

ALTERNATYWA „UKŁAD TN CZY UKŁAD TT” W NISKONAPIĘCIOWEJ SIECI ROZDZIELCZEJ WSPÓLNEJ

1. WSTĘP

Po kilkudziesięciu latach niemal wyłącznego stosowania układu TN w polskich sieciach rozdzielczych wspólnych prądu przemiennego niskiego napięcia podważa się tę praktykę. Tu i ówdzie próbuje się forsować układ TT. Nie ma nic nagannego w weryfikowaniu z dawna ustalonych rozwiązań, jeśli skłaniają do tego doświadczenia eksploatacyjne, nowe potrzeby bądź nowe możliwości techniki. Nie powinno się to jednak odbywać w następstwie nieuważnego odczytania błędnie przetłumaczonych przepisów międzynarodowych albo w wyniku jednostronnego widzenia problemu.

Spośród trzech możliwych układów, TN, TT oraz IT, w sieciach rozdzielczych wspólnych różnych krajów spotyka się dwa pierwsze, trzeci występuje wyjątkowo, zanika, i w tym zastosowaniu nie zasługuje na uwagę. Cechy wspólne układów TN i TT odróżniające je od układu IT są następujące:

a) bezpośrednio uziemienie robocze dla utrzymania na niższym poziomie napięcia względem ziemi; w układzie trójfazowym jest ono równe napięciu fazowemu a nie – międzyprzewodowemu, jak w układzie IT,

b) większy prąd zwarcia doziemnego i wymaganie, by już pierwsze zwarcie doziemne było wyłączane, a nie – dopiero podwójne, jak w układzie IT.

Na tym kończą się podobieństwa, a zaczynają różnice między układami TN i TT sprawiające, że ich przydatność nie jest jednakowa. Stosowana w niniejszym referacie terminologia jest zgodna z przyjętą w projekcie nowelizacji przepisów [11].

2. CHARAKTER PĘTLI I WARTOŚĆ PRĄDU ZWARCIA L-PE (L-PEN)

W układzie TN pętla zwarcia z przewodem ochronnym jest w całości metaliczna. Jest ona złożona wyłącznie z przewodów elektroenergetycznych (właściwy układ TN) bądź również z rozległych uziomów (uziemienie przez sieć wodociągową, die verkappte Nullung). Prąd zwarcia L-PE jest znacznie większy niż w układzie TT, w którym jego obwód zamyka się przez uziemienia, a więc również przez ziemię. W układzie TN do samoczynnego wyłączania zasilania dla celów ochrony przeciwporażeniowej mogą być wykorzystywane zabezpieczenia nadprądowe. W układzie TT, zwłaszcza w obrębie sieci rozdzielczej, nie wchodzi to w rachubę; pozostaje stosować urządzenia ochronne różnicowoprądowe.

Układ TN wiąże różne uziomy w jeden układ uziomowy o małej rezystancji uziemienia, podczas gdy w klasycznym układzie TT uziomy te działają z osobna. Dzięki temu układ TN jest bardziej odporny na wszelkie narażenia pochodzące z zewnątrz: przepięcia oraz skutki zwarć w sieci wyższego napięcia.

Na terenie zabudowy wielkomiejskiej lub przemysłowej, gdzie występuje „global earthing system” [10], wykonanie uziemienia przewodu ochronnego PE instalacji odbiorczej oddzielonego galwanicznie od uziemienia roboczego układu bywa niemożliwe i układ, pomyślany jako TT, de facto może okazać się układem TN.

3. SKUTKI PRZERWANIA CIĄGŁOŚCI PRZEWODU NEUTRALNEGO

W układzie TN, który w obrębie sieci rozdzielczej wspólnej ma postać podukładu TN-C, przewód PEN spełniający rolę przewodu ochronnego PE oraz neutralnego N jest wielokrotnie uziemiony: przy stacji zasilającej, na trasie i przy końcach linii, zwłaszcza linii napowietrznych, oraz przy złączach instalacji. Przerwanie ciągłości tego przewodu w obrębie sieci rozdzielczej wspólnej nie zagraża wystąpieniem znaczącej asymetrii napięć fazowych za miejscem przerwy i nie naraża dostawcy energii na wypłatę odszkodowań za uszkodzone urządzenia odbiorcze. Inaczej jest w układzie TT, w którym przewód neutralny N uziemia się tylko przy stacji zasilającej, by w dowolnym miejscu, również w dowolnym miejscu sieci rozdzielczej wspólnej, dało się zainstalować urządzenie ochronne różnicowoprądowe, jedyne urządzenie zdolne samoczynnie wyłączać zasilanie dla celów ochrony przeciwporażeniowej.

4. NAPIĘCIE DOTYKOWE PRZY ZWARCIACH L-PE (L-PEN)

W sieci rozdzielczej o podukładzie TN-C poprawne rozplanowanie uziemień przewodu PEN, dobór ich lokalizacji oraz wartości rezystancji, zapewnia przy zwarciach L-PEN „równowagę napięciową” przewodu PEN względem ziemi (die Spannungswaage). Sprawia, że przy zwarciach w obrębie sieci rozdzielczej napięcie w miejscu uszkodzenia U_F (napięcie dotykowe względem ziemi odniesienia, fault voltage) nie przekracza 30 % napięcia fazowego, a przy niesprzyjającym rozplanowaniu uziemień – 50 % napięcia fazowego. Znacznie mniejsze, zwłaszcza w zasięgu układu TN z rozbudowanym układem połączonych uziomów, są napięcia dotykowe U_T . Jeszcze mniejsze są napięcia rażeniowe dotykowe, którymi wprawdzie nie operuje się w odniesieniu do urządzeń niskonapięciowych, ale które przecież ostatecznie decydują o skutkach rażenia. W sieci rozdzielczej TN-C o napięciu fazowym 220 V lub 230 V czas samoczynnego wyłączenia zasilania ma dzięki temu znaczenie drugorzędne, znacznie mniejsze niż przy stosowaniu innych środków ochrony [1, 2, 6, 7]. To dlatego w obrębie sieci rozdzielczej wymaga się prądu zwarcia L-PEN tylko 2,5 razy większego od prądu znamionowego zastosowanych bezpieczników (Szwajcaria, projekt nowelizacji polskich

przepisów [11]), zaledwie 1,6 razy większego (Niemcy, Austria) albo nie stawia się co do tego żadnych wymagań (Szwecja).

Tymczasem w układzie TT napięcie w miejscu uszkodzenia U_F ma zwykle wartość zbliżoną do napięcia fazowego; jest zatem co najmniej dwukrotnie większe niż w układzie TN.

5. REZERWOWANIE WYŁĄCZNIKÓW RÓŻNICOWOPRĄDOWYCH

W instalacji odbiorczej o podukładzie TN-S nie ma przeszkód w stosowaniu układu ochronnego różnicowoprądkowego, podobnie jak w układzie TT. Różnica jest jednak zasadnicza: jeśli zawiedzie wyłącznik różnicowoprądkowy, w układzie TN zadziała zabezpieczenie nadprądowe pobudzone dużym prądem zwarcia L-PE, a w układzie TT liczyć na to nie można. Zatem w układzie TN ochrona dodatkowa w postaci układu ochronnego różnicowoprądkowego jest rezerwowana, jest dublowana przez zerowanie, bez ponoszenia dodatkowych kosztów z tego tytułu. Z punktu widzenia niezawodności ochrony można poprzestać na pojedynczym wyłączniku różnicowoprądkowym w torze zasilania, a wymagania stawiane zerowaniu można złagodzić, np. dopuścić czas wyłączenia 5 s niezależnie od warunków środowiskowych [11].

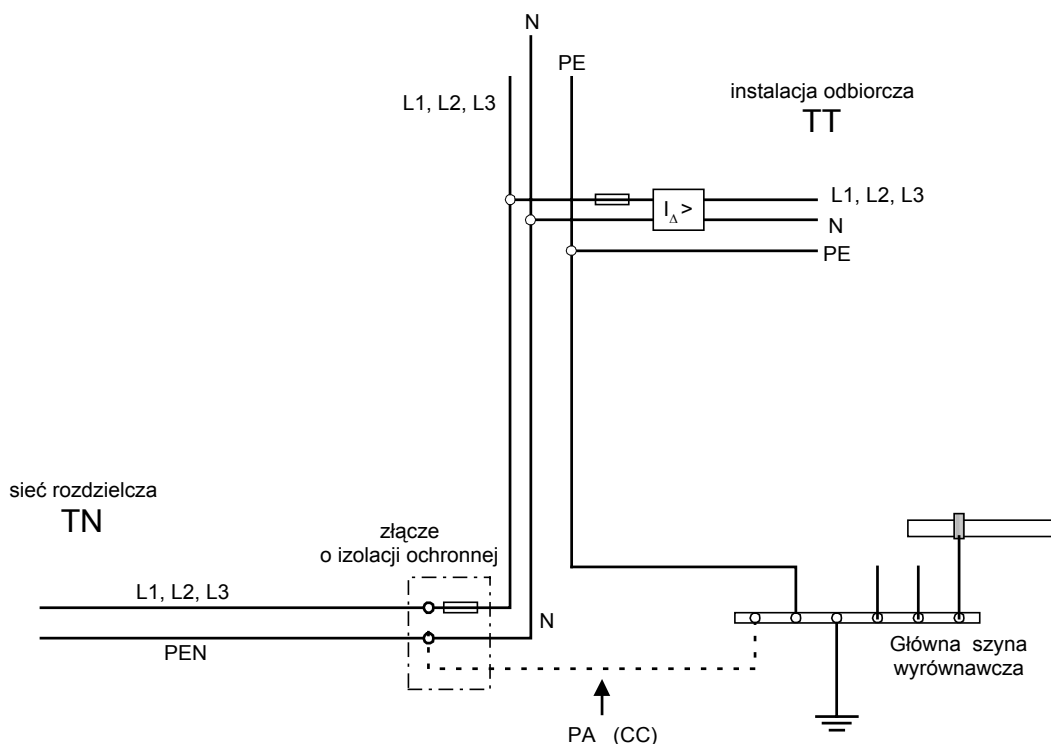
Nie można przecenić tej różnicy między układami TN i TT, jeśli się pamięta, że zawodność wyłączników różnicowoprądkowych jest o całe rzędy wielkości większa niż zawodność wyłączników nadprądowych i tym bardziej – bezpieczników. W krajach, które od dziesięcioleci masowo stosują wyłączniki różnicowoprądkowe, przebadano ich w eksploatacji już setki tysięcy i uzyskano wartościowy materiał statystyczny [3]. Po kilku...kilkunastu latach eksploatacji odsetek niesprawnych wyłączników wynosi od $0,5 \div 2$ % (nowsze konstrukcje, korzystne warunki środowiskowe) do $6 \div 9$ % i więcej – akurat tam, gdzie zagrożenie porażeniowe jest największe (w piwnicach, na wolnym powietrzu, na placach budowy).

6. MOŻLIWOŚĆ KOEGZYSTENCJI UKŁADÓW TN I TT W GALWANICZNIE POŁĄCZONEJ SIECI

Z sieci rozdzielczej wspólnej o układzie TN można zasilać instalacje elektryczne o układzie TT, jeśli w samej instalacji układ TN jest zakazany przez przepisy bądź z innych względów niewskazany. Zatem wprowadzenie układu TN w sieci rozdzielczej nie przeszkadza w stosowaniu układu TT w instalacjach odbiorczych, w tworzeniu „wysp TT” w sieci TN [8, 11].

Układ TT może mieć cała instalacja elektryczna obiektu (budynku, gospodarstwa rolnego lub placu budowy). Wystarczy (rys. 1) w żaden sposób nie wykorzystywać w nim przewodu ochronnego PE lub funkcji ochronnej przewodu ochronno-neutralnego PEN układu TN, a – spośród środków ochrony dodatkowej polegających na

samoczynnym wyłączeniu zasilania – korzystać tylko z układu ochronnego różnicowoprądowego. Przewodu PE lub PEN układu TN oczywiście nie wolno wtedy przyłączać do szyny wyrównawczej głównej ani jakiegokolwiek miejscowej. W sytuacji przedstawionej na rys. 1 bez połączenia wyrównawczego głównego oznaczonego linią kropkowaną (od przewodu PEN w złączu do głównej szyny wyrównawczej) instalacja ma układ TT, a w razie wykonania tego połączenia – ma układ TN-S.



Rys. 1. Instalacja o układzie TT przyłączona do sieci o układzie TN (wyspa TT w sieci TN): 1 – złącze o izolacji ochronnej, 2 – główna szyna wyrównawcza

W wyjątkowych sytuacjach układ TT może występować choćby w pojedynczym obwodzie zasilanym z sieci, a nawet z instalacji o układzie TN. Chodzi o obwód obsługujący urządzenia użytkowane poza zasięgiem oddziaływania głównych połączeń wyrównawczych obiektu, np. poza budynkiem ze złączem. To ważne zastrzeżenie wyklucza możliwość koegzystencji w jednym budynku galwanicznie połączonych układów TN i TT. We wspomnianym obwodzie TT do samoczynnego wyłączenia zasilania dla celów ochrony dodatkowej może być użyte tylko urządzenie ochronne różnicowoprądowe. Jeśli występuje miejscowa szyna wyrównawcza, należy do niej przyłączyć przewód ochronny obwodu o układzie TT, a nie wolno przyłączać przewodu ochronnego (PE, PEN) poprzedzających obwodów układu TN.

Jeśli natomiast sieć rozdzielcza ma układ TT, taki sam układ mają i mieć muszą wszelkie galwanicznie z nią połączone instalacje odbiorcze; żadnej możliwości manewru, bez użycia transformatora izolacyjnego, już nie ma.

Jest jeszcze jedna sytuacja, kiedy w galwanicznie połączonej sieci dopuszcza się koegzystencję obu układów. Na czas zasilania awaryjnego wolno do sieci rozdzielczej o układzie TN dołączyć obwody sieci o układzie TT, pod warunkiem, że w instalacjach o układzie TN są wykonane połączenia wyrównawcze główne [11]. Manewr odwrotny, awaryjne zasilanie fragmentów sieci o układzie TN z sieci o układzie TT, nie jest dopuszczalny.

7. OCHRONA PRZY ZWARCIACH DOZIEMNYCH W SIECI ZASILAJĄCEJ WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Od zarania elektroenergetyki stawiano pewne wymagania ochronie przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego napięcia na wypadek zwarcć doziemnych w zasilających urządzeniach wysokiego napięcia. Bierze się pod uwagę przede wszystkim pojedyncze zwarcie doziemne w części wysokonapięciowej stacji zasilającej. Prawdopodobieństwo takich zdarzeń jest dziś znacznie mniejsze niż dawniej; nadal można je zmniejszać doskonaląc izolację obwodów wysokiego napięcia stacji i ulepszając konstrukcję transformatorów oraz ich zabezpieczeń. Przy zasilaniu z sieci o kompensacji ziemnozwarciowej, pracujących z trwającym zwarcie doziemnym, na ogół ignorowano przypadek najbardziej niekorzystny, dwufazowe zwarcie poprzez ziemię, i nie stwierdzono ujemnych tego następstw. Ostatnio pomija się możliwość uszkodzenia izolacji między uzwojeniami wysokiego i niskiego napięcia w transformatorze i też nic złego z tego nie wynika.

Sprawa odżyła w związku z przechodzeniem na uziemienie punktu neutralnego sieci wysokiego napięcia przez rezystor wymuszający przepływ prądu o wartości 100...500 A. W przypadku sieci kablowej wysokiego napięcia sprawę łagodzi redukcyjne oddziaływanie metalowych powłok i/lub żył powrotnych (współczynnik redukcyjny $r = 0,6...0,2$) obniżające wartość prądu uziomowego. W przypadku sieci napowietrznej wystarcza nieduży prąd wymuszany przez rezystor, co łagodzi zagrożenia. Przypadkiem kłopotliwym mogą być sieci mieszane, w których wymusza się duży prąd czynny ze względu na linie kablowe, a nie ma redukcyjnego działania żył powrotnych w liniach napowietrznych. Problem trzeba rozwiązywać przez skracanie czasu trwania zwarcć doziemnych, co pozwala dopuścić większe wartości napięcia w miejscu uszkodzenia U_F i napięcia dotykowego U_T [9], np.: $U_F = 330 \text{ V}$, $U_T = 125 \text{ V}$ w czasie 0,3 s.

Jeśli uziemienie robocze sieci niskiego napięcia jest oddzielone od uziemienia ochronnego urządzeń wysokiego napięcia stacji, układy TN i TT na pozór zachowują się identycznie podczas zwarcia doziemnego w części wysokonapięciowej stacji; w obu występują tylko narażenia izolacji doziemnej urządzeń niskiego napięcia stacji i są one jednakowe (napięcie fazowe powiększone o napięcie uziomowe). Na pozór jednakowe, bo w układzie TN napięcie uziomowe – występujące na wypadkowej rezystancji równolegle połączonych licznych uziemień roboczych – jest znacznie mniejsze niż w układzie

TT. Jeśli natomiast wspomniane uziemienia robocze i ochronne są wspólne:

a) W układzie TT narażenia izolacji doziemnej (napięcie fazowe powiększone o napięcie uziomowe) występują poza stacją, we wszelkich urządzeniach rozdzielczych i odbiorczych.

b) W układzie TN występuje na przewodach ochronnych (PEN, PE) napięcie uziomowe o znanej już wartości. Nie wprowadza ono żadnego zagrożenia w instalacjach z poprawnymi połączeniami wyrównawczymi głównymi.

8. ZAKOŃCZENIE

Wyższość układu TN w obrębie sieci rozdzielczej wspólnej jest bezsporna. Pozwala on łatwo rozwiązać ochronę dodatkową przez zerowanie w urządzeniach rozdzielczych. Jest to optymalny układ również dla pospolitych instalacji odbiorczych [1, 2, 5, 7] umożliwiający stosowanie wyłączników różnicowoprądowych i rezerwowanie ich przez zerowanie. Jest to wreszcie jedyny układ, który zastosowany w sieci rozdzielczej nie przesądza o układzie instalacji odbiorczej; z sieci TN można zasilać instalację TT. Z uwagi na to, że sieć wodociągowa przestaje pełnić rolę uziomu, w Szwajcarii pospiesznie przerabia się [4] istniejące sieci i instalacje o domniemanym układzie TT na układ TN. Norwegia, która bodaj jako jedyna w świecie, miała sieci wspólne o układzie IT, przerabia je na układ TN.

W niemieckojęzycznych krajach od dawna stosujących zerowanie (D-A-CH Nulungsländer) wprowadzaniu zasad HD 384 (wg IEC 364) towarzyszyło zawołanie trawestujące okrzyk ulicy paryskiej po śmierci króla: „Die Nullung ist tot, es lebe die Nullung”. Umarło dawne „klasyczne zerowanie”, niech żyje „nowoczesne zerowanie” z osobnym przewodem ochronnym, uzupełnione wyłącznikami różnicowoprądowymi.

Skąd zatem wątpliwości i jakie są powody zamieszania wokół tej sprawy? W Polsce sprawią to dezinformujące prelekcje i publikacje neofitów ochrony przeciwporażeniowej. Na forum międzynarodowym można wskazać dwa powody:

1. Pierwowzorem głównych arkuszy przepisów międzynarodowych IEC 364 jest norma francuska NF C 15-100 z roku 1976. Bez doświadczenia w stosowaniu zerowania Francuzi opracowali klasyfikację układów TN i sformułowali zestaw wymagań w oparciu o teoretyczne rozważania występujących zagrożeń. Jednym z mankamentów przepisów jest założenie, iż układ TN jest uziemiony tylko przy stacji zasilającej; pomija się rolę dodatkowych uziemień, co znacznie osłabia walory układu TN.

2. Na forum IEC działa lobby wytwórców wyłączników różnicowoprądowych zainteresowanych nowelizacją przepisów w kierunkach ułatwiających zbyt ich produkcji, nalegających na wyraźne preferowanie układu TT. Prof. G. Biegelmeier, czołowy ekspert IEC, a zarazem przewodniczący rady technicznej firmy produkującej wyłączniki różnicowoprądowe – co w Polsce niejednego przewodniczącego rady technicznej powinno zawstydzić – skutecznie blokuje te usiłowania.

Trzeba na koniec wyraźnie podkreślić, że przepisy międzynarodowe IEC 364-4-41, nie dotyczą sieci rozdzielczych wspólnych, a w odniesieniu do instalacji nie próbują rozstrzygać o wyborze układu IT, TT czy TN. Wszelkie na nie powołania przy próbie narzucania układu są bezpodstawne.

LITERATURA

1. Biegelmeier G. i inni: Normen für die Anwendung der Neutralleiter-Schutzerdung (Nullung) als Fehlerschutz in Niederspannungsanlagen. VEÖ Journal, 1996, nr 11, s. 50-62
2. Hochbaum A.: Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen für den Brand- und Sachschutz. Elektropraktiker, 1997, nr 1, s. 68-73
3. Kieback D.: Zuverlässigkeit von FI-Schutzschaltern. Elektrie, 1995, nr 4, s. 134-143
4. Matt M.: Umstellung schutzgeerdeter Installationen auf Nullungssysteme. Bulletin SEV, 1995, nr 11, s. 38-40
5. Musiał E.: Nowelizacja przepisów o ochronie przeciwporażeniowej czyli niemoc przewlekła. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych”, Łódź, 1989. Materiały konferencyjne, s. 1-11
6. Nowe propozycje robocze Austriackiego Narodowego Komitetu IEC w sprawie bezpieczeństwa w instalacjach elektrycznych. X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektrycznych”, Wrocław, 1995. Materiały konferencyjne, s.95-106
7. Umlauf D., Zankel F.: TT- oder TN-System - ist ein Ende des Richtungsstreites in Sicht? VEÖ Journal, 1996, nr 11, s. 44-49
8. IEC 364-4-41: Electrical installations of buildings. Protection against electric shocks
9. IEC 364-4-442: Electrical installations of buildings. Protection of low-voltage installations against faults between high-voltage systems and earth
10. E DIN EN 50179 (Mai 1994): Errichten von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
11. Instytut Energetyki. Przepisy budowy urządzeń elektroenergetycznych. Wydawnictwa Przemysłowe WEMA, Warszawa, 1997, s. 171 - 230: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Projekt nowelizacji przepisów

Dane bibliograficzne:

Musiał E.: **Alternatywa „układ TN czy układ TT” w niskonapięciowej sieci rozdzielczej wspólnej.**
W: [Materiały Konferencyjne] XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo elektryczne”, Wrocław, [wrzesień] 1997. Inst. Energoelekt. Polit. Wroc., SEP Oddz. Wrocław. 1997, t. I, s. 118-125.