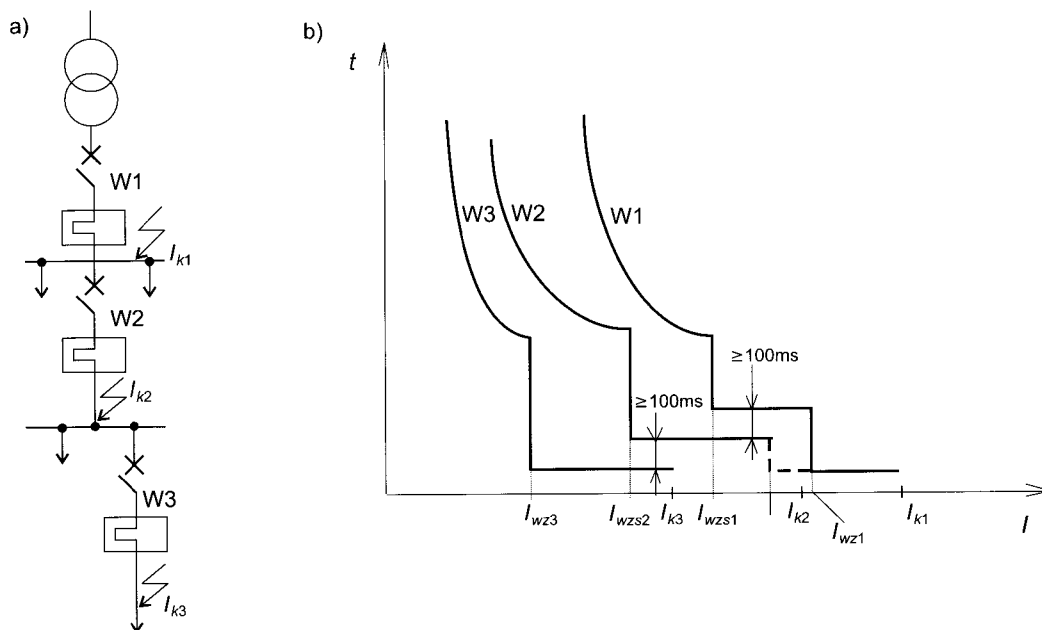
Rys. 11. Selektyność działania wyłączników o różnych prądach znamionowych, z których jeden (1) ma wyzwalacz ze zwłoką czasową:
a) układ połączeń, b) charakterystyka czasowo-prądowa, Δt — czas opóźnienia działania wyzwalacza zwarciegogo

dzeń zabezpieczających. Przykładowe zasady doboru bezpieczników topikowych do wyłączników S300 wg katalogu firmy FAEL LEGRAND podano w tabelach 5 i 6. W tabelach tych określono największą wartość spodziewanego prądu zwarcia, przy której gwarantowana jest wybiórczość działania wyłącznika nadprądowego o charakterystyce B (tab. 5) i C (tab. 6) z poprzedzającym je bezpiecznikiem o charakterystyce gG.

Warunkiem prawidłowego doboru rodzaju i parametrów zabezpieczeń przetężeniowych, w sposób zapewniający ich selektywne działanie, jest znajomość wartości prądów, jakie mogą przepływać przez te urządzenia w warunkach pracy normalnej oraz w razie zwarc. W przypadku prostych układów sieci promieniowych zasilanych z jednego źródła jest to stosunkowo łatwe, natomiast może się okazać trudne do dokładnego określenia w układach bardziej rozbudowanych, zwłaszcza z silnikami większej mocy, będącymi źródłem prądu zwarciegogo, oraz zasilaniem instalacji z różnych źródeł, np. przemiennie z jednego lub z dwóch transformatorów.

4. PODSUMOWANIE

- 4.1. Właściwy dobór i montaż przewodów stanowią istotny czynnik zapewnienia niezawodności oraz bezpieczeństwa pracy instalacji elektrycznych.
- 4.2. Dobierając przekrój przewodów w instalacjach elektrycznych, należy uwzględnić różne kryteria, przy czym najczęściej decydujące znaczenie odgrywa kryterium obciążalności prądowej długotrwałej oraz kryterium dopuszczalnego spadku napięcia.
- 4.3. Istotne znaczenie w zakresie zapewnienia właściwych warunków pracy instalacji elektrycznych odgrywa prawidłowy dobór urządzeń zabezpieczających.
- 4.4. Poprawny dobór zabezpieczeń przed skutkami przetężeń (przeciążeń i zwarc) wymaga szczegółowego rozeznania warunków pracy zabezpieczanych obwodów instalacji oraz znajomości parametrów i charakterystyk opisujących zachowanie się urządzeń zabezpieczających w różnych stanach pracy.
- 4.5. Zabezpieczenia zwarciegowe przewodów stanowią ważny element systemu ochrony przeciwporażeniowej, polegającej na samoczynnym wyłączeniu zasilania.
- 4.6. Dla poprawnego rozwiązania wybiórczości zabezpieczeń nadprądowych poza charakterystykami $t = f(I)$ są potrzebne charakterystyki $I^2t = f(I)$ bądź wskazówki postępowania na nich oparte.
- 4.7. Powiększenie poziomu spodziewanego prądu zwarciegogo wpływa niekorzystnie na wybiórczość zabezpieczeń, zwłaszcza w układach z wyłącznikami. W bardziej złożo-



Rys. 12. Selektyność w układzie sieci promieniowej wielostopniowej z wyłącznikami: a) układ połączeń, b) pożądaný przebieg charakterystyk czasowo-prądowych wyłączników, spełniający wymagania odnośnie selektyności. I_k — prądy zwarciegowe, I_{wz} — prądy działania wyzwalaczy zwarciegowych bezzwłoczych, I_{wzs} — prądy działania wyzwalaczy z krótką zwłoką czasową

Tabela 5. Największa wartość spodziewanego prądu zwarcia I_k w kA, przy której zapewniona jest selektywność działania wyłącznika S 300 B z poprzedzającym bezpiecznikiem gG.

Prąd znamionowy wyłącznika (A) wyłączającego zwarcie	Największy spodziewany prąd zwarcia w kA przy bezpieczniku o prądzie znamionowym								
	20A	25A	35A	50A	63A	80A	100A	125A	160A
6	0,43	0,75	1,6	3	4,5	6	6	6	6
8	0,44	0,65	1,4	2,7	3,9	6	6	6	6
10	0,44	0,65	1,4	2,5	3,9	6	6	6	6
13	0,4	0,6	1,15	2,5	3,4	6	6	6	6
16	0,4	0,6	1,15	2	3	6	6	6	6
20		0,55	1,15	1,8	2,7	6	6	6	6
25			1,15	1,8	2,5	4,1	6	6	6
32				1,6	2	3,6	6	6	6
40				1,6	2	3	4,6	6	6
50					1,8	2,5	4	6	6
63							2,5	5,5	5,5

Tabela 6. Największa wartość spodziewanego prądu zwarcia I_k w kA, przy której zapewniona jest selektywność działania wyłącznika S 300 C z poprzedzającym bezpiecznikiem gG.

Prąd znamionowy wyłącznika (A) wyłączającego zwarcie	Największy spodziewany prąd zwarcia w kA przy bezpieczniku o prądzie znamionowym											
	6A	10A	16A	20A	25A	35A	50A	63A	80A	100A	125A	160A
0,3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0,5			6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1				1,4	5,2	6	6	6	6	6	6	6
2				0,65	0,9	1,8	6	6	6	6	6	6
3				0,55	0,8	1,8	3	6	6	6	6	6
4				0,52	0,65	1,8	3	5,2	6	6	6	6
6				0,48	0,6	1,4	3	3,9	6	6	6	6
8				0,44	0,6	1,15	1,8	3,7	6	6	6	6
10				0,44	0,6	1,15	1,8	3,4	6	6	6	6
13				0,38	5,5	0,9	1,8	2,7	6	6	6	6
16				0,38	5,5	0,9	1,8	2,7	6	6	6	6
20					5,2	0,9	1,8	2,7	3,8	6	6	6
25						0,9	1,6	2,5	3,8	6	6	6
32							1,4	1,8	3,4	4,6	6	6
40							1,4	1,8	3	4	6	6
50								1,4	1,6	2	6	6
63											5,5	5,5

nich układach należy w niektórych przypadkach ograniczyć wymagania do tzw. wybiórczości częściowej przy najbardziej prawdopodobnych zakłóceniach.

LITERATURA

- Lejdy B.: Urządzenia przetężeniowe i różnicowoprądowe w instalacjach elektrycznych. Seminarium SEP, Białystok 1998.
- Majda K.: Selektywność zabezpieczeń nadprądowych urządzeń i instalacji elektrycznych. Konf. „Inżynieria elektryczna w budownictwie”, SEP Kraków 1997, 30–35.
- Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. Wydanie 2. WNT, Warszawa 2000.
- Markiewicz H.: Selektywność działania zabezpieczeń przetężeniowych w instalacjach elektrycznych. Elektroinst. 1996, 3, 6–10.
- Markiewicz H.: Zabezpieczenia przetężeniowe przewodów i urządzeń elektroenergetycznych. Elektroinst. 1996, 2, 4–8.
- Markiewicz H.: Zasady doboru i zabezpieczeń przewodów i kabli w sieciach i instalacjach elektroenergetycznych. 224 Narada Gł. Specj. BSİPPUE „ELEKTROPROJEKT”, Warszawa 1999.
- Markiewicz H., Klajn A.: Podstawowe kryteria wymiarowania instalacji elektrycznych w budynkach mieszkalnych. Elektroinst. 2000, 7-8, 8–20.
- Musiak E.: Wybiórczość działania zabezpieczeń nadprądowych w instalacjach niskiego napięcia. Elektroinst. 2000, 4, 36–43.
- Musiak E.: Zabezpieczenia nadprądowe w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia. Elektroinst. 2000, 3, 4–10.
- Niewiedział R.: Dobór zabezpieczeń przewodów w instalacjach elektroenergetycznych. Biul. Techn. Oddz. Krak. SEP, nr 5, Kraków 1997, 8–16.
- PN-90/E-93002 Wyłączniki nadprądowe do instalacji domowych i podobnych.
- PN-91/E-06160/10 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Ogólne wymagania i badania.
- PN-IEC 60364-4-43: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed prądem przetężeniowym.

14. PN-IEC 60364-4-473. *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Środki ochrony przed prądem przetężeniowym.*
15. PN-IEC 60364-5-523: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalności prądowe długotrwałe przewodów.*
16. *Przepisy budowy urządzeń elektroenergetycznych.* Wyd. IV. Instytut Energetyki, Warszawa 1997.
17. Rosak T., Strzałka J., Wolski A.: *Instalacje elektryczne.* Rozdział 9. Poradnika inżyniera elektryka tom 3, WNT, Warszawa 1997.
18. Rozporządzenie ministra gospodarki przestrzennej i budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. Ustaw nr 10, 1995r, poz. 46 z późniejszymi zmianami.
19. Strzałka J.: *Selektywność zabezpieczeń przetężeniowych w instalacjach elektrycznych.* Biul. Techn. O/Kr SEP nr 13, Kraków 2001.
20. Strzałka J.: *Zasady doboru przekroju i zabezpieczeń przetężeniowych przewodów w instalacjach elektrycznych.* Biul. Techn. O/Kr.SEP nr 12, Kraków, 2000, 3–19.
21. Strzałka J.: *Zasady doboru przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych.* Seminarium SEP, Kraków 2000.
22. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. — „Prawo budowlane”. Dz. Ustaw nr 89, 1994 r. poz. 414 z późniejszymi zmianami.
23. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. — „Prawo energetyczne”. Dz. Ustaw nr 54, 1997 r., poz. 348 z późniejszymi zmianami.
24. Wiaderek B.: *Dobór urządzeń zabezpieczających w instalacjach elektrycznych.* Elektroinst. 1998, 9, 46–54.
25. Wiaderek B.: *Wytyczne ochrony przewodów elektrycznych przed prądem przeciążeniowym i zwarciovym w instalacjach elektrycznych do 1000 V.* COBRIiUE „Elektromontaż”, Warszawa 1998.
26. Wolski A.: *Nowe uregulowania doboru przewodów w instalacjach elektrycznych.* 4. Łódzka Krajowa Konf. Przeciwporażeniowa, Łódź 2000, 45–51.
27. Zarządzenie ministra górnictwa i energetyki z dnia 17 lipca 1974 r. w sprawie doboru przewodów i kabli elektroenergetycznych do obciążeń prądem elektrycznym. Dz. Bud. nr 7, poz. 22, 1974.



Dr inż. Jan Strzałka

Urodzony w 1942 r. Studia ukończył na Wydziale Elektrotechniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1967 r. W 1975 r. uzyskał tytuł doktora nauk technicznych. Od 1967 r. pracuje w Akademii Górniczo-Hutniczej, aktualnie w Zakładzie Elektroenergetyki na stanowisku adiunkta. Autor lub współautor ok. 80 publikacji naukowych wydanych drukiem (w tym 4 skryptów uczelnianych) oraz ponad 70 opracowań i ekspertyz z zakresu elektroenergetyki.