

BADANIE STANU OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W OBWODACH URZĄDZEŃ ENERGOGOELEKTRONICZNYCH¹

Wstęp

Przy budowie i eksploatacji urządzeń energoelektronicznych oraz urządzeń elektroenergetycznych i innych z wyposażeniem elektronicznym występuje wiele specyficznych i trudnych problemów, które wypada dostrzegać i poprawnie rozwiązywać. Ta dziedzina techniki jest stosunkowo młoda i w nieustannym dynamicznym rozwoju, co sprawia, że normy i przepisy nie nadążają z ustanawianiem w pełni aktualnych i właściwych dla tych urządzeń uznanych reguł technicznych.

Niezależnie od wyraźnej specyfiki urządzeń elektronicznych, w tym urządzeń energoelektronicznych, podlegają one ogólnym przepisom bezpieczeństwa, np. ustawie o ogólnym bezpieczeństwie produktów, przepisom w sprawie wymagań zasadniczych dla sprzętu elektrycznego i przepisom w sprawie odbiorczych i okresowych kontroli stanu technicznego. Zasady bezpiecznego użytkowania, uwzględniające wszelkie narażenia i zagrożenia, powinna określać instrukcja eksploatacji, której nieodłączną częścią jest dokumentacja techniczno-ruchowa dostarczona przez producenta. Powinna ona precyzować między innymi zasady i tryb przeprowadzania kontroli stanu technicznego urządzeń.

Osoby odpowiedzialne za eksploatację urządzeń energoelektronicznych utyskują niekiedy, że nie ma właściwych dla nich szczegółowych aktów normatywnych określających zasady eksploatacji. Zapominają przy tym, że urządzenia elektroniczne są urządzeniami elektrycznymi i szerzej – bywają wyposażeniem maszyn i urządzeń technologicznych, budynków, obiektów liniowych i innych obiektów technicznych. Zatem dotyczą ich normy i przepisy eksploatacji urządzeń elektrycznych, a pośrednio także liczne akty normatywne eksploatacji wspomnianych obiektów, w skład których wchodzi. W załączniku zestawiono sztanदारowe postanowienia najważniejszych aktów normatywnych związanych z eksploatacją, z właściwości których urządzenia energoelektroniczne nie są bynajmniej wyłączone.

1. Ogólne zasady kontroli stanu urządzeń elektrycznych

1.1. Celowość i tryb obligatoryjnych kontroli

Instalacje i urządzenia elektryczne wszelkiego rodzaju (elektroenergetyczne, energoelektroniczne, sterowania, automatyki, zabezpieczeń, przesyłu informacji, piorunochronne) są nieodłącznym składnikiem wyposażenia obiektów budowlanych, w tym zakładów pracy oraz różnorodnych budynków użyteczności publicznej i mieszkalnych. Od ich poprawnego stanu technicznego zależy bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska i z tych powodów przepisy prawa wymagają należytego nadzoru nad ich eksploatacją. Do takiego nadzoru są zobowiązani właściciele bądź zarządcy obiektów oraz właściwe organy państwa, a w szczególności nadzór budowlany, inspekcja pracy i straż pożarna.

Te wymagania zasadnicze dotyczą nie tylko urządzeń elektrycznych wzbudzających respekt samym wyglądem, tzn. urządzeń elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia, w tym przekształtników dużej mocy, ale również ich obwodów wtórnych i wszelkich urządzeń sterowania, sygnalizacji oraz przesyłu informacji. Niesprawność przekaźnika zabezpieczeniowego bądź przerwa

¹ Referat dra inż. Edwarda Musiała w zbliżonej wersji znalazł się w programie konferencji „AUTOMATYKA, POMIARY, ZAKŁÓCENIA”, która odbyła się w dniach 25-27 maja 2006 r. w Juracie. Niniejszy tekst publikujemy w porozumieniu z firmą INFOTECH z Gdańska, organizatorem konferencji.

w działaniu linii transmisji sygnałów może spowodować większe zagrożenia i znaczniejsze straty niż wadliwe działanie urządzenia elektroenergetycznego o imponującym gabarycie.

Kontrola stanu technicznego urządzeń elektrycznych jest wymagana w trzech następujących sytuacjach:

1. **Badania odbiorcze** nowo zainstalowanego urządzenia przed oddaniem do eksploatacji, których zakres jest szeroki.
2. **Badania okresowe** urządzenia w trakcie eksploatacji, prowadzone w określonych odstępach czasu, sprawdzające, czy nie doszło do uszkodzeń lub niedopuszczalnego pogorszenia parametrów. W urządzeniach pod specjalnym nadzorem (ang. *installations under effective supervision*) stałe monitorowanie stanu urządzeń oraz staranna konserwacja zapobiegawcza (ang. *continuous monitoring and maintenance*) mogą zastępować okresowe kontrole stanu urządzeń.
3. **Badania na żądanie** inspekcji pracy w razie uzasadnionego podejrzenia zaniedbań zasad bezpieczeństwa. Według standardów europejskich badania na żądanie wykonuje się w tak szerokim zakresie, jak badania odbiorcze [28, 29].

Wymagania zasadnicze stawiane instalacjom i urządzeniom elektrycznym powinny być spełnione przez cały okres ich eksploatacji. Dokumentem określającym zasady racjonalnej i bezpiecznej eksploatacji jest **instrukcja eksploatacji** opracowana w oparciu o **dokumentację techniczno-ruchową** wytwórcy urządzenia bądź w oparciu o projekt techniczny instalacji elektrycznych i aktualne zasady wiedzy technicznej.

1.2. Instrukcje eksploatacji

Instrukcje eksploatacji instalacji i urządzeń elektrycznych są podstawowymi dokumentami, które mają zapewniać racjonalizację zużycia energii, oczekiwaną trwałość i niezawodność wyposażenia technicznego oraz szeroko pojęte bezpieczeństwo obsługi i otoczenia. Instrukcje powinny zawierać:

- charakterystykę techniczną instalacji i urządzeń oraz warunki techniczne eksploatacji,
- opis zastosowanych środków ochrony przed możliwymi zagrożeniami, opis organizacyjnych i technicznych środków ochrony przed porażeniem, pożarem i innymi zagrożeniami, jeśli występują,
- opis czynności związanych z uruchomieniem, obsługą i zatrzymaniem urządzeń podczas normalnego użytkowania oraz w razie konieczności awaryjnego zatrzymania,
- instrukcje postępowania w razie awarii, pożaru bądź wybuchu albo innego nadzwyczajnego zagrożenia dla ludzi, mienia bądź środowiska; jest to szczególnie ważne w odniesieniu do tych zakładów, które zgodnie z Dyrektywą Seveso II są lub będą zakwalifikowane do zakładów o zwiększonym ryzyku wystąpienia awarii (zagrożenie o skutkach lokalnych) lub do zakładów o dużym ryzyku wystąpienia awarii (zagrożenie o skutkach ponadlokalnych),
- określenie wymaganych kwalifikacji osób eksploatacji i dozoru na poszczególnych stanowiskach pracy,
- wymagane zapisy dokonywanych manipulacji ruchowych i wskazań aparatury, jeśli nie są one samoczynnie rejestrowane,
- zakresy i terminy bieżących czynności konserwacyjnych, przeglądów technicznych i remontów,
- zakresy i terminy okresowych kontroli stanu technicznego oraz kryteria oceny sprawności technicznej instalacji i urządzeń.

W skład instrukcji eksploatacji wchodzi liczne dokumenty związane z budową i eksploatacją instalacji i urządzeń: projekty techniczne (opisy, obliczenia, rysunki z naniesionymi zmianami z okresu budowy i dotychczasowej eksploatacji) lub dokumentacja fabryczna (z atestami, certyfikatami i kartami gwarancyjnymi), dokumenty przyjęcia urządzeń do eksploatacji (wraz ze sprawozdaniem z przeprowadzonych badań odbiorczych oraz z rozruchu bądź ruchu próbnego), fabryczne instrukcje eksploatacji łącznie z ew. programami pracy urządzenia, protokoły przeglądów i remontów, protokoły badań odbiorczych i okresowych, protokoły poawaryjne z potwierdzeniem usunięcia stwierdzonych usterek. Instrukcje powinny być bieżąco aktualizowane, czynności protokołowane a dokonywane zmiany nanoszone na planach i schematach.

W systemie gospodarki nakazowej obowiązywały do lat 90. ubiegłego wieku „Przepisy eksplo-

atacji urządzeń elektroenergetycznych” zawierające liczne zarządzenia resortowe w sprawie *szczegółowych zasad eksploatacji* poszczególnych rodzajów urządzeń. Były one na tyle szczegółowe, że spełniały rolę dzisiejszych *instrukcji eksploatacji*. Wystarczyło z nich sporządzić skrócone wyciągi jako *stanowiskowe instrukcje eksploatacji*, które i obecnie są sporządzane.

Rezygnacja z narzuconych odgórnie szczegółowych zasad eksploatacji bynajmniej nie oznacza, że państwo rezygnuje z nadzoru nad warunkami bezpieczeństwa i higieny pracy. Natomiast oznacza, że państwo nie zamierza ingerować w ustalanie szczegółowych zasad eksploatacji instalacji i urządzeń stanowiących majątek przedsiębiorstw, które doń nie należą. Nie zamierza ingerować bezpośrednio w racjonalizację gospodarki energetycznej, nie zamierza każdorazowo rozstrzygać alternatywy: droższe urządzenie obywające się bez częstych przeglądów, czy tańsze wymagające częstszej konserwacji, przeglądów i remontów. O tym powinien decydować właściciel bądź zarządca, a podczas projektowania nowych obiektów powinien o tym decydować projektant w porozumieniu z inwestorem. Nie sposób racjonalnie zaprojektować elektryczne wyposażenie obiektu w oderwaniu od spodziewanych warunków eksploatacji i taki sposób myślenia będzie się upowszechniał.

Zwiastunem są na przykład postanowienia nowej normy PN-EN 12464-1:2004 dotyczącej oświetlenia wnętrz, która obciąża projektanta obowiązkiem ustalenia *planu konserwacji oświetlenia*, uwzględniającego dobrany sprzęt oświetleniowy i warunki środowiskowe, jako podstawy obliczenia wartości współczynnika utrzymania. Według przepisów brytyjskich [27] projektant proponuje i uzgadnia z inwestorem częstość i zakres okresowych oględzin, sprawdzeń i pomiarów, stosownie do jakości i niezawodności dobieranych urządzeń, dla zapewnienia im oczekiwanej trwałości. Na życzenie inwestora może zmniejszyć częstość i zakres okresowych kontroli dobierając kosztowniejsze urządzenia wyższej jakości. Może pójść jeszcze dalej i wprowadzić system *monitoringu* zastępującego okresowe kontrole stanu technicznego albo znacznie wydłużającego przedział czasu między kolejnymi kontrolami. Jest to inwestycja radykalnie odmieniająca *szczegółowe zasady eksploatacji*.

Projektant może ułatwić różne zabiegi eksploatacyjne, również czynności kontrolne. Na przykład w obiekcie niebezpiecznym pod względem pożarowym, gdzie częściej będą przeprowadzane pomiary rezystancji izolacji w pełnym zakresie, może dobrać ograniczniki przepięć w wykonaniu wtykowym i umieścić w rozdzielnicach odcinacze w torach neutralnych (łączniki bez napędu, przystosowane do zamykania i otwierania za pomocą narzędzia w stanie bezprądowym obwodu).

Polski elektryk przygotowujący instrukcje eksploatacji musi spełnić wymogi polskiego prawa, a ponadto może i powinien korzystać ze wszelkich uznanych zasad wiedzy technicznej. Stanowią je nie tylko Polskie Normy, jeżeli są poprawnie przetłumaczone, ale również normy własne innych krajów, zwłaszcza normy niemieckie DIN VDE oraz przepisy prawa innych krajów. Są to zbiory aktualnych zasad wiedzy na ogół bardziej rzetelne niż opracowania tworzone w Warszawie.

1.3. Zakres odbiorczych kontroli instalacji i urządzeń elektrycznych

Kontrolę odbiorczą (odbior) przeprowadza się przed oddaniem do eksploatacji instalacji nowo zbudowanej lub przebudowanej albo zmodernizowanej. Kontrola odbiorcza ma za zadanie sprawdzić rzetelność projektu, zgodność wykonania z projektem i z obowiązującymi przepisami oraz z zasadami wiedzy technicznej zebranymi przede wszystkim w normach.

Według szczegółowych wytycznych francuskich [28, 29] badania odbiorcze mają następujący zakres:

- Sprawdzenie założeń projektowych. Sprawdzenie, czy projekt zawiera wymagane obliczenia, a jeśli projektant korzystał z oprogramowania, to czy ma ono wymagany certyfikat. Sprawdzenie, czy wyniki obliczeń poprawnie wykorzystano przy doborze aparatów i urządzeń.
- Sprawdzenie planów i schematów instalacji, w tym – kompletności podanych na nich informacji.
- Oględziny sprawdzające zgodność wykonania z dokumentacją: zainstalowane rozdzielnice i ich wyposażenie, transformatory i przekształtniki, przewody i sposób ich ułożenia, silniki i inne urządzenia odbiorcze.
- Sprawdzenie doboru i stanu zabezpieczeń nadprądowych przewodów i silników. W przypadku wyposażenia nowych maszyn oznaczonych znakiem CE ma miejsce domniemanie zgodności z dyrektywą niskonapięciową oraz dyrektywą maszynową i sprawdzanie jest zbędne.

- Sprawdzenie stanu ochrony przeciwporażeniowej podstawowej. Sprawdzenie stanu i stopnia ochrony obudów. Pomiar rezystancji izolacji (z pominięciem obwodów SELV i PELV oraz sprzętu klasy ochronności II i/lub sprzętu informatycznego).
- Sprawdzenie ciągłości połączeń ochronnych.
- Sprawdzenie rzeczywistej wartości różnicowego prądu zadziałania wyłączników różnicowo-prądowych.
- Sprawdzenie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania przez zabezpieczenia nadprądowe.
- Sprawdzenie działania urządzeń oświetlenia awaryjnego wraz z układem ich zasilania.
- Sprawdzenie działania urządzeń do wyłączania awaryjnego.
- Sprawdzenie wyposażenia w sprzęt ochronny, tablice ostrzegawcze i informacyjne.

1.4. Zakres okresowych kontroli stanu technicznego

Okresowe kontrole stanu technicznego mają sprawdzić, czy nie doszło do niedopuszczalnego pogorszenia stanu instalacji i urządzeń prawidłowo zaprojektowanych i poprawnie zbudowanych, co wykazały rzetelnie przeprowadzone badania odbiorcze (protokoły są dostępne), i poprawnie dotychczas eksploatowanych, co wykazały uprzednie kontrole okresowe (protokoły są dostępne). Mają też wykryć i sprawdzić ewentualne zmiany (również wymiany uszkodzonych aparatów lub innych elementów) wprowadzone po poprzedniej kontroli, ich zakres, celowość i poprawność. W przypadku dokonania zmian zasadniczych po poprzedniej kontroli, instalacja bądź jej część podlegają badaniom odbiorczym.

Co do zakresu okresowych kontroli stanu technicznego instalacji i urządzeń elektrycznych obserwuje się w Polsce rozdzielenie jaźni:

- wpisuje się zakres jak największy w przepisach, zarządzeniach, wytycznych, instrukcjach, najchętniej bez dopuszczenia jakichkolwiek odstępstw, aby nikt nie zarzucił, że cokolwiek pominięto, a następnie
- lekceważy się i omija te zapisy, bo literalne ich dopełnienie bywa kłopotliwe i/lub kosztowne, a niekiedy praktycznie niemożliwe.

Pomimo tej zapobiegliwości autorów przepisów i instrukcji, wspieranej przez osoby i firmy wężące łatwy zarobek, teksty są niedopracowane, niejednoznaczne i w zapisach szczegółowych odbiegające od praktyki starszych członków Unii. Same kontrole, w tym badania i pomiary, nader często bywają przeprowadzane niestarannie i niekompetentnie, a bywa, że ich protokoły są niewiele warte.

Grzechem najpoważniejszym jest **niedocenie oględzin** jako ważnej czynności kontrolnej. Wprawne oko autentycznego fachowca czasem więcej wypatry niż pomiar miernikiem w ręku osoby nie dość kompetentnej. Czynności kontrolne to oględziny, sprawdzenia za pomocą próbników oraz pomiary za pomocą mierników (niem. *Besichtigung, Erproben und Messen*). Identycznie stawia sprawę projekt arkusza IEC 60364-6, Part 6: Verification [22], który na wstępie podkreśla, że kontrola (sprawdzenie) stanu technicznego instalacji elektrycznej obejmuje wspomniane czynności oraz sporządzenie protokołu: **Verification = inspection + testing + reporting**.

Przy badaniach okresowych pamiętać trzeba o zasadzie **ochrony zastanej**. Od istniejących starszych instalacji i urządzeń wymaga się zgodności z normami i przepisami budowy z okresu ich projektowania i wykonania, pod dwoma wszakże warunkami:

- później wprowadzane przepisy (lub obligatoryjne normy) nie wymagały doprowadzenia z określonym *vacatio legis* istniejących urządzeń do stanu zgodności z ich wszystkimi lub wybranymi postanowieniami,
- w instalacji bądź urządzeniu nie dokonywano *zmian zasadniczych* poprzez przebudowę lub modernizację.

Tym niemniej również starszych urządzeń dotyczą obecne przepisy bezpieczeństwa pracy [8], zwłaszcza w zakresie ochrony od porażenia, pożarów i wybuchów.

We Francji [28, 29] osoba przystępująca po raz pierwszy do kontroli okresowej w jakimś obiekcie musi otrzymać protokół badań odbiorczych i kolejnych kontroli okresowych poprzedzających jej przybycie. W przeciwnym razie jest obowiązana przeprowadzić nie kontrolę okresową, lecz badania

odbiorcze w pełnym zakresie (znacznie szerszym niż badania okresowe) i przedstawić protokół badań odbiorczych.

1.5. Częstość okresowych kontroli stanu technicznego

Jako zwykły okres czasu między kolejnymi okresowymi kontrolami stanu technicznego instalacji i urządzeń elektrycznych stanowiących wyposażenie budynków polskie prawo budowlane uznaje okres nie dłuższy niż 5 lat. Okresy krótsze powinny dotyczyć niekorzystnych warunków środowiskowych i/lub zwiększonego zagrożenia porażeniem, pożarem bądź wybuchem.

Podobnie 5 lat obowiązuje w Austrii jako zasada ogólna, ale 3 lata w warunkach niekorzystnych narażeń środowiskowych (wilgoć, silne zabrudzenie, narażenia chemiczne, mechaniczne, anormalna temperatura) i 1 rok w przypadku skrajnie niekorzystnych narażeń środowiskowych (szczególna intensywność czynników uprzednio wymienionych albo jednocześnie występowanie kilku z nich), w tym na placach budowy. Wydłużenie okresów międzykontrolnych do 10 lat przewiduje się dla instalacji w budynkach biurowych i handlowych.

We francuskich zakładach pracy [28, 29] kontrole okresowe przeprowadza się corocznie. Zarządca może ten okres wydłużyć do dwóch lat, jeżeli poprzedni protokół nie sygnalizował żadnych istotnych usterek bądź zalecenia zawarte w protokole zostały w terminie wykonane. Listem poleconym ze zwrotnym poświadczeniem odbioru zarządca informuje o tym inspektora pracy, który bieżąco otrzymuje wnioski z kontroli.

Według norm niemieckich [23, 24] częstość sprawdzania skuteczności ochrony przeciwporażeniowej powinna być uzależniona od warunków środowiskowych określających stopień narażenia urządzeń elektrycznych na uszkodzenia i stopień zagrożenia ludzi porażeniem. Okresowe sprawdzanie skuteczności ochrony w pełnym zakresie powinno odbywać się w odstępach czasu nie większych niż:

- | | |
|-----------|---|
| 1 miesiąc | w instalacjach ruchomych z wyłącznikami różnicowoprądowymi, |
| ½ roku | w instalacjach publicznych basenów kąpielowych, łaźni i saun, |
| 1 rok | w innych warunkach szczególnego zagrożenia (arkusze 700), |
| 2 lata | w instalacjach biurowców, |
| 4 lata | w innych instalacjach. |

Badania sprzętu ruchomego wykonuje się w Niemczech [25, 26] w zasadzie co ½ roku, ale jeżeli kontrola wykazuje mniej niż 2% sprzętu z usterkami, to okres czasu między kolejnymi badaniami wolno wydłużyć. To jest drogowskaz dla wszystkich, którzy zastanawiają się, jakiej częstości przeglądów, kontroli i badań wymagać. Właściwym kryterium jest największy akceptowalny odsetek wykrywanego sprzętu wadliwego.

2. Szczególne problemy kontroli stanu urządzeń elektronicznych

2.1. Uwagi wstępne

W krajach Unii zasady bezpieczeństwa użytkowania urządzeń energoelektronicznych – stosownie do ich rodzaju – podlegają dyrektywie niskiego napięcia, dyrektywie kompatybilności i ew. dyrektywie maszynowej; tym samym podlegają postanowieniom norm zharmonizowanych z tymi dyrektywami.

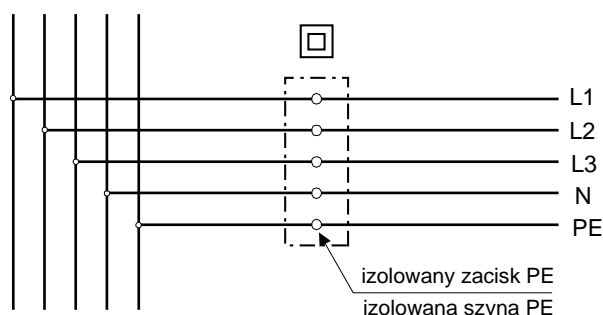
Producent jest obowiązany zastosować wbudowane układy zabezpieczeniowe i ochronne, stanowiące integralną część urządzenia, i drobiazgowo określić pozostałe, które należy wprowadzić w instalacji zasilającej, w obwodach wyjściowych i w otoczeniu urządzenia [6]. Jednakowoż w wielu przypadkach brakuje jednoznacznych postanowień norm odnośnie do badania ich skuteczności i wiele polega na doświadczeniu producentów, stosujących rozwiązania niejednolite, czasem kontrowersyjne. Na przykład rozwiązanie korzystne dla ochrony przeciwporażeniowej może wydawać się niewskazane z punktu widzenia ochrony przeciwwzakłóceń lub wymagania ciągłości pracy układu. Taki konflikt powstaje na przykład w kwestii łączenia ze sobą przewodów ochronnych i/lub przewodów uzie-

mień funkcjonalnych różnych obwodów, zasilanych z różnych źródeł, a występujących w tym samym urządzeniu. Względny ochrony przeciwporażeniowej, które są priorytetowe, wymagają ich łączenia i na ogół daje się to pogodzić z wymaganiami kompatybilności. Rozwiązanie przeciwne wymagałoby karłowatych rozwiązań uniemożliwiających jednoczesne dotknięcie części dostępnych niepołączonych przewodami wyrównawczymi.

Rozważając zakres i sposób przeprowadzania kontroli stanu technicznego urządzeń energoelektronicznych, zwłaszcza kontroli okresowych, trzeba pamiętać, że te kontrole nie są celem samym w sobie. Mają one służyć zapewnieniu niezawodnej pracy urządzeń i należytej ich trwałości. Obowiązuje zasada, jak w medycynie: *primum non nocere!* Godne zauważenia jest też przykazanie niemieckich techników dotyczące takich właśnie sytuacji: *Beschädigung durch Prüfen vermeiden!* (Wystrzegaj się uszkodzenia przez badanie). Unikać też trzeba kosztownej dezorganizacji pracy obiektu o ruchu ciągłym. Jeżeli jakieś badanie jest bardzo trudno wykonać, jest ono praktycznie niewykonalne, to zamiast się przy nim upierać, należy zastanowić się nad możliwością badania zastępczego, dającego informację równoważną, czy chociażby wystarczająco przydatną. Podobne przejawy racjonalnego podejścia spotyka się już w normach przedmiotowych, np. uzupełniony komentarzem zapis w normie PN-EN 61800-1:2000 [18]: *Zaleca się ograniczenie kosztownych badań tylko do tych, które są niezbędne.*

2.2. Znaczenie klasyfikacji urządzeń

Niektóre wymagania konstrukcyjne i eksploatacyjne stawiane urządzeniom niskonapięciowym zależą od ich klasy ochronności. W przypadku urządzeń energoelektronicznych klasa ochronności 0 nie wchodzi w rachubę, a klasa III tylko wyjątkowo i kłopotliwych problemów nie przysparza. Zatem pozostają tylko dwie klasy ochronności: I oraz II.



Rys. 1. Sposób prowadzenia obwodu z przewodem ochronnym PE przez urządzenie (rozdzielnicę, sterownicę) klasy ochronności II
Układ instalacji: TN-S, TT lub IT.

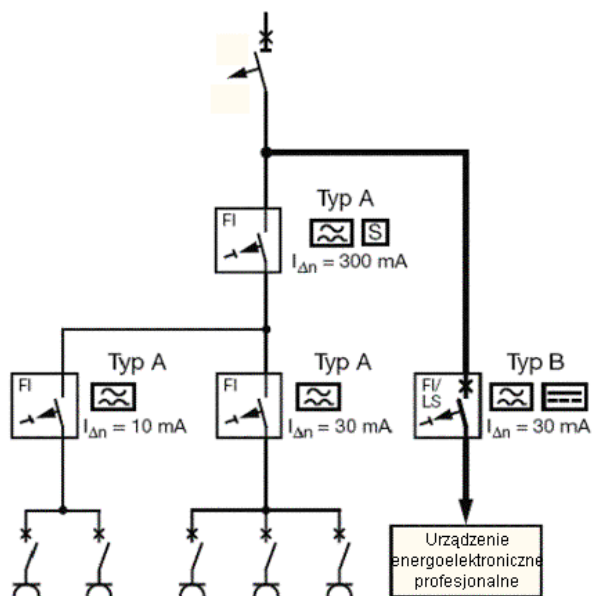
Klasa ochronności I. Urządzenie ma izolację podstawową jako środek ochrony podstawowej i zawiera części przewodzące dostępne, do których przyłącza się przewód ochronny PE, stanowiący element układu ochrony dodatkowej, zwykle – samoczynnego wyłączenia zasilania.

Klasa ochronności II, czyli izolacja ochronna. Urządzenie ma **ochronną osłonę izolacyjną** lub **izolację podwójną** (izolację podstawową i oddzielną od niej częściami przewodzącymi pośrednimi izolację dodatkową) albo **izolację wzmocnioną**, czyli pojedynczy układ izolacyjny równoważny izolacji podwójnej, co jest dopuszczalne tylko wtedy, kiedy izolacji podwójnej wykonać się nie da. Jeżeli przez takie urządzenie trzeba poprowadzić przewód ochronny PE, bo jest on potrzebny w obwodzie wyjściowym, to we wnętrzu urządzenia klasy ochronności II przewód ochronny PE i jego zaciski powinny być izolowane, jak przewody czynne (rys. 1). We wnętrzu urządzenia klasy ochronności II przewodu ochronnego PE nie wolno przyłączyć do żadnych części przewodzących dostępnych bądź pośrednich; nie wolno go wykorzystywać ani dla celów ochrony przeciwporażeniowej, ani do uzziemienia roboczego (funkcjonalnego).

Kontrowersje zachodzą w przypadku niektórych urządzeń, zwłaszcza z układami energoelektronicznymi, które spełniają wymagania konstrukcyjne stawiane układom izolacyjnym urządzeń klasy ochronności II, ale mają przyłączony przewód ochronny, niezbędny do ich poprawnego działania. Wymykają się one tradycyjnej interpretacji poszczególnych klas ochronności. Jest tak w przypadku urządzeń elektronicznych całkowicie osłoniętych obudową izolacyjną, zawierających filtr lub filtry przeciwzakłócenkowe wymagające przyłączenia przewodu ochronnego PE. Jest tak również w przy-

padku przepływowych ogrzewaczy wody o osłonie izolacyjnej, w których przewód ochronny PE, przyłączony do dyszy lub sitka u wylotu wody, zapewnia utrzymanie na dopuszczalnym poziomie prądu dotykowego przy styczności człowieka ze strumieniem wypływającej wody.

Uważna lektura objaśnionych wyżej cech urządzeń klas ochronności I i II wyjaśnia, że takich urządzeń nie należy zaliczać do klasy ochronności II i nie wolno oznaczać podwójnym kwadratem. Wobec tego należą one do urządzeń klasy ochronności I (jeden), mimo że nie mają na zewnątrz żadnych części przewodzących dostępnych albo jedyną taką częścią jest styk ochronny PE w urządzeniu wtykowym, na ogół niedostępny podczas normalnego użytkowania [1].



Rys. 2. Zalecenia dotyczące wyposażenia w wyłączniki różnicowoprądowe instalacji zasilających urządzenia energoelektroniczne

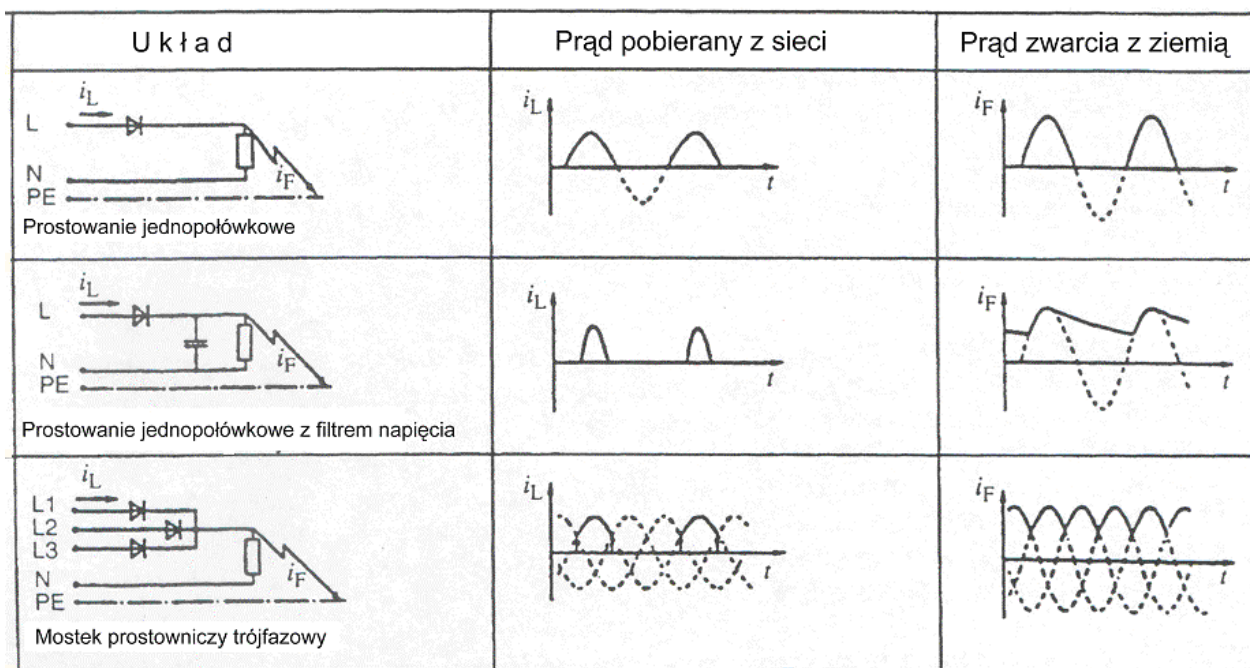
Wymagania stawiane bezpieczeństwu użytkowania urządzeń energoelektronicznych są też uzależnione od oczekiwanych kwalifikacji osób, które mają je obsługiwać.

Wyższe wymagania odnośnie do konstrukcji i zasad bezpieczeństwa w miejscu użytkowania stawia się urządzeniom przeznaczonym do stosowania przez osoby niewykwalifikowane. Chodzi o urządzenia stałe i ruchome mniejszej mocy (umownie $P_n \leq 4 \text{ kW}$), zasilane z instalacji 230/400 V, zwłaszcza urządzenia gospodarstwa domowego ze sterownikami elektronicznymi, wymagające certyfikacji przez laboratoria akredytowane. Powinny być one tak skonstruowane, aby nie mogły wywoływać prądu różnicowego stałego o małym tętnieniu. W ich obwodzie powinien wystarczyć wyłącznik różnicowoprądowy o wyzwaniu typu A.

W obwodach urządzeń większej mocy, które na ogół są urządzeniami profesjonalnymi, może występować prąd różnicowy stały o niedużym tętnieniu, co wymaga stosowania wyłączników różnicowoprądowych o wyzwaniu typu B (rys. 2) albo innych środków ochrony, np. izolacji ochronnej (urządzenia o niedużej mocy), albo środków eliminujących składową stałą (zasilanie poprzez transformator izolacyjny).

Warto podkreślić, że przebieg prądu zwarcia doziemnego za energoelektronicznym przekształtnikiem lub sterownikiem i tym samym – prądu różnicowego w obwodzie zasilającym może być zupełnie inny niż przebieg prądu roboczego płynącego w tym obwodzie i łatwo tu o groźną w skutkach pomyłkę. Na rys. 3 przedstawiono trzy przykłady, które to ilustrują, w normie [15] i w literaturze można ich znaleźć znacznie więcej.

Zakłada się, że urządzenia profesjonalne o dużej mocy są obsługiwane przez osoby wykwalifikowane. Zatem może wystarczać – po otwarciu rozdzielnic lub sterownic – ochrona przed przypadkowym dotknięciem części czynnych. Nie wymaga się stosowania urządzeń różnicowoprądowych, bo wobec dużych ustalonych i przejściowych prądów upływowch mogłyby one podlegać zbędnym działaniom. Dużą uwagę przywiązuje się do napisów informacyjnych i ostrzegawczych, zrozumiałych dla osób wykwalifikowanych.



Rys. 3. Porównanie przebiegów prądu roboczego i prądu zwarcia doziemnego w obwodzie z przyrządami półprzewodnikowymi

Stanem zwiększonego zagrożenia mogą być prace rozruchowo-regulacyjne i strojenie urządzeń energoelektronicznych nowo instalowanych bądź uruchamianych po naprawie. Rutynowo wykonuje się je przy otwartych drzwiach i obudowach czynnych urządzeń. Wprowadzenie mikroprocesorowych układów sterowania i możliwość sprawdzania bądź modyfikowania oprogramowania z przenośnego komputera poważnie zmniejszyła narażenia personelu serwisowego na pokusę prac pod napięciem niezupełnie zgodnych z zasadami bezpieczeństwa.

2.3. Badanie stanu izolacji podstawowej

Tylko przy badaniach odbiorczych, przed ostatecznym zmontowaniem przekształtnika, jest możliwe wszechstronne zbadanie stanu izolacji podstawowej, łącznie ze sprawdzeniem dopełnienia zasad koordynacji izolacji [16, 17]. Chodzi m.in. o sprawdzenie odstępów izolacyjnych powierzchniowych wymiarowanych stosownie do największego dopuszczalnego napięcia roboczego oraz odstępów powietrznych wymiarowanych zależnie od spodziewanego poziomu przepięć.

Izolacja doziemna obwodów wejściowych galwanicznie połączonych z instalacją zasilającą 230/400 V w zasadzie powinna być wymiarowana według kategorii przepięciowej III (4 kV, 1,2/50 μ s), a obwodów wtórnych oddzielonych transformatorem izolacyjnym – według kategorii przepięciowej II (2,5 kV, 1,2/50 μ s). Izolacja międzybiegunowa obwodów wtórnych powinna spełniać wymagania według kategorii przepięciowej I (1,5 kV, 1,2/50 μ s); podobne wymagania odnoszą się do obwodów wejściowych (sieciowych), jeżeli są one wyposażone w ograniczniki przepięć.

Zwykle wykonanie przekształtników jest przeznaczone do pracy w miejscach suchych bądź przejściowo wilgotnych i pozbawionych pyłów przewodzących, tzn. w środowisku bez zwiększonych narażeń. Urządzenie przeznaczone do pracy w innych warunkach wymagałoby wielokrotnego zwiększenia odstępów izolacyjnych powierzchniowych. Przy wymuszonym przewietrzaniu pyły przewodzące, zwłaszcza w połączeniu ze zwiększoną wilgotnością powietrza, poważnie degradują własności odstępów izolacyjnych powierzchniowych.

W trakcie montażu samego przekształtnika wchodzi w rachubę **badanie wytrzymałości elektrycznej** izolacji doziemnej, które wykonuje się rozmaicie, zależnie od zastosowanych zaworów. Diody i tyrystory są mocowane na radiatorach izolowanych od masy, wobec czego zwiera się wszystkie elektrody i sprawdza napięciem probierczym przemiennym wytrzymałość elektryczną izolacji względem uziemionej obudowy. Tranzystory IGBT i bloki elektroizolowane są mocowane na uziemionych

radiatorach; odłącza się elektrody, a pozostałe elementy obwodów zwiera ze sobą i sprawdza napięciem probierczym przemiennym wytrzymałość elektryczną izolacji względem uziemionej obudowy.

Tablica 1. Wymagania odnośnie do pomiaru rezystancji izolacji

Napięcie znamionowe obwodu	Napięcie pomiarowe	Najmniejsza dopuszczalna rezystancja izolacji
V	V	MΩ
Bardzo niskie ze źródła bezpiecznego: SELV, PELV	250	0,25
$U_n \leq 500$ V (poza SELV i PELV)	500	0,5
$U_n > 500$ V	1000	1,0

Podczas instalowania przekształtnika, w miejscu jego przyszłej pracy, należy przeprowadzić **pomiar rezystancji izolacji** przewodów i innych elementów przed dołączeniem urządzeń elektronicznych. Pomiar należy wykonać między przewodami czynnymi oraz między każdym z przewodów czynnych a ziemią. Wymagania (tabl. 1) odnośnie do napięcia pomiarowego i najmniejszej dopuszczalnej wartości rezystancji izolacji norma PN-EN 50178:2003 [15] formułuje identycznie, jak arkusz PN-IEC 60364-6-61:2000 [20]. Nie przeprowadza się pomiaru rezystancji izolacji samego przekształtnika ze względu na ryzyko uszkodzenia.

Podczas wyboru prezydenta RP w roku 1989 (W. Jaruzelskiego) nikt spośród obecnych na sali 544 członków Zgromadzenia Narodowego nie wiedział, jak zaokrąglić do liczby całkowitej obliczoną połowę liczby oddanych ważnych głosów (537) i nikt – łącznie z dobrze opłacanymi doradcami i ekspertami – nie miał pojęcia, że jest Polska Norma [12], zgodna ze standardami ogólnowoświatowymi, która to jednoznacznie określa. Uczyniono z tego problem polityczny, jedni żądali zaokrąglenia w górę, a inni w dół, stosownie do przynależności partyjnej.

Podobnie wielu inżynierów patrząc na liczby w tablicy 1 nie widzi różnicy na przykład między zapisem $R_{iz} \geq 1,0$ MΩ a zapisem $R_{iz} \geq 1$ MΩ. A różnica jest duża i w sytuacjach spornych może wiele kosztować.

Zapis w normie $R_{iz} \geq 1,0$ MΩ oznacza, że najmniejsza dopuszczalna wartość została określona z drugim stopniem dokładności, z dokładnością dwóch cyfr znaczących (cyfr wartościowych). Zatem porównywany z nią wynik pomiaru należy podać z tą samą dokładnością, należy zaokrąglić do dwóch cyfr znaczących. Wobec tego za najmniejszy pozytywny wynik pomiaru należy uznać liczbę dokładną 0,995 MΩ, co po zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących daje 1,0 MΩ. Wynik pomiaru sytuuje się dokładnie pośrodku pomiędzy dwiema liczbami o dwóch cyfrach znaczących: 0,99 oraz 1,0. W takim przypadku zaokrągliła się do liczby parzystej (1,0), o czym reprezentanci narodu nie wiedzieli.

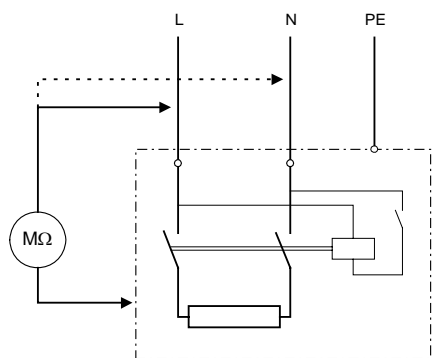
Zapis w normie $R_{iz} \geq 1$ MΩ oznaczałby, że najmniejsza dopuszczalna wartość została określona z pierwszym stopniem dokładności, z dokładnością jednej cyfry znaczącej. Za najmniejszy pozytywny wynik pomiaru należałoby uznać wartość nieco większą niż 0,5 MΩ, bo wartość dokładna 0,5 i każda mniejsza po zaokrągleniu byłaby zapisana jako zero. Taka byłaby literalna interpretacja tego postanowienia, do wygrania przed sądem, niezależnie od tego, czy autorzy aktu normatywnego rozumieli, co piszą.

W trakcie okresowych kontroli stanu technicznego urządzeń energoelektronicznych tym bardziej rezygnuje się z pomiaru rezystancji izolacji. Z drugiej strony wiadomo, że częstym powodem awarii przekształtników są przebicia izolacji między obwodami głównymi a obwodami regulacji i sterowania. Stąd zrozumiałe dążenie do pomiaru zastępczego, pozbawionego ryzyka uszkodzenia urządzenia, ale charakteryzującego stan izolacji. Takie badanie może polegać na pomiarze prądu upływowego.

Ryzyko **zasilania zwrotnego** jest specyfiką zasilaczy UPS. Po odłączeniu od sieci zasilającej stanowią one samoistne źródło energii, grożące porażeniem i to przez czas dłuższy niż przewidywany czas rezerwy bateryjnej. Problem dotyczy zwłaszcza zasilaczy UPS małej mocy, przyłączanych do instalacji poprzez przewód ruchomy i łącznik wtyczkowy. Po wyjęciu wtyczki z gniazda musi być zapewnione bezpieczeństwo dotykowe, np. nie powinno być napięcia na wystających stykach wtyczki.

2.4. Pomiar prądu upływowego

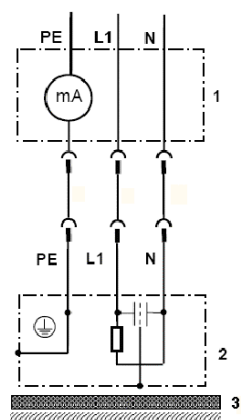
Pomiary rezystancji izolacji wymagają długotrwałego wyłączenia instalacji spod napięcia, co w niektórych obiektach jest niepożądane albo w ogóle nie wchodzi w rachubę. Bywa, że latami nie można sobie pozwolić na takie pomiary. Pomiar wielkości pochodnych prądu upływowego: prądu w przewodzie ochronnym, prądu dotykowego lub prądu różnicowego odbywa się w czynnej instalacji, wyniki otrzymuje się natychmiast.



Rys. 4. Przykład sytuacji, kiedy pomiar rezystancji izolacji urządzenia jest utrudniony bądź praktycznie niemożliwy

Unika się problemów z odłączaniem albo zwieraniem elementów i układów elektronicznych, dla których napięcie pomiarowe megaomierza jest niebezpieczne. Unika się kłopotów z odpadaniem styczników i przekaźników, które otwierają się w stanie beznapięciowym urządzenia (rys. 4), i odłączają część obwodów, co uniemożliwia poprawny pomiar. Albo trzeba do pomiaru urządzenie otworzyć, rozmontować (zrywając plomby gwarancyjne), albo trzeba z przepisanego pomiaru zupełnie zrezygnować bądź wykonać pomiar zastępczy. O tym decyduje ten, kto odpowiada za bezpieczeństwo użytkownika urządzenia. W takich sytuacjach w Niemczech (DIN VDE 0702) dopuszcza się, aby zamiast pomiaru rezystancji izolacji wykonywać pomiar prądu upływowego jako pomiar zastępczy (niem. *Ersatzmessung*).

Kłopot polega na tym, że wiele urządzeń energoelektronicznych ma duży prąd upływowy już w stanie nieuszkodzonym, w warunkach normalnej pracy. Uszkodzeniu izolacji towarzyszy zwiększenie składowej czynnej prądu upływowego i zmiana jego widma. Ten problem oczekuje dogłębnego rozpoznania i opracowania. Widmo prądu upływowego mogłoby informować o stanie izolacji obwodu przekształtnika podobnie, jak widmo hałasu informuje o stanie łożysk i innych części silnika elektrycznego. Wyjściem tymczasowym jest porównywanie wyników pomiaru prądu upływowego z wynikami wcześniejszych pomiarów, wykonanych przy poprawnym stanie urządzenia, np. po zakończeniu ruchu próbnego.

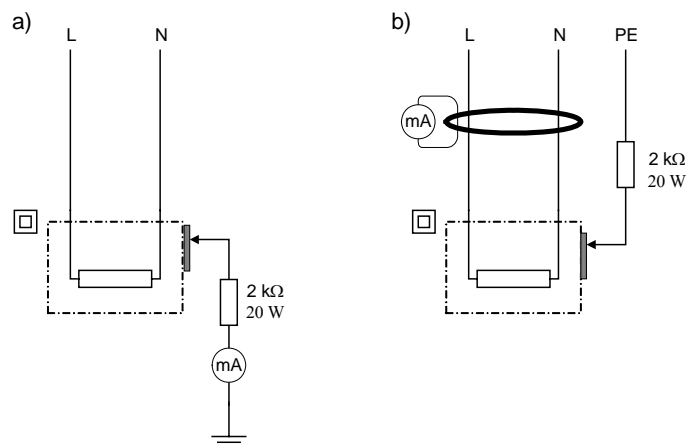


Rys. 5. Bezpośredni pomiar prądu w przewodzie ochronnym

1 – miernik, 2 – badane urządzenie klasy ochronności I, 3 – element izolujący podczas pomiaru obudowę badanego urządzenia od potencjału ziemi

Pomiar prądu upływowego obejmuje fragment instalacji, w dół od miejsca pomiaru. Zatem wynik zależy od miejsca pomiaru, od tego, czy obejmuje on sam przekształtnik, przekształtnik z zasilającym obwodem instalacji i/lub z obwodem wyjściowym i/lub z odbiornikami (odbiornikami). W przypadku przemienników częstotliwości duży wpływ ma długość obwodu wyjściowego i rodzaj

użytych przewodów, zwłaszcza to, czy i jak są one ekranowane.



Rys. 6. Najprostsze sposoby pomiaru prądu dotykowego urządzenia klasy ochronności II: a) pomiar bezpośredni; b) pomiar pośredni. W przypadku urządzenia o ochronnej osłonie izolacyjnej używa się giętkiej elektrody przewodzącej o wymiarach 10×20 cm.

Ze względów bezpieczeństwa mierzy się przede wszystkim wielkości pochodne prądu upływowego: **prąd w przewodzie ochronnym** urządzenia klasy ochronności I (rys. 5) oraz **prąd dotykowy** urządzenia klasy ochronności II (rys. 6).

Prąd dotykowy nie powinien przekraczać progu odczuwania (0,5 mA ac), bo symuluje prąd rażeniowy płynący przez ciało człowieka (o umownej rezystancji 2 kΩ) dotykającego obudowy urządzenia. W przypadku prądu w przewodzie ochronnym z konieczności dopuszcza się wartości większe, nawet znacznie większe. Za wartość graniczną, kiedy nie trzeba stosować zaostrożonych rygorów bezpieczeństwa, przyjmuje się 3,5 mA ac. Jest to wartość odpowiadająca pojedynczemu zestawowi komputerowemu PC. W przypadku profesjonalnych przekształtników dużej mocy wchodzi w rachubę wartości rzędu dziesiątków miliamperów, a nawet przekraczające sto miliamperów.

Jeżeli ustalony prąd upływowy w warunkach normalnej pracy jest większy niż 3,5 mA ac lub 10 mA dc, to obowiązują dodatkowe wymagania [15]. Przy połączeniach ochronnych wykonanych przewodami ułożonymi na stałe należy wprowadzić jeden z następujących środków ochronnych:

- dublowanie przewodu ochronnego,
- samoczynne wyłączanie zasilania w razie przerwania przewodu ochronnego,
- zasilanie poprzez transformator izolacyjny i wykonanie miejscowych połączeń wyrównawczych.



Rys. 7. Znak ostrzegawczy „ryzyko wypadku”.
Symbol b.3.1 według ISO 3864-1 [21], PN-92/N-01255 [11].
Czarny wykrzyknik na żółtym tle w trójkącie równobocznym o szerokiej czarnej obwódce.

Ponadto norma PN-EN 50178:2003 [15] wymaga, aby urządzenia energoelektroniczne, w których może pojawić się prąd różnicowy stały o małym tętnieniu były zaopatrzone w odpowiedni znak ostrzegawczy (rys. 7) oraz w ostrzeżenie o treści:

Ten wyrób może spowodować przepływ prądu stałego w przewodzie ochronnym. Jeżeli do ochrony w przypadku dotyku bezpośredniego lub pośredniego jest stosowany wyłącznik różnicowy (RCD), to po stronie zasilania tego wyrobu dopuszcza się stosowanie tylko RCD typu B. W przeciwnym przypadku należy zastosować inne środki ochrony, takie jak separacja od otoczenia za pomocą izolacji podwójnej lub wzmocnionej lub izolacja od sieci zasilającej za pomocą transformatora.

Ze wstydu przed prostymi ludźmi, którzy będą to czytać, ten bełkot z normy należałoby przedtem przetłumaczyć na język polski i znacznie skrócić.

2.5. Sprawdzenie samoczynnego wyłączenia zasilania przez zabezpieczenia nadprądowe

W obwodach przekształtników zasilanych z instalacji TN ochronę przeciwporażeniową dodatkowo łatwo zapewnić przez samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą zabezpieczeń nadprądowych. Każdy obwód musi mieć na początku zabezpieczenie zwarciovowe w postaci wyłącznika nadprądowego lub bezpieczników, a zatem odpada koszt dodatkowego urządzenia wyłączającego i inne problemy z nim związane. Ze względu na zawory (diody lub tyrystory), obecne w obwodzie wejściowym większości przekształtników, producent wymaga zabezpieczenia ich za pomocą bezpieczników o charakterystyce bardzo szybkiej (aR, gR), korzystnej z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej.

Osobną sprawą jest poprawny dobór zabezpieczeń nadprądowych, zwłaszcza prądu znamionowego wkładek bezpiecznikowych oraz prądu nastawczego członu zwarciovowego wyłącznika z uwzględnieniem różnych stanów roboczych i odkształcenia prądu [5]. Ma to wpływ na wartość prądu wyłączającego zabezpieczenia I_a , gwarantującego wyłączenie zasilania w wymaganym czasie.

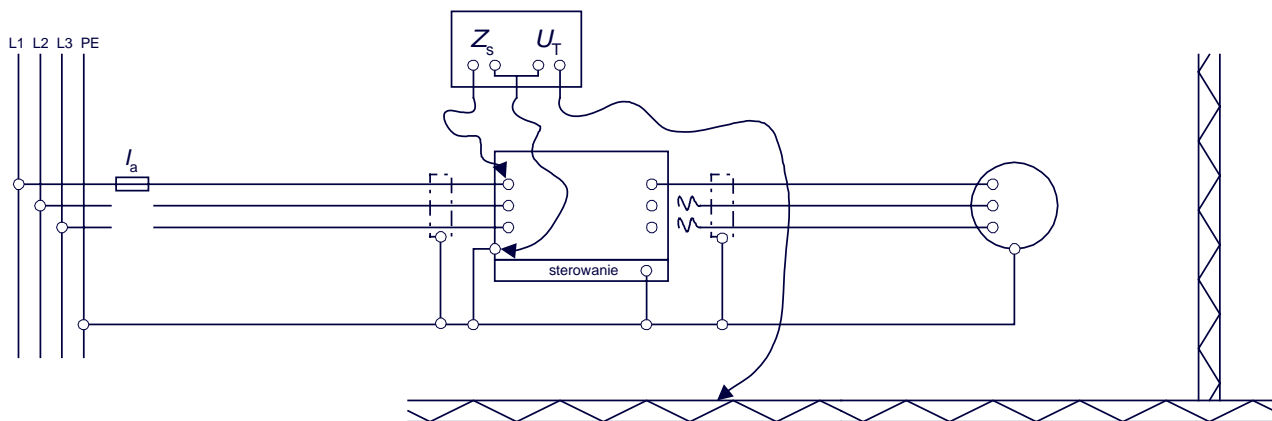
Sprawdzenie skuteczności ochrony dodatkowej w obwodzie zasilającym przekształtnika przeprowadza się tak samo, jak w innych obwodach. U końca obwodu, czyli na zaciskach wejściowych przekształtnika wykonuje się pomiar impedancji Z_s pętli zwarciovowej L-PE, aby sprawdzić, czy prąd zwarciovowy U_o/Z_s , płynący pod działaniem napięcia fazowego U_o , jest nie mniejszy niż prąd wyłączający I_a nadprądowego zabezpieczenia obwodu:

$$\frac{U_o}{Z_s} \geq I_a$$

Gdyby ten warunek nie był spełniony, wtedy należałoby się odwołać do zasady obowiązującej w normach i przepisach od niepamiętnych czasów: **albo wyłączenie zasilania, albo ograniczenie napięcia dotykowego do wartości dopuszczalnej**. Równocześnie z pomiarem impedancji pętli można wykonać pomiar napięcia dotykowego między częściami przewodzącymi jednocześnie dostępnymi (rys. 8). Z zasady proporcji wynika, że mając zmierzoną wartość napięcia dotykowego U_{To} przy przepływie prądu probierczego I_o , można obliczyć największe napięcie dotykowe, jakie może wystąpić długotrwale, tzn. przy przepływie prądu wyłączającego zabezpieczenia zwarciovowego I_a :

$$U_T = U_{To} \frac{I_a}{I_o} \leq 50 \text{ V ac}$$

Powinno ono być nie większe niż napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale: 50 V przy prądzie przemiennym 50 Hz lub 120 V przy prądzie stałym o pomijalnym tętnieniu. Gdyby ten warunek nie był spełniony, co w warunkach przemysłowych jest nieprawdopodobne, wtedy należałoby wykonać miejscowe połączenia wyrównawcze pozwalające obniżyć napięcia dotykowe do wymaganego poziomu.



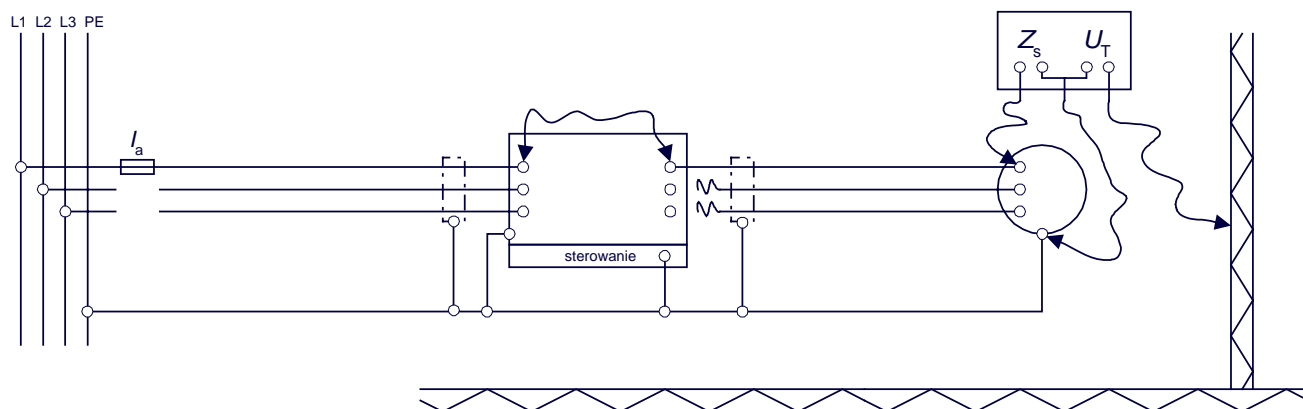
Rys. 8. Sprawdzenie skuteczności ochrony dodatkowej w obwodzie zasilającym przekształtnika przez samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą zabezpieczenia nadprądowego (układ TN)

Wiele nieuzasadnionych emocji budzi sprawdzanie skuteczności ochrony dodatkowej przez samoczynne wyłączenie zasilania w obwodach wyjściowych przekształtników. Nie ma co się użalać, że wskutek komutacji zaworów zmienia się konfiguracja pętli zwarciowej, że jednoznacznie określonej pętli nie ma, że jak wobec tego mierzyć jej impedancję. Pojęcie impedancji pętli jest wtórne, spełnia rolę pomocniczą, a istotna jest wartość prądu zwarcia doziemnego L-PE, która powinna być nie mniejsza niż prąd wyłączający I_a nadprądowego zabezpieczenia obwodu.

Rozpowszechnione obecnie niskonapięciowe przemienniki częstotliwości oraz zasilacze bezprzerwowe UPS, jedne i drugie z obwodem pośredniczącym prądu stałego i z falownikiem na tranzystorach IGBT, wprowadzają dwie osobliwości.

- 1) Przy trójfazowych obwodach wejściowym i wyjściowym mimo jednofazowego zwarcia doziemnego w obwodzie wyjściowym, nie ma asymetrii prądów w zasilającym obwodzie wejściowym i nie ma mowy o wyłączeniu fazy dotkniętej zwarcie, bo obwód pośredniczący symetryzuje obciążenie, w takt komutacji zaworów z miejscem zwarcia łączą się na przemian wszystkie trzy fazy obwodu wejściowego.
- 2) Dla zapobieżenia zniszczeniu tranzystorów wspomniane przekształtniki muszą mieć wbudowany bardzo szybki elektroniczny ogranicznik prądu wyjściowego do poziomu niewielkiej krotności prądu znamionowego, na ogół w granicach $(1,25 \div 2,5) \cdot I_n$. Interwencja ogranicznika odbiera jakąkolwiek szansę zadziałania zabezpieczeniom nadprądowym w obwodzie zasilającym przekształtnik, nawet jeśli jest to obwód jednofazowy. Z drugiej strony blokada bramkowa zaworów nie przerywa galwanicznie obwodu, nie może być uważana za samoczynne wyłączenie zasilania dla celów ochrony przeciwporażeniowej.

Z tych powodów za kryterium skuteczności ochrony trzeba przyjąć ograniczenie długotrwałe występujących napięć dotykowych do poziomu dopuszczalnego. Ten warunek jest zawsze samoistnie spełniony, bo napięcie dotykowe wywołane prądem na przykład $2,5 \cdot I_n$ na rezystancji przewodu ochronnego (od miejsca uszkodzenia do najbliższego miejsca wykonania połączeń wyrównawczych) jest tego rzędu, co spadek napięcia w obwodzie głównym przy znamionowym obciążeniu. Wynosi kilka procent napięcia fazowego obwodu. Wystarczy sprawdzić ciągłość połączeń ochronnych i wyrównawczych.

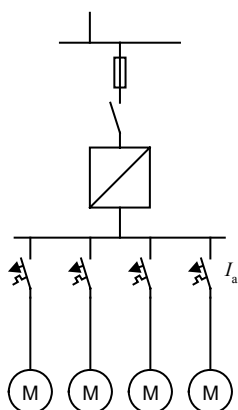


Rys. 9. Sprawdzenie skuteczności ochrony dodatkowej w obwodzie wyjściowym przekształtnika przez samoczynne wyłączenie zasilania za pomocą zabezpieczenia nadprądowego (układ TN)

Można pójść o krok dalej i zapytać, co będzie w sytuacji, kiedy ogranicznik prądowy zawiedzie. Co będzie z bezpieczeństwem ludzi, a nie zaworów przekształtnika, bo zawory i tak trzeba spisać na straty. Wypada się o to zatroszczyć, mimo że obecny stan normalizacji – poza warunkami szczególnego zagrożenia – nie wymaga skutecznej ochrony przy *double-fault condition* (uszkodzenie izolacji doziemnej oraz uszkodzenie ogranicznika). Wypada tym bardziej, że ochronę w takiej sytuacji zapewnić łatwo, bez większych kosztów. Sposób sprawdzenia przedstawiono na rys. 9, a kryterium oceny dotyczy sprawdzenia, czy długotrwałe utrzymujące się napięcie dotykowe nie przekracza wartości dopuszczalnej (oznaczenia, jak w objaśnieniach do rys. 8):

$$U_T = U_{To} \frac{I_a}{I_o} \leq 50 \text{ V ac}$$

Nietrudno zauważyć, że kto decyduje się sprawdzać poziom napięć dotykowych w sytuacji, jak na rys. 9, nie musi ich sprawdzać w sytuacji, jak na rys. 8.



Rys. 10. Instalacja o wielu obwodach zasilana z przetwornika

Są sytuacje, kiedy zwarcia doziemne w obwodzie zasilanym z przetwornika mogą być samoczynnie i wybiórczo wyłączane przez zabezpieczenia nadprądowe. Jest tak zwłaszcza wtedy, kiedy przetwornik zasilają wiele odbiorników rozdzielonych na osobne obwody z zabezpieczeniami nadprądowymi o dostatecznie małym prądzie wyłączającym I_a (rys. 10). Skuteczność ochrony należałoby wtedy sprawdzać w zwykły sposób, jak w obwodach zasilanych bezpośrednio z sieci. Niestety zwykle mierniki impedancji pętli zwarciowej nie nadają się do obwodów o silnie odkształconych przebiegach prądu i napięcia. Postępowanie dopuszczone w takich sytuacjach w krajach Unii polega na obliczeniowym sprawdzeniu warunku samoczynnego wyłączenia zasilania oraz na sprawdzeniu *in situ* (w obiekcie) ciągłości połączeń ochronnych i połączeń wyrównawczych. Dla umożliwienia takiego sprawdzenia producent powinien podać wartość prądu przy zwarciu jednofazowym na wyjściu przetwornika. Dobrze też pamiętać, że na ogół łatwiej zapewnić skuteczność ochrony i wybiórczość działania zabezpieczeń, jeżeli stosuje się bezpieczniki, a nie wyłączniki nadprądowe.

2.6. Sprawdzenie samoczynnego wyłączenia zasilania przez wyłączniki różnicowoprądowe

Wiele urządzeń energoelektronicznych to źródła zasilania rezerwowego albo zasilacze urządzeń technologicznych bądź komunikacyjnych, których ciągłość pracy ma pierwszorzędne znaczenie. Pochopne instalowanie w ich obwodach wyłączników różnicowoprądowych przynosi więcej szkody niż pożytku. Wielu elektryków, otumanionych bałamutnymi publikacjami wiadomych autorów, nie wie albo nie chce wiedzieć o postanowieniach norm zakazujących stosowania wyłączników różnicowoprądowych albo odradzających ich użycie i dotyczy to nie tylko obwodów bezpieczeństwa. Kto jest przekonany, że bez wyłącznika różnicowoprądowego nie ma ochrony przeciwporażeniowej, ten jest ignorantem.

Wyłączniki różnicowoprądowe są aparatami o stosunkowo dużej zawodności, wykazującymi zadziałania brakujące z prawdopodobieństwem nawet kilkadziesiąt razy większym niż wyłączniki nadprądowe, nie mówiąc o bezpiecznikach. Bardziej niż inne zabezpieczenia są też narażone na zadziałania zbędne, przerywając zasilanie bez istotnej przyczyny. Ponadto, jeśli mają budzić zaufanie, to powinny być okresowo (na przykład co miesiąc) sprawdzane przez naciśnięcie przycisku kontrolnego T, co też powoduje kłopotliwe wyłączenie obwodu.

Przekonali się o tym ostatnio niektórzy operatorzy telefonii komórkowej. Najpierw dali się nakłonić do instalowania wysokoczułych wyłączników różnicowoprądowych ($I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$) w rozrzuconych w terenie bezobsługowych stacjach bazowych. Kiedy zbędne zadziałania stały się nieznośne, dali się namówić na wyposażenie tych wyłączników w układy wielokrotnego samoczynnego załączania. A teraz likwidują jedno i drugie, wracając do starych wypróbowanych rozwiązań.

Wyłączniki różnicowoprądowe są nieodzowne tylko wtedy, kiedy – w warunkach szczególnego zagrożenia porażeniem – jest wymagana ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca na wypadek:

- nieopatrznego dotknięcia części czynnej wskutek omińnięcia ochrony podstawowej,
- uszkodzenia izolacji podstawowej w urządzeniu z przerwany połączeniem ochronnym (kryterium *double-fault condition*).

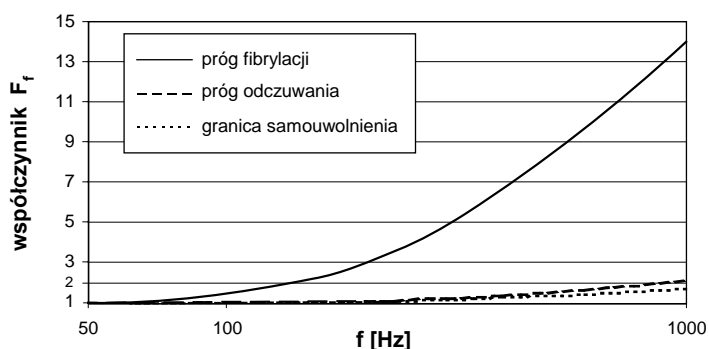
Są też potrzebne w układach TT oraz IT, tzn. w układach o małym prądzie zwarcia doziemnego, jeżeli pierwsze zwarcie doziemne powinno być wyłączane, natomiast w najbardziej rozpowszechnionym układzie TN mogą to uczynić zabezpieczenia nadprądowe. Poza wspomnianymi sytuacjami decyzja o wprowadzeniu wyłączników różnicowoprądowych pozostaje w gestii projektanta i inwestora, którzy powinni być świadomi wszelkich negatywnych jej skutków.

Jeżeli z jakichkolwiek powodów kontrola prądów upływowych w instalacji jest ważna, to nie ma żadnych przeciwwskazań do zainstalowania **urządzeń do ciągłej kontroli prądu różnicowego RCM** (ang. *residual current operated monitors*) tylko sygnalizujących nadmierną wartość prądu różnicowego, ryzykowną ze względu na zagrożenie porażeniem i/lub pożarem i/lub zakłóceniami elektromagnetycznymi [19]. Urządzenie RCM wykrywa prąd różnicowy o dowolnym przebiegu w czasie, ma szeroki zakres nastawczy prądu pobudzenia i zwłoki uruchomienia sygnału, ale nie inicjuje wyłączenia.

Przy kontroli skuteczności ochrony w obwodach z wyłącznikami różnicowoprądowymi sprawdzić należy, czy zostały one prawidłowo dobrane. Poza tak oczywistymi parametrami i kwestiami, jak napięcie znamionowe, prąd znamionowy ciągły, sposób dobezpieczenia, zwłoczność, stopień ochrony obudowy, chodzi o te, które decydują o skuteczności ochrony:

- rodzaj prądu różnicowego pobudzającego wyzwalanie (typ AC, A, B),
- znamionowy różnicowy prąd zadziałania,
- charakterystyka częstotliwościowa różnicowego prądu zadziałania.

Prąd różnicowy w obwodach urządzeń energoelektronicznych może być silnie odkształcony, a możliwych jego przebiegów jest nieskończenie wiele. Zachowanie się wyłączników różnicowoprądowych poddanych takim prądom i skutki rażenia ocenia się analizując ich zależność od częstotliwości prądu sinusoidalnego, czyli od częstotliwości składowych harmonicznych.

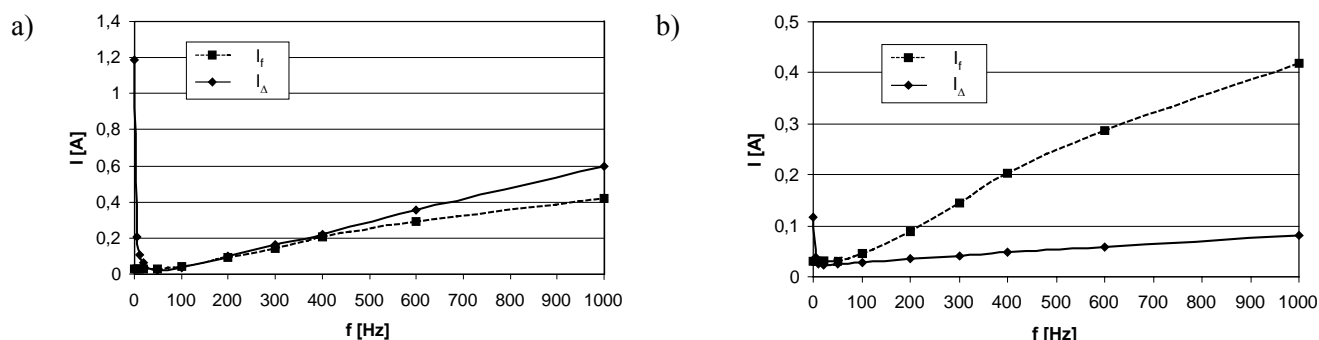


Rys. 11. Częstotliwościowy współczynnik poprawkowy F_f wartości progowej prądu fibrylacyjnego i prądu odczuwania oraz wartości granicznej prądu samouwolnienia

Na rys. 11 przedstawiono, jak z częstotliwością zmieniają się najważniejsze pierwotne kryteria bezpieczeństwa. Przez odczytany z wykresu współczynnik poprawkowy F_f należy pomnożyć wartość progową prądu fibrylacyjnego¹ (40 mA przy 50 Hz, ręce-stopy), wartość progową prądu odczuwania (0,5 mA przy 50 Hz) oraz wartość graniczną prądu samouwolnienia (10 mA przy 50 Hz, ręce-stopy). Jest okolicznością korzystną, że ze wzrostem częstotliwości prądu rażeniowego wyraźnie przesuwają się w górę próg fibrylacji, np. aż do poziomu $14 \cdot 40 = 560$ mA przy częstotliwości 1000 Hz. Niestety, prąd graniczny samouwolnienia wzrasta wtedy tylko 1,6-krotnie ($1,6 \cdot 10 = 16$ mA). Za kryterium skutecz-

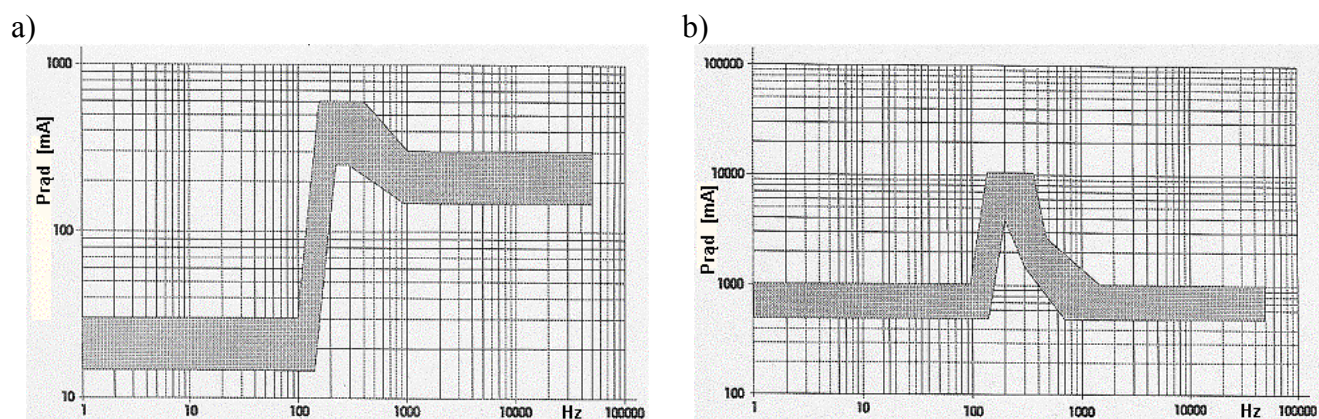
¹ Albo wartość graniczną prądu niefibrylacyjnego (30 mA przy 50 Hz). Człowiek wykształcony powinien rozróżniać *próg* od *granicy* i podobnie *wartość progową* od *wartości granicznej* tym bardziej, że różnicy tej nie obejmują nieuki redagujące normy.

ności ochrony uzupełniającej przyjmuje się brak zagrożenia fibrylacją. Skoro przy 50 Hz ochronę uzupełniającą zapewnia wyłącznik $I_{\Delta n} = 30$ mA, to przy 1000 Hz zapewnia ją wyłącznik, którego rzeczywisty prąd zadziałania wynosi nie więcej niż $I_{\Delta} = 14 \cdot 30 = 420$ mA. Zatem zwiększanie się rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania wyłączników ze wzrostem częstotliwości nie musi być związane z pogorszeniem skuteczności ochrony.



Rys. 12. Rzeczywisty prąd zadziałania I_{Δ} w funkcji częstotliwości dwóch wyłączników różnicowoprądowych typu AC, $I_{\Delta n} = 30$ mA [3]. Linia przerywana oznacza wartość graniczną prądów niefibrylacyjnych.

Dotychczasowe normy przedmiotowe na wyłączniki różnicowoprądowe nie określają wymagań odnośnie do ich zachowania się w szerszym zakresie zmian częstotliwości prądu różnicowego przemiennego. Niektórzy producenci podawali orientacyjne dane dla zakresu 50÷400 Hz i były one rozbieżne. Jak różne może być zachowanie się dwóch wyłączników o tych samych danych znamionowych wskazują wyniki pomiarów przedstawione na rys. 12, dotyczące wyłączników $I_{\Delta n} = 30$ mA (przy 50 Hz). Wyłącznik a) przy 1000 Hz ma prąd zadziałania aż 600 mA, natomiast wyłącznik b) ma prąd zadziałania 80 mA, wystarczająco mały, aby nadal uważać go za środek ochrony uzupełniającej. Co więcej, przy 1000 Hz skuteczniej zapobiega on fibrylacji serca niż przy 50 Hz.



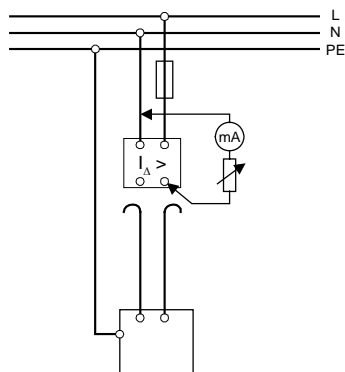
Rys. 13. Zależność prądu niezadziałania (dolna linia) i prądu zadziałania (górna linia) wyłączników różnicowoprądowych DFS 8B FU od częstotliwości prądu różnicowego: a) wyłącznik o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania 30 mA (w zakresie 1÷100 Hz); b) wyłącznik o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania nastawionym na 1000 mA (w zakresie 1÷100 Hz oraz w zakresie 1,5÷50 kHz)

Dokładne i ciekawe charakterystyki częstotliwościowe dla zakresu 1÷10⁵ Hz pojawiają się dopiero od paru lat. Podaje je firma Doepke dla kolejnych wykonań wyłączników przystosowanych do pracy w obwodach przemienników częstotliwości (ang. *frequency converter-proof RCD*, niem. *der umrichterfeste FI-Schutzschalter*). Wykorzystują one tę okoliczność, że:

- inne jest widmo prądów upływowych podczas normalnej pracy, na które wyłącznik nie powinien reagować (przeważają harmoniczne *triplen*, rzędu podzielnego przez trzy: 150, 450 i 750 Hz), a
- inne jest widmo prądów zwarć doziemnych, po wykryciu których wyłącznik powinien wyłączyć chroniony obwód (50 Hz, częstotliwość napięcia wyjściowego, częstotliwość przełączania falow-

nika i jej harmoniczne).

Do obwodów popularnych przemienników o częstotliwości napięcia wyjściowego nieprzekraczającej 100 Hz potrzebne są wyłączniki o zwiększonym prądzie zadziałania przede wszystkim w zakresie 100÷1000 Hz (rys. 13). Przebieg charakterystyki wyłącznika, który należy dobrać, w zakresie powyżej 1000 Hz zależy od tego, czy w obwodzie występują duże prądy upływowe o tych częstotliwościach (rys. 13a), czy też nie występują (rys. 13b). Są to wyłączniki o wyzwaniu typu B, o działaniu niezależnym od napięcia sieciowego, do pracy w obwodach o napięciu 30÷400 Vac, o prądzie znamionowym ciągłym 16÷125 A, krótkozwłoczne i zwłoczne (selektywne S), aby przetrzymały przejściowe prądy różnicowe towarzyszące załączaniu przemienników częstotliwości.

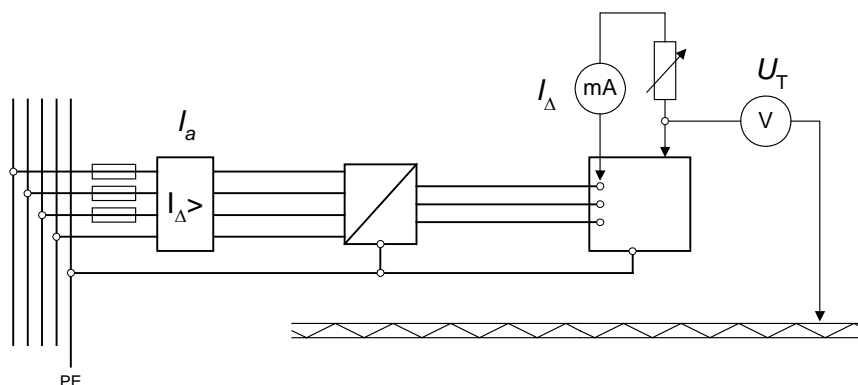


Rys. 14. Pomiar rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania prądem narastającym

Przy sprawdzaniu skuteczności ochrony bada się stan samego wyłącznika: poprawność działania obwodu kontrolnego oraz wartość rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania, która nie powinna przekraczać:

- $I_{\Delta n}$ – przy wyzwaniu AC,
- $1,4 \cdot I_{\Delta n}$ – przy wyzwaniu A,
- $2 \cdot I_{\Delta n}$ – przy wyzwaniu B.

Podana wartość prądu jest zarazem prądem wyłączającym I_a zabezpieczenia różnicowoprądowego, miarodajnym przy ocenie skuteczności ochrony. Wystarczy sprawdzenie próbnikiem (testerem), które daje tylko odpowiedź, czy rzeczywisty różnicowy prąd zadziałania nie przekracza przepisanej wartości. W przypadkach wątpliwych należy przeprowadzić pomiar rzeczywistego prądu zadziałania (rys. 14). Obwód za wyłącznikiem trzeba odłączyć, aby jego prąd upływowy nie fałszował wyniku pomiaru miernikiem lub wyniku sprawdzania próbkiem.



Rys. 15. Badanie skuteczności ochrony w obwodzie wyjściowym przekształtnika, połączonym galwanicznie z obwodem wejściowym, chronionym wyłącznikiem różnicowoprądowym o wyzwaniu typu B

Sprawdzenie skuteczności ochrony można przeprowadzić kierując się rozumowaniem analogicznym, jak w obwodach z zabezpieczeniami nadprądowymi. W obwodach z wyłącznikiem różnicowoprądowym prąd wyłączający I_a jest tak mały, że znacznie łatwiej spełnić warunek samoczynnego

wyłączania zasilania i tylko wyjątkowo trzeba się odwoływać do warunku ograniczenia do dopuszczalnego poziomu napięcia dotykowego występującego długotrwanie (rys. 15). Inaczej może być tylko w instalacjach o układzie IT, o bardzo małym prądzie zwarcia doziemnego. Natomiast uważnego sprawdzenia wymagają następujące aspekty bezpieczeństwa:

- Wyłączniki różnicowoprądowe powinny być tak dobrane, powinny mieć znamionowy różnicowy prąd zadziałania na tyle duży, aby nie dochodziło do zadziaływań zbędnych. W przeciwnym razie użytkownicy je zdemontują lub zmostkują, pozostawiając atrapę ochrony.
- Wyłączniki różnicowoprądowe powinny wykrywać wszelkie prądy różnicowe, jakie mogą wystąpić w razie uszkodzenia w chronionym obwodzie. W obwodach z urządzeniami energoelektronicznymi w ogóle nie wchodzi w rachubę instalowanie wyłączników o wyzwalaniu typu AC. Pozostają wyłączniki typu A oraz znacznie większe i znacznie droższe wyłączniki typu B. Dylemat sprowadza się do decyzji, czy wyłącznik typu B jest nieodzowny, tzn. czy należy liczyć się z prądem różnicowym stałym o niedużym tętnieniu.
- Ciągłość przewodów i połączeń ochronnych oraz wyrównawczych. Tego nie da się przecenić. Kiedy już zawiedzie absolutnie wszystko, wystąpią nawet trzy lub cztery różne uszkodzenia – czego nie uwzględniają żadne normy ani przepisy – to nikogo prąd nie porazi, jeżeli wszystkie części przewodzące jednocześnie dostępne będą ze sobą połączone i będą miały ten sam potencjał, nawet jeżeli mają znaczne napięcie względem ziemi odniesienia. Sprawdzenie ciągłości połączeń ochronnych oraz obliczeń projektowych potwierdzających samoczynne wyłączenie zasilania wytyczne niemieckie traktują jako sprawdzenie wystarczające.

2.7. Przykładowe problemy praktyczne

1) Jak badać sprzęt komputerowy klasy ochronności I bez części przewodzących dostępnych?

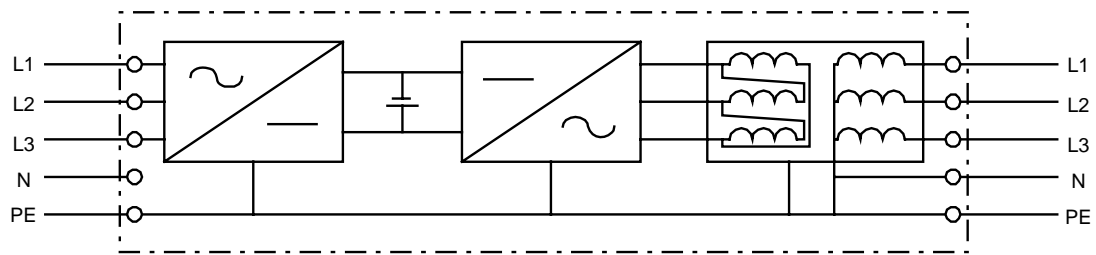
Chodzi o sprzęt omówiony w rozdz. 2.2 o osłonie izolacyjnej, bez części przewodzących dostępnych, który jednak wymaga przyłączenia przewodu ochronnego ze względów funkcjonalnych (np. do filtru przeciwzakłócenieniowego). Nie ma możliwości ani potrzeby pomiaru rezystancji przewodu PE, czy chociażby jego ciągłości, ani pomiaru rezystancji izolacji. Wyraźnie to podkreślają niemieckie wytyczne prowadzenia badań okresowych. Badanie powinno polegać na oględzinach elementów istotnych dla bezpieczeństwa: stan przewodu zasilającego i jego wprowadzenia do wnętrza sprzętu, stan wszelkich urządzeń wtykowych, stan osłon. Zalecany jest pomiar prądu w przewodzie ochronnym, którego wynik należy porównać z wynikami wcześniejszych pomiarów.

2) Jak podczas badań okresowych sprawdzać sprzęt komputerowy, którego nie wolno wyłączyć?

Przede wszystkim należy poddać oględzinom wszelkie szczegóły montażowe i instalacyjne ważne dla bezpieczeństwa (zob. pkt 1). Należy też wykonać następujące sprawdzenia i pomiary zastępne [7], dające obraz stanu sprzętu.

- Sprawdzenie, że przewód ochronny PE stanowi połączenie małooporowe. Może o tym przekonać pomiar rezystancji między częścią przewodzącą dostępną sprawdzanego urządzenia a stykiem ochronnym najbliższego wolnego gniazda wtyczkowego zasilanego z tego samego obwodu. Od wyniku pomiaru można odjąć rezystancję odcinka instalacji stałej $R = l/\gamma s$. Przed pomiarem należałoby sprawdzić woltomierzem, czy pomiędzy wspomnianymi elementami nie występuje wyraźna różnica potencjałów.
- Ocena stanu izolacji urządzenia klasy ochronności II przez pomiar prądu dotykowego metodą bezpośrednią lub pośrednią (rys. 6). Największa dopuszczalna wartość wynosi 0,25 mA. Wynik pomiaru dotyczy zastanej biegunowości zasilania (izolacja bieguna N nie jest uwzględniana).
- Ocena stanu izolacji urządzenia klasy ochronności I za pomocą miernika lub wskaźnika prądu upływowego. Mierzą one prąd upływowy metodą różnicową i wskazują jego wartość albo sygnalizują diodami świecącymi przekroczenie dowolnie wybranej wartości granicznej. Części przewodzące dostępne muszą być uziemione podczas pomiaru. Sprawdzenie może dotyczyć jednego urządzenia albo grupy urządzeń. Sprawdzenie dotyczy określonej biegunowości zasilania.

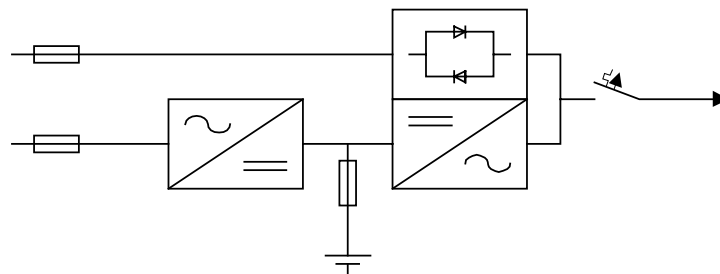
- 3) Jaki układ należy przypisać obwodom wyjściowym zasilacza UPS o układzie połączeń, jak na rys. 16, zasilanego z instalacji o układzie TT?



Rys. 16. Schemat blokowy trójfazowego zasilacza UPS o podwójnym przetwarzaniu energii

Obwód wyjściowy zasilacza jest samoistną instalacją galwanicznie oddzieloną od instalacji zasilającej. Ma układ TN-S niezależnie od tego, jaki układ ma instalacja zasilająca obwód pierwotny (TN, TT, czy IT). Ma układ TN, bo zwarcie L-PE ma pętlę metaliczną i jest zwarcie wielkopiętrowym. Ma układ TN-S, bo ma osobny przewód neutralny N i osobny przewód ochronny PE. Połączenie przewodów ochronnych PE obwodu wejściowego i wyjściowego jest połączeniem wyrównawczym, koniecznym ze względu na wyrównanie potencjałów części jednocześnie dostępnych. Zarazem uziemiony przewód ochronny PE obwodu wejściowego został wykorzystany do uziemienia punktu neutralnego uzwojenia transformatora zasilającego wyjściowy obwód TN-S.

- 4) W razie zwarcia doziemnego w obwodzie wyjściowym zasilacza bezprzerwowego UPS, jak na rys. 17, następuje zamknięcie połączenia obejściowego i dzięki zwiększeniu wartości prądu zwarciego zachodzi samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie. Natomiast jeżeli takie zwarcie wystąpi podczas pracy bateryjnej, kiedy nie ma napięcia w sieci, to prąd zwarciego zasilacza nieprzekraczający $2,4 \cdot I_n$ nie wystarcza do zadziałania właściwego zabezpieczenia nadprądowego. Jak zapewnić skuteczność ochrony bez użycia wyłączników różnicowoprądowych?



Rys. 17. Sposób przyłączenia zasilacza bezprzerwowego UPS, którego dotyczy pytanie 4.

Dylemat można by wyeliminować, gdyby wszystkie urządzenia zasilane z UPS (odbiorniki energii, rozdzielnice itp.) miały klasę ochronności II. Jeżeli to nie wchodzi w rachubę, to przede wszystkim należy sprawdzić, czy dałoby się spełnić warunek samoczynnego wyłączenia zasilania ($I_{k1} \geq I_a$), tzn. doprowadzić do sytuacji, aby prąd zwarcia doziemnego I_{k1} był nie mniejszy niż prąd wyłączający właściwego zabezpieczenia nadprądowego I_a . Prowadzą ku temu dwie drogi: zwiększanie prądu I_{k1} i zmniejszanie prądu I_a , czyli następujące zabiegi:

- Wybór zasilacza UPS o mocy znamionowej dobranej z pewnym nadatkiem uzasadnionym względami niezawodności i/lub jakości napięcia wyjściowego.
- Wybór zasilacza UPS z podwyższonym nastawieniem ograniczenia prądowego.
- Wybór zasilacza UPS, nawet dużej mocy, o wyjściu jednofazowym, jeżeli zasila się wyłącznie odbiorniki jednofazowe. Moc zwarciego w obwodzie wyjściowym wzrośnie w przybliżeniu trzykrotnie.

- d) Zwiększenie liczby obwodów zasilanych z zasilacza UPS w celu obniżenia prądów znamionowych i prądów wyłączających zabezpieczeń nadprądowych pojedynczego obwodu.

Jeżeli i w ten sposób nie daje się uzyskać zadowalającego wyniku, to pozostaje wykonać połączenia wyrównawcze miejscowe spełniające warunek: $I_a \cdot R \leq 50 \text{ V}$, w którym R oznacza rezystancję połączeń wyrównawczych między częściami jednocześnie dostępnymi [4].

- 5) Jaki jest zakres okresowych kontroli stanu technicznego silników zasilanych z pośrednich prze-mienników częstotliwości?

W zasadzie taki sam, jak innych silników o podobnych parametrach [2], chociaż nie należy zapominać o zwiększonych narażeniach izolacji silników zasilanych z takich przekształtników. Obejmuje przede wszystkim oględziny, pomiar rezystancji izolacji (po odłączeniu od przekształtnika) oraz ciągłość połączeń ochronnych. Pożądana jest próba napięciowa izolacji uzwojeń, zwłaszcza w przypadku silników większej mocy.

W przypadku konstrukcji zespolonych silnika z nabadowanym przekształtnikiem odnieść się trzeba do zaleceń podanych w dokumentacji techniczno-ruchowej producenta. Jest jego obowiązkiem tak zespół skonstruować, aby umożliwić wymagane okresowe kontrole stanu technicznego.

Zestawienie podstawowych wymagań przepisów i norm odnośnie do eksploatacji

1) Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane [9]

Art. 5.2. Obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska oraz utrzymywać w należytym stanie technicznym i estetycznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej, w szczególności w zakresie związanym z wymaganiami, o których mowa w ust. 1 pkt 1-7 (tzn. w zakresie (1d) odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych..., (5) **warunków bezpieczeństwa i higieny pracy**)

Art. 61. Właściciel lub zarządca obiektu budowlanego jest obowiązany utrzymywać i użytkować obiekt zgodnie z zasadami, o których mowa w art. 5 ust.2.

Art. 62. Obiekty powinny być w czasie ich użytkowania poddawane przez właściciela lub zarządcę:...

2) **okresowej kontroli, co najmniej raz na 5 lat, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania** obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia...

2) Rozporządzenie MGiP w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci [10]

§ 29.1. Ruch sieciowy i **eksploatacja sieci powinny odbywać się zgodnie z instrukcją** opracowaną i udostępnianą przez właściwego operatora.

2. **Instrukcja określa procedury i sposób wykonywania czynności** związanych z ruchem sieciowym i eksploatacją sieci, w szczególności:

- 1) parametry techniczne sieci;
- 2) wymagania techniczne sieci, urządzeń i instalacji przyłączonych do sieci;
- 3) sposób i procedury przyłączania i odłączania od sieci instalacji i innych sieci;
- 4) zakres przeprowadzania okresowych przeglądów i kontroli stanu technicznego sieci oraz przyłączonych do niej urządzeń, instalacji i innych sieci;

3) Rozporządzenie MPiPS w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [8]

§ 3. Budynki i inne obiekty budowlane, w których znajdują się pomieszczenia pracy, powinny być zbudowane i utrzymywane zgodnie z wymaganiami określonymi w przepisach techniczno-budowlanych.

§ 10. 1. We wszystkich miejscach na terenie zakładu pracy, w których mogą przebywać pracownicy, pracodawca jest obowiązany zapewnić oświetlenie elektryczne w porze nocnej lub jeżeli oświetlenie dzienne jest niewystarczające. Wymagania dotyczące oświetlenia określają Polskie Normy. **Instalacje i urządzenia elektryczne powinny być tak wykonane i eksploatowane**, aby nie narażały pracowników na porażenie prądem elektrycznym, przepięcia atmosferyczne, szkodliwe oddziaływanie pól elektromagnetycznych oraz nie stanowiły zagrożenia pożarowego, wybuchowego i nie powodowały innych szkodliwych skutków.

§ 12. Pracodawca jest obowiązany zapewnić **ochronę obiektów budowlanych i urządzeń technicznych przed gromadzeniem się ładunków i wyładowaniami elektryczności statycznej** - stwarzającymi zagrożenia w środowisku pracy.

§ 40. 1. Pracodawca jest obowiązany zapewnić **systematyczne kontrole stanu bezpieczeństwa i higieny pracy** ze szczególnym uwzględnieniem organizacji procesów pracy, **stanu technicznego**

maszyn i innych urządzeń technicznych oraz ustalić sposoby rejestracji nieprawidłowości i metody ich usuwania.

2. W razie stwierdzenia bezpośredniego zagrożenia dla życia lub zdrowia pracowników, osoba kierująca pracownikami jest obowiązana do niezwłocznego wstrzymania prac i podjęcia działań w celu usunięcia tego zagrożenia.

§ 51. 1. **Maszyny i inne urządzenia techniczne**, zwane dalej "maszynami", **powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy**, określone w odrębnych przepisach, **przez cały okres ich użytkowania**.

2. Montaż, demontaż i eksploatacja maszyn, w tym ich obsługa, powinny odbywać się przy zachowaniu wymagań bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ergonomii, uwzględniających **instrukcje zawarte w dokumentacji techniczno-ruchowej**...

4) Polska Norma PN-EN 50110-1:2005(U) Eksploatacja urządzeń elektrycznych [14]

5.3.3 Przeglądy:

5.3.3.1 Celem przeglądu jest sprawdzenie, czy urządzenie elektryczne odpowiada szczegółowym przepisom technicznym oraz zasadom bezpieczeństwa podanym w odpowiednich normach; ...

Przeglądy nowych urządzeń elektrycznych, jak i urządzeń po modyfikacjach i rozbudowie, powinny być wykonywane przed ich przekazaniem do eksploatacji. Przeglądy urządzeń elektrycznych powinny być wykonywane w określonych odstępach czasu ...

5.3.3.2 Przegląd może obejmować:

– **ogłędziny**,

– **pomiary lub próby** zgodne z wymaganiami podanymi w 5.3.1 oraz w 5.3.2. ...

5.3.3.4 Uszkodzenia stanowiące bezpośrednio niebezpieczeństwo powinny być natychmiast usunięte, a części, w których występują, powinny być odłączone i zabezpieczone przed ponownym załączeniem.

5.3.3.5 **Przeglądy powinny być wykonywane przez osoby wykwalifikowane**, z praktyką w przeprowadzaniu przeglądu danego typu urządzeń. ...

5.3.3.6 **Wynik przeglądu powinien być udokumentowany** oraz powinny być podjęte wynikające z niego działania profilaktyczne.

5) Polska Norma PN-E-04700-1998 Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych [13]

1.2.5 Pomontażowe badania odbiorcze – **ogłędziny, pomiary oraz próby urządzeń i układów (1.2.3) przeprowadzone po ich zainstalowaniu, w celu stwierdzenia przydatności i gotowości urządzeń i układów do eksploatacji w miejscu zainstalowania.**

3.1 Program pomontażowych badań odbiorczych. Program badań urządzenia i/lub układu obejmuje wykonanie co najmniej następujących prób i sprawdzeń:

a) **sprawdzenie dokumentacji**,

b) **ogłędziny urządzenia**,

c) **próby i pomiary parametrów urządzenia i/lub układu**,

d) sprawdzenie działania urządzenia i/lub układu oraz próby działania w warunkach pracy, o ile to jest możliwe,

e) badania dodatkowe.

LITERATURA

1. Bödeker K.: Richtiges Prüfen empfindlicher elektronischer Geräte. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2002, nr 14, s. 13-14.
2. Bödeker K.: Frequenzumrichter-gespeiste Motoren. Elektropraktiker, 2005, nr 6, s. 430.
3. Czapp S.: Badanie wpływu częstotliwości prądu różnicowego na działanie wyłączników różnicowoprądowych. Energetyka, 2006 (w druku).
4. Hörmann W.: Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung bei USV-Betrieb. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2005, nr 7, s. 16.
5. Musiał E.: Zabezpieczanie silników zasilanych z pośrednich przemienników częstotliwości. Biul. SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2004, nr 59-60, s. 3-35.
6. Pytlak A., Świątek H.: Ochrona przeciwporażeniowa w układach energoelektronicznych. COSiW SEP, Warszawa, 2005.
7. Tribius H.: Wiederholungsprüfungen im EDV-Bereich. Elektropraktiker, 2003, nr 8, s.594-596.
8. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. Dz.U. 1997 r., nr 129, poz. 844; 2002 r., nr 91, poz. 811, tekst jednolity: Dz.U. 03.169.1650.
9. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane. Tekst jednolity Dz.U. 00.106.1126, 00.109.1157, 00.120.1268, 01.5.42, 01.100.1085, 01.110.1190, 01.115.1229, 01.129. 1439, 01.154.1800, 02.37.353, 02.74.676, 04.93.888, 05.163.1364.
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci. Dz.U. 05.2.6.
11. PN-92/N-01255 Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Norma wycofana.
12. PN-70/N-02120 Zasady zaokrąglania i zapisywania liczb.
13. PN-E-04700-1998/Az1:2000 Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych.
14. PN-EN 50110-1:2005(U) Eksploatacja urządzeń elektrycznych.
15. PN-EN 50178:2003 Urządzenia elektroniczne do stosowania w instalacjach dużej mocy.
16. PN-EN 60664-1:2006 Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 1: Zasady, wymagania i badania.
17. PN-EN 60664-5:2005 (U) Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 5: Kompleksowa metoda ustalania odstępów izolacyjnych powietrznych i powierzchniowych równych lub mniejszych niż 2 mm.
18. PN-EN 61800-1:2000 Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości. Wymagania ogólne. Dane znamionowe niskonapięciowych układów napędowych mocy prądu stałego o regulowanej prędkości.
19. PN-EN 62020:2005/A1:2005(U) Sprzęt elektroinstalacyjny – Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnego (RCM).
20. PN-IEC 60364-6-61:2000. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzanie. Sprawdzanie odbiorcze.
21. ISO 3864-1:2002 Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 1: Design principles for safety signs in workplaces and public areas.
22. Projekt normy IEC 60364-6: Electrical installations of buildings – Part 6: Verification.
23. DIN VDE 0701 Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte (norma wieloarkuszo-wa).
24. DIN VDE 0702:2004-06 Wiederholungsprüfungen an elektrischen Geräten.
25. BGI 608. Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Auswahl und Betrieb elektrischer Anlagen und Betriebsmittel auf Baustellen. BGI 608 (ZH 1/271), Fassung 12/97.
26. BGV A2. Elektrische Anlagen und Betriebsmittel. Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung vom 1. April 1979 mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1996 und Anhang April 1996.

27. Commentary on IEE Wiring Regulations. 16th Edition BS 7671:2002, published 2002.
28. Arrêté du 10 octobre 2000 fixant la périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques au titre de la protection des travailleurs ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications. J.O. N° 241 du 17 Octobre 2000.
29. Lettre-circulaire n° 2004-12 du 13 août 2004 à l'attention des chefs d'établissement et personnes ou organismes chargés des vérifications des installations électriques (NOR: SOCT0410195C). Bulletin Officiel du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle n° 2004/20 du 05.11.2004.

Dane bibliograficzne:

Musiał E.: **Badanie stanu ochrony przeciwporażeniowej w obwodach urządzeń energoelektrycznych.** Biul. SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2006, nr 80, s. 3–34.