

SPRAWDZANIE WARUNKU SAMOCZYNNEGO WYŁĄCZENIA ZASILANIA W OBWODZIE ZABEZPIECZONYM WYŁĄCZNIKIEM NADPRĄDOWYM

Pytanie

Pytanie moje dotyczy pomiarów i obliczania skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim w obwodach zabezpieczonych wyłącznikami kompaktowymi i wyłącznikami nadprądowymi silnikowymi.

W numerze 1/1996 Wiadomości Elektrotechnicznych ukazał się artykuł p. T. Matuszyńskiego pt. „Niektóre aspekty ochrony przeciwporażeniowej w świetle wymagań normy PN-92/E-05009/41”, który załączam. W rozdziale „Wyznaczanie prądu I_a dla obwodów z samoczynnymi wyłącznikami nadmiarowo-prądowymi” autor zamieścił wzór (10), na którym opieram się do dzisiaj

$$Z_d = \frac{U_{fn}}{a \cdot b \cdot I_{nast\ max}}$$

gdzie:

Z_d - największa dopuszczalna impedancja pętli zwarciowej;

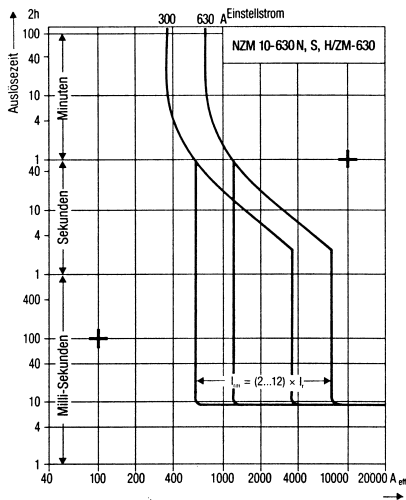
U_{fn} - napięcie fazowe nominalne;

a - współczynnik 1,2;

b - krotność nastawienia wyzwalacza elektromagnesowego + 20% deklarowanego przez producentów rozrzutu prądu zadziałania;

$I_{nast\ max}$ - prąd znamionowy wyzwalacza termicznego.

¹ Wyłącznik różnicowoprądowy lub wyłącznik nadprądowy współpracujący z przekaźnikiem różnicowoprądowym.



Rys. 1. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłącznika firmy MOELLER, typu NNM 10 o prądzie znamionowym 630 A.

Linie pionowe oznaczają najmniejszy i największy prąd nastawczy członu zwarciovego przy najmniejszym i największym prądzie nastawczym członu przeciążeniowego:

$$I_r = 300 \text{ A} \rightarrow I_{nr} \in (600 \div 3600) \text{ A}$$

$$I_r = 630 \text{ A} \rightarrow I_{nr} \in (1260 \div 7560) \text{ A}$$

Na podstawie powyższego wzoru w następujący sposób obliczam największą dopuszczalną impedancję pętli zwarciovowej, na przykład dla obwodu z wyłącznikiem kompaktowym NNM firmy MOELLER:

prąd znamionowy wyłącznika 630 A

prąd zadziałania według charakterystyki czasowoprądowej wyłącznika,

$b = 12$, wobec czego $12 \cdot 630 = 7560 \text{ A}$,

dopuszczalny rozrzut dodatni +20%, co daje $1,2 \cdot 7560 = 9072 \text{ A}$

$a = 1,2$, wobec czego $1,2 \cdot 9072 = 10886,4 \text{ A}$

$$Z_d = \frac{220}{10886,4} = 20,2 \text{ m}\Omega$$

Największa dopuszczalna impedancja pętli zwarciovowej rozpatrywanego obwodu wynosi zatem 20,2 mΩ.

Zdając sobie sprawę, że powyższy problem dotyczy kilkunastu osób w Polsce, ponieważ badając skuteczność ochrony przed dotykiem pośrednim obwodów silnoprądowych posługując się miernikiem MAXTEST HT 2038 firmy AMPROBE INSTRUMENT USA. Wiem, ile tych mierników sprzedano i jakie firmy go kupiły. Powyższy sposób obliczania konsultowałem z przedstawicielami producentów wyłączników i nie spotkałem sprzeciwu, ale nie znaczy to, że musi on być prawidłowy.

Czy należy brać pod uwagę wartość nastawioną na wyzwalaczu, czy też tak, jak w powyższej metodzie i przytoczonym wzorze tylko wartość nominalną wyzwalacza?

Proszę o ocenę powyższej metody, a jeśli jest ona nieprawidłowa, będę wdzięczny za wszelkie sugestie.

Z poważaniem
Wiesław Czyż

Odpowiedź

Problem dotyczy tysięcy osób w Polsce, dotyczy wszystkich, którzy projektują obwody zabezpieczone wyłącznikami bądź w istniejących instalacjach sprawdzają obwody z punktu widzenia skuteczności ochrony dodatkowej, niezależnie od rodzaju mierników, którymi się posługują. Problem polega na poprawnym ustaleniu wartości prądu wyłączającego I_a wyłącznika i sprawdzeniu czy jest ona nie większa niż wartość prądu zwarciovego płynącego w wyniku uszkodzenia wymagającego samoczynnego wyłączenia zasilania, tzn.

- w razie jednociesowego zwarcia L-PE lub L-PEN w układzie TN,
- w razie dwumiesowego zwarcia L-PE oraz L-PE lub N-PE w układzie IT,

- w razie dwumiejscowego zwarcia z nieziemionym przewodem wyrównawczym CC (PA) w obwodzie separowanym zasilającym więcej niż jedno urządzenie,
- w razie dwumiejscowego zwarcia z częścią przewodzącą dostępną lub częścią przewodzącą obcą w obrębie izolowanego stanowiska, na którym wykorzystuje się nieziemione przewody wyrównawcze CC (PA).

Jeżeli samoczynne wyłączenie zasilania nie jest możliwe i w zamian zapewnia się, że największe występujące długotrwale napięcie dotykowe nie przekracza wartości dopuszczalnej, to poprawnie wyznaczona wartość prądu wyłączającego I_a wyłącznika jest niezbędna do obliczenia wspomnianej wartości największego występującego długotrwale napięcia dotykowego U_T w oparciu o wartość U_{Tn} zmierzoną przy przepływie niedużego prądu pomiarowego I_b . Ta kwestia była wyjaśniona w zeszycie 41 Biuletynu INPE [2].

„Prąd wyłączający I_a jest to najmniejszy prąd wywołujący zadziałanie, w wymaganym czasie, urządzenia zabezpieczającego powodującego samoczynne wyłączenie zasilania” [4]. W przypadku wyłącznika, którego otwarcie ma spowodować wyzwalacz bądź przełącznik zwarciovy, jest to prąd zadziałania (prąd rozruchowy) tego członu zabezpieczeniowego. Jest to zatem wartość prądu (wartość skuteczna przy prądzie przemiennym) płynącego przez wyłącznik, która powinna spowodować zadziałanie członu zwarciovy bezzwłocznego lub krótkozwłocznego i otwarcie wyłącznika. Powinno to nastąpić niezależnie od rzeczywistej wartości prądu zadziałania członu zabezpieczeniowego konkretnego wyłącznika, która może znajdować się w dowolnym punkcie dopuszczalnego pasma rozrzutu wartości. Zatem jako umowy prąd zadziałania członu zabezpieczeniowego i tym samym prąd wyłączający I_a wyłącznika należy rozumieć górną granicę pasma rozrzutu prądu zadziałania.

Wytwórca może podawać **prąd zadziałania wyzwalacza zwarciovy lub przełącznika zwarciovy** (górną granicę pasma rozrzutu)

- bezpośrednio w amperach albo
- jako krotność prądu znamionowego wyłącznika bezpośrednio bądź określając typ charakterystyki (nadprądowego wyłącznika instalacyjnego - tabl. 1), albo
- jako krotność prądu nastawczego wyzwalacza bądź przełącznika przeciążeniowego, albo
- jako krotność prądu nastawczego wyzwalacza bądź przełącznika zwarciovy.

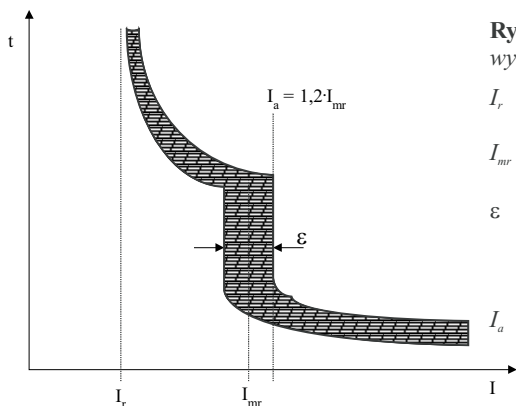
Ta wartość prądu jest prądem wyłączającym I_a wyłącznika i stosowanie jakichkolwiek współczynników poprawkowych nie jest potrzebne. Takie postępowanie zazwyczaj dotyczy mniejszych wyłączników: nadprądowych wyłączników instalacyjnych, wbudowanych miniaturowych wyłączników odbiornikowych i wyłączników sieciowych zwężonych (kompaktowych) o mniejszym prądzie znamionowym. W takich przypadkach wytwórca powinien podawać również **prąd niezadziałania wyzwalacza zwarciovy lub przełącznika zwarciovy** (dolną granicę pasma rozrzutu), aby projektant mógł sprawdzić, że jest on większy niż wszelkie możliwe prądy łączeniowe w obwodzie.

Tablica 1. Prądy charakteryzujące działanie członu zwarciovy nadprądowego wyłącznika instalacyjnego o prądzie znamionowym I_n poddanego przepływowi prądu przemiennego.

Typ charakterystyki	Prąd niezadziałania I_3	Prąd zadziałania I_4	Prąd nastawczy $\sqrt{I_3 \cdot I_4}$	Pasmo rozrzutu %
(A)	$2 \cdot I_n$	$3 \cdot I_n$	$2,45 \cdot I_n$	± 22
B	$3 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$	$3,9 \cdot I_n$	± 28
C	$5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$	$7,1 \cdot I_n$	± 41
D ¹⁾	$10 \cdot I_n$	$20 \cdot I_n$	$14 \cdot I_n$	± 41
	$10 \cdot I_n$	$50 \cdot I_n$	-----	-----

¹⁾ Norma określa wymagania co do prądu niezadziałania ($10 \cdot I_n$) i prądu zadziałania ($50 \cdot I_n$), a wytwórcy wyłączników wykorzystują część tego zakresu, zwykle $(10 \div 20) \cdot I_n$.

W zamian wytwórca może podawać **prąd nastawczy wyzwalacza lub przełącznika zwarciovego** I_{mr} (średni prąd zadziałania) określając w katalogu lub nie dopuszczalny rozrzut rzeczywistego prądu zadziałania. Jeśli odchyłki dodatnie i ujemne są równie prawdopodobne, to prąd nastawczy jest średnią geometryczną wartości skrajnych wyznaczających pasmo rozrzutu. W przypadku wyłączników spełniających wymagania norm [5, 6], a są to przede wszystkim wyłączniki sieciowe i stacyjne rozrzut wokół wartości prądu nastawczego nie przekracza $\pm 20\%$. Przepuszczalnie jest on mniejszy w przypadku mikroprocesorowych przełączników nadprądowych wyłączników NZM, ale indagowane w tej sprawie (11 listopada 2001 r.) centralne biuro techniczne firmy MOELLER odwołało się do punktu 7.2.1.2.4 normy DIN EN 60947-2 (o treści identycznej jak pkt 7.2.1.2.4 normy PN-EN 60947-2 [6]). Prądem wyłączającym wyłącznika sieciowego lub stacyjnego I_a jest prąd odpowiednio większy niż prąd nastawczy wyzwalacza lub przełącznika I_{mr} , mianowicie $I_a = 1,20 \cdot I_{mr}$. Podany w cytowanym artykule i przyjmowany przez Czytelnika zakres rozrzutu $\pm 20\%$ (współczynnik 1,20) nie budzi zatem zastrzeżeń, taki sam od kilkudziesięciu lat zalecam uwzględniać [1], bo wyraźnie większy zdarza się tylko w przypadku mniejszych wyłączników nadprądowych instalacyjnych oraz silnikowych (tabl. 1), dla których i tak podaje się górną granicę pasma rozrzutu, a nie prąd nastawczy.



Rys. 2. Charakterystyka czasowo-prądowa wyłącznika.

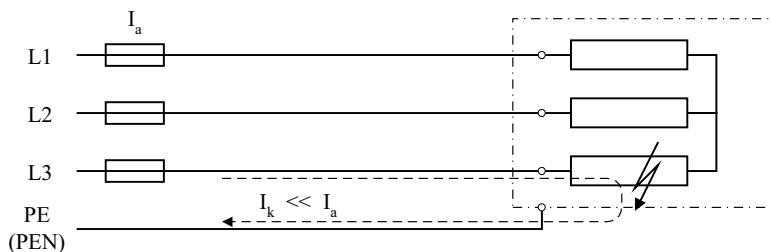
- I_r - prąd nastawczy przełącznika lub wyzwalacza przeciążeniowego,
- I_{mr} - prąd nastawczy przełącznika lub wyzwalacza zwarciovego,
- ε - pasmo rozrzutu prądu zadziałania przełącznika lub wyzwalacza zwarciovego wokół nastawionej wartości prądu I_{mr} ,
- I_a - prąd wyłączający wyłącznika.

Kłopot polega na tym, że środowisko elektryków nie przywiązuje należytej uwagi do poprawności terminologicznej i w katalogach spotyka się na przykład wartość „prądu wyzwalacza zwarciovego”, która niewiele wyjaśnia. Niejasne bywają nawet rysunki przedstawiające charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników z pasmem prądowym członu zwarciovego, przy czym nie jest jasne czy chodzi o **zakres prądów nastawczych** nastawialnego członu zwarciovego (jak na rys. 1), czy o **rozrzut prądów zadziałania** członu zwarciovego (jak na rys. 2). Najgorzej jest w przypadku katalogów tłumaczonych z oryginału obcojęzycznego; w takim przypadku lepiej poprosić o wersję oryginalną.

Omawiany sposób wyznaczania prądu wyłączającego wyłącznika odnosi się nie tylko do członu zwarciovego bezzwłocznego, ale również do członu zwarciovego krótkozwłocznego, jeżeli czas trwania zwarcia ograniczony przez otwarcie wyłącznika w wyniku zadziałania członu krótkozwłocznego nie jest większy niż określony przez normę „maksymalny czas wyłączenia” zasilania. Wyłączniki kategorii użytkowania B z członem zabezpieczeniowym zwarciovym krótkozwłocznym instaluje się tylko w obwodach rozdzielczych i „maksymalny czas wyłączenia” zasilania na ogół wynosi 5 s, a wtedy prąd wyłączający wyłącznika I_a jest górną granicą pasma rozrzutu prądu zadziałania członu krótkozwłocznego. Jeżeli natomiast wyjątkowo „maksymalny czas wyłączenia” zasilania wynosi 0,4 s, to wolno prąd I_a wyłącznika

wyznaczyć tak samo tylko wtedy, kiedy zwłoka zadziałania członu krótkozwłocznego nie jest większa niż ok. 0,35 s (bo wtedy: zwłoka + czas własny wyłącznika + czas łukowy $\leq 0,4$ s).

Niezależnie od przedstawionych wyżej dróg dochodzenia do poprawnej wartości prądu wyłączającego I_a , w przywołanym artykule proponuje się współczynnik poprawkowy $a = 1,2$, który miałby uwzględniać możliwe długotrwałe obniżenie napięcia w sieci lub instalacji do poziomu $0,9 \cdot U_n$. W następstwie obniżenia napięcia prąd zwarciový jest mniejszy i mógłby nie osiągnąć wartości prądu wyłączającego I_a zabezpieczenia, wobec czego proponuje się obniżyć o 20% największą dopuszczalną impedancję pętli, aby do samoczynnego wyłączenia zasilania doszło. Takie postępowanie odnosi się w artykule do obwodów zabezpieczonych zarówno bezpiecznikami, jak i wyłącznikami.



Rys. 3. Zwarcie jednofazowe we wnętrzu odbiornika, przy którym spełnienie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania nie jest możliwe (prąd zwarciový I_k jest znacznie mniejszy niż prąd wyłączający I_a zabezpieczenia zwarciového).

Proponowane postępowanie nie ma żadnego umocowania w przepisach polskich ani międzynarodowych czy europejskich. Nie ma też uzasadnienia merytorycznego, wynika ze złozonego przekonania, iż można i należy zabezpieczyć się przed każdym niekorzystnym zbiegiem zdarzeń, a w obliczeniach należy uwzględniać wszystkie czynniki mogące wpłynąć na wynik. Trzeba tu przypomnieć parę okoliczności. Po pierwsze, jeżeli napięcie zasilania jest obniżone i prąd zwarcia jednofazowego jest mniejszy, to wprawdzie czas wyłączenia może się wydłużyć, ale mniejsze są występujące napięcia dotykowe. Po drugie, zwarcie w odbiorniku może wystąpić w dowolnym miejscu uzwojenia, grzejnika lub innego elementu czynnego (rys. 3). Pod działaniem napięcia o przypadkowej wartości może wtedy płynąć prąd zwarciový nawet wielokrotnie mniejszy niż wartość obliczeniowa przyjmowana przy projektowaniu i przy okresowych badaniach ochrony, kiedy uwzględnia się tylko zwarcie na zaciskach wejściowych odbiornika. Czy wobec tego należy w obliczeniach wprowadzić współczynnik poprawkowy a o wartości 2 lub 5, a nawet większy? Po trzecie, z obliczeń i pomiarów wynika wartość początkowa składowej okresowej prądu zwarciového I_k^* [3], a o tym czy wyłącznik otworzy się pod działaniem członu zabezpieczeniowego zwarciového decyduje przebieg pierwszej pełnej półfali prądu, a więc może mieć na to wpływ również udział składowej nieokresowej prądu zwarciového. Te i inne czynniki powszechnie przemilcza się godząc się na niezbyt dużą dokładność obliczeń.

Odnosnie do przykładu liczbowego podanego przez Czytelnika nasuwają się następujące wyjaśnienia. Wyłącznik NZM 10 firmy MOELLER, o prądzie znamionowym 630 A ma mikroprocesorowy przełącznik nadprądowy zawierający w wykonaniu standardowym dwa człony:

- nastawny człon przeciążeniowy o zakresie nastawczym $300 \div 630$ A, dający się płynnie nastawić na wybrany prąd nastawczy członu przeciążeniowego I_r ,
- nastawny człon zwarciový bezzwłoczny 11-położeniowy, dający się nastawić na prąd I_{mr} stanowiący całkowitą krotność prądu I_r leżącą w zakresie nastawczym $(2 \div 12) \cdot I_r$.

Rozważmy dwa skrajne przypadki: najniższego możliwego i najwyższego możliwego nastawienia przełącznika nadprądowego wyłącznika NZM 10 pracującego w instalacji

o napięciu 220/380 V. Wszystkie możliwe przypadki praktyczne znajdują się w granicach wyznaczonych przez te dwie sytuacje:

a) Prąd nastawczy członu przeciążeniowego jest najmniejszy możliwy $I_r = 300$ A. Obwód zasila obciążenie spokojne, nie występują większe prądy załączeniowe i człon zwarcioowy można nastawić na najmniejszą możliwą krotność 2. Prąd nastawczy członu zwarcioowego wynosi $I_{mr} = 2 \cdot I_r = 2 \cdot 300 = 600$ A, a z braku bliższych danych w katalogu co do pasma rozrzutu prąd zadziałania członu zwarcioowego i tym samym prąd wyłączający wyłącznika można przyjąć jako $I_a = 1,2 \cdot 600 = 720$ A. Największa dopuszczalna impedancja pętli zwarciowej wynosi zatem

$$Z_s = \frac{U_0}{I_a} = \frac{220}{720} = 0,306 \ \Omega$$

b) Prąd nastawczy członu przeciążeniowego jest największy możliwy $I_r = 630$ A. Obwód zasila obciążenie niespokojne, występują tak duże prądy załączeniowe, że człon zwarcioowy trzeba nastawić na największą możliwą krotność 12. Prąd nastawczy członu zwarcioowego wynosi $I_{mr} = 12 \cdot I_r = 12 \cdot 630 = 7560$ A, a z braku bliższych danych w katalogu co do pasma rozrzutu prąd zadziałania członu zwarcioowego i tym samym prąd wyłączający wyłącznika można określić jako $I_a = 1,2 \cdot 7560 = 9072$ A. Największa dopuszczalna impedancja pętli zwarciowej wynosi zatem

$$Z_s = \frac{U_0}{I_a} = \frac{220}{9072} = 0,0243 \ \Omega$$

Określając prąd wyłączający I_a bezpieczników przyjmuje się za podstawę taką klasę bezpiecznika i taki prąd znamionowy wkładki, jaki zgodnie z projektem zastosowano, a nie największy możliwy prąd znamionowy wkładki, jaką dałoby się do podstawy włożyć i najbardziej niekorzystną klasę bezpiecznika (wkładki o największej zwłoczności). Podobne rozumowanie należy odnosić do wyłączników. Prąd wyłączający I_a wyłączników sieciowych i stacyjnych należy określać przyjmując za podstawę prąd nastawczy wyzwalaczy lub przekazników zwarciowych, jaki zgodnie z projektem zastosowano, a nie największy, jaki daje się nastawić.

Edward Musiał

Literatura

1. Musiał E.: Jak unikać błędów przy badaniu skuteczności uziemień ochronnych i zerowania w instalacjach 380/220 V. Gospodarka Paliwami i Energią, 1965, nr 12, s. 393-399.
2. Musiał E.: Ochrona przeciwporażeniowa w obwodzie suwnicy. Biuletyn SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2001, nr 41, s. 80-85.
3. Musiał E.: Prądy zwarcioowe w niskonapięciowych instalacjach i urządzeniach prądu przemiennego. Biuletyn SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2001, nr 40, s. 3-50.
4. Musiał E., Jabłoński W.: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej - nowelizacja projektu przepisów. Biuletyn SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 1999, nr 24, s. 3-56.
5. PN-90/E-06150/20: Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa. Wyłączniki. (Zastąpiona przez normę PN-EN 60947-2 ustanowioną 30 kwietnia 2001 r.).
6. PN-EN 60947-2 kwiecień 2001: Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa. Wyłączniki.