

Henryk **KLEIN**  
OPA-LABOR Sp. z o.o.

## **OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA PRZED DOTYKIEM POŚREDNIM W SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH ZASILAJĄCYCH URZĄDZENIA PRZEKSZTAŁTNIKOWE**

*Streszczenie:*. W referacie, na przykładzie falowników napędowych i urządzeń UPS, omówiono środki ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim, jakie mogą być stosowane do ochrony urządzeń przekształtnikowych, oraz zasady oceny ich skuteczności.

### **1. WYMAGANIA ODNOŚNIE STOSOWANYCH ŚRODKÓW OCHRONY PRZED DOTYKIEM POŚREDNIM**

Mimo iż urządzenia energoelektroniczne, stanowią ciągle rosnący odsetek łącznej liczby odbiorników energii elektrycznej, a ich specyfika sprawia że wymagają one nieco odmiennego podejścia przy doborze i ocenie środków ochrony przed dotykiem pośrednim, do dziś dnia nie doczekały się dedykowanego im ochronie zbiorczego uregulowania normatywnego. Dobór środka ochrony dokonywany był więc dotąd spośród środków wymienionych w arkuszu 41 normy PN-IEC 60364. Nowa edycja normy, PN-HD 60364-4-41, aczkolwiek zmienia i doprecyzowuje część postanowień, nie wyodrębnia wymagań w zakresie omawianym w niniejszym referacie. W dalszej części przytoczone zostaną wymagania według polskojęzycznych wydań norm.

Poza sporadycznymi przypadkami, (np. instalacje i urządzenia o bardzo niskim napięciu lub instalacje galwanicznie rozdzielone z rozdzielczą siecią, spełniające wymagania dla separacji), instalacje zasilające przekształtniki i instalacje odbiorcze przekształtników chronione są za pomocą samoczynnego wyłączenia zasilania lub poprzez stosowanie urządzeń II klasy ochronności.

Zasadniczym wymaganiem, stawianym samoczynnemu wyłączeniu zasilania, jest konieczność wyłączenia zakłócenia (zwarcia części czynnej z częścią przewodzącą dostępną) powodującego pojawienie się na częściach przewodzących dostępnych napięcia dotykowe-

go przekraczającego wartość akceptowalną w pewnym, nieprzekraczalnym czasie. Wartość tego czasu zależna jest od wartości napięcia zasilającego, układu sieciowego i warunków środowiskowych mogących zwiększyć zagrożenie porażeniowe.

Urządzeniami ochronnymi, które powinny wyłączyć zakłócenie, zgodnie z [11] mogą być:

- urządzenia ochronne różnicowo prądowe we wszystkich układach sieciowych za wyjątkiem układu TN-C;
- urządzenia ochronne przetężeniowe (wyłączniki lub bezpieczniki), wyłączające pierwsze doziemienie w sieciach TN i TT oraz podwójne doziemienie w tych sieciach IT, w których nie wymaga się natychmiastowego wyłączenia pierwszego doziemienia;
- urządzenie do stałej kontroli izolacji sieci w sieciach IT w których wymagane jest wyłączenie pierwszego doziemienia.

Jeżeli jako urządzenie ochronne wykorzystywane mają być zabezpieczenia nadprądowe, ich dobór uwzględniać musi impedancję obwodu zwartego (w sieciach TN oraz IT zasilających urządzenia których obudowy są uziemione zbiorowo) lub rezystancję uziemienia części przewodzących dostępnych – w sieciach TT oraz IT zasilających urządzenia, których części te uziemione są indywidualnie albo grupowo. Opisują to następujące nierówności:

- dla sieci w układzie TN:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 \quad (1)$$

- dla sieci w układzie TT oraz IT przy uziemieniu części przewodzących dostępnych indywidualnym lub grupowym:

$$R_A \cdot I_a \leq U_B \quad (2)$$

- dla sieci w układzie IT bez przewodu neutralnego, przy uziemieniu części przewodzących dostępnych zbiorowo:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{2I_a} \quad (3)$$

- dla sieci w układzie IT z przewodem neutralnym, przy uziemieniu części przewodzących dostępnych zbiorowo:

$$\bullet \quad Z'_s \leq \frac{U_0}{2I_a} \quad (4)$$

gdzie:

$I_a$  – prąd powodujący wyłączenie zakłócenia w wymaganym czasie,

$R_A$  – rezystancja uziemienia mierzona z zacisku ochronnego chronionego urządzenia,

$U_0$  – fazowe napięcie znamionowe instalacji,

$U_B$  – akceptowalna wartość napięcia dotykowego, wynosząca 50 lub 25 VAC zależnie od lokalizacji instalacji

$Z_s$  – w sieci impedancja obejmująca źródło, przewód czynny i przewód ochronny,

$Z'_s$  – impedancja obejmująca przewód neutralny i przewód ochronny,

Trzeba zwrócić uwagę na pewne różnice w zapewnieniu skutecznej ochrony w sieciach TN i TT oraz w sieci IT – mimo podobieństwa a nawet identyczności wzorów. W sieciach TN i TT pierwsze doziemienie jest zwarcie silnoprądowym, i to ono jest eliminowane przez urządzenie ochronne. Można zatem rozpatrywać każdy punkt podlegający ochronie z osobna, zaś brak skutecznej ochrony określonego odbiornika (niespełnienie nierówności 1 lub 2) nie ma wpływu na skuteczność ochrony pozostałych odbiorników zasilanych z tej sieci.

W sieciach IT, w których nie wymaga się samoczynnego wyłączenia pierwszego zwarcia doziemnego, urządzenia ochronne przerwać muszą zwarcie dwufazowe poprzez ziemię lub przewody ochronne. Przy rozpatrywaniu skuteczności ochrony zakłada się, że jedno ze zwarć występuje w urządzeniu którego ochrona jest projektowana lub sprawdzana, natomiast drugie zwarcie – w jakimkolwiek innym urządzeniu zasilanym z tej samej sieci. W efekcie powstaje pętla zwarcia złożona ze źródła oraz przewodów czynnego lub neutralnego i przewodów ochronnych dwóch urządzeń. Jeżeli zależności 2, 3 lub 4 są spełnione dla wszystkich urządzeń w sieci, doziemienie podwójne zostanie skutecznie wyłączone przynajmniej przez jedno z dwóch zabezpieczeń nadprądowych znajdujących się w obwodzie zwarciovym. Z kolei brak spełnienia wymaganego warunku nawet w jednym obwodzie może spowodować nieskuteczność ochrony przeciwporażeniowej w wielu obwodach zasilanych z tej samej sieci.

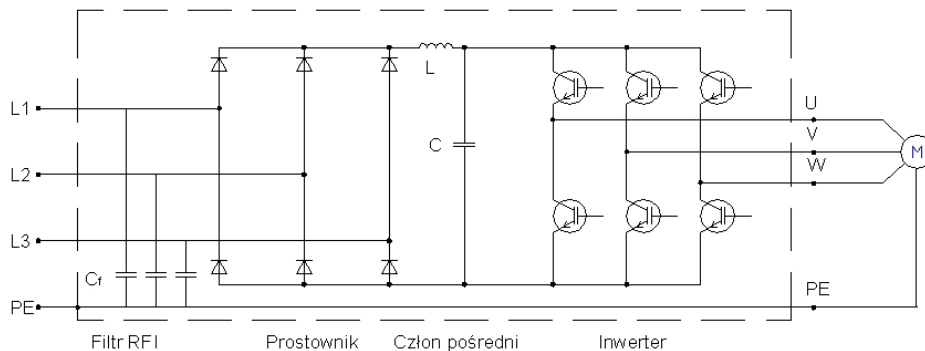
## **2. CECHY CHARAKTERYSTYCZNE URZĄDZEŃ PRZEKSZTAŁTNIKOWYCH.**

Specyfiką omawianych urządzeń jest przekształcanie energii elektrycznej, którą urządzenie jest zasilane. Ewentualne zwarcie części czynnej z częścią przewodzącą dostęp-

na może powstać w różnych miejscach przekształtnika lub też w urządzeniach z niego zasilanych, w których napięcie części czynnej względem ziemi może znacznie odbiegać od napięcia zasilającego pod względem wartości, częstotliwości i kształtu. Zagadnienie to zostanie pokrótce omówione na przykładzie napędów falownikowych i zasilaczy UPS.

## 2.1. Napędy o regulowanej prędkości.

Poglądowy schemat zastępczy falownika wraz z zasilanym silnikiem przedstawiono na Rys. 1.



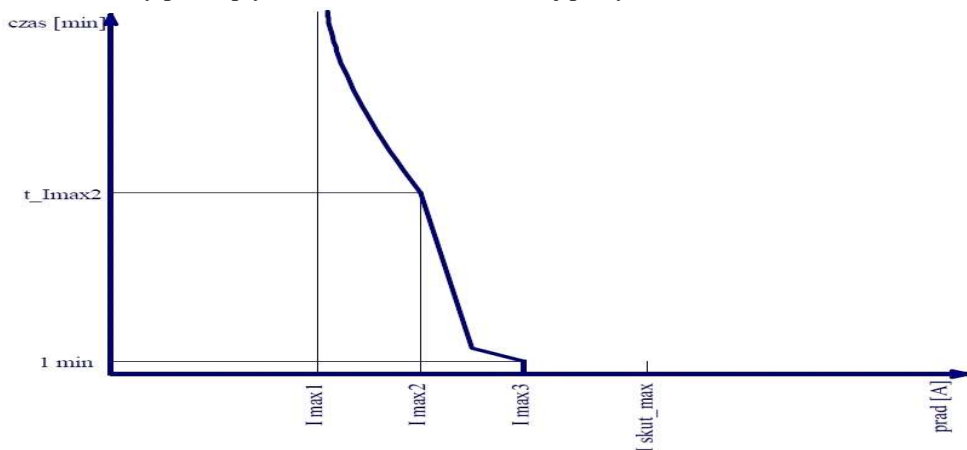
*Rys. 1 Poglądowy schemat przemiennika częstotliwości wraz z silnikiem odbiorczym*  
 Na wejściu przemiennika częstotliwości znajduje się pojemnościowy filtr przeciwa-kłóceniewy. Napięcie zasilające jest prostowane i wygładzane przez pojemność C w stałoprądowym członie pośrednim, a następnie komutowane zgodnie z przyjętym algo-rytmem sterowania przez tranzystory inwertera. Napięcie wyjściowe generowane jest w postaci prostokątnych, dodatnich lub ujemnych impulsów o amplitudzie napięcia czło-ny pośredniego oraz szerokości i stopniu wypełnienia wynikających z żądanej wartości skutecznej i częstotliwości napięcia wyjściowego. Na wyjściu falownika zabudowane są nie uwidocznione na rysunku indukcyjności dopasowujące, które wraz z indukcyjnością zasilanego silnika powodują, że prąd fazowy i napięcia międzyprzewodowe, uzyskują kształt możliwie najmniej odbiegający od sinusoidy. Jednak wyjściowe napięcia fazowe zawierają duży udział częstotliwości taktowania zaworów, która zawierać się może w przedziale od kilkuset Hz do kilkunastu kHz.

W efekcie, przy doziemieniach w obrębie falownika, prąd ziemnozwarciowy może mieć kształt sinusoidalny o częstotliwości sieciowej (zwarcia w okolicy zacisków zasilają-cych) wyprostowany z pewną wartością składowej okresowej (zwarcia w członie po-średnim) lub przemienny, o głównej częstotliwości w zakresie roboczych zmian czę-śtotliwości wyjściowej, w mniejszym lub większym stopniu zmodulowany częstotliwością taktowania zaworów (zwarcia w obrębie zacisków wyjściowych oraz w obwodzie ze-wnętrznym zasilanego silnika). Istotne jest także to, że prąd zwarcia w obwodzie pośrednim i na wyjściu przewodzony jest kolejno przez wszystkie fazy w obwodzie za-

silania falownika, wobec czego określone prądowi w miejscu zwarcia nie można przypisać jednoznacznych, odpowiadających mu wartości w obwodzie zasilającym. Większe przetworniki częstotliwości wyposażone są w mniej lub bardziej rozbudowane układy zabezpieczeń, których celem jest przede wszystkim ochrona zaworów falownika a także ochrona silnika od przeciążeń i w miarę możliwości – zwarć. Zabezpieczenia wyjścia, podczas stwierdzonego zwarcia lub przeciążenia, powodują przede wszystkim ograniczenie wyjściowej wartości napięcia, tak aby nie została przekroczona graniczna wartość prądu, w ostateczności do zablokowania zaworów falownika. Przykładową charakterystykę czasowo-prądową zabezpieczeń wewnętrznych falownika, o nastawialnych wartościach  $I_{\max1}$ ,  $I_{\max2}$ ,  $I_{\max3}$  oraz  $t_{I_{\max2}}$  przedstawiono na Rys. 2. Czas zadziałania zabezpieczenia po przekroczeniu wartości  $I_{\max3}$  wynosi kilka do kilkunastu milisekund. Część przetworników wyposażona jest ponadto w wyłączniki instalacyjne na wyjściu lub stycznik zabudowany za zaciskami zasilającymi, który jest otwierany po zadziałaniu wybranych zabezpieczeń.

Zawory chronione są najczęściej bezpiecznikami o charakterystyce i wielkości do nich dobranej .

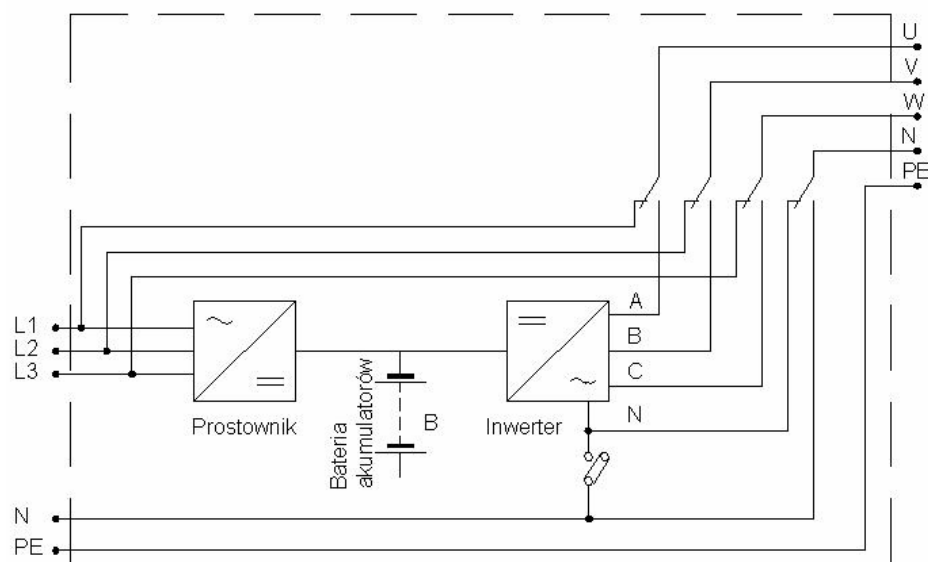
Kolejną, istotną z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej cechą jest fakt, iż na skutek zabudowy pojemnościowego filtra przeciwzakłóceń oraz występowania wysokich częstotliwości w doziemnym napięciu wyjściowym, urządzenia te mają stosunkowo duży prąd upływu w warunkach normalnej pracy.



Rys. 2. Charakterystyka czasowo-prądowa zabezpieczeń wewnętrznych falownika.

## 2.2. Zasilacze napięcia gwarantowanego.

Poglądowy schemat blokowy falownika wraz z zasilanym silnikiem przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Poglądowy, blokowy schemat zasilacza napięcia gwarantowanego.

Zasadnicze elementy zasilacza UPS i przekształtnika do zasilania napędów prądu przemiennego są w zasadzie takie same – jest to prostownik i inwerter. Bateria kondensatorów członu pośredniego jest tu zastąpiona baterią akumulatorów, podtrzymującą zasilanie po utracie zasilania sieciowego przez okres kilku minut do kilku godzin. Zasadniczo różny jest algorytm sterowania zaworów – w tym przypadku celem nadrzędnym jest uzyskanie na wyjściu jak najmniej odkształconego napięcia o jak najbardziej stabilnych parametrach (wartości i częstotliwości) w obszarze obciążeń znamionowych.

Cechą charakterystyczną zasilaczy bezprzerwowych, widzianych jako element obwodu w którym rozpatruje się ochronę przeciwporażeniową jest potencjalna możliwość zmiany układu sieciowego na wyjściu urządzenia po utracie zasilania przez UPS. Zasilacz zasilany z sieci TN może po utracie zasilania wywołanej np. wyłączeniem czterobiegunowego wyłącznika po stronie zasilania stać się źródłem zasilającym sieć odbiorczą pracującą w układzie TT lub IT [3].

Wszystkie urządzenia UPS wyposażone są w wewnętrzne zabezpieczenia, dopuszczające – z czasem zależnym od wartości prądu – przeciążenia o wartościach od  $>100\%I_n$  do  $>150\% \div 200\%I_n$ . Czas dopuszczalnego przeciążenia zawiera się zwykle w przedziale od kilku minut dla najniższych przeciążeń do kilkuset milisekund przy granicznej wartości prądu zwarciovego, po czym następuje wyłączenie UPS. W przypadku pracy autonomicznej czasy wyłączenia przeciążeń są zwykle krótsze niż przy zasilaniu sieciowym.

Podobnie jak w przypadku napędów o regulowanej prędkości, w obwodach zasilających UPS można spodziewać się prądów upływu o stosunkowo dużych wartościach w normalnym stanie pracy.

### **3. OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA PRZED DOTYKIEM POŚREDNIM URZĄDZEŃ PRZEKSZTAŁTNIKOWYCH.**

#### **3.1. Wymagania odnośnie instalowania.**

Z uwagi na czynniki zwiększające zagrożenie porażeniowe w obwodach zasilających przekształtniki, do jakich należą zwiększony prąd upływu i kształt przebiegu prądów zwarciovych, mogący znacznie pogorszyć lub uniemożliwić działanie urządzeń różnicowoprądowych (RCD), norma [8] nakłada na urządzenia energoelektroniczne oraz ich obwody zasilające następujące, dodatkowe wobec norm grupy 60364 wymagania:

- rozłączne połączenia przewodu ochronnego (np. połączenia wtykowe) można stosować jedynie dla ochrony urządzeń o prądzie upływu nie większym niż 3,5mA AC lub 10mA DC;
- jeżeli prąd upływu przekracza tę wartość, przewód ochronny należy dublować albo zapewnić samoczynną kontrolę ciągłości przewodu ochronnego, powodującą wyłączenie zasilania przy utracie ciągłości, lub też stosować transformatory w obwodzie zasilania urządzenia;
- jeżeli konstrukcja urządzenia może spowodować przepływ ziemnozwarciowego prądu stałego wygładzonego, w instrukcji urządzenia lub na nim samym powinna być umieszczona informacja o stosowaniu urządzeń ochronnych różnicowoprądowych;
- w przypadku jw., jeżeli ochronę ma stanowić urządzenie różnicowoprądowe, to może to być jedynie urządzenie klasy B, a zasilanie odbiornika energoelektronicznego nie może być prowadzone przez żadne urządzenie różnicowoprądowe klasy innej niż B (urządzenia a różnicowoprądowe klas AC i A mogą zostać zablokowane przepływem prądu stałego wygładzonego).

Projektowanie a następnie sprawdzenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej należy zatem zacząć od zapewnienia (sprawdzenia) zgodności zabudowy, oprzewodowania oraz wyposażenia instalacji zasilającej i odbiorczej z wymaganiami wytwórcy urządzenia energoelektronicznego.

#### **3.2. Samoczynne wyłączenie przez urządzenie ochronne przetężeniowe.**

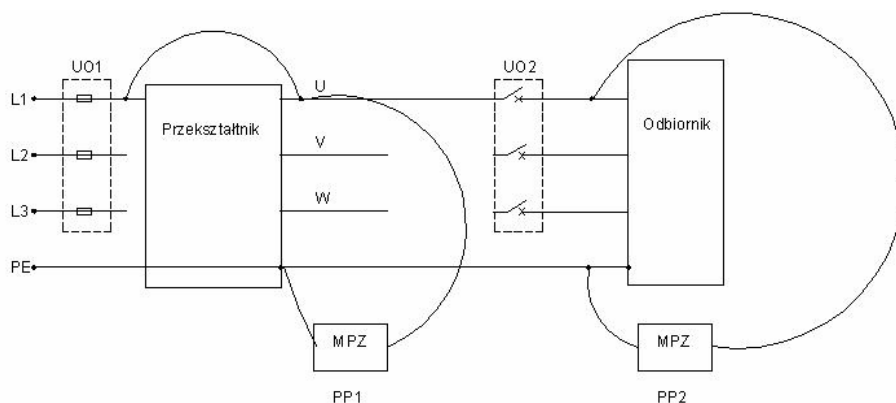
Zarówno falownik do zasilania silników prądu przemiennego, jak i UPS (przy uwzględnieniu wewnętrznych zabezpieczeń powodujących ograniczenie prądu zwarciovego) są elementami o zmiennej impedancji, wtrąconymi między źródło zasilania a rozpatrywane miejsce zwarcia doziemnego, którym jest korpus urządzenia poddanego ocenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej. Powoduje to, że w przypadku zastosowania urządzeń ochronnych nadprądowych skuteczność samoczynnego wyłączenia wedle zależności (1), (3) i (4) jest niemożliwa do stwierdzenia.

Przyjmuje się zatem, że w układach sieciowych TN i TT ochrona będzie skuteczna, jeżeli wywołane uszkodzeniem napięcie na częściach przewodzących dostępnych nie

przekroczy wartości akceptowalnej  $U_B$ . W przypadku układu TT jest to tożsame ze spełnieniem nierówności (2), natomiast dla układu TN oznacza to spełnienie nierówności:

$$Z_{PE} \cdot I_a \leq U_B \quad (5),$$

gdzie  $Z_{PE}$  jest impedancją przewodu ochronnego pomiędzy szyną wyrównawczą główną a korpusem badanego urządzenia. Badanie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim sprowadza się w tym wypadku do pomiaru rezystancji uziemienia (układ TT) lub pomiaru impedancji przewodu ochronnego (układ TN) i sprawdzenia nierówności (2) lub (5). Pomiar impedancji przewodu ochronnego wykonuje się mierząc impedancję pętli zwarcia według Rys. 4 i przyjmując jako wartość poszukiwanej impedancji połowę wyniku pomiaru. Procedura taka jest poprawna pod warunkiem uprzedniego sprawdzenia, że na całej trasie zasilania przewód ochronny ma przekrój nie mniejszy od przewodów czynnych, co według [12] nie jest oczywiste. Ponadto, w przypadku oceny ochrony urządzenia którego zabezpieczenie znajduje się **przed przekształtnikiem** (UO1) należy uwzględnić fakt, że prąd w miejscu zwarcia różni się od prądu płynącego w przewodach zasilających, w których zabudowane jest urządzenie ochronne. Przykładowo, przy zwarciu doziemnym jednego z biegunów trójfazowego prostownika dwupołówkowego, wartość skuteczna prądu w miejscu zwarcia wyniesie  $I_z$ , natomiast w przewodach zasilających  $0,69I_z$ . Do nierówności należałoby zatem przyjąć zamiast prądu  $I_a$ , prąd  $I'_a = (1/0,69)I_a = 1,45I_a$ .



Rys. 4. Schemat układu do pomiaru impedancji przewodu ochronnego. MPS – miernik pętli zwarcia; PP1, 2 – punkty pomiarowe; UO1, 2 – urządzenia ochronne

Odmienne przedstawia się sytuacja w sieciach IT. Jak już wspomniano, skuteczność ochrony przed dotykiem pośrednim przy podwójnym doziemieniu przez ziemię jest współzależna dla wszystkich odbiorów zasilanych z tego samego źródła. W sieci, w której wszystkie urządzenia uziemione są zbiorowo, ochrona projektowana jest i sprawdzana na zgodność z nierównościami (3) lub (4). Przyjęcie wybiórczo kryterium (5) dla



jednego odbioru falownikowego spowoduje, że w czasie podwójnego zwarcia doziemnego kryterium to zostanie spełnione dla tego odbioru, natomiast dla drugiego urządzenia biorącego udział w zwarceniu, w warunkach nieprzewidywalnego ograniczenia prądu zwarcioowego przez układ sterowania lub zabezpieczenia wewnętrzne przekształtnika, może nie być spełnione żadne z kryteriów (3), (4), (5).

Należałoby zatem przyjąć nierówność (5) jako kryterium wobec **wszystkich** urządzeń zasilanych z tej samej sieci, albo zastosować inne kryterium lub urządzenie ochronne. Porównując nierówności (3) i (5) nietrudno zauważyć, że ze względu na różnicę napięć  $U_B$  i  $U_0$ , dla tego samego obwodu wymagana wartość prądu  $I_a$  według nierówności (5) może być nawet kilkakrotnie niższa niż wynikająca z nierówności (3). Przyjęcie kryterium (5) dla wszystkich odbiorów wymagałoby zatem obniżenia prądów  $I_a$  urządzeń ochronnych pozostałych odbiorów, często poniżej progu określonego przez wymaganą niezawodność zasilania. W rozbudowanych sieciach przemysłowych rozwiązanie takie jest raczej niewykonalne.

Pewnym wyjściem z sytuacji jest uwzględnienie granicznego prądu zwarcioowego przekształtnika, przy którym zostaje on zablokowany przez zabezpieczenia wewnętrzne, jako prądu  $I_a$ . Z badań własnych autora wynika, że zarówno w falownikach napędów przekształtnikowych jak i w UPS zabezpieczenia te działają niezawodnie i szybko.

Obecnie przeważa zdanie, że zabezpieczenia te nie mogą być traktowane jako urządzenia ochronne, gdyż powodują blokadę zaworów półprzewodnikowy a nie galwaniczne rozłączenie obwodu uszkodzonego. W rozpatrywanym przypadku jednak – sieci IT, w której konieczne jest przerwanie **podwójnego zwarcia** w wymaganym czasie, stanowisko to wydaje się być nieprzystające do sytuacji. Należy zważyć, że istotą ochrony jest tu przerwanie **silnoprądowego zwarcia podwójnego**, którego prąd powoduje wystąpienie niebezpiecznych napięć na częściach przewodzących dostępnych. Przerwanie to dokonywane jest na ogół przez **jedno z dwóch** urządzeń ochronnych uczestniczących w zwarceniu, zatem drugie doziemienie i tak pozostaje w sieci, a sieć pracuje z pojedynczym doziemieniem aż do jego usunięcia przez personel. Nie następuje więc galwaniczne odcięcie wszystkich miejsc uszkodzonych od sieci, a jedynie znacząca redukcja napięć dotykowych wywołanych uszkodzeniami. Wobec powyższego, przyjęcie zabezpieczeń wewnętrznych falowników jako urządzeń ochronnych w sieci IT wydaje się być zasadne. Optymalnym i nie kontrowersyjnym rozwiązaniem są tu falowniki, w których zadziałanie wewnętrznego zabezpieczenia zwarcioowego powoduje – oprócz zablokowania zaworów – otwarcie łącznika mechanicznego od strony zasilania.

Osobną kwestią jest uzyskanie informacji na temat wartości prądu, powodującego wyłączenie falownika. Często informacja ta nie jest zawarta w dokumentacji urządzenia.

### **3.3. Samoczynne wyłączenie przez urządzenie ochronne różnicowoprądowe (RCD).**

Obszar objęty ochroną, a także wymagane cechy urządzenia ochronnego różnicowoprądowego zależą od jego umiejscowienia. Jeżeli urządzenie zostanie zainstalowane na wejściu przemiennika, strefa ochronna obejmie zarówno sam przemiennik, jak i zasilania

ne z niego odbiory, jeżeli natomiast zainstalowane zostanie na wyjściu - chronione będą jedynie urządzenia odbiorcze. Oba wymienione rozwiązania mają swoje zalety i mankamenty.

- Urządzenie ochronne zainstalowane na dopływie do przekształtnika powinno być tak dobrane, aby nie powodowało wyłączeń pod wpływem prądów upływowych zabezpieczonego obwodu. Z uwagi na wysoką wartość prądów upływu, dla tych zastosowań nadają się urządzenia ochronne o różnicowych prądach znamionowych nie mniejszych od 100 lub 300mA. Ponadto wyłącznik taki musi w sposób skuteczny reagować na prądy pojawiające się w dowolnym miejscu obwodu chronionego, a zatem na odkształcone prądy przemienne o zmieniającej się w szerokich granicach częstotliwości, oraz prądy wyprostowane o różnej - i nieznannej - zawartości tętnień. Wymagania takie spełniają jedynie wyłączniki typu B, a i to tylko dla niektórych z nich producenci podają zakres częstotliwości prądu przemiennego, dla którego gwarantowane jest prawidłowe działanie urządzenia ([1], [2], [5]). Warto zauważyć, że program badań wyłączników przewidziany przez odnośne normy przedmiotowe, obejmuje zestaw testów przy prądzie stałym, wyprostowanym o określonych zawartościach składowej stałej oraz przemiennym o częstotliwości sieciowej. Badania te nie obejmują testów przy prądach przemiennych, wielokrotnie przekraczających częstotliwość sieciową, zatem konieczna jest znajomość częstotliwościowej charakterystyki producenta.

Instalowanie wyłącznika różnicowoprądowego w obwodzie zasilającym UPS bez transformatora separacyjnego na ogół mija się z celem, gdyż powodowałby on wyłączenie zasilania UPS przy doziemieniu na dowolnym z jego odpyłów, a zasilacze napięcia gwarantowanego instalowane są w celu zapewnienia szczególnej pewności zasilania wybranych urządzeń. Ponadto wyłączenie zasilania UPS powoduje jego przejście do pracy autonomicznej, zatem nie eliminuje obwodu uszkodzonego po stronie odbiorczej.

- Wyłącznik zainstalowany na wyjściu przekształtnika powinien reagować na prądy różnicowe o częstotliwościach mieszczących się w zakresie regulacji przetwornicy. Dla UPS jest to stała wartość – 50 Hz natomiast dla falowników napędowych zakres ten najczęściej zawiera się w przedziale 0 Hz i 100 lub 500 Hz. Należałoby wobec tego zastosować wyłączniki typu B, które jako jedyne reagują na przepływ różnicowych prądów stałych.

Jednak w większości rzeczywistych układów napędowych, ze względu na możliwości zastosowanych silników jak i potrzeby regulacyjne, programowo wybrany zakres regulacji jest znacznie mniejszy, i zawiera się w przedziale od kilkunastu do 50 Hz (w wyjątkowych wypadkach sięga on ok. 80 Hz). Dla takiego zakresu skuteczną ochronę można zapewnić przy zastosowaniu wyłączników typu A, kilkakrotnie tańszych od wyłączników typu B. Wyłączniki te mają jednak bardzo zróżnicowaną rzeczywistą charakterystykę częstotli-

ściową, której na dodatek producenci nie określają. Zatem typowe badania odbiorcze lub eksploatacyjne wyłącznika powinny zostać uzupełnione funkcjonalnymi badaniami jego działania dla granicznych wartości częstotliwości roboczych. Dodać tu należy, że w przypadku większości falowników napędowych, udział wysokich częstotliwości taktowania w fazowym napięciu wyjściowym i w prądzie ziemnozwarciowym przy doziemieniu za falownikiem jest tym większy, im niższa jest bieżąca częstotliwość wyjściowa falownika. Korzystniej niż w przypadku wyłączników zainstalowanych na wejściu przekształtnika można dobrać prąd różnicowy urządzenia ochronnego, gdyż prąd upływowy zabezpieczanego obwodu jest w tym przypadku znacznie mniejszy (nie zawiera prądów upływowych filtra RFI). W wielu przypadkach będzie możliwe zastosowanie wyłączników o prądzie różnicowym 30 mA, co na ogół jest niedopuszczalne w przypadku wyłączników zlokalizowanych na wejściu przemiennika. Należy jednak podkreślić iż przyjęcie omawianego rozwiązania powoduje konieczność zastosowania odrębnego środka do ochrony samego przekształtnika.

Osobnym, bardzo interesującym zastosowaniem urządzenia różnicowoprądowego, jest jego zastosowanie na dopływie do falownika zasilanego z sieci IT. Przy nastawieniu kilku czy nawet kilkunastu amperów jest niewrażliwy na prądy upływowe, a jednocześnie znakomicie wypełni funkcję urządzenia ochronnego **wyłaczającego podwójne doziemienie**, spełniając nierówność (3) lub (4), praktycznie bez względu na dodatkową impedancję wniesioną przez bieżące wysterowanie lub działanie zabezpieczeń ograniczających prąd wyjściowy falownika. Również w tym przypadku należy jednak uwzględnić jego charakterystykę częstotliwościową.

### **3.4. Samoczynne wyłączenie przez urządzenie do kontroli izolacji.**

Środek ten stosowany jest w sieciach IT do eliminacji pierwszego doziemienia w sieci. Podobnie jak w przypadku urządzeń różnicowoprądowych, specyfika napędów o regulowanej prędkości wymaga zastosowania dedykowanych dla sieci zasilającej przekształtniki urządzeń kontroli izolacji (izometrów). Izometry dedykowane dla liniowych sieci 50 Hz, których działanie oparte jest na stałonapięciowym sygnale pomiarowym, mogą zarówno powodować wyłączenia nieselektywne, jak i nie wykrywać pewnego rodzaju doziemień. Konsekwencją zastosowania przemiennych sygnałów pomiarowych, w urządzeniach dedykowanych dla sieci zasilających napędy przekształtnikowe, jest zwiększenie czasu działania izometrów do kilkuset milisekund a nawet kilku sekund [4]. Nie jest to jednak przeszkodą w wykorzystaniu ich jako urządzenia ochronne, gdyż zarówno norma [9] jak i [11] zalecają usunięcie pierwszego doziemienia w „możliwie najkrótszym czasie” bez bliższego określenia tego czasu.

Odbiorcze i eksploatacyjne badanie samoczynnego wyłączenia w tym wypadku sprowadza się do sprawdzenia samego izometru (pomiarze rezystancji wyzwalań) i kontroli ciągłości przewodów ochronnych wszystkich urządzeń zasilanych z sieci.

#### 4. PODSUMOWANIE.

- Konstrukcja urządzeń przekształtnikowych powoduje, że obwód zwarciový, rozpatrywany przy ocenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim, jest odmienny w stosunku do obwodów z odbiornikami liniowymi. Odmienność ta przejawia się niemożnością wyznaczenia jednoznacznej wartości impedancji pętli zwarcia, a także występowaniem silnie odkształconych prądów zwarciových. Mimo to, od wielu lat obowiązujące normy i przepisy nie uwzględniają tej odmienności.
- Praktyka projektowa i eksploatacyjna wypracowała pewien sposób konstrukcji i oceny skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim w rozpatrywanych instalacjach. Sprowadza się on do zapewnienia, aby spadek napięcia na przewodzie ochronnym, oraz ewentualnie rezystancji uziemienia, wywołany prądem o wartości prądu  $I_a$  urządzenia ochronnego, nie przekroczył wartości akceptowalnej. Koncepcja ta pozwala się obronić dla układów sieciowych TN i TT, w których ochrona przed dotykiem pośrednim każdego z urządzeń w sieci jest niezależna od ochrony innych urządzeń. Jest to jednak zupełnie nieodpowiednie kryterium dla sieci IT o zbiorowym uziemieniu części przewodzących dostępnych. Spowodowane to jest faktem, iż w tej sieci ochrona przed dotykiem pośrednim wszystkich urządzeń jest wzajemnie współzależna.
- Wobec idei zapewnienia ochrony w sieciach IT przy doziemieniach podwójnych, sensownym wydaje się być dopuszczenie wewnętrznych zabezpieczeń zwarciových przekształtników jako urządzenia ochronnego w rozumieniu zapisów PN-IEC 60364-4-41, mimo że mogą nie powodować one galwanicznego wyłączenia. Jak dotąd, w literaturze krajowej rozwiązanie takie uchodzi za nieakceptowalne.
- Odkształcenia przebiegów prądu zwarciového wprowadzane przez przekształtniki wymuszają bardzo uważny dobór urządzeń ochronnych różnicowoprądowych oraz urządzeń do kontroli izolacji, które mogłyby pełnić rolę urządzeń ochronnych..

#### LITERATURA

1. Czapp S. *Czułość wyłączników różnicowoprądowych przy prądzie różnicowym przemiennym o częstotliwości innej niż 50Hz i przy prądzie różnicowym stałym* INPE nr 96, wrzesień 2007 r. s. 5÷19.
2. Klein H. *Analiza przydatności urządzeń ochronnych różnicowoprądowych do ochrony układów napędowych zasilanych z przemienników częstotliwości*. Warszawa – Międzylesie, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 203/1999 r..
3. Loska G., Klein H. *Ocena skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przy zasilaniu urządzeń elektrycznych z zasilaczy UPS* X Konferencja Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalni; Szczyrk, VI 2004

4. Marek, A. Marek B. *Wpływ przekształtników na pracę centralnych zabezpieczeń upływowych w dołowych sieciach niskiego napięcia* XII Krajowa Konferencja Elektryki Górniczej, Szczyrk, X 2008.
5. Musiał E: *Badanie stanu ochrony przeciwporażeniowej w obwodach urządzeń energoelektronicznych*. INPE nr 80-81, maj-czerwiec 2006 r. s. 5÷36.
6. Praca zbiorowa pod red. Juliana Wiatra: *Poradnik projektanta elektryka systemów zasilania awaryjnego i gwarantowanego...* Warszawa, Eaton Corporation 2008.
7. Pytlak A., Świątek P.: *Ochrona przeciwporażeniowa w układach energoelektronicznych COSIW SEP*, Warszawa 2002.
8. PN-EN 50178:2003 *Urządzenia elektroniczne do stosowania w instalacjach dużej mocy*.
9. PN-HD 60364-4-41:2007(U) *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przeciwporażeniowa*
10. PN-HD 60364-6:2008 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzenia*
11. PN-IEC 60364-4-41:2000 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przeciwporażeniowa*
12. PN-IEC 60364-5-54:1999 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia i przewody ochronne*

mgr inż. Henryk Klein

41-103 ul. Siemianowice Śl. ul. Wyzwolenia 22

Tel.(032) 707 58 24; 601171100, e-mail h.klein@opalabor.pl