

Wyłączniki selektywne termiczno-elektromagnetyczne

mgr inż. Julian Wiatr - Elektro.info
Marcin Orzechowski

1. Wstęp

Wyłączniki nadprądowe termiczno-elektromagnetyczne zostały zaprojektowane, jako urządzenia służące do zabezpieczania obwodów końcowych w instalacjach elektrycznych i zastępujące bezpieczniki topikowe. Konieczne było stworzenie aparatu, który byłby w stanie przetrwać wielokrotnie awarie występujące w instalacji (przeciążenia i zwarcia), bez konieczności wymiany wkładki topikowej lub samodzielnej naprawy (tzw. wotowania).

Wyłącznik nadprądowy ma szereg zalet w porównaniu do bezpiecznika topikowego:

- wielokrotność operacji łączeniowych;
- posiada kompaktową budowę;
- charakterystyka członu przeciążeniowego umożliwia lepsze dopasowanie do charakterystyki termicznej przewodów;
- duża liczba akcesoriów umożliwiających realizację różnych funkcji zabezpieczeniowych, sygnalizacyjnych, blokad oraz zdalnego sterowania.

Wady wyłączników:

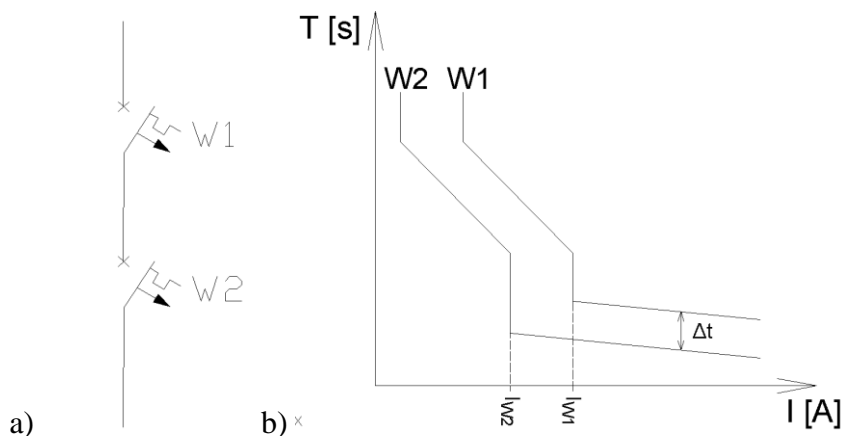
- **ze względu na bardzo szybkie wyłączanie prądów zwarciovych (w czasie do 10 ms), praktycznie brak możliwości zapewnienia selektywności pomiędzy dwoma kaskadowo połączonymi wyłącznikami nadprądowymi np. zabezpieczenie zalicznikowe i obwodowe [5];**
- **ograniczona selektywność pomiędzy kaskadowo połączonym bezpiecznikiem topikowym a wyłącznikiem nadprądowym (tylko do pewnej wartości prądu zwarciovego [5]);**
- niższa odporność zwarciovą w porównaniu z bezpiecznikiem topikowym.

Rozwiązaniem problemów związanych z selektywnością może być wyłącznik nadprądowy termiczno-elektromagnesowy selektywny.

Wybiórczość działania pomiędzy połączonymi w kaskadzie dwoma wyłącznikami można uzyskać poprzez:

- selektywność czasową;
- selektywność dynamiczną;
- selektywność logiczną.

W przypadku wyłącznika selektywnego zastosowano selektywność czasową, a więc „przesunięcie” czasów zadziałania wyzwalaczy bezzwłocznych (**rys.1**).



Rys.1 Zasada selektywności czasowej kaskadowo połączonych wyłączników nadprądowych a) schemat, b) charakterystyka czasowo-prądowa $t=f(I)$; gdzie: Δt – czas opóźnienia działania wyzwalacza zwarciovego ($\Delta t \geq 100$ ms);

W celu zapewnienia selektywności pomiędzy dwoma wyłącznikami należy spełnić następujące warunki:

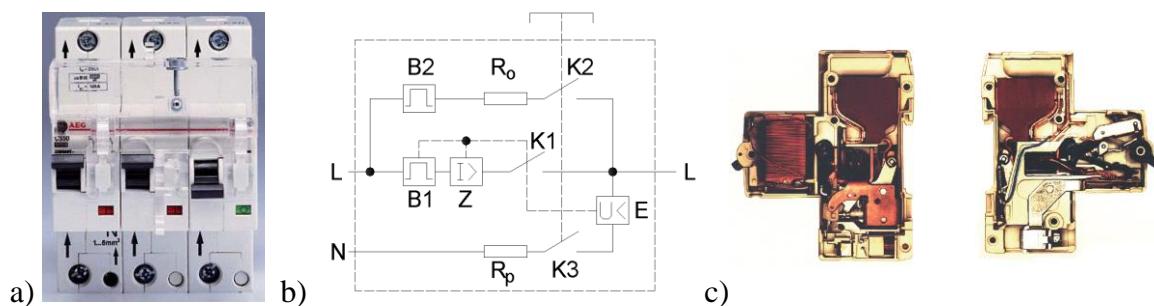
- wyłącznik (W1) powinien mieć ustawioną charakterystykę czasowo-prądową wyzwalacza elektromagnesowego tak, aby była ona przesunięta w dziedzinie czasu w stosunku do charakterystyki wyzwalacza zwarciovego wyłącznika (W2) o min. 100 ms (zgodnie z wytycznymi producentów zabezpieczeń) – **rysunek 1b**.
- wyłącznik (W1) powinien wytrzymać prąd zwarciový i jego skutki przez cały czas trwania zwłoki czasowej.

Wyłączniki selektywne mają charakterystykę prądowo-czasową wyregulowaną na etapie produkcji bez możliwości jej zmiany przez użytkownika.

2. Budowa i zasada działania

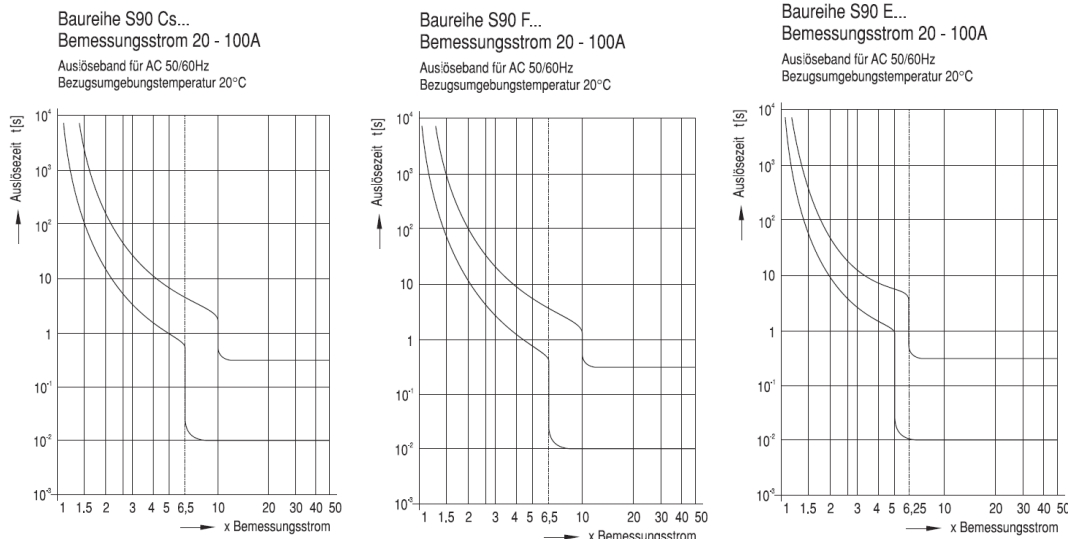
Wyłącznik nadprądowy termiczno-elektromagnesowy selektywny składa się z (**rys.2b**):

- toru prądowego głównego TPG (wyzwalacz przeciążeniowy bimetalowy B1; wyzwalacz elektromagnesowy Z; zestyk toru głównego K1),
- toru prądowego pomocniczego TPP (wyzwalacz przeciążeniowy bimetalowy - zwłoczny B2; rezystancja R_o ; zestyk toru pomocniczego K2),
- toru napięciowego tzw. Pomiarowego TP (rezystora R_p ; zestyku toru napięciowego K3; przekaźnika podnapięciowego E).



Rys.2 Budowa wyłącznika selektywnego a) widok płyty czołowej; b) schemat wewnętrzny, c) przekrój wzdłużny [8]

Zgodnie z normą PN-EN 60898-1:2007 [3] wyłączniki selektywne budowane są na następujące charakterystyki czasowo-prądowe: Cs, F oraz E (**rys.3**).



Rys.3 Charakterystyki prądowo-czasowe wyłączników selektywnych: a) charakterystyka typu Cs; b) charakterystyka typu F; c) charakterystyka typu E [8]

Na rynku najczęściej spotykane są wyłączniki selektywne o charakterystyce E. Nowsze konstrukcje wyłączników selektywnych nie wymagają przyłączenia przewodu neutralnego, pomimo tego opisana poniżej zasada działania dotyczy również ich.

Zasada działania:

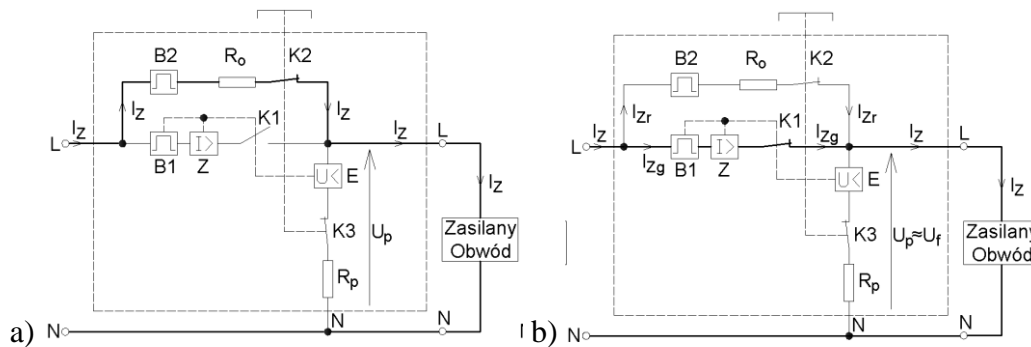
1. Pierwsze załączenie wyłącznika

Przestawienie dźwigni na froncie wyłącznika w pozycję ON powoduje załączenie zestyków K2 i K3. Chroniona instalacja jest zasilana przez załączony tor prądowy pomocniczy (TPP). Obwód ten charakteryzuje się znaczną impedancją, jego zabezpieczenie stanowi wyzwalacz przeciążeniowy bimetalowy B2 (**rys.4a**). W tym czasie przekaźnik podnapięciowy E dokonuje pomiaru napięcia na wyjściu wyłącznika. Jeśli napięcie to jest bliskie napięciu nominalnemu, wówczas przekaźnik E zamyka zestyk K1 toru prądowego głównego (TPG). TPG charakteryzuje się niewielką impedancją oraz posiada zabezpieczenie w postaci wyzwalacza przeciążeniowego bimetalowego B1 oraz wyzwalacza elektromagnesowego Z.

Komentarz:

Dzięki zastosowaniu przekaźnika podnapięciowego E w torze TP nie jest możliwe załączenie wyłącznika na zwarcie.

Wówczas instalacja zasilana jest w sposób prawidłowy. Zamknięte są zestyki K1, K2 i K3. Prąd płynący do zasilanej instalacji płynie poprzez TPG, a tylko w niewielkiej części przez TPP, napięcie w chronionej instalacji jest cały czas badane przez TP (**rys.4b**).



Rys.4 Rozpływ prądu w wyłączniku selektywnym, w przypadku załączenia ze sprawnym układem odbiorczym .

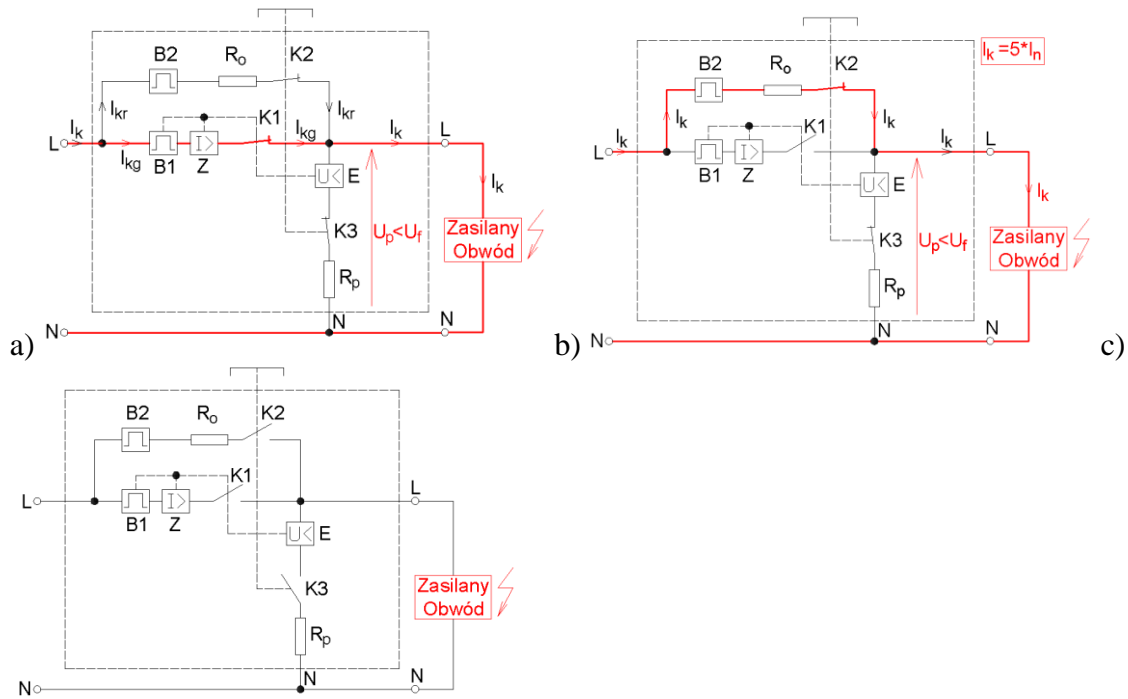
2. Zwarcie bezpośrednio za wyłącznikiem selektywnym

W momencie wystąpienia zwarcia za wyłącznikiem selektywnym (**rys.5a**), do uszkodzonego obwodu płynie prąd I_k . Po przekroczeniu górnej granicy zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego Z (w zależności od charakterystyki $t=f(I)$ - **rys.3**), następuje rozłączenie zestyku K1, wówczas prąd I_k płynie przez tor pomocniczy (TPP) – **rysunek 5b**.

Uwaga!

Przełącznik podnapięciowy E blokuje załączenie zestyku K1, gdy napięcie U_p nie będzie bliskie nominalnemu.

Ponieważ TPP charakteryzuje się znaczną impedancją (R_o), powoduje silne ograniczenie prądu zwarciovego. Wartość rezystancji R_o jest tak dobrana, że prąd płynący przez ten tor zostaje ograniczony do maksymalnie pięciokrotnej wartości prądu znamionowego wyłącznika ($5 \cdot I_n$). Jeśli zwarcie nie zostanie przerwane przez zabezpieczenie zainstalowane za wyłącznikiem, prąd zwarciovego spowoduje zadziałanie wyzwalacza przeciążeniowego bimetalowego B2 i rozłączy zestyki K2 i K3, co jest sygnalizowane opadnięciem dźwigni załączającej do położenia OFF.



Rys.5 Rozpływ prądu w wyłączniku selektywnym w przypadku zwarcia bezpośrednio za nim.

Uwaga!

Na podstawie charakterystyki czasowo-prądowej czas wyłączenia prądu zwarciovego (wyzwalacz bezzwłoczny) zawiera się w przedziale od 0,2 do 0,5 s. Należy to uwzględnić przy wyznaczaniu minimalnego przekroju przewodu ze względu na obciążalność zwarciovą oraz przy ocenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.

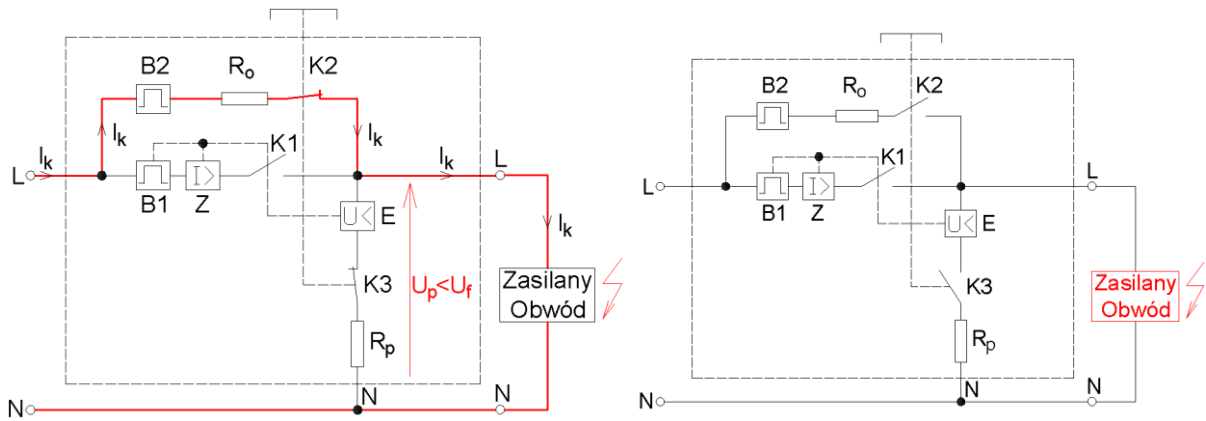
3. Ponowne załączenie na istniejące zwarcie

Przestawienie dźwigni wyłącznika w pozycje ON powoduje załączenie zestyków K2 i K3. Przez załączony tor prądowy pomocniczy (TPP) płynie prąd I_k zasilający miejsce zwarcia. Prąd I_k zostaje ograniczony do maksymalnej pięciokrotnej wartości prądu znamionowego ($5 \cdot I_n$). Napięcie w uszkodzonej instalacji jest mniejsze od nominalnego, a zatem wyzwalacz E blokuje załączenie TPG (K1). Wówczas prąd płynie tylko przez tor pomocniczy aż do momentu zadziałania zabezpieczenia termicznego B2, w efekcie nastąpi rozłączenie zestyków K2 oraz K3 i przerwanie zasilania uszkodzonego obwodu, sygnalizowane opadnięciem dźwigni załączającej do położenia OFF.

Komentarz:

Zabezpieczenie B2 stanowi wyzwalacz przeciążeniowy bimetalowy – zwłoczny.

Dzięki takiej konstrukcji użytkownik nie może załączyć wyłącznika na zwarcie.

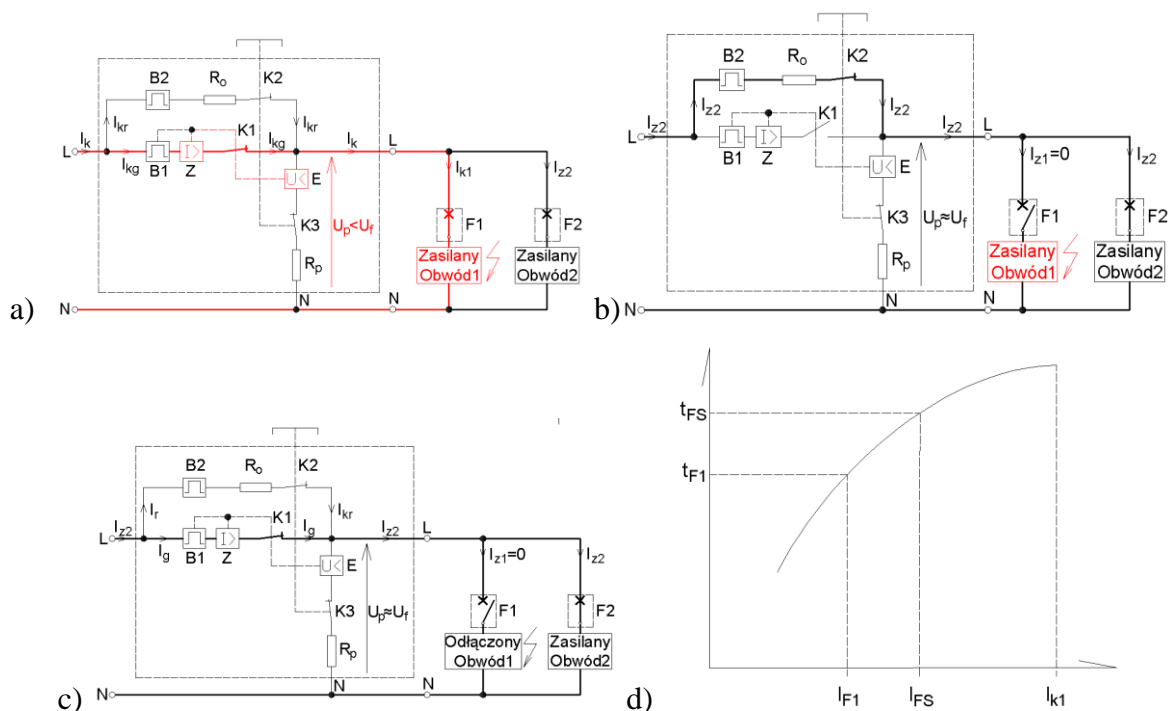


Rys.6 Rozpliw prądu w wyłączniku selektywnym w przypadku załączenia na zwarcie.

4. Zwarcie za wyłącznikiem nadprądowym instalacyjnym

Na **rysunku 7a** został przedstawiony schemat działania wyłącznika selektywnego, w przypadku, gdy zwarcie nastąpi za wyłącznikiem nadprądowym instalacyjnym F1. W momencie wystąpienia zwarcia, za wyłącznikiem F1 prąd zwarcia zaczyna wzrastać tak, jak na **rysunku 7d**. W chwili przekroczenia górnej granicy zadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego wyłącznika nadprądowego F1 (**tab.1**), następuje otwarcie jego styków głównych, zapala się łuk pomiędzy jego biegunami, prąd zwarcia nadal wzrasta i przekracza górną granicę zadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego Z (wyłącznika selektywnego). Następuje rozłączenie zestyku K1 w wyłączniku selektywnym. Prąd zwarcia I_k zostaje ograniczony przez tor TPP do $5 \cdot I_n$ wyłącznika selektywnego, do chwili wyłączenia zwarcia przez wyłącznik F1. W tym czasie instalacja odbiorcza zasilana jest przez tor pomocniczy (TPP) – **rysunek 7b**.

Z chwilą wyłączenia zwarcia przez zabezpieczenie F1, napięcie w zabezpieczanym obwodzie wraca do wartości nominalnej. Przekątnik podnapięciowy E załącza zestyk K1, instalacja odbiorcza jest zasilana z toru prądowego głównego (TPG) wyłącznika selektywnego (**rys.7c**).



- 2) przepływ prądu zwarcowego nie zostaje przerwany aż do pełnego otwarcia wyłącznika F1:
- wartość prądu zwarcowego do momentu wyłączenia zwarcia przez wyłącznik F1 nie przekroczy dolnej granicy zadziałania przekaźnika elektromagnesowego wyłącznika FS. Wyłącznik selektywny nie zareaguje na zwarcie w obwodzie 1, lub też;
 - na skutek podtrzymania przepływu prądu zwarcowego, przez łuk powstający pomiędzy stykami wyłącznika nadprądowego F1, wartość prądu zwarcowego przekracza dolną granicę zadziałania przekaźnika elektromagnesowego wyłącznika selektywnego (**rys.8b**). Styki K1 toru głównego (TPG) rozwierają się, prąd do uszkodzonego obwodu przepływnie torem pomocniczym (TPP) aż do momentu skutecznego przerwania przepływu prądu zwarcowego przez wyłącznik nadprądowy F1.

Jeżeli odłączenie obwodu uszkodzonego (zadziałanie zabezpieczenia obwodowego) nie nastąpi przed przekroczeniem dolnej granicy zadziałania członu TPG wyłącznika selektywnego, to do oceny skutecznego zadziałania zabezpieczenia uszkodzonego obwodu należy przyjąć wartość prądu zwarcowego równego $I_k \leq 5 * I_n$ (I_n – prąd znamionowy wyłącznika selektywnego).

Budowę wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego możemy podzielić na dwie części:

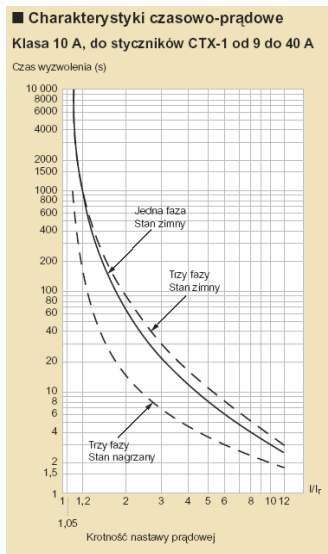
- tor prądowy główny (TPG) – jest konstrukcyjnie zbliżony do klasycznego wyłącznika nadprądowego o określonej charakterystyce zwarcowej i przeciążeniowej. Porównując charakterystyki czasowo-prądowe aparatów typu Cs i F, widać analogię z charakterystyką wyłącznika nadprądowego typu C – wartości prądów dla wyzwalacza przeciążeniowego oraz wyzwalacza zwarcowego (bezwłocznego) są zbliżone (**tab.2**);

Tab.2 Wartości zadziałania wybranych wyłączników [7], [9]

Charakterystyka	Wyzwalacz przeciążeniowy termobimetaliczny			Wyzwalacz zwarcowy elektromagnesowy		
	Prąd I_1	Prąd I_2	Czas zadziałania	Prąd I_4	Prąd I_5	Czas zadziałania
B	$1,13xI_n$		$\geq 1 \text{ h}$	$3xI_n$		$\geq 0,1 \text{ s}$
		$1,45xI_n$	$< 1 \text{ h}$		$5xI_n$	$< 0,1 \text{ s}$
C	$1,13xI_n$		$\geq 1 \text{ h}$	$5xI_n$		$\geq 0,1 \text{ s}$
		$1,45xI_n$	$< 1 \text{ h}$		$10xI_n$	$< 0,1 \text{ s}$
D	$1,13xI_n$		$\geq 1 \text{ h}$	$10xI_n$		$\geq 0,1 \text{ s}$
		$1,45xI_n$	$< 1 \text{ h}$		$20xI_n$	$< 0,1 \text{ s}$
E	$1,05xI_n$		$\geq 1 \text{ h}$	$5xI_n$		$\geq 0,1 \text{ s}^{*)}$
		$1,2xI_n$	$< 1 \text{ h}$		$6,25xI_n$	$< 0,1 \text{ s}^{*)}$
F	$1,05xI_n$		$\geq 1 \text{ h}$	$6,5xI_n$		$\geq 0,1 \text{ s}^{*)}$
		$1,3xI_n$	$< 1 \text{ h}$		$10xI_n$	$< 0,1 \text{ s}^{*)}$
Cs	$1,13xI_n$		$\geq 1 \text{ h}$	$6,5xI_n$		$\geq 0,1 \text{ s}^{*)}$
		$1,45xI_n$	$< 1 \text{ h}$		$10xI_n$	$< 0,1 \text{ s}^{*)}$

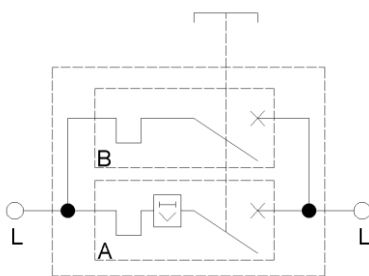
^{*)} Podane czasy dotyczą tylko toru prądowego głównego (TPG) wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego. Po jego zadziałaniu układ przechodzi na zasilanie przez tor prądowy pomocniczy (TPP) co wydłuża rzeczywisty czas przepływu prądu zwarcia.

- 2) tor prądowy pomocniczy (TPP) – jest to przekaźnik termobimetalowy, którego przykładową charakterystykę przedstawia **rysunek 9**. Przekaźnik termobimetalowy poprzez swoją konstrukcję jednocześnie powoduje ograniczenie prądu do wartości $5xI_n$ (maksymalnie pięciokrotnej wartości prądu znamionowego aparatu).



Rys.9 Przykładowa charakterystyka przekaźnika termobimetalowego – stosowany do zabezpieczenia silników [7]

Zatem wyłącznik termiczno-elektromagnesowy selektywny, to połączenie równoległe wyłącznika nadprądowego i przekaźnika termobimetalowego (**rys.10**).



Rys.10 Schemat zastępczy wyłącznika selektywnego: A – wyłącznik nadprądowy, B – przekaźnik termobimetalowy

A zatem do oceny wybiórczości kaskadowo połączonego wyłącznika selektywnego i wyłącznika nadprądowego, należy stosować się do podobnych zasad, jak przy klasycznym (wyłącznik nadprądowy z wyłącznikiem nadprądowym) – zostały opisane w [5].

W celu zapewnienia wybiórczości działania przy kaskadowym połączeniu wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego z wyłącznikiem nadprądowym

(spodziewany prąd zwarciový o wartości nie większej od odporności zwarciový aparatów), należy spełnić następującą zależność:

$$I_{d \text{ wyl selektywnego}} > I_{g \text{ wyl nadprądprgo}}$$

gdzie:

$I_{d \text{ wyl selektywnego}}$ - dolna wartość prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego wyłącznika selektywnego,

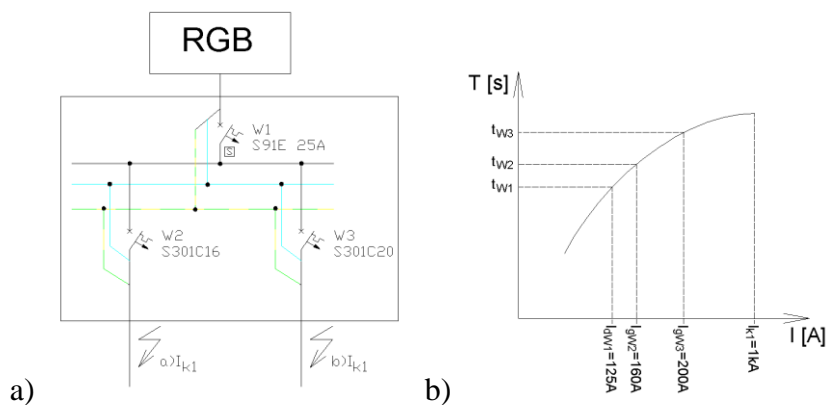
$I_{g \text{ wyl nadprądprgo}}$ - górna wartość prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego wyłącznika nadprądowego.

Przykład 1

Sprawdzić selektywność zadziałania zabezpieczeń w układzie przestawionym na **rysunku 11**, dla dwóch przypadków:

- zwarcie bezpośrednio za W2 - wyłącznik nadprądowy S 301 C16;
- zwarcie bezpośrednio za W3 - wyłącznik nadprądowy S 301 C20.

Spodziewany prąd zwarciový o wartości $I_{k1}=1 \text{ kA}$.



Rys.11 Schemat układu zasilania do przykładu 1: a) schemat ideowy, b) wykres $t=f(I)$

Dane:

- W1 – wyłącznik selektywny S91E25 A o prądzie znamionowym 25 A, charakterystyka E, górna wartość krotności prądu wyzwalania wyzwalacza elektromagnesowego $k_g = 6,25$, dolna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego $k_d = 5$, wartość prądu ograniczonego:

$$I_{ogW1} = 5 * I_n ;$$

- W2 – wyłącznik nadprądowy S 301 C16 o prądzie znamionowym 16 A, charakterystyka C, górna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego $k_g = 10$, dolna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego $k_d = 5$;
- W3 – wyłącznik nadprądowy S 301 C20 o prądzie znamionowym 20 A, charakterystyka C, górna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego $k_g = 10$, dolna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego $k_d = 5$.

Obliczenia:

Najmniejsza wartość prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego wyłącznika selektywnego S91E25:

- dolny: $I_{dW1} = k_d * I_{nW1} = 5 * 25 = 125A$;
- wartość prądu ograniczonego: $I_{ogW1} = 5 * 25 = 125A$.

Prąd zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego wyłącznika S 301 C16:

- górny: $I_{gW2} = k_g * I_{nW2} = 10 * 16 = 160A$
- dolny $I_{dW2} = k_d * I_{nW2} = 5 * 16 = 80A$

Prąd zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego wyłącznika S 301 C20:

- górny: $I_{gW3} = k_g * I_{nW3} = 10 * 20 = 200A$
- dolny: $I_{dW3} = k_d * I_{nW2} = 5 * 20 = 100A$

Zatem porównując prądy zadziałania członów zwarciovych, należy zauważyć, że w przypadku wystąpienia zwarcia za W2 oraz W3 jako pierwszy zadziała tor podstawowy wyłącznika selektywnego (W1) przy prądzie $I_{gW1} = 125A$ (**rys.11b**).

Po rozwarciu styków toru głównego wyłącznika W1, prąd płynący do miejsca zwarcia zostanie ograniczony do wartości: $I_{k1} \leq I_{ogW1} = 5 * 25 = 125A$. Wartość prądu ograniczania jest **niższa** od dolnej granicy zadziałania wyłączników W2 i W3:

- $I_{dW2} = k_d * I_{nW2} = 5 * 16 = 80A < I_{ogW1} = 125A < I_{gW2} = k_g * I_{nW2} = 10 * 16 = 160A$
- $I_{dW3} = k_d * I_{nW3} = 5 * 20 = 100A < I_{ogW1} = 125A < I_{gW3} = k_g * I_{nW3} = 10 * 20 = 200A$

Zgodnie z katalogiem producentów zabezpieczeń, przy takiej wartości prądu **rzeczywisty czas zadziałania** aparatów może wynosić odpowiednio dla:

- wyłącznika selektywnego S91E25 A - $0,04s \leq t_{wyW1}$;
- wyłącznika nadprądowego S 301 C16 A - $0,1s \leq t_{wyW2}$;
- wyłącznika nadprądowego S 301 C20 A - $0,1s \leq t_{wyW3}$.

Komentarz:

Biorąc pod uwagę rozrzut parametrów aparatów, nie można przewidzieć, który z wyłączników zadziała jako pierwszy (wyłącznik selektywny W1 czy też zabezpieczenie obwodowe W2 lub W3). Na podstawie przeprowadzonej analizy należy stwierdzić, że w przypadku źle dobranej charakterystyki wyłącznika selektywnego głównego do charakterystyk wyłączników nadprądowych obwodowych może nie zostać spełniony warunek selektywności..

W tabelach 3, 4 oraz 5 zamieszczono maksymalne wartości spodziewanego prądu zwarcia I_k , który zapewni wybiórczość przy połączeniu kaskadowym wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego o charakterystyce E z wyłącznikiem nadprądowym (charakterystyka B, C i D).

Tab.3 Największa wartość spodziewanego prądu zwarciovego I_k w [kA], przy której zapewniona jest selektywność działania wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego o charakterystyce E z wyłącznikiem nadprądowym o charakterystyce typu B

Prąd znamionowy wyłącznika nadprądowego (A)	Największy spodziewany prąd zwarcia I_k w [kA], przy wyłączniku selektywnym o charakterystyce E, przy której zapewniona jest selektywność										
	10 A	16 A	20 A	25 A	32 A	35 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A
6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
16		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
20			T	T	T	T	T	T	T	T	T
25				T	T	T	T	T	T	T	T
32					T	T	T	T	T	T	T
40							T	T	T	T	T
50								T	T	T	T
63									T	T	T

T – selektywność całkowita do odporności zwarciowej zastosowanych aparatów

Tab.4 Największa wartość spodziewanego prądu zwarciowego I_k w [kA], przy której zapewniona jest selektywność działania wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego o charakterystyce E z wyłącznikiem nadprądowym o charakterystyce typu C

Prąd znamionowy wyłącznika nadprądowego (A)	Największy spodziewany prąd zwarcia I_k w [kA], przy wyłączniku selektywnym o charakterystyce E, przy której zapewniona jest selektywność										
	10 A	16 A	20 A	25 A	32 A	35 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A
6	<0,05	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
10		<0,08	T	T	T	T	T	T	T	T	T
16			<0,10	<0,125	T	T	T	T	T	T	T
20				<0,125	<0,16	<0,175	T	T	T	T	T
25					<0,16	<0,175	<0,20	T	T	T	T
32						<0,175	<0,20	<0,25	<0,315	T	T
40								<0,25	<0,315	T	T
50									<0,315	<0,40	T
63										<0,40	<0,50

T – selektywność całkowita do odporności zwarciowej zastosowanych aparatów

Tab.5 Największa wartość spodziewanego prądu zwarciowego I_k w [kA], przy której zapewniona jest selektywność działania wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego o charakterystyce E z wyłącznikiem nadprądowym o charakterystyce typu D

Prąd znamionowy wyłącznika nadprądowego (A)	Największy spodziewany prąd zwarcia I_k w [kA], przy wyłączniku selektywnym o charakterystyce E, przy której zapewniona jest selektywność										
	10 A	16 A	20 A	25 A	32 A	35 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A
6	<0,05	<0,08	<0,10	T	T	T	T	T	T	T	T
10		<0,08	<0,10	<0,125	<0,16	<0,175	T	T	T	T	T
16			<0,10	<0,125	<0,16	<0,175	<0,20	<0,25	<0,315	T	T
20				<0,125	<0,16	<0,175	<0,20	<0,25	<0,315	T	T
25					<0,16	<0,175	<0,20	<0,25	<0,315	<0,40	T
32						<0,175	<0,20	<0,25	<0,315	<0,40	<0,50
40								<0,25	<0,315	<0,40	<0,50
50									<0,315	<0,40	<0,50
63										<0,40	<0,50

T – selektywność całkowita do odporności zwarciowej zastosowanych aparatów

3.2 Ochrona przeciwporażeniowa przy kaskadowym połączeniu wyłącznika nadprądowego termiczno-elektromagnesowego selektywnego z wyłącznikiem nadprądowym

Aby zapewnić skuteczną ochronę przeciwporażeniową przez samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie, należy spełnić warunek:

$$I_{k1} = \frac{0,8 * U_0}{Z_{k1}} > I_{a/t \leq PN-HD 60364-4-41}$$

gdzie:

I_{k1} – spodziewana wartość prądu zwarcia jednofazowego dla celów ochrony przeciwporażeniowej, w [A]

Z_{k1} – obliczona wartość impedancji pętli zwarciowej obwodu, w [Ω]

U_0 - napięcie pomiędzy przewodem fazowym a uziemionym przewodem PEN lub PE, w [V]

$I_{a/t \leq PN-HD 60364-4-41}$ - prąd samoczynnego wyłączenia, w [A] zapewniający wyłączenie zwarcia w określonym czasie (**tab.6**), odczytany z charakterystyki $t=f(I_k)$ zastosowanego zabezpieczenia zamieszczonej w katalogach producentów aparatury zabezpieczeniowej.

Tab.6 Wartości prądów samoczynnego wyłączenia dla wyłączników instalacyjnych o charakterystyce B; C i D [7]

Charakterystyka	$t_w=0,2; 0,4; 5$ [s]	Czas zadziałania
B	$5xI_n$	< 0,1 s
C	$10xI_n$	< 0,1 s
D	$20xI_n$	< 0,1 s

Komentarz:

Zgodnie z wymaganiami normy **HD 60364-4-41:2009**, dopuszczalny czas samoczynnego wyłączenia zasilania wynosi:

- $t \leq 0,4s$ - dla obwodów odbiorczych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A (normalne warunki środowiskowe);

- $t \leq 5s$ - dla sieci rozdzielczych i wewnętrznych linii zasilających.

W tabeli 7 przedstawiono dopuszczalne czasy wyłączenia zasilania w układzie sieci TN dla normalnych warunków środowiskowych.

Tab.7 Maksymalne czasy wyłączenia zasilania w układzie TN dla normalnych warunków środowiskowych [2]

Układ sieci	50 V < $U_0 \leq$ 120 V		120 V < $U_0 \leq$ 230 V		230 V < $U_0 \leq$ 400 V		$U_0 >$ 400 V	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Wyłączenie może być wymagane z innych przyczyn niż ochrona przeciwporażeniowa	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3		0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

U_0 - nominalne napięcie a.c. lub d.c. przewodu liniowego względem ziemi

Ochrona przeciwporażeniowa w układzie wyłącznik selektywny – wyłącznik nadprądowy (**rys.12**) będzie zachowana gdy zostaną spełnione następujące warunki:

$$1) I_{k1} = \frac{0,8 * U_0}{Z_{k1}} > I_{a/t \leq PN-HD 60364-4-41}$$

$$2) I_{g \text{ wyl selektywnego}} > I_{a/t \leq PN-HD 60364-4-41}$$

gdzie:

$I_{g \text{ wyl selektywnego}}$ - górna wartość prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego wyłącznika selektywnego.

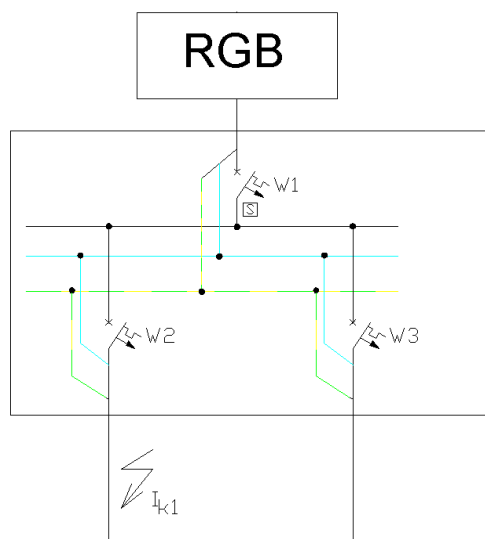
Uwaga!

Jeżeli odłączenie uszkodzonego obwodu (zadziałanie zabezpieczenia obwodowego) nie nastąpi przed przekroczeniem górnej granicy zadziałania członu TPG wyłącznika selektywnego, to do oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej należy skorzystać z następującej zależności:

$$I_{k1} = 5 * I_n > I_{a/t \leq PN-HD 60364-4-41}$$

gdzie:

I_n - prąd znamionowy wyłącznika selektywnego.



Rys.12 Schemat obwodu zwarciovego

Przykład 2

Sprawdzić skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania przy zwarciu w odbiorniku, tak jak na rysunku 13, dla normalnych warunków środowiskowych.

Dane:

- W1 - wyłącznik selektywny S91E25 A o prądzie znamionowym 25 A, charakterystyce E, górna granica krotności prądu wyzwalania wyzwalacza elektromagnesowego $k_g = 6,25$, dolna wartość krotności prądu wyzwalania wyzwalacza elektromagnesowego $k_d = 5$, wartość prądu ograniczonego:

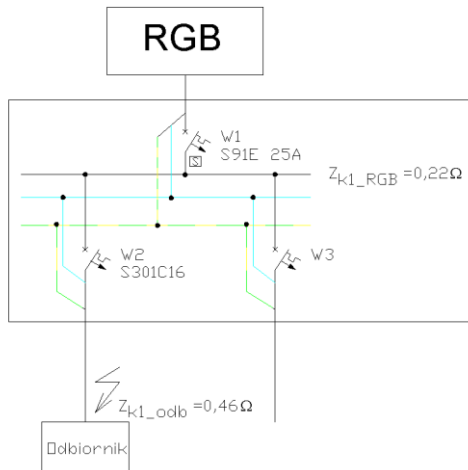
$$I_{ogW1} = 5 * I_n ;$$

- W2 - wyłącznik nadprądowy S 301 C16 o prądzie znamionowym 16 A i charakterystyce C, górna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza

elektromagnesowego $k_g = 10$, dolna wartość krotności prądu zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego $k_d = 5$;

Zmierzona wartość impedancji jednofazowej:

- w rozdzielnicy RGB wynosi: $Z_{k1_RGB} = 0,22 \Omega$
- na końcu obwodu zasilanego z wyłącznika W2 (na zaciskach zasilanego odbiornika) wynosi $Z_{k1_odb} = 0,46 \Omega$.



Rys.13 Schemat ideowy do przykładu 2,

Obliczenia:

- Sprawdzenie skuteczności samoczynnego wyłączenia w wymaganym czasie przez **PN-HD 60364-4-41:2009** [2] przy zwarciu w odbiorniku:

$$I_{k1} = \frac{0,8 \cdot U_0}{Z_{k1_odb}} = \frac{0,8 \cdot 230}{0,46} = 400A > I_{a_S301C16/0,4s} = k \cdot I_n = 10 \cdot 16 = 160A$$

warunek spełniony.

Komentarz:

Kolejnym krokiem jest sprawdzenie kolejności zadziałania wyłączników (W1 i W2).

- Porównanie prądów zadziałania wyzwalaczy elektromagnesowych wyłączników W1 i W2:

$$I_{g\ W1} = k_g \cdot I_{n\ W1} = 6,25 \cdot 25 = 156,25A < I_{a_S301C16/0,4s} = k \cdot I_n = 10 \cdot 16 = 160A$$

warunek niespełniony.

Komentarz:

Biorąc pod uwagę rozrzut parametrów aparatów, nie można przewidzieć, który z wyłączników zadziała jako pierwszy (TPG wyłącznika selektywnego W1, czy też zabezpieczenie obwodowe W2). Do oceny skutecznego samoczynnego wyłączenia zasilania należy przyjąć spodziewaną wartość prądu zwarcia jednofazowego, równą wartości ograniczonego prądu zwarcia deklarowanej przez producenta wyłącznika selektywnego.

- 3) Sprawdzenie skuteczności samoczynnego wyłączenia w czasie wymaganym przez **PN-HD 60364-4-41:2009** [2], przy zwarcie w odbiorniku - zwarcie zasilane poprzez TPP wyłącznika W1:

$$I_{og_S91E25A} = 5 * I_n = 5 * 25 = 125A < I_{a_S301C16/0,4s} = 160A$$

warunek niespełniony.

Komentarz:

- a) Wyznaczenie impedancji pętli zwarcia po przejściu układu na zasilanie z toru TPP wyłącznika W1:

$$Z_{k_odb_TPP} = \frac{U_0}{I_{og_S91E25A}} + (Z_{k1_odb} - Z_{k1_RGB}) = \frac{230}{125} + (0,46 - 0,22) = 1,84 + 0,24 = 2,08\Omega$$

- 4) Sprawdzenie skuteczności samoczynnego wyłączenia w czasie wymaganym przez **PN-HD 60364-4-41:2009** [2], przy zwarcie w odbiorniku - zwarcie zasilane poprzez TPP wyłącznika W1:

$$I_{k1} = \frac{0,8 * U_0}{Z_{k1}} = \frac{0,8 * 230}{2,08} = 88,46A < I_{a_S301C16/0,4s} = k * I_n = 10 * 16 = 160A$$

warunek niespełniony.

Wniosek:

W takim układzie nie jest możliwe zapewnienie skutecznego samoczynnego wyłączenia zasilania w czasie wymaganym przez normę **PN-HD 60364-4-41:2009** [2].

4. Wnioski końcowe

Wyłącznik nadprądowy termiczno-elektromagnesowy selektywny nie zapewnia wybiórczości zadziałania w każdych warunkach. Nieuwzględnienie ograniczeń tego aparatu, wynikających z jego konstrukcji, nie tylko nie zapewni selektywności, ale również może doprowadzić do zagrożenia porażeniowego.

5. Literatura:

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz. U. Nr 75/2002 poz. 690 z późniejszymi zmianami.
- [2] **PN-HD 60364-4-41:2009** Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [3] PN-EN 60898-1:2007 Sprzęt elektroinstalacyjny – Wyłączniki do zabezpieczeń przetężeniowych instalacji domowych i podobnych – Część 1: Wyłączniki do obwodów prądu przemiennego.
- [4] PN-EN 60947 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa
- [5] Wiatr J., Orzechowski M.: Poradnik projektanta elektryka. Wydanie IV. Warszawa, Dom Wydawniczy Medium 2010.
- [6] Boczkowski A.: Wymagania techniczne dla instalacji elektrycznych niskiego napięcia w budynkach. Dom Wydawniczy Medium, Warszawa, 2008.
- [7] Legrand - www.legrand.pl
- [8] GE Consumer & Industrial Power Protection - www.ge.com/pl/pl/
- [9] Hager Polo - www.hager.pl