

Artur Rojek

Koordynacja zabezpieczeń zwarciovych w układzie podstacja – pojazd trakcyjny w systemie zasilania 3 kV DC

W systemie zasilania trakcji elektrycznej, tak samo jak we wszystkich układach elektrycznych, mogą powstawać i powstają zwarcia. W przypadku wystąpienia zwarcia, układy odpowiedzialne za ochronę zwarciovą powinny przerwać przepływ prądu zwarciovego bez względu na miejsce powstania zwarcia. Aby ograniczyć skutki przepływu prądu zwarciovego w układzie, wyłączenie zwarcia powinno rozpocząć się możliwie jak najszybciej, prąd zwarciový powinien być maksymalnie ograniczony, a czas jego przepływu jak najkrótszy.

Wyłączniki szybkie prądu stałego

Podstawowymi urządzeniami wyłączającymi prądy zwarciove w kolejowych systemach elektrotrakcyjnych 3 kV DC są wyłączniki szybkie prądu stałego. Wyłączniki szybkie instalowane są w podstacjach trakcyjnych, kabinach sekcyjnych, taborze (lokomotywach i zespołach trakcyjnych) oraz w niektórych rozdzielniach prądu stałego służących do ogrzewania składów pociągów na torach postojowych.

Normy PN-EN 50123-1 [17] i PN-EN 50123-2 [18] wprowadzają podział wyłączników szybkich przeznaczonych do urządzeń stacjonarnych pod względem sposobu wyłączenia (powietrzne, gazowe i półprzewodnikowe), szybkości ich działania oraz zastosowania – miejsca zainstalowania.

Ze względu na szybkość działania normy te wyróżniają trzy typy wyłączników:

- szybkie, ograniczające prąd (typ H);
- bardzo szybkie, ograniczające prąd (typ V);
- quasi-szybkie (typ S).

Wyłącznik szybki typu H, jest to wyłącznik o zdolności na tyle szybkiego otwierania się, aby prąd zwarciový nie osiągnął wartości szczytowej, która byłaby osiągnięta w przypadku braku jego działania. Wyłącznik typu H powinien mieć czas otwierania się (czas własny) nie dłuższy niż 5 ms, a całkowity czas wyłączenia krótszy od 20 ms, dla przerywanego prądu o wartości spodziewanej co najmniej 7 razy większej niż nastawa wyzwalacza oraz początkowej stromości narastania prądu większej niż 5 kA/ms.

Wyłącznikiem bardzo szybkim typu V jest wyłącznik, którego czas własny nie przekracza 1 ms, a całkowity czas wyłączenia zwarcia jest nie dłuższy niż 4 ms, niezależnie od parametrów obwodu.

Wyłącznikiem quasi-szybkim typu S jest aparat, którego czas otwierania jest krótszy od 15 ms, a całkowity czas wyłączenia nie dłuższy niż 30 ms, przy założeniu, że wartość prądu spodziewanego jest co najmniej 3,5 razy większa od nastawy wyzwalacza wyłącznika i początkowa stromość narastania prądu jest większa niż 1,7 kA/ms. Ograniczenie wartości szczytowej prądu zwarcia przez wyłącznik typu S nie jest wymagane.

W wymaganiach podawanych przez normy serii PN-EN 50123 dla wyłączników typu H i S podana jest tylko początkowa stromość narastania prądu zwarciovego (di/dt), natomiast brak jest wartości stałej czasowej obwodu. Oznacza to, że wymaganą wartość di/dt można osiągnąć dla wielu par wartości prądu ustalonego zwarcia I_u i stałej czasowej obwodu T . Przykładowo $di/dt > 5$ kA/ms uzyskuje się dla $I_u > 50$ kA i $T = 10$ ms lub dla $I_u > 25$ kA i $T = 5$ ms. Jedyne w tych normach zapis dotyczący stałej czasowej mówi, że stała czasowa obwodu probierczego podczas badań wyłącznika powinna być możliwie zbliżona do stałej czasowej obwodu, do którego wyłącznik jest przeznaczony.

Wyłączniki szybkie typu BWS, które od początku lat 90. ubiegłego wieku są instalowane w podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych w Polsce, mają parametry zbliżone do tych, jakie są wymagane dla wyłączników szybkich typu H. Czas otwarcia (własny) wyłącznika typu BWS jest mniejszy od 5 ms, a całkowity czas wyłączenia zwarcia w obwodzie o stałej czasowej rzędu 10 ms wynosi około 20 ms [5, 7, 9, 10, 12, 13, 14].

Aparatem, który jako jedyny jest w stanie choć częściowo spełnić wymagania stawiane przez normy dla wyłączników typu V, jest wyłącznik typu DCN [1]. Wyłącznik typu DCN-T jest nową konstrukcją, opartą na zasadzie wyłączenia prądu stałego przeciwprądem [1, 2, 3, 4]. Przeszedł on już badania laboratoryjne i jest w fazie badań eksploatacyjnych. Czas wyłączenia przez ten wyłącznik prądu o $di/dt > 2$ kA/ms wynosi około 5 ms, a jego czas własny nie przekracza 0,5 ms [1, 2].

Oprócz podziału pod względem szybkości działania, norma PN-EN 50123-1 wprowadza podział wyłączników uwzględniający ich funkcję i miejsce zainstalowania. Norma ta wyróżnia następujące rodzaje wyłączników:

- liniowe (typ L);
- prostownikowe (typ R);
- sekcyjne (typ I).

Do typu L zaliczane są wyłączniki łączące szyny główne prądu stałego podstacji z siecią trakcyjną. W warunkach polskich są one nazywane wyłącznikami podstacyjnymi lub wyłącznikami zasilaczy. Natomiast w kabinach sekcyjnych (wyłączniki kabinowe) znajdują się wyłączniki klasyfikowane przez normę jako wyłączniki sekcyjne typu I.

W układzie zasilania kolejowej trakcji elektrycznej w Polsce nie stosuje się wyłączników prostownikowych typu R, służących do łączenia prostowników z szynami głównymi prądu stałego podstacji trakcyjnej.

W zakresie wyłączników szybkich przeznaczonych do pojazdów trakcyjnych (wyłączników taborowych) obecnie w Polsce obowiązują dwie normy: PN-69/E-06120 [16] i PN-EN 60077-3 [19]. Pierwsza z wymienionych norm wymaga, aby wyłącznik taborowy wyłączył prąd zwarcia o wartości spodziewanej 10 kA, przy napięciu zasilania 4000 V i stałej czasowej obwodu zwarcia

20 ms. Norma ta nie zawiera żadnych wymagań dotyczących czasu własnego wyłącznika, czy czasu całkowitego wyłączenia zwarcia.

Druga norma również nie podaje wymagań dotyczących parametrów czasowych wyłącznika taborowego. W normie tej można znaleźć jedynie podział wyłączników w zależności od ich budowy, zasady działania, reżymu pracy oraz znamionowej stałej czasowej układu, do którego wyłącznik jest przeznaczony.

Porównując wymagania norm dla wyłączników szybkich podstacyjnych i taborowych można stwierdzić, że już na etapie wymagań normatywnych brak jest korelacji między tymi rodzajami wyłączników. Dlatego stosując się tylko do wymagań norm trudno jest osiągnąć taki stan koordynacji zabezpieczeń zwarciovych, w którym możliwe będzie selektywne wyłączanie zwarć powstających w pojazdach trakcyjnych.

Selektywność wyłączania zwarć

Pojazdy trakcyjne wyposażone są w wyłączniki szybkie lub układy stycznikowe, których zadaniem jest między innymi wyłączanie prądów zwarciovych przepływających na skutek awarii w obwodach taboru, zasilanych bezpośrednio napięciem 3 kV. Najlepszym rozwiązaniem byłoby, gdyby zwarcia w pojeździe trakcyjnym były wyłączane przez wyłącznik taborowy w taki sposób, aby nie dopuszczać do zadziałania wyłącznika szybkiego w podstacji trakcyjnej. W przypadku otwarcia wyłącznika szybkiego w podstacji zostaje pozbawiony zasilania odcinek sieci (odcinek zasilania), stanowiący odcinek linii kolejowej między podstacją trakcyjną a kabiną sekcijną lub dwiema sąsiednimi podstacjami.

Zadziałanie wyłącznika w podstacji powoduje, że wszystkie pojazdy znajdujące się na odcinku zasilanym przez ten wyłącznik zostają pozbawione napięcia. O tym ile jest pojazdów na określonym odcinku zasilania decyduje długość tego odcinka, następstwo oraz prędkość pociągów. Na rysunku 1 przedstawiono wykres pokazujący jaka powinna być średnia prędkość jazdy na odcinku zasilania o długości L , aby przy określonym czasie następstwa pociągów (3, 5 i 10 min) znajdował się na nim tylko jeden pociąg. W przypadku, gdy prędkość pociągów będzie mniejsza niż przedstawiona na rysunku 1, na odcinku zasilania mogą znajdować się dwa lub więcej pociągów. W takiej sytuacji

zwarcie w jednym z pojazdów trakcyjnych, powodujące wyzwolenie i otwarcie wyłącznika szybkiego w podstacji, jest przyczyną zaniku zasilania i zatrzymania pozostałych pociągów znajdujących się na tym odcinku zasilania.

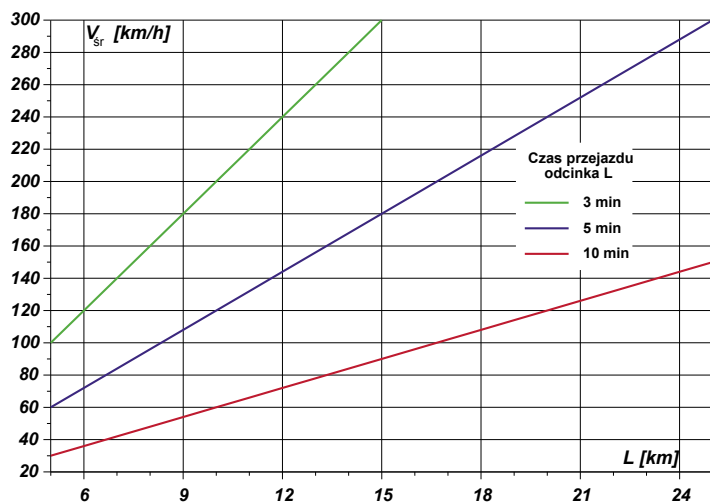
Znacznie poważniejsze konsekwencje występują, gdy zwarcie w taborze powoduje wyłączenie wyłącznika, przez który zasilana jest stacja, węzeł kolejowy lub ich część. Wówczas może zostać pozbawionych zasilania jednocześnie wiele pociągów, które miały jechać w różnych kierunkach. Powoduje to zakłócenia w ruchu nie tylko na samej stacji, lecz także na liniach, po których miały jechać pociągi zatrzymane na stacji z powodu braku napięcia w sieci trakcyjnej.

W niedalekiej przyszłości, kiedy po liniach kolejowych w Polsce będą jeździć pociągi wielu operatorów kolejowych, pojawi się problem odpowiedzialności za spowodowanie zakłóceń w ruchu wskutek zaniku napięcia w sieci trakcyjnej. Operator, którego pojazdy trakcyjne będą przyczyną zadziałań wyłączników w podstacji prawdopodobnie będzie obciążony stratami pozostałych operatorów powstałych w wyniku wyłączenia napięcia w sieci trakcyjnej.

Każde wyłączenie prądu zwarciovego przez wyłącznik szybki przyczynia się w pewnym stopniu do jego zużycia. Im większą wartość ma wyłączany prąd, tym zużycie to jest większe. Dlatego wyłączenie zwarć powstających w pojazdach trakcyjnych powinno być realizowane przez wyłączniki taborowe. W przeciwnym przypadku wyłącznik w podstacji trakcyjnej oprócz zwarć na sieci trakcyjnej musi wyłączać zwarcia w pojazdach, co przyspiesza jego degradację. Inaczej to ujmując, gdy przykładowo wystąpi pięć zwarć w pięciu pojazdach będących na tym samym odcinku zasilania, to przy odpowiednio działających wyłącznikach taborowych każdy z nich wyłącza tylko jedno zwarcie, a w przeciwnym przypadku wszystkie pięć zwarć wyłącza tylko jeden wyłącznik podstacyjny. Ponadto, gdy występuje wyłączenie w podstacji, a wyłącznik taborowy rozpoczął wyłączenie zwarcia jako pierwszy, wówczas wyłącznik podstacyjny przerywa prąd już wstępnie ograniczony, co wpływa na jego zużycie w mniejszym stopniu niż gdyby wyłączał całkowity prąd zwarcia.

Zważywszy na opisane powody i konsekwencje, wszystkie pojazdy trakcyjne powinny być wyposażone w takie układy zabezpieczeń zwarciovych (wyłączniki szybkie), aby zwarcie w taborze jak najrzadziej powodowało wyzwolenie i otwarcie wyłącznika w podstacji, czego następstwem jest wyłączenie napięcia w sieci i unieruchomienie wszystkich pociągów będących na tym odcinku zasilania. Dlatego wyłączniki szybkie w pojazdach trakcyjnych powinny mieć jak najkrótszy czas własny (otwarcia) i całkowity czas wyłączenia. Powinny również posiadać zdolność wyłączania prądów zwarciovych o wszystkich wartościach, jakie mogą pojawić się w układzie, gdy powstanie zwarcie w taborze. Wartość tych prądów zwarciovych w systemie zasilania 3 kV DC może osiągać poziom powyżej 50 kA.

Szybkość działania wyłączników taborowych ma również bardzo duże znaczenie w przypadku rekuperacji energii. W sytuacji, gdy w układzie sieci trakcyjnej powstanie zwarcie i nastąpi wyłączenie zasilania przez podstację, zwarcie to może być nadal zasilane przez pojazd trakcyjny oddający energię do sieci. Dlatego wyłączniki taborowe w pojazdach posiadających zdolność rekuperacji energii



Rys. 1. Wykres średniej prędkości pociągu potrzebnej do przejechania odcinka zasilania o długości L w czasie 3, 5 lub 10 min

powinny być jak najszybsze, aby ograniczyć do minimum czas przepływu prądu zwarciego i związane z tym skutki.

O tym, czy zwarcie powstałe w taborze spowoduje wyzwolenie wyłącznika szybkiego w podstacji decydują następujące parametry:

- poziom nastaw wyłącznika taborowego i podstacyjnego;
- czas własny i zdolność ograniczania prądu przez wyłącznik taborowy;
- stromość narastania prądu w obwodzie.

Gdy wyłącznik taborowy ma wyższy prąd wyzwolenia niż wyłącznik podstacyjny, wówczas każde zwarcie w pojeździe trakcyjnym będzie wyłączane przez wyłącznik zainstalowany w podstacji.

Zwarcie powstające w pojeździe trakcyjnym nie spowoduje wyłączenia napięcia przez podstację, gdy wartość prądu zwarciego płynącego przez wyłącznik podstacyjny nie przekroczy jego poziomu wyzwolenia. Sytuacja taka może mieć miejsce wówczas, gdy zwarcie nastąpi w pojeździe znajdującym się na środku odcinka zasilanego dwustronnie, a prąd zwarcia będzie ograniczony przez jakąś dodatkową rezystancję. Wyłącznik w podstacji nie będzie wyłączał zwarcia również w przypadku, gdy stromość narastania prądu zwarciego będzie na tyle mała, że wyłącznik taborowy zacznie ograniczać prąd zanim osiągnie on poziom wyzwolenia wyłącznika szybkiego w podstacji. Graniczna wartość di/dt , przy której prąd zwarciego będzie wyłączany tylko przez wyłącznik taborowy, zależy od czasu własnego wyłącznika w pojeździe, jego zdolności ograniczania prądu i różnicy między wartościami nastaw wyłączników taborowego i podstacyjnego. Zależność tę można zapisać w postaci:

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{gr} = \frac{I_{wzPT} - I_{wzT}}{t_T}$$

gdzie:

I_{wzPT} – wartość prądu wyzwolenia wyłącznika szybkiego w podstacji;

I_{wzT} – wartość prądu wyzwolenia wyłącznika szybkiego w pojeździe trakcyjnym;

t_T – czas liczony od chwili przekroczenia nastawy wyłącznika szybkiego w pojeździe trakcyjnym do momentu osiągnięcia wartości maksymalnej przez ograniczony prąd zwarciego.

Dla wyłączników magnetowymuchowych czas t_T jest sumą czasu własnego i czasu palenia się tzw. krótkiego łuku, trwającego przeciętnie od części do kilku milisekund. Wartość czasu t_T , oprócz czasu własnego wyłącznika, zależna jest od kilku czynników jednocześnie. Do tych czynników należą między innymi: budowa wyłącznika, stała czasowa obwodu zwarcia, wartość prądu w chwili rozchodzenia się styków wyłącznika itp.

Z zależności tej wynika, że im większa jest zdolność ograniczania prądu i mniejszy czas własny wyłącznika taborowego, a jednocześnie im większa jest różnica nastaw wyłączników podstacyjnego i taborowego, tym większa może występować stromość narastania prądu zwarcia, który będzie wyłączany tylko w pojeździe trakcyjnym, a wyłącznik podstacyjny nie zostanie wyzwolony. Ponadto można przyjąć, że wartość graniczna di/dt nie jest zależna od parametrów wyłącznika zainstalowanego w podstacji.

Przy wartości di/dt większej od granicznej każde zwarcie w taborze spowoduje zadziałanie wyłącznika szybkiego w podstacji trakcyjnej.

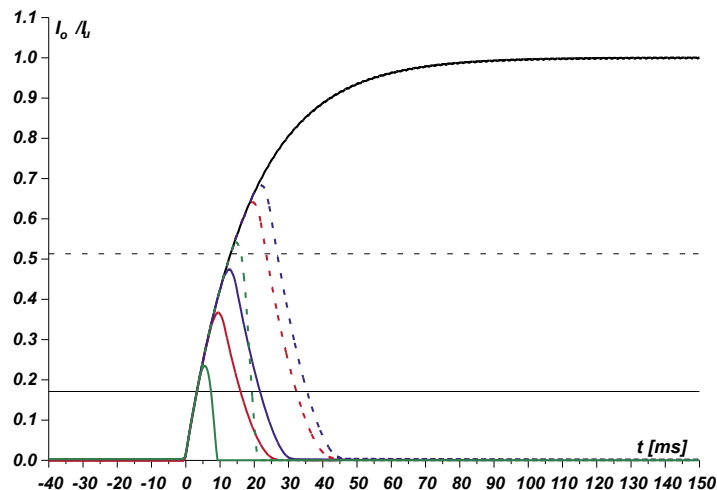
Ilustracją opisanych zjawisk i zależności są przebiegi przedstawione na rysunkach 2–4. Przebiegi te otrzymano za pomocą symulacji, w których wykorzystano modele wyłączników szybkich opisanych w [8] i [11]. Poszczególne przebiegi na rysunkach 2–4 oznaczono kolorami następująco:

- czarny – przebieg prądu zwarcia w przypadku braku działania wyłącznika;
- niebieski – przebieg prądu wyłączanego przez wyłącznik o czasie własnym 6,5 ms ($t_T \approx 10$ ms);
- czerwony – przebieg prądu wyłączanego przez wyłącznik o czasie własnym 3 ms ($t_T \approx 6,7$ ms);
- zielony – przebieg prądu wyłączanego przez wyłącznik o czasie własnym bliskim zeru ($t_T \approx 2$ ms).

Dla porównania, oprócz przebiegów prądów wyłączanych przez wyłącznik taborowy, którego nastawę przyjęto na poziomie 1 kA (linia ciągła), na rysunkach przedstawiono linię przerywaną przebiegi prądów w przypadku wyłączania zwarcia przez wyłącznik szybki o nastawie 3 kA, zainstalowany w podstacji. Kolorystyka przebiegów dla wyróżnienia czasu własnego (0,3 lub 6,5 ms) wyłącznika podstacyjnego jest taka sama, jak dla wyłącznika taborowego.

Rysunek 2 ilustruje sytuację, w której zwarcie w pojeździe trakcyjnym następuje daleko od podstacji. W tym przypadku, przy $di/dt = 0,29$ kA/ms ($T = 19,5$ ms), wyłączenie zwarcia następuje tylko w pojeździe, gdyż niezależnie od przyjętego czasu własnego wyłącznika taborowego, wartość prądu ograniczonego nie przekracza poziomu nastawy wyłącznika w podstacji.

Gdy zwarcie w taborze wystąpi w pobliżu podstacji, stromość narastania prądu, a zatem możliwość selektywnego wyłączenia zwarcia, w głównej mierze zależy od indukcyjności podstacji. Zwarcie zasilane z zespołu prostownikowego typu PK-17 (indukcyjność dławika katodowego $L_d = 4$ mH) będzie miało mniejszą stromość narastania prądu niż gdy jest ono zasilane przez zespół PD-12 ($L_d = 1,8$ mH), choć wartość ustalona prądu zwarcia może być taka sama w obydwu przypadkach (jednakowe napięcie i rezystancja zastępcza obwodu). Zjawisko to ilustrują rysunki 3 i 4. Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi prądu zwarciego



Rys. 2. Przebiegi prądów podczas zwarcia odległego od podstacji ($di/dt = 0,29$ kA/ms, $T = 19,5$ ms)

w obwodzie o indukcyjności cztery razy większej od występującej w obwodzie, w którym prąd zwarciový ma przebieg jak na rysunku 4.

Przy stromości narastania prądu o wartości $0,74 \text{ kA/ms}$ i $T \approx 24 \text{ ms}$ (rys. 3), zwarcie w taborze będzie wyłączane bez zadziałania wyłącznika szybkiego w podstacji tylko wówczas, gdy wyłącznik taborowy będzie charakteryzował się czasem własnym bliskim zeru (przebieg zielony ciągły). W przeciwnym razie, nawet przy czasach własnych rzędu 3 ms , prąd zwarciový przekroczy nastawę wyłącznika podstacyjnego i spowoduje jego wyłączenie.

Im wartość di/dt jest większa, tym mniejsza jest szansa na to, że zwarcie w taborze zostanie wyłączone tylko przez jego wyłącznik. Pokazano to na rysunku 4, na którym nawet najszybszy z przyjętych wyłączników nie jest w stanie ograniczyć prądu poniżej poziomu nastawy wyłącznika podstacyjnego ($di/dt = 2 \text{ kA/ms}$, $T = 9 \text{ ms}$).

Z wykresów na rysunkach wynika, że należy się liczyć z sytuacjami, w których zwarcie w taborze spowoduje wyłączenie wyłącznika w podstacji trakcyjnej. Jednak w im szybsze wyłączniki są wyposażone pojazdy trakcyjne, tym większe jest prawdopodo-

bieństwo wyłączenia zwarć powstających w pojazdach, bez działania wyłączników w podstacji trakcyjnej.

Unormowania w zakresie koordynacji zabezpieczeń zwarciových w systemie 3 kV DC

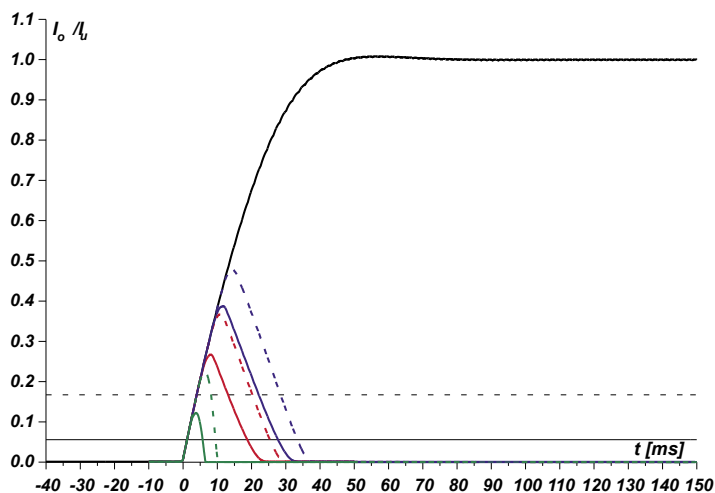
Koordinację zabezpieczeń zwarciových normują trzy dokumenty:

- 1) karta UIC 797 [21],
- 2) norma prEN 50388 [20],
- 3) specyfikacje techniczne dla Interoperacyjności – podsystem Energia (TSI) [15],

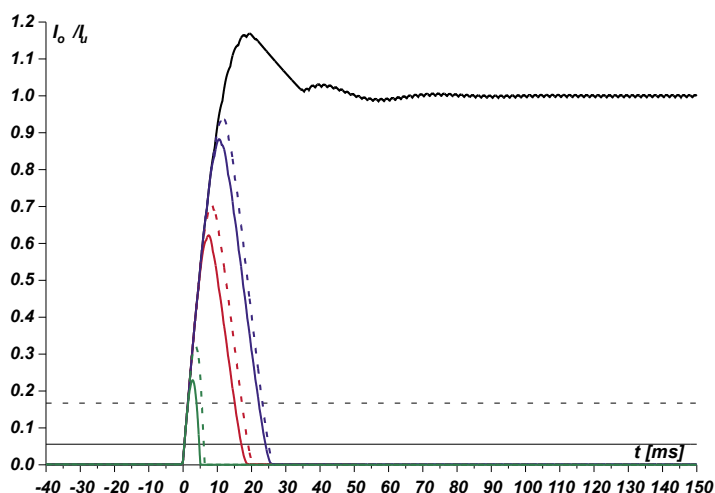
Pierwszy z tych dokumentów zakłada, że wyłączniki w pojazdach trakcyjnych nie posiadają dostatecznej zdolności wyłączenia prądów zwarciových o wartościach mogących się pojawić w układzie zasilania 3 kV DC. Rezultatem tego jest zapis, że tylko zabezpieczenia na podstacjach są w stanie wyłączyć zwarcie. Karta ta wymaga bardzo szybkiego wyzwolenia wyłącznika w podstacji, gdy wartość prądu zwarciových jest bardzo duża. Jednocześnie nie określa ona pojęć „bardzo szybkie wyzwolenie” oraz „bardzo duża wartość prądu”, mówi jedynie, że wartość prądu zwarciových w systemie prądu stałego może przekraczać 50 kA. Zawiera ona również wymaganie mówiące, że każde wewnętrzne uszkodzenie w pojeździe trakcyjnym powinno spowodować otwarcie wyłącznika taborowego.

Faktem jest, że większość eksploatowanych pojazdów trakcyjnych wyposażona jest w wyłączniki szybkie lub układy stycznikowe o zdolnościach wyłączenia prądów zwarciových o wartościach znacznie poniżej 50 kA. Jednak z drugiej strony część pojazdów trakcyjnych jest już wyposażona w wyłączniki opisane w [2, 3, 4], których parametry pozwalają wyłączać w bardzo krótkim czasie wszystkie wartości prądów zwarciových, mogących wystąpić w sieci 3 kV. Niestety karta UIC 797, choć jest dokumentem wydanym w 2000 r., nie uwzględnia najnowszych rozwiązań taborowych wyłączników szybkich, których eksploatacja nie wymaga, aby ze względu na ich zdolność wyłączenia prądów zwarciových zwarcia były wyłączane w podstacji trakcyjnej, nawet te o „bardzo dużych wartościach prądu”.

Zapisy dotyczące koordynacji zabezpieczeń zwarciových w normie prEN 50388 i TSI są bardzo podobne. W obydwu dokumentach przyjęto, że wartość prądu zwarciových w systemie zasilania 3 kV DC może osiągać 50 kA oraz zamieszczono w nich tablice przedstawiające sekwencje wyzwolenia wyłącznika taborowego i podstacyjnego dla systemów zasilania prądu przemienno i stałego. Dla prądu stałego, bez względu na poziom napięcia znamionowego, norma i specyfikacja TSI wymagają, aby w przypadku wystąpienia zwarcia w taborze wyłączniki w pojeździe trakcyjnym i w podstacji zostały wyzwolone jak najszybciej. Dodatkowo do zapisu dotyczącego wyłącznika podstacyjnego odnosi się przypis mówiący, że gdy prąd zwarciových ma bardzo dużą wartość, wyłącznik ten powinien być wyzwolony bardzo szybko, aby zapobiec wyłączeniu zwarcia przez wyłącznik taborowy. Przypis ten może sugerować, że również te dokumenty zakładają eksploatację wyłączników taborowych o niewystarczającej zdolności wyłączenia prądów zwarciových.



Rys. 3. Przebiegi prądów podczas zwarcia blisko podstacji ($di/dt = 0,74 \text{ kA/ms}$, $T = 23,7 \text{ ms}$)



Rys. 4. Przebiegi prądów podczas zwarcia blisko podstacji ($di/dt = 2 \text{ kA/ms}$, $T = 9 \text{ ms}$)

Podobnie jak w karcie UIC 797, w normie prEN 50388 i w specyfikacji TSI brak jest określenia wartości „bardzo dużego” prądu zwarcia oraz czasu „bardzo szybkiego” wyzwolenia wyłącznika. Dokumenty te również nie uwzględniają najnowszych rozwiązań wyłączników szybkich przeznaczonych dla pojazdów trakcyjnych.

Podsumowanie

Jak opisano zapewnienie wyłączenia wszystkich zwarców powstających w taborze tylko przez wyłączniki zainstalowane w pojazdach trakcyjnych nie jest możliwe. Jest to spowodowane tym, że przy dużych stromościach narastania prądów zwarciovych, nawet przy zastosowaniu w pojazdach bardzo szybkich wyłączników, może nastąpić wyzwolenie wyłącznika w podstacji, zanim prąd zwarcia zostanie ograniczony. Jednak im krótsze są czasy własne wyłączników taborowych i lepiej są ograniczane przez nie prądy, tym dłuższe są odcinki sieci, na których możliwe jest uzyskanie selektywności wyłączenia zwarców. Z drugiej strony, gdy nastawy wyłączników szybkich w podstacjach trakcyjnych są zbliżone, a czasem nawet niższe od nastaw wyłączników taborowych, wówczas każde zwarcie będzie wyłączone przez podstację, niezależnie od parametrów wyłącznika w pojeździe trakcyjnym.

Brak spójności wymagań zawartych w normach dotyczących taborowych i podstacyjnych wyłączników szybkich z pewnością nie ułatwia właściwej koordynacji zabezpieczeń zwarciovych. Ponadto dokumenty normatywne odnoszące się do koordynacji zabezpieczeń zwarciovych nie uwzględniają najnowszych rozwiązań w dziedzinie wyłączników szybkich przeznaczonych do pojazdów trakcyjnych. Ponieważ większość obecnie eksploatowanych pojazdów wyposażona jest w wyłączniki o parametrach, które nie pozwalają na wyłączenie prądów o wartościach 50 kA, spełnienie wymagań zawartych w specyfikacji TSI, karcie UIC 797 i normie prEN 50388 daje pewność, że każdy prąd zwarciovych będzie wyłączony niezależnie od jego wartości i miejsca zwarcia. Jednak zważywszy na fakt, że coraz więcej pojazdów trakcyjnych wyposażanych jest w wyłączniki najnowszej generacji [2, 3, 4], o zdolności wyłączenia nawet największych prądów mogących występować w systemie 3 kV DC, niedługo wystąpi potrzeba wprowadzenia zmian do dokumentów zawierających wymagania dotyczące koordynacji zabezpieczeń zwarciovych.

Jednak bez względu na rozwój techniki w dziedzinie wyłączenia prądu stałego, uzyskanie koordynacji zabezpieczeń zapewniającej przynajmniej częściową selektywność wyłączeń zwarców nie będzie możliwe bez ścisłej współpracy pomiędzy jednostkami zajmującymi się zasilaniem trakcji elektrycznej a eksploatatorami pojazdów trakcyjnych



Literatura

- [1] Bartosik M., Lasota R., Wójcik F.: *DCN 3/1600, 2500, 3150 – wieloprądowe wyłączniki próżniowe prądu stałego*. Technika Transportu Szynowego 10/2003.
- [2] Bartosik M., Lasota R., Wójcik F.: *Nowa generacja ultraszybkich wyłączników ograniczających do pojazdów trakcji elektrycznej prądu stałego*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2000.

- [3] Bartosik M., Lasota R., Wójcik F.: *Ultraszybkie wyłączenie zwarców w trakcyjnych obwodach prądu stałego*. Technika Transportu Szynowego 5/1999.
- [4] Bartosik M., Lasota R., Wójcik F.: *Ultraszybkie wyłączniki próżniowe prądu stałego typu DCV dla trakcji kolejowej*. Technika Transportu Szynowego 6/1994.
- [5] Domański J., Polowczyk W., Jankowicz S.: *Wyłączniki szybkie prądu stałego typu BWS-50*. Sprawozdanie z badań nr 5567A/LAR/97. Instytut Elektrotechniki. Warszawa 1997.
- [6] Karpowicz J., Rojek A.: *Badania wyłącznika do podstacji kolejowych typu DCN*. Praca CNTK nr 3064/12, Warszawa 2003.
- [7] Rojek A. i in.: *Badania eksploatacyjne rozdzielnic 3 kV przystosowanej do pracy w podstacji z jednostopniową transformacją napięcia 110/3 kV*. Praca CNTK nr 3038/28, Warszawa 2000–2001.
- [8] Rojek A., Kozłowski A.: *Modelowanie wyłączników szybkich prądu stałego*. IX Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2000. Zakopane 2000.
- [9] Rojek A., Sochoń A., Wadas Z.: *Badania zdolności łączeniowej wyłącznika szybkiego typu BWS-50 w celce rozdzielnic prądu stałego typu RPS/K*. CNTK. Warszawa 1999.
- [10] Rojek A., Sochoń A., Wadas Z.: *Badania zdolności łączeniowej wyłącznika szybkiego typu BWS-50 w kontenerowej rozdzielnic prądu stałego typu KRWN-3*. CNTK, Warszawa 1999.
- [11] Rojek A.: *Modelowanie zjawisk szybkozmiennych w układzie podstacji trakcyjnej przy wykorzystaniu programu PCNAP*. V Konferencja Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu. Zakopane 2001.
- [12] Szubert L., Kempys A., Zerhau Cz., Sadowski J.: *Sprawozdanie z badania wyłączników szybkich prądu stałego typu BWS*. FAE „Apena”. Bielsko-Biała 1991.
- [13] *Wyłącznik szybki prądu stałego BWS*. FAE „Apena” SA. Bielsko-Biała 1993 – katalog.
- [14] *Wyłącznik szybki prądu stałego BWS-50*. FAE „Apena” SA. Bielsko-Biała 1997 – katalog.
- [15] *Commission Decision of 30 May 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the energy subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 6(1) of Directive 96/48/EC (2002/733/EC)*.
- [16] PN-69/E-06120 *Pojazdy trakcyjne. Aparaty elektryczne prądu stałego. Ogólne wymagania i badania*.
- [17] PN-EN 50123-1:1999 *Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Aparatura łączeniowa prądu stałego. Wymagania ogólne*.
- [18] PN-EN 50123-2:1999 *Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Aparatura łączeniowa prądu stałego. Wyłączniki prądu stałego*.
- [19] PN-EN 60077-3:2002 (U) *Zastosowania kolejowe. Wyposażenie elektryczne taboru kolejowego. Część 3: Elementy elektrotechniczne. Zasady dotyczące wyłączników napięcia stałego*.
- [20] prEN 50388:2003 *Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*.
- [21] UIC 797:2000 *Coordination of electrical protection sub-stations/traction units*.

Autor

dr inż Artur Rojek

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa