

Instalacje elektryczne na terenach wiejskich

Biblioteka elektryka wiejskiego

Irmina Krakowiak-Wiśniowską

INSTALACJE ELEKTRYCZNE na terenach wiejskich

Warszawa 2006

Opiniodawcy: *prof. dr hab. inż. Zdzisław Trzaska*
mgr. inż. Andrzej Boczkowski

Redaktor *mgr. inż. Barbara Chojnowska-Ślisz*

ISBN 978-83-903048-2-3

© Wszelkie prawa zastrzeżone

Ośrodek Rzeczoznawstwa w Warszawie
Izby Rzeczoznawców Stowarzyszenia Elektryków Polskich
00-020 Warszawa, ul. Chmielna 6, lok. 6
tel. (022) 826-61-07
e-mail: irsep@neostrada.pl

Spis treści

1. Zasilanie wsi energią elektryczną	7
1.1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną	7
1.2. System elektroenergetyczny	7
1.3. Wiejskie sieci rozdzielcze	12
1.4. Przyłącza i złącza	21
1.5. Zasilanie rezerwowe	27
2. Instalacje elektryczne	29
2.1. Podstawowe funkcje i wymagania	29
2.2. Elementy instalacji	31
2.3. Rodzaje i układy instalacji	36
2.4. Plany i schematy instalacji	44
3. Zabezpieczenia i ochrona instalacji	55
3.1. Zabezpieczenia nadprądowe	55
3.2. Ochrona przed przepięciami	61
3.3. Ochrona ze względu na środowisko	65
4. Ochrona przeciwporażeniowa	70
4.1. Niebezpieczeństwo porażień	70
4.2. Środki ochrony przeciwporażeniowej	72
4.3. Ochrona przy uszkodzeniu w układzie TN-C	78
4.4. Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe w układzie TN-S	83
4.5. Połączenia wyrównawcze	88
5. Projektowanie instalacji	91
5.1. Ocena zakresu robót	91

5.2. Podstawowe ustalenia.	93
5.3. Dobór przekroju przewodów i zabezpieczeń	100
5.4. Inne ustalenia	111
Podstawowe normy i przepisy.	118

1. Zasilanie wsi energią elektryczną

1.1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną

Energia elektryczna jest jedną spośród różnych form energii. Charakteryzuje się wieloma korzystnymi właściwościami z następujących względów:

- jest łatwo podzielna, gdyż może być wykorzystywana w urządzeniach zarówno o małej i bardzo małej mocy, jak i o większej, a nawet bardzo dużej mocy;

- może być przesyłana łatwo i przy małych stratach, nawet na znaczne odległości do jej odbiorców;

- może być przetworzona na inną formę energii użytecznej, tj. na ciepło, światło, energię mechaniczną, ultradźwięki, fale radiowe, elektromagnetyczne, promieniowanie podczerwone, nadfioletowe itd.;

- odbiorcze urządzenia elektryczne nie emitują żadnych zanieczyszczeń, a poprawnie zaprojektowane, wykonane i użytkowane nie stwarzają w zasadzie zagrożenia użytkowników, ich mienia i zwierząt;

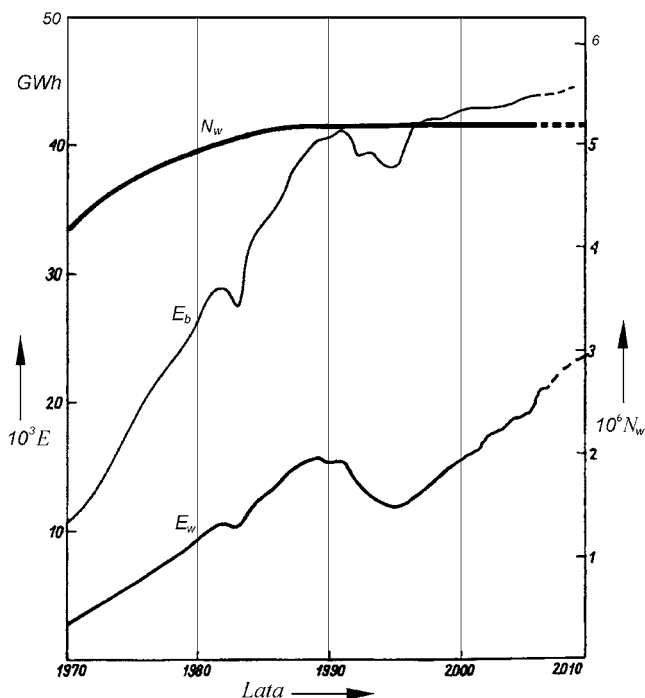
- umożliwia częściowe lub nawet pełne zautomatyzowanie urządzeń wykorzystujących energię elektryczną.

Wymienione zalety energii elektrycznej są powodem szybkiego i powszechnego rozwoju jej zastosowań, również w wiejskich gospodarstwach domowych i rolnictwie, co prowadzi do systematycznego wzrostu zapotrzebowania na tę formę energii.

Na rysunku 1 przedstawiono wykres dotychczasowego i przewidywanego w najbliższych latach zużycia energii elektrycznej w Polsce z zaznaczeniem udziału odbiorców wiejskich. Wypada zwrócić uwagę na widoczny wzrost wykorzystania tej energii i to głównie na potrzeby wiejskich gospodarstw domowych oraz produkcji rolniczej.

1.2. System elektroenergetyczny

Pełne pokrycie tak dużego zapotrzebowania na energię elektryczną mogą zapewnić tylko elektrownie zawodowe, współpracujące ze sobą w krajowym



Rys. 1. Rozwój zużycia energii elektrycznej E w Polsce w latach 1970–2010, pobieranej przez wszystkich odbiorców bytowo-komunalnych (E_b) oraz przez odbiorców wiejskich (E_w), a także liczba odbiorców N_w energii elektrycznej na wsi (budynków mieszkalnych, gospodarstw rolnych, obiektów niemieszkalnych i innych)

systemie elektroenergetycznym. W Polsce są to przeważnie elektrownie parowe lub elektrociepłownie, wytwarzające energię elektryczną z energii pierwotnej w postaci ciepła uzyskiwanego ze spalania węgla kamiennego lub brunatnego, lub gazu ziemnego, oraz w niewielkim udziale – elektrownie wodne, wykorzystujące energię kinetyczną spadku wody.

Tylko zintegrowany system elektroenergetyczny wytwórczy może zapewnić dostarczanie energii elektrycznej każdemu odbiorcy w wymaganej ilości i o pożądanej jakości przy umiarkowanych kosztach jej wytwarzania. Wysoka **jakość energii elektrycznej** oznacza niezawodność jej dostawy i utrzymanie parametrów napięcia zasilającego: częstotliwości, nieodkształconego przebiegu oraz poziomu napięcia u odbiorców w granicach dopuszczalnych ze względu na warunki prawidłowej pracy elektrycznych urządzeń odbiorczych.

Nie jest jednak możliwe magazynowanie energii elektrycznej w znacznej ilości. Z tego względu energia do każdego z odbiorców musi być dostarczana od razu, wprost z czynnych elektrowni. Oznacza to konieczność utrzymywania w elektrowniach w ruchu rezerwowych zespołów prądotwórczych, tak by suma mocy wszystkich pracujących zespołów, tzw. **moc dyspozycyjna elektrowni**, była większa niż suma mocy odbiorników włączonych do pracy u odbiorców,

określana jako **moc zapotrzebowana**. Jest to możliwe dzięki uruchamianiu lub zmianie obciążenia urządzeń wytwórczych zgodnie z wykresem przewidywanych zmian mocy zapotrzebowanej. Utrzymywanie w ruchu urządzeń takich niedociążonych lub rezerwowych jest kosztowne i musi być ograniczane do minimum.

Niedostatek mocy dyspozycyjnej prowadziłby do przeciążenia urządzeń wytwórczych w elektrowniach i ich automatycznego wyłączenia dla ochrony przed uszkodzeniem. By zapobiec takim zakłóceniom w pracy elektrowni, należałoby ograniczyć pobór energii przez niektórych odbiorców. Praca elektrowni w zintegrowanym systemie skutecznie eliminuje takie zagrożenia i zmniejsza wielkość koniecznej rezerwy mocy dyspozycyjnej, co obniża ogólne koszty wytwarzania energii. Praca elektrowni w systemie elektroenergetycznym jest sterowana na kilku poziomach, a na najwyższym przez Krajową Dyspozycję Mocy.

Energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach jest przesyłana wprost do odbiorców bardzo dużej mocy, takich jak kopalnie, huty, kombinaty chemiczne, stocznie itp., oraz do ośrodków skupiających dużą liczbę mniejszych odbiorców, przede wszystkim w miastach, a także do głównych punktów zasilania rozproszonych odbiorców na obszarach osiedleńczo-rolniczych i rozdzielana do poszczególnych odbiorców. Odbywa się to liniami elektroenergetycznymi: przesyłowymi w pierwszym i rozdzielczymi w drugim przypadku. Linie te wraz ze stacjami i innymi urządzeniami tworzą złożony, rozciągnięty na cały kraj, **układ sieci przesyłowych i rozdzielczych**.

System wytwórczy wraz z sieciami przesyłowymi i rozdzielczymi tworzy **krajowy system elektroenergetyczny** zapewniający dostarczanie wszystkim odbiorcom, w tym też zlokalizowanym na terenach wiejskich, energii elektrycznej o właściwej jakości przy możliwie jak najmniejszych stratach energii i kosztach eksploatacji całego systemu, a tym samym po umiarkowanych cenach.

Wspomniana cecha pracy systemu elektroenergetycznego bez możliwości magazynowania energii elektrycznej stwarza, jako jeden z ważniejszych, problem pewności dostawy tej energii poszczególnym odbiorcom. Chodzi o takie ukształtowanie sieci przesyłowych i rozdzielczych, by w razie uszkodzenia jakiegoś fragmentu tych sieci można było uzyskać zasilanie energią z innej elektrowni lub innych linii przesyłowych i rozdzielczych, co prowadzi do rozwiązań tzw. **zasilania dwustronnego** lub nawet **trójstronnego**. Jest to jednak na tyle kosztowne, że może być stosowane tylko do całych grup odbiorców i szczególnie ważnych obiektów, w których nawet krótkotrwałe przerwy w zasilaniu energią elektryczną mogą powodować duże straty materialne lub poważne zagrożenie otoczenia, na przykład wybuchem.

Straty energii elektrycznej w liniach przesyłowych i rozdzielczych zależą

od rezystancji przewodów, a przede wszystkim od wartości prądu. Ze względu na koszt budowy linii elektroenergetycznych najczęściej stosuje się przewody aluminiowe, wzmocnione mechanicznie drutami stalowymi. Zmniejszenie rezystancji przewodów można uzyskać jedynie przez powiększenie ich przekrojów, ale i te nie mogą przekroczyć pewnych granic ze względu na wzrost ich masy, a więc ciężaru i naprężeń przewodów. Zatem w celu przesyłu dużej mocy przy ograniczonym prądzie jest konieczne wyższe napięcie, zgodnie ze wzorem

$$P = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

w którym:

P – moc czynna, w W,

U – napięcie międzyprzewodowe, w V,

I – prąd przewodowy, w A,

$\cos\varphi$ – współczynnik mocy.

Sieci przesyłowe i rozdzielcze są powszechnie wykonywane w układzie trójfazowym symetrycznym.

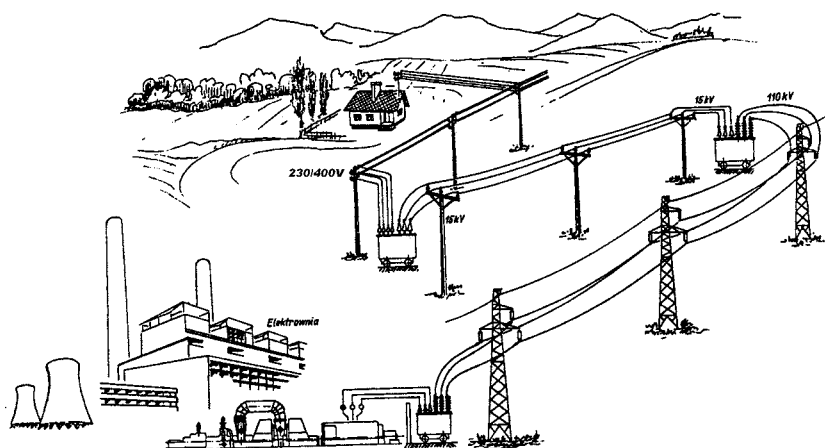
Linie przesyłowe prądu przemiennego, przenoszące moc rzędu setek megawatów (1 MW = 1 milion W), są budowane na napięcia 220 i 400 kV, a nawet 750 kV. Przy tak wysokich napięciach w liniach napowietrznych stosuje się przewody gołe, linki stalowo-aluminiowe podwieszone do długich łańcuchów wiszących izolatorów porcelanowych, przymocowanych do poprzeczników potężnych, wieżowych słupów stalowych o złożonej konstrukcji kratowej. Aby bowiem nie dochodziło do powstania łuku elektrycznego między przewodami i od przewodów do ziemi, a tym samym zwarc, muszą być zachowane odpowiednio duże odstępstwa między przewodami i wysokość zawieszenia przewodów nad ziemią. Linie te muszą być chronione przed bezpośrednimi wyładowaniami atmosferycznymi przez stalowe przewody (linki) odgromowe, zawieszone nad przewodami fazowymi i uziemione. Wprawdzie słupy omawianych linii najwyższych napięć są bardzo wysokie (30 do 50 m), co pozwala na ustawienie ich w dużej odległości od siebie (200 m i więcej), ale i tak budowa tych linii jest bardzo kosztowna.

Do przesyłu mniejszych mocy buduje się dlatego linie pracujące przy niższych napięciach (linie WN), najczęściej 110 kV. Są to linie napowietrzne z gołymi przewodami (linki stalowo-aluminiowe), zawieszone na krótszych już łańcuchach izolatorów wiszących, przymocowanych do pojedynczych poprzeczników umieszczonych na kratowych słupach stalowych, niższych niż w liniach najwyższych napięć, choć gęściej rozstawionych.

Do rozproszczenia energii elektrycznej do odbiorców zapotrzebowujących mniejszą moc, takich jak niewielkie zakłady przemysłowe, oraz do zgrupowań drobnych odbiorców w miastach i na wsiach, służą linie średniego napięcia (linie SN) 6 do 30 kV. Są one na terenie miast wykonane zwykle kablami ułożonymi w kanałach lub bezpośrednio w ziemi. Na terenach wiejskich są one budowane jako linie napowietrzne z przewodami wielożyłowymi stalowo-aluminiowymi gołymi lub – w szczególnych warunkach (np. prowadzone przez lasy lub tereny zabudowane) – izolowanymi. Przewody te są zamocowane na izolatorach porcelanowych stojących, przytwierdzonych do poprzeczników stalowych na jednożerdziowych słupach stalowych lub strunobetonowych, wysokości kilkunastu metrów, rozstawionych w odstępach ok. 100 m. Budowa tych linii jest na tyle tania, że opłaca się tworzyć z nich rozbudowane układy rozdzielcze energii elektrycznej na dużych obszarach.

Doprowadzenie energii do poszczególnych odbiorców następuje trójfazowo, czteroprzewodowymi liniami niskiego napięcia (linie nn), najczęściej 230/400 V, do których przyłącza się instalacje u odbiorców, a do tych - poszczególne odbiorniki elektryczne. Napięcie to jest tak dobrane, by urządzenia odbiorcze były stosunkowo lekkie, o zwartej budowie dzięki cienkiej izolacji części wiodących prąd oraz małej średnicy żył przewodów. Takie linie umożliwiają zasilanie odbiorników jednofazowych o małej mocy napięciem 230 V, a odbiorników trójfazowych większej mocy – napięciem 400 V.

Z powyższego wynika, że na drodze przesyłu energii elektrycznej od elektrowni do odbiorcy następuje kilkakrotne przetwarzanie napięcia, które do-



Rys. 2. System elektroenergetyczny przesyłu i rozdziału energii elektrycznej od elektrowni do odbiorcy wiejskiego

konuje się z dużą sprawnością w transformatorach energetycznych, zwykle w wykonaniu napowietrznym. Zależnie od mocy i napięć transformatory w sieciach przesyłowych i rozdzielczych ustawiane są na postumentach na ziemi na wygrodzonym terenie stacji transformatorowo-rozdzielczych. Transformatory o małej mocy znamionowej, zasilające sieci niskiego napięcia, budowane są często jako napowietrzne i umieszczane na pewnej wysokości nad ziemią, na słupowych konstrukcjach wsporczych, natomiast w wykonaniu wewnętrznym – w specjalnych kioskach murowanych, betonowych lub blaszanych.

Na rysunku 2 przedstawiono drogę przepływu energii elektrycznej w krajowym systemie elektroenergetycznym od elektrowni systemu wytwórczego, poprzez linie w sieci przesyłowej i rozdzielczej wysokiego i niskiego napięcia aż do odbiorcy wiejskiego. Na tej drodze tylko linie w sieci rozdzielczej są zbudowane specjalnie do zasilania odbiorców wiejskich, inne części systemu elektroenergetycznego służą wszystkim odbiorcom.

1.3. Wiejskie sieci rozdzielcze

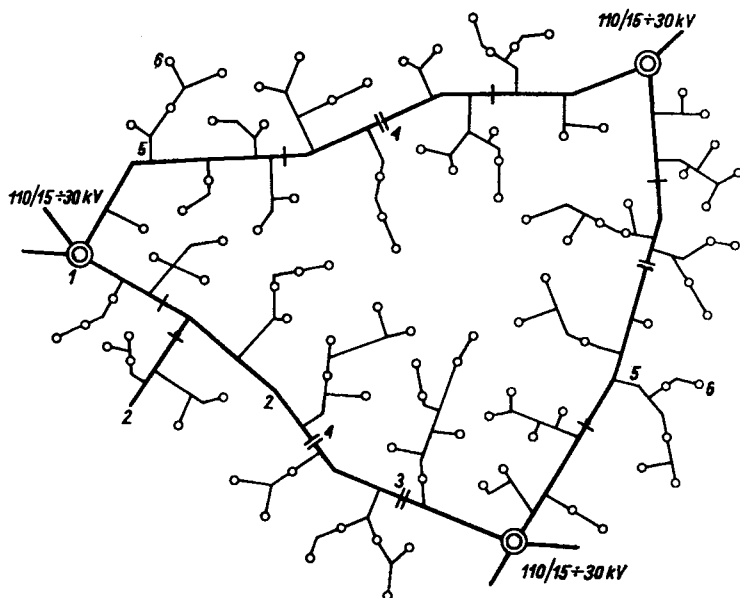
Wiejskie sieci elektroenergetyczne są przeznaczone do rozdzielania energii elektrycznej między odbiorców na obszarach osiedleńczo-rolniczych całego kraju. Obejmują one:

- **rejonowe sieci średniego napięcia** – zwykle 15 kV, a w niektórych rejonach Polski 20 lub 30 kV – zasilane przez stacje transformatorowo-rozdzielcze, tzw. główne punkty zasilające GPZ, przyłączone do sieci rozdzielczej 110 kV, a niekiedy do linii przesyłowych 220 kV. Takie stacje są na ogół zasilane co najmniej z dwóch źródeł energii elektrycznej, co zapewnia bezprzerwową ich pracę;

- **lokalne sieci niskiego napięcia** 230/400 V, rozbudowane na terenie poszczególnych wsi i osiedli, zasilane z wiejskich stacji transformatorowych, przyłączonych do linii średniego napięcia.

Cechą charakterystyczną wiejskich sieci elektroenergetycznych jest ich znaczna rozległość i niewielkie obciążenie prądowe. Wynika to z rozproszenia odbiorców na dużych obszarach, których urządzenia pobierają stosunkowo małe moce i zużywają niewiele energii elektrycznej. Na jednego odbiorcę wiejskiego w porównaniu z odbiorcą w miastach przypada blisko dwa razy dłuższa linia średniego napięcia i trzy razy dłuższa linia niskiego napięcia, a zużycie energii elektrycznej jest ponadpółtorakrotnie mniejsze. Wpływa to na stosunkowo duży koszt jednostkowy dostarczania energii elektrycznej do odbiorców wiejskich. Jedynym sposobem zmniejszenia cen za energię elektryczną dla odbiorców wiejskich jest zwiększenie zużycia tej energii przy utrzymaniu na umiarkowanym poziomie kosztów unowocześniania sieci rozdzielczej.

Na rysunku 3 przedstawiono typową konfigurację wiejskiej sieci średniego napięcia. Układ ten tworzą linie główne, tzw. **linie magistralne**, przebiegające między głównymi punktami zasilającymi 110/15 kV. Od tych linii są prowadzone linie odgałęźne do wiejskich stacji transformatorowych.



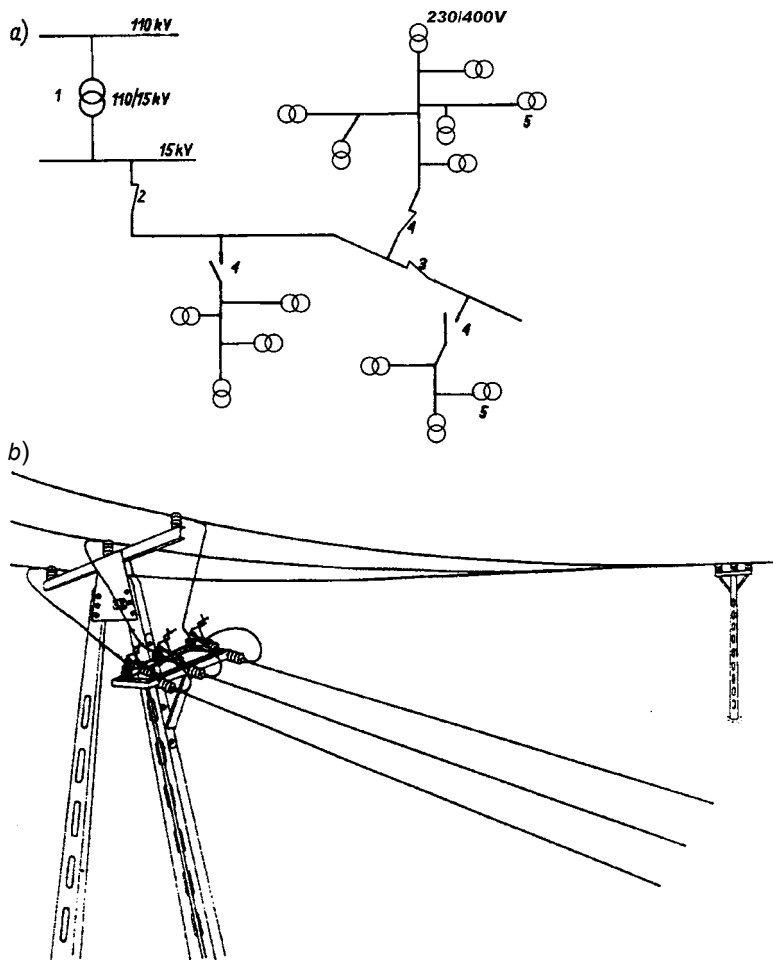
Rys. 3. Typowa konfiguracja wiejskiej elektroenergetycznej sieci rozdzielczej średniego napięcia: 1 – główny punkt zasilający, 2 – linia magistralna, 3 – odłącznik sekcyjny w stanie zamkniętym (symbol uproszczony), 4 – odłącznik sekcyjny w stanie otwartym (oznaczenie umowne), 5 – linia odgałęźna, 6 – wiejska stacja transformatorowa

W liniach magistralnych stosuje się tzw. odłączniki sekcyjne, które dzielą taką linię wraz z odgałęzieniami na kilka sekcji. Stwarzają one – jak wyłączniki – przerwę w zasilaniu, tyle że są zamykane i otwierane w stanie bezprądowym. Są one zamontowane na słupach linii magistralnych oraz na pierwszych słupach linii odgałęźnych.

Takie odłączniki sekcyjne umożliwiają służbom eksploatacyjnym wyłączenie linii spod napięcia w razie występującego uszkodzenia (np. zwarcia między przewodami, pęknięcia izolatora, zerwania przewodu, przewrócenia się słupa) lub planowanego remontu odcinka linii. Dzięki nim służby te mogą dokonać przełączeń w sieci, by ograniczyć do minimum liczbę odbiorców pozbawionych dostawy energii elektrycznej. Ze względu bowiem na uproszczenie eksploatacji sieć ta pracuje najczęściej przy otwartym odłączniku sekcyjnym

w pobliżu środka długości linii magistralnej. Oznacza to jednostronne zasilanie wiejskich stacji transformatorowych.

Na rysunku 4 pokazano układ magistralny sieci wiejskiej oraz fragment linii 15 kV ze słupowym odłącznikiem sekcijnym z napędem ręcznym. Linia ta nie ma przewodów odgromowych, gdyż wyładowania piorunowe są odprowadzane po konstrukcji słupów do ziemi.



Rys. 4. Fragment wiejskiej sieci rozdzielczej średniego napięcia zasilanej z GPZ: a) plan linii magistralnej i linii odgałęźnych z zaznaczeniem odłączników sekcyjnych; b) widok linii magistralnej ze słupowym odłącznikiem na odgałęzieniu:

1 – GPZ, 2 – odłącznik na wyjściu linii 15 kV z rozdzielni, 3 – odłącznik sekcyjny w linii magistralnej, 4 – odłącznik w linii odgałęźnej, 5 – wiejska stacja transformatorowa

Warto podkreślić, że w celu ograniczenia liczby wyłączeń i skrócenia czasu trwania przerw w zasilaniu odbiorców dąży się do unowocześnienia wiejskich sieci średniego napięcia oraz wprowadzenia automatyki działania odłączników sekcyjnych. Chodzi o to, by mogły one być łączone zdalnie przez obsługę eksploatacyjną dla zmniejszenia liczby wyjazdów ekip monterskich. Ponadto odłączniki sekcyjne współpracowałyby z układem SPZ (samoczynnego powtórnego załączania). Automatyka tego układu przy zwarciaach przemijających, spowodowanych na przykład przepięciami atmosferycznymi, umożliwia szybkie wyłączenie i ponowne załączenie fragmentów sieci. Eliminuje to ponad 70% wyłączeń odbiorców w okresie wiosenno-letnim, powodując przerwę w ich zasilaniu tylko przy wystąpieniu zwarć trwałych.

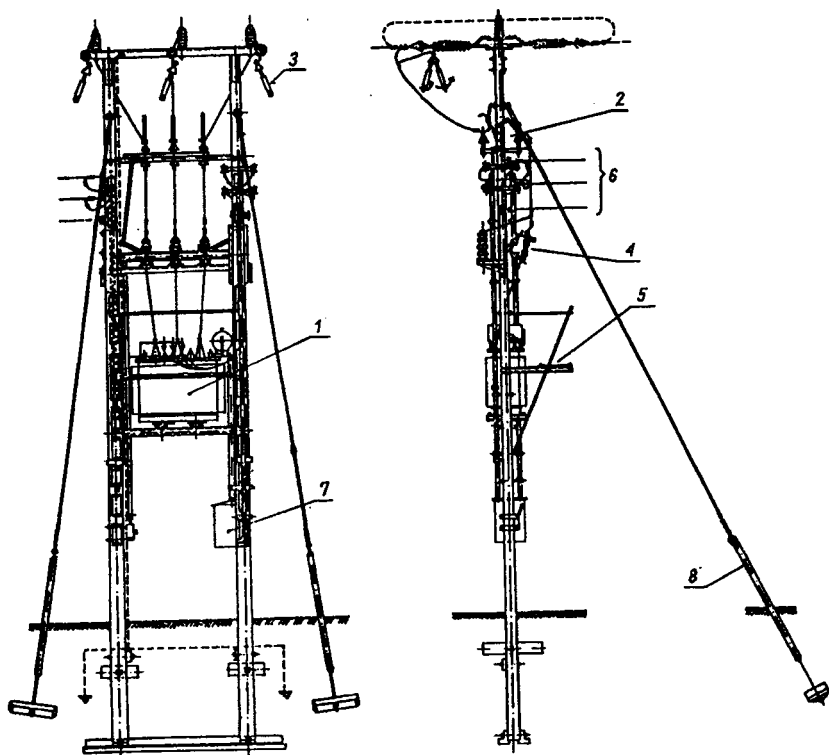
W liniach magistralnych stosuje się przewody stalowo-aluminiowe o przekroju nawet do 120 mm², natomiast linie odgałęźne wykonuje się zwykle przewodami o przekroju od 25 do 50 mm². Ma to na celu ograniczenie spadków napięcia zarówno w normalnych, jak i awaryjnych stanach pracy sieci.

Warto wiedzieć, że poszukując rozwiązań wykorzystania do produkcji energii elektrycznej naturalnych odnawialnych źródeł energii, buduje się wiatrowe jednostki wytwórcze instalowane pojedynczo lub w zespołach stanowiących elektrownie wiatrowe, lokalne elektrownie wodne, elektrownie z turbinami gazowymi na wysypiskach odpadów biologicznych itp.; są też projekty budowy elektrowni geotermalnych. Elektrownie tego rodzaju, w celu pełnego wykorzystania ich zdolności produkcyjnych, korzystnego stosowania generatorów asynchronicznych i automatyzacji działania dla obniżenia kosztów eksploatacji, muszą być przyłączone do wiejskich sieci rozdzielczych średniego napięcia, pełniąc funkcję dodatkowych, rozproszonych źródeł zasilania.

Linie średniego napięcia są doprowadzone do **wiejskich stacji transformatorowych**, które stanowią punkty zasilania sieci niskiego napięcia. Podstawowym urządzeniem tych stacji są transformatory, przetwarzające napięcie ze średniego na niskie. Najczęściej są to transformatory trójfazowe o przekładni 15/0,4 kV z uziemionym punktem neutralnym po stronie niskiego napięcia. Ich moc znamionowa wynosi od 30 do 250 kVA, a nawet więcej, zależnie od liczby odbiorców i zapotrzebowania na moc.

Po stronie średniego napięcia stacje powinny być wyposażone w trójfazowy odłącznik oraz bezpieczniki i ograniczniki przepięć na każdej fazie. Odłącznik umożliwia obsługę stacji w stanie bezprądowym, bezpieczniki chronią transformator przed pożarem w razie zwarcia w jego uzwojeniach, a ograniczniki – przed przepięciami pochodzącymi z linii wysokiego napięcia.

Po stronie niskiego napięcia stacja jest wyposażona w rozdzielnicę szynkową, której szyny zbiorcze są przyłączone do zacisków niskiego napięcia na transformatorze, a od szyn wyprowadzone przewody do odejściowych linii ni-

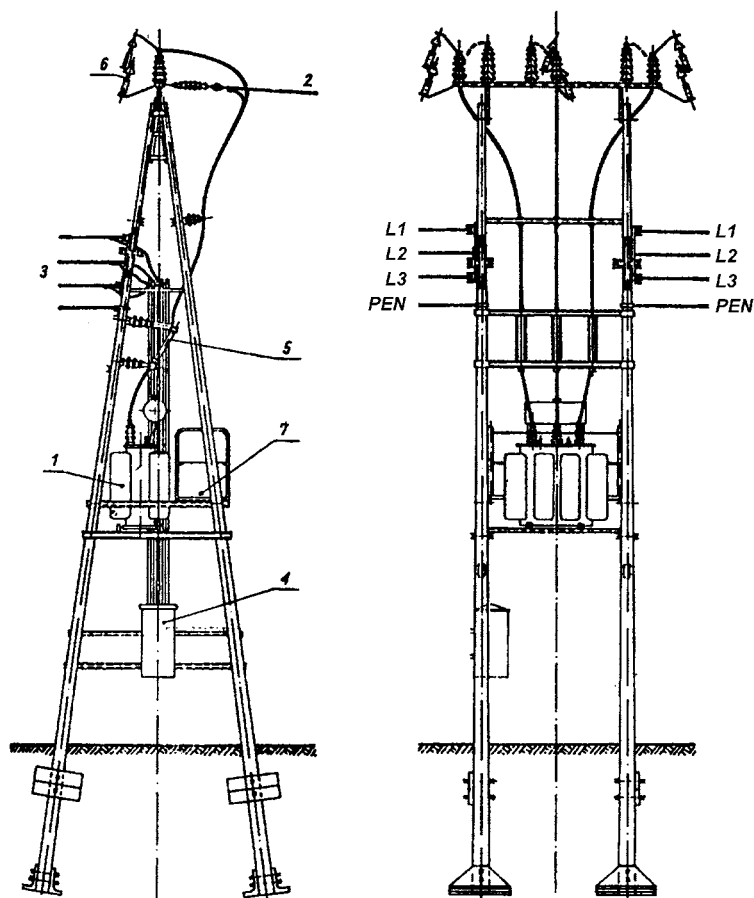


Rys. 5. Wiejska stacja transformatorowa, krańcowa lub przelotowa, na słupie bramowym pojedynczym, przystosowana do transformatorów o małej mocy:

1 – transformator, 2 – odłącznik wysokiego napięcia, 3 – ograniczniki przepięć wysokiego napięcia, 4 – bezpieczniki wysokiego napięcia, 5 – pomost obsługi, 6 – odejścia niskiego napięcia, 7 – rozdzielnica skrzynkowa niskiego napięcia, 8 – odciażki stosowane w stacji krańcowej

skiego napięcia. Na zasilaniu rozdzielnicy jest zainstalowany wyłącznik umożliwiający pozbawienie napięcia całej sieci niskiego napięcia. Jest pożądane, by był to wyłącznik samoczynny z wyzwalaczami nadprądowymi, zabezpieczającymi przed przeciążeniami i uszkodzeniem transformatora. Odejścia od szyn zbiorczych są często wyposażone tylko w bezpieczniki topikowe, działające w przypadku zwarć lub przeciążeń w zasilanych fragmentach sieci niskiego napięcia.

Wiejskie stacje transformatorowe są wykonane najczęściej jako napowietrzne, umieszczone na słupach linii elektroenergetycznej lub rzadziej jako wewnątrzowe, w specjalnych pomieszczeniach murowanych, betonowych lub blaszanych (w kiosku). Na rysunkach 5 do 7 przedstawiono kilka rozwiązań wiejskich stacji transformatorowych, a na rysunku 8 schemat układu połączeń

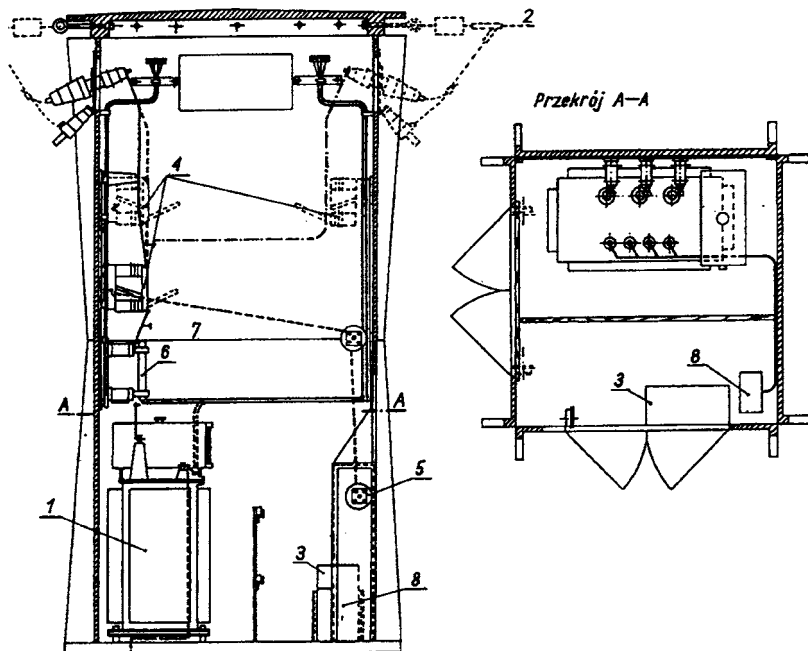


Rys. 6. Wiejska stacja transformatorowa krańcowa na słupie dwu-A-owym, z transformatorem o dużej mocy:

1 – transformator, 2 – doprowadzenie linii wysokiego napięcia, 3 – odejścia linii niskiego napięcia, 4 – rozdzielnica skrzynkowa niskiego napięcia, 5 – bezpieczniki wysokiego napięcia, 6 – ograniczniki przepięć (odgromniki) wysokiego napięcia, 7 – pomost obsługi

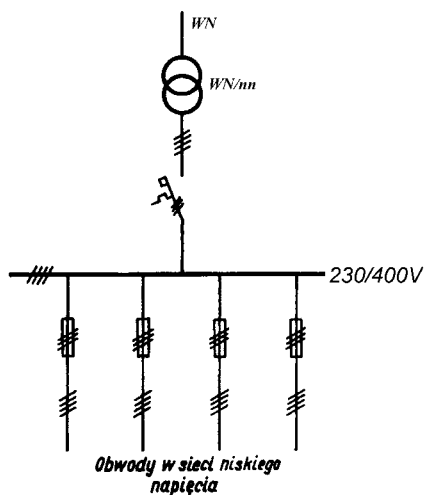
wraz z zabezpieczeniami na tablicy rozdzielczej niskiego napięcia jako przykład typowych rozwiązań.

Sieć niskiego napięcia 230/400 V (do niedawna 220/380 V) tworzą linie wyprowadzone ze stacji transformatorowej do poszczególnych odbiorców. Linie te rozgałęziają się, ale z uwagi na koszty budowy i wygodę eksploatacji zachowują charakter **sieci otwartej**, tzn. nie tworzą zamkniętych pętli, które umożliwiałyby dwustronne zasilanie odbiorców. Zwiększenie pewności zasilania, a także ograniczenie wahań napięcia u odbiorców oraz poprawę warunków

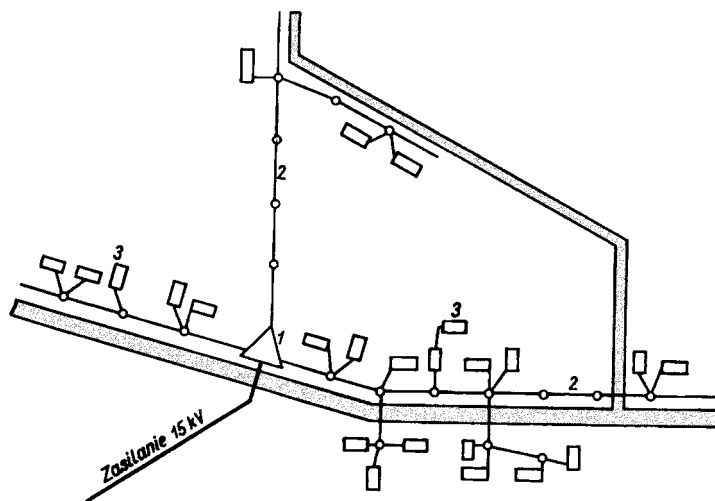


Rys. 7. Wiejska stacja transformatorowa, krańcowa lub przelotowa, kioskowa:

1 – transformator, 2 – linia wysokiego napięcia, 3 – rozdzielnica niskiego napięcia, 4 – odłącznik wysokiego napięcia, 5 – napęd jednego z odłączników wysokiego napięcia, 6 – bezpiecznik wysokiego napięcia, 7 – wskaźnik zwarcia, 8 – kondensatory do kompensacji mocy biernej



Rys. 8. Schemat typowego wyposażenia w aparaty elektryczne rozdzielniczy niskiego napięcia wiejskiej stacji transformatorowej

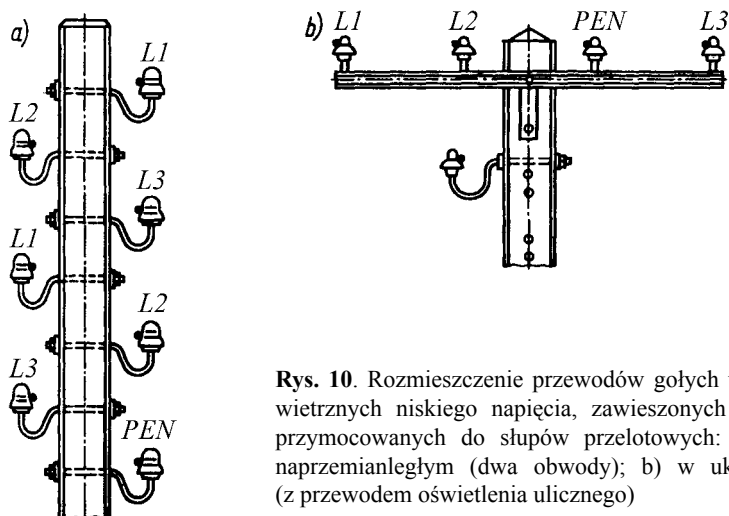


Rys. 9. Przykładowy przebieg linii napowietrznych w wiejskiej sieci niskiego napięcia: 1 – wiejska stacja transformatorowa, 2 – linie niskiego napięcia, 3 – domostwa odbiorców energii elektrycznej

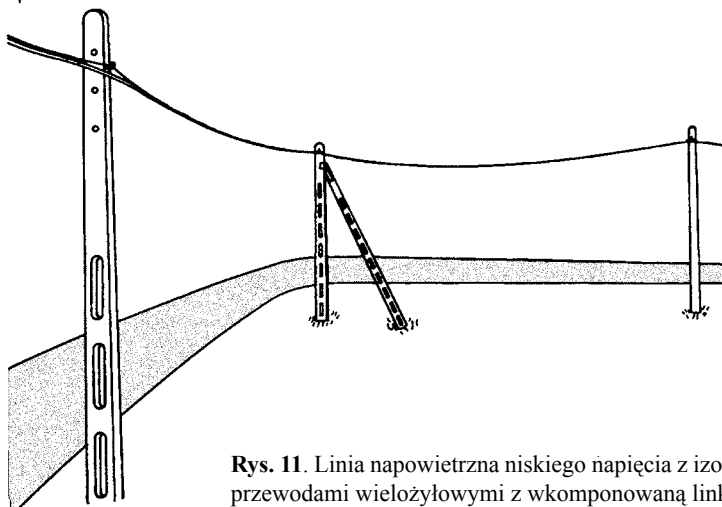
ochrony przeciwporażeniowej osiąga się, zmniejszając zasięg zasilania ze stacji transformatorowych do odległości najwyżej 1–1,2 km. Umożliwia to stosowanie przewodów o mniejszych przekrojach, lżejszych słupów i konstrukcji, a zatem obniża koszt budowy linii.

Wiejskie sieci niskiego napięcia są zwykle wykonane jako napowietrzne. Na rysunku 9 pokazano na planie typową konfigurację sieci napowietrznych niskiego napięcia. Linie są zbudowane wzdłuż dróg prowadzących do odbiorców. Dzięki temu nie utrudnia się dalszej zabudowy i zagospodarowania użytków rolnych, natomiast można wykorzystać słupy linii do oświetlenia osiedli. Najczęściej są to linie trójfazowe (z trzema przewodami fazowymi i jednym ochronno-neutralnym) oraz ewentualnie z dodatkowym przewodem oświetleniowym. Umożliwia to trójfazowe zasilanie każdego odbiorcy, jeśli zgłosi on potrzebę zwiększonego poboru mocy lub chęć korzystania z trójfazowych odbiorników, oczywiście pod warunkiem ograniczonego zasięgu stacji transformatorowej i stosownego przekroju przewodów linii. Jedynie do oddalonych, pojedynczych domostw, nierokujących wzrostu wykorzystania energii elektrycznej na potrzeby inne niż domowe, budowano linie jednofazowe.

Linie napowietrzne niskiego napięcia budowano początkowo w różnym wykonaniu. Występują nadal stare linie na słupach drewnianych, choć najczęściej stosuje się słupy żelbetowe (z betonu zbrojonego prętami stalowymi). Przewody gołe, zwykle w postaci linek aluminiowych o przekroju od 25 do 70 mm²,



Rys. 10. Rozmieszczenie przewodów gołych w liniach napowietrznych niskiego napięcia, zawieszonych na izolatorach przelotowych: a) w układzie naprzemianległym (dwa obwody); b) w układzie płaskim (z przewodem oświetlenia ulicznego)



Rys. 11. Linia napowietrzna niskiego napięcia z izolowanymi przewodami wielożyłowymi z wkomponowaną linką nośną

są zawieszone na izolatorach porcelanowych lub szklanych. Na słupach przelotowych używa się izolatorów stojących, a na słupach narożnych i krańcowych – izolatorów szpulowych.

Izolatory stojące są osadzone na trzonach prostych, przykręconych do słupa, a szpulowe – w trzonach kabłąkowych przymocowanych do metalowych poprzeczników. W pierwszym przypadku przewody są rozmieszczone w płaszczyźnie pionowej naprzemianległe, w drugim – w płaszczyźnie poziomej, co zmniejsza wysokość słupów. Na rysunku 10 pokazano obydwa rozwiązania słupów linii.

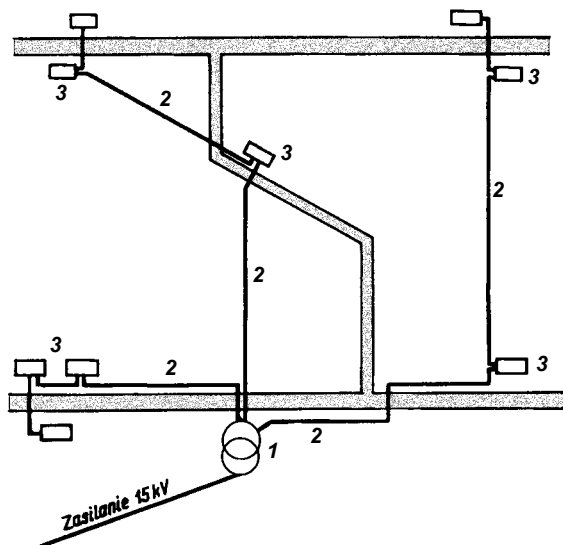
Zwarcia międzyfazowe i doziemne w liniach napowietrznych niskiego napięcia są wyłączane przez bezpieczniki topikowe lub samoczynne wyłączniki nadprądowe stosowane w rozdzielnicach na stacjach transformatorowych. Przewód ochronno-neutralny ze względu na ochronę przeciwporażeniową jest uziemiony wielokrotnie: na stacji transformatorowej, na końcach linii i w punktach pośrednich, nie rzadziej niż co 500 m. W tych samych zwykle miejscach instaluje się na każdej fazie ograniczniki przepięć w celu odprowadzenia do ziemi przepięć atmosferycznych.

W ostatnich latach przy okazji remontów wiejskich sieci niskiego napięcia zaczęto wymieniać przewody gołe na izolowane, a zwłaszcza na przewody samonośne wielożyłowe z wkomponowaną linką nośną. Są one skręcone z pojedynczych żył izolowanych. Ich żyła ochronno-neutralna jest elementem nośnym, wykonanym z przewodu stalowo-aluminiowego, aluminiowego lub ze stopu aluminium. Takie rozwiązanie pokazano na rysunku 11. Jest ono tym korzystniejsze, że unika się zwarć doziemnych, np. przez gałęzie drzew, oraz stosowania izolatorów, często tłuczonych, a także zmniejsza się niebezpieczeństwo porażeń, np. przez zarzutki na przewody lub podczas podlewania pobliskich ogrodów z węża. Można też zawieszać te przewody na niższej wysokości i stosować niższe słupy. Wymagana bowiem minimalna odległość przewodów fazowych gołych od powierzchni ziemi wynosi 5 m, a przy skrzyżowaniu z drogą jest zwiększana do 6 m; natomiast dla przewodów izolowanych wynosi odpowiednio 4,5 i 6 m.

Sieci niskiego napięcia wykonuje się także kablami elektroenergetycznymi układanymi w ziemi. Dzięki temu zarówno unika się zwarć i przepięć atmosferycznych oraz związanych z tym przerw w dostawie energii elektrycznej odbiorcom, jak i znacznie zwiększa trwałość sieci. Jeśli w krajobrazie wsi nie są widoczne słupy i przewody linii, ma to niekiedy znaczenie dla zachowania jej naturalnego wyglądu.

Sieci takie są jednak kosztowne m.in. dlatego, że stosuje się kable z żyłami o przekrojach większych niż przewodów w sieciach napowietrznych, aby uniknąć nadmiernego nagrzewania się kabli i kłopotliwej ich wymiany przy wzroście zapotrzebowania na moc. Ponadto oświetlenie uliczne wymaga stawiania dodatkowych słupów i układania oddzielnych kabli zasilających.

Aby uniknąć stosowania rozgałęźnych połączeń odcinków kabli (tzw. muf kablowych – zakopywanych w ziemi i dlatego trudnych do kontroli i naprawy) oraz zmniejszyć długość kabli, prowadzi się je od jednego odbiorcy do drugiego. Tworzy to odmienną konfigurację sieci, pokazaną przykładowo na rysunku 12. W celu zapobieżenia przypadkowym uszkodzeniom kabli przy pracach polowych układa się je na głębokości co najmniej 90 cm i osłania od góry niebieską (w przypadku kabli o napięciu do 1 kV) folią z tworzywa sztucznego lub kształtkami ceramicznymi.



Rys. 12. Typowa konfiguracja wiejskiej sieci niskiego napięcia, wykonanej kablem elektroenergetycznym:

1 – wiejska stacja transformatorowa, 2 – kabel, 3 – domostwo odbiorcy energii

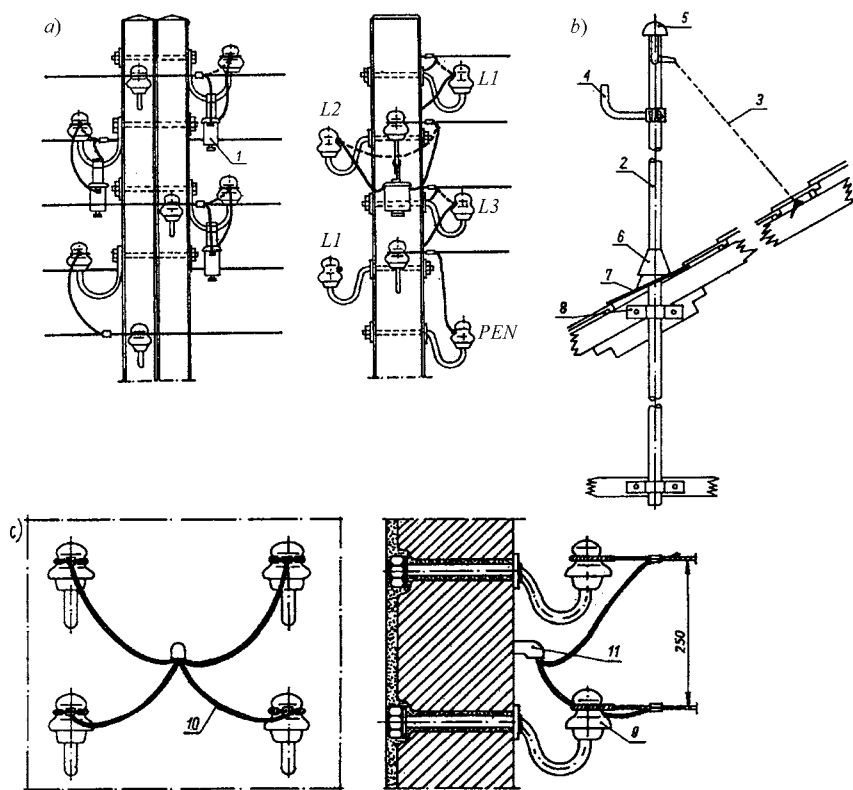
1.4. Przyłącza i złącza

Odbiorcy energii elektrycznej są przyłączeni do linii niskiego napięcia za pomocą tzw. **przyłączy**. Połączenie instalacji elektrycznej odbiorców z siecią rozdzielczą następuje w tzw. **złączach**. Złącza stanowią źródło napięcia zasilania urządzeń odbiorczych. Jednocześnie są one ostatnimi elementami sieci niskiego napięcia. Są one własnością przedsiębiorstwa energetycznego, które ponosi pełną odpowiedzialność za sprawność ich działania. Dlatego złącza, podobnie jak rozliczeniowe liczniki energii elektrycznej, są plombowane przez przedsiębiorstwo energetyczne, a zatem są niedostępne dla odbiorców tej energii.

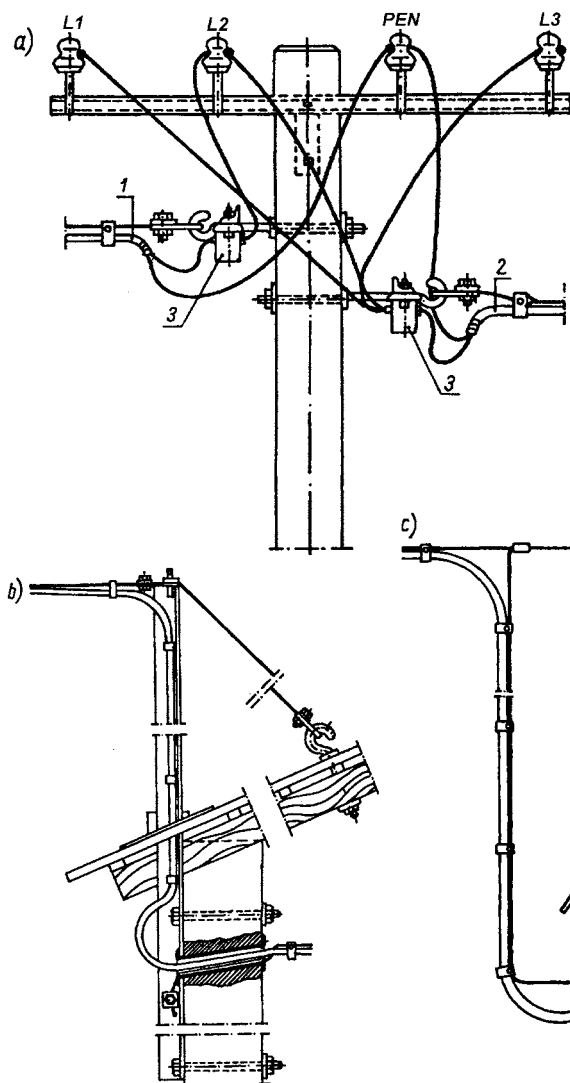
Przyłącza wykonuje się z uwzględnieniem indywidualnych warunków, przede wszystkim zależnie od przewidywanego poboru mocy, rozwiązania sieci niskiego napięcia, rodzaju budynku ze złączem itd. Ogólnie rozróżnia się przyłącza jedno- i trójfazowe, napowietrzne z przewodami gołymi lub izolowanymi, stojakowe lub dościenne, a także przyłącza kablowe.

Przyłącza napowietrzne wykonane przewodami gołymi są rozwiązaniem najstarszym i występują tylko w przypadku linii napowietrznych. Na rysunku 13 pokazano taką wersję przyłącza jednofazowego. Przewody gołe przyłącza nie mogły być zawieszone niżej niż 4 m nad ziemią, co przy niskim budynku zmusza do stosowania stojaka z izolatorami. Przy wyższych budynkach izolatory przyłączowe mogą być mocowane bezpośrednio do ich ścian. Z przewodami przyłącza są połączone przewody izolowane, wprowadzone do rury stojaka lub przepustu w ścianie.

Przylączy napowietrzne nie powinny być dłuższe niż 35 m, by naciąg przewodów nie był zbyt duży. Jeśli jest wymagane dłuższe przylączy, to stosuje się pośrednie słupy, jak w linii niskiego napięcia. Początkowo przylączy wykonywano przewodami gołymi. Małe naciągi tych przewodów były są przyczyną ich stykania się oraz zwarć przy wietrznej pogodzie, a także doziemienia przez rosnące gałęzie drzew. Dla zapobieżenia w stacji transformatorowej częstym wyłączeniom całej linii (wszystkich odbiorców) spod napięcia instalowano **słupowe bezpieczniki** topikowe, do których przylączano przewody fazowe przylączy. Stwarzało to jednak pewne kłopoty eksploatacyjnej służbie energetycznej, gdyż każdorazowe zadziałanie bezpiecznika wymagało przyjazdu



Rys. 13. Przylączy napowietrzne wykonane przewodami gołymi: a) podwieszenie przewodów przylączy do słupa linii niskiego napięcia; b) stojak przylączowy; c) przylączy ściennie: 1 – bezpiecznik słupowy, 2 – rura stojaka, 3 – odciąg, 4 – poprzecznik z trzonami na izolatorach przylączowych, 5 – grzybek, 6 – daszek ściekowy, 7 – dachówki z lepikiem, 8 – kłami mocująca, 9 – izolator przylączowy, 10 – przewody izolowane (np. DYd), 11 – półfajka przepustu przewo-
dów przez ściankę



Rys. 14. Przyłącze napowietrzne wykonane przewodem izolowanym wielożyłowym z linką nośną:
 a) podwieszenie przewodów przyłączy do słupa linii niskiego napięcia;
 b) przyłącze stojakowe;
 c) przyłącze ściennie:
 1 – przewód przyłącza jednofazowego, 2 – przewód przyłącza trójfazowego, 3 – bezpiecznik słupowy

pracownika tej służby do wymiany wstawki. Spowodowało to podjęcie produkcji przewodów izolowanych wielożyłowych z wkomponowaną stalową linką nośną.

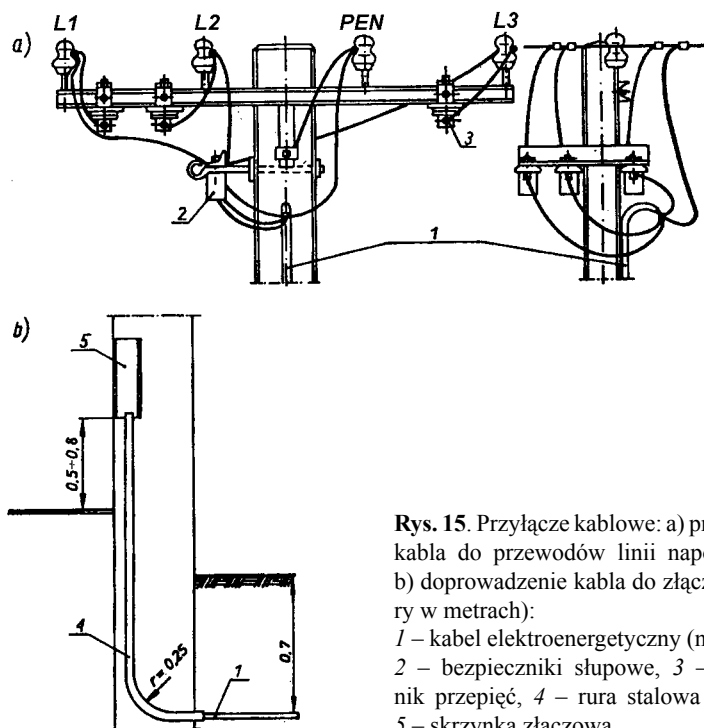
Na rysunku 14 przedstawiono takie przyłącze. Przewód izolowany przyłącza może być zamocowany niżej niż podano poprzednio ze względu na mniejszą wymaganą wysokość zawieszenia (4,5 m nad ziemią, lecz 6 m nad skrzyżowaniem z drogą). Nie ma przy tym potrzeby stosowania izolatorów do zawieszania

nia przewodu, gdyż linkę nośną mocuje się do haka osadzonego w ścianie lub do prostego stojaka dachowego wykonanego z kątownika.

Ważne jest też, że muszą być zachowane bezpieczne odległości przewodów od budynków. Wynoszą one przy przewodach gołych 2,5 m od części łatwo dostępnych dla ludzi, np. okien i 1,5 m od trudno dostępnych, np. komina, a przy przewodach izolowanych – odpowiednio 1,5 i 0,3 m. Zaletą jest także to, że przyłączowy przewód izolowany po odpowiednim odcięciu linki nośnej może być doprowadzony bezpośrednio do złącza, bez żadnych połączeń pośrednich.

Wadą przewodów izolowanych jest ich wrażliwość na przepięcia atmosferyczne. Z tego względu w sposób specjalny wykonuje się połączenia żył przewodu przyłącza z przewodami linii niskiego napięcia lub stosuje ograniczniki przepięć (odgromniki) na słupach przyłączowych. Ograniczniki te skutecznie obniżają napięcie, aby chronić przed uszkodzeniem izolację żył przewodu.

Najkorzystniejsze, choć najdroższe, jest wykonanie **przyłączy kablowych** za pomocą kabla o izolacji i powłoce polwinitowej, ułożonego w ziemi. Przyłącza te są niewidoczne, nie wprowadzają przepięć atmosferycznych do urządzeń odbiorczych ani nie stwarzają zagrożenia porażeniem prądem. Dotyczy



Rys. 15. Przyłącze kablowe: a) przyłączenie kabla do przewodów linii napowietrznej; b) doprowadzenie kabla do złącza (wymia-
ry w metrach):

1 – kabel elektroenergetyczny (np. YAKY),
2 – bezpieczniki słupowe, 3 – ogranicz-
nik przepięć, 4 – rura stalowa przepustu,
5 – skrzynka złączowa

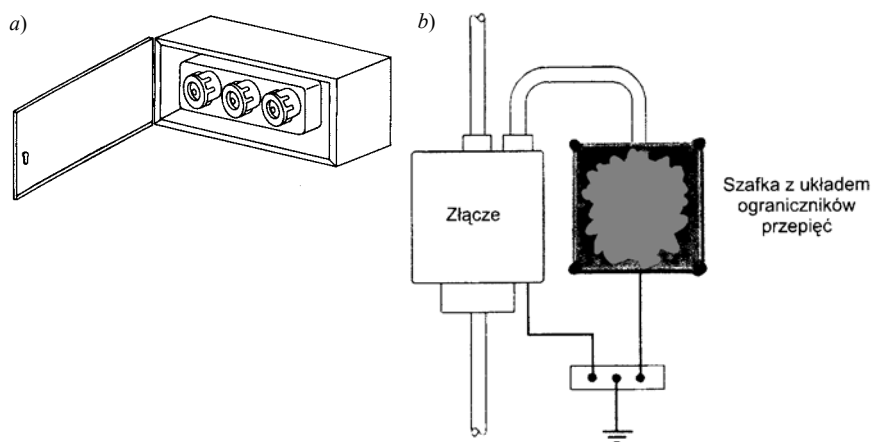
to przyłączy od linii napowietrznych, gdyż w sieci kablowej takie rozwiązanie nie jest potrzebne. Sprowadzenie kabla przyłącza po słupie linii napowietrznej niskiego napięcia pokazano na rysunku 15.

Złącza instalacji mają duże znaczenie dla przedsiębiorstw energetycznych. Znajdujące się bowiem w nich zabezpieczenia nadprądowe nie tylko chronią sieć niskiego napięcia przed skutkami zwarć w urządzeniach u odbiorcy, lecz także umożliwiają ograniczenie ich mocy do wartości zadeklarowanej (pobór większej mocy mógłby spowodować przeciążenie sieci). Ponadto w razie potrzeby jest możliwe wyłączenie zasilania instalacji odbiorcy, np. po stwierdzeniu niesprawności urządzeń odbiorczych lub kradzieży energii elektrycznej.

Złącza powinny być instalowane we wnęce ściennej zamykanej drzwiczkami stalowymi albo w odpowiedniej szczelnej skrzynce przytwierdzonej do ściany, najlepiej na zewnątrz budynku albo w wydzielonym i dostępnym miejscu wewnątrz budynku, jak również w linii ogrodzenia zewnętrznego posesji.

Na rysunku 16a pokazano rozwiązanie skrzynki złączowej z zastosowaniem bezpieczników topikowych. Zadziałanie bezpieczników topikowych umieszczonych w skrzynce wymaga wezwania pracownika przedsiębiorstwa energetycznego, a ten przed ponownym załączeniem napięcia musi zbadać, jaka była przyczyna tego wyłączenia.

W ostatnich latach w złączu zamiast bezpieczników topikowych wykorzystuje się rozłącznik bezpiecznikowy lub wyłącznik nadprądowy selektywny. Zaleca się także – zwłaszcza w przypadku przyłączy napowietrznych – stosować iskiernikowe ograniczniki przepięć, umieszczone w osobnej skrzynce



Rys. 16. Skrzynki złączowe: a) wyposażona w bezpieczniki topikowe; b) z umieszczoną obok skrzynką z iskiernikowymi ogranicznikami przepięć

przy złączu (rys. 16b). Umożliwiają one ochronę przed przepięciami atmosferycznymi pochodzącymi z sieci zasilającej. Ich uziemienie jest wykonane jako wspólne z uziemieniem przewodu ochronno-neutralnego.

W początkowym okresie elektryfikacji przewody przyłącza były doprowadzane do tablicy licznikowej, a bezpieczniki umieszczane na słupie, z którego wykonywano przyłącze. Funkcję złącza pełniły więc zaciski licznika. Takie rozwiązanie, choć tańsze, było dużym utrudnieniem dla służby eksploatacyjnej zakładów energetycznych, jak również dla odbiorców w związku z uciążliwymi przerwami w zasilaniu. Dlatego przy okazji remontów sieci niskiego napięcia i urządzeń odbiorczych dąży się do wykonania złączy w opisany wyżej sposób.

1.5. Zasilanie rezerwowe

Zasilanie z krajowego systemu elektroenergetycznego nie może zapewnić bezprzerwowej dostawy energii elektrycznej odbiorcom wiejskim. Zdarzające się awarie w sieci rozdzielczej średniego i niskiego napięcia, jak też konieczne wyłączenia z ruchu ich fragmentów dla wykonania niezbędnych remontów powodują doraźne lub planowe wyłączenia zasilania. Nie można temu zaradzić bez zastosowania kosztownych układów podwójnego zasilania. Musiałoby to wpłynąć na wzrost kosztów zasilania, a więc i cen energii elektrycznej dostarczanej wszystkim odbiorcom na wsi.

W obecnie istniejących rozwiązaniach wiejskich sieci rozdzielczych przy założeniu sprawnej służby eksploatacyjnej, warunki ograniczenia czasu trwania przerw w zasilaniu do 3–4 godzin i częstotliwości ich występowania co najwyżej raz w miesiącu są przez znaczną większość odbiorców do przyjęcia, ponieważ nie są zbyt uciążliwe ani nie powodują na ogół strat finansowych.

Zdarzają się jednak odbiorcy wiejscy, a zwłaszcza duże gospodarstwa hodowlane i ogrodnicze, w znacznym stopniu zmechanizowane i zautomatyzowane, prowadzące wysokowydajną produkcję specjalistyczną, które wówczas mogą ponosić straty ekonomiczne wskutek przerw w pracy urządzeń elektrycznych. Chodzi na przykład o wyłączenia urządzeń ogrzewania prosiąt, inkubatorów i szklarni, wentylacji kurników lub dużych chlewni, aparatów do dojenja krów i pojenia bydła. Można skutecznie temu zapobiec, stosując lokalne, tzw. awaryjne źródła zasilania w postaci małych **zespołów prądotwórczych**.

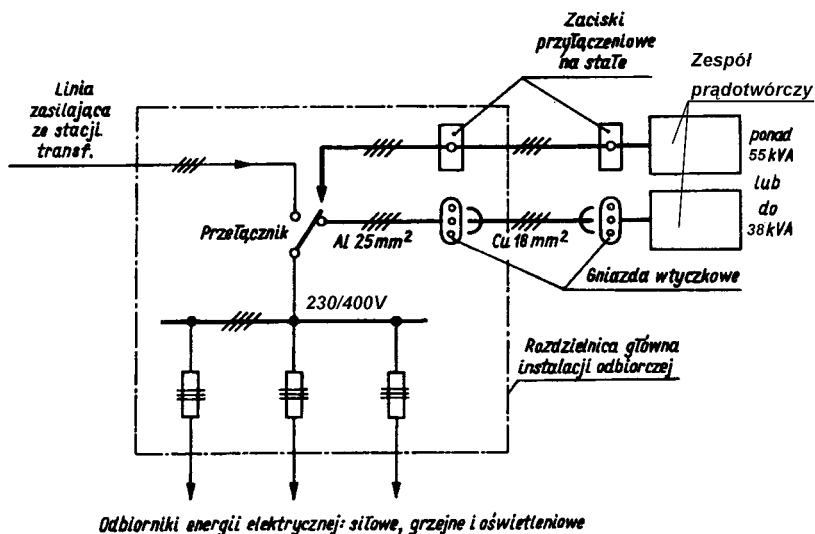
Zespół taki jest niezależnym od sieci urządzeniem. Jego zasadniczymi elementami są: silnik napędowy (zwykle specjalny wysokoprężny silnik spalinyowy lub silnik ciągnika rolniczego) i prądnica, a także elementy pomocnicze służące do sterowania pracą zespołu oraz jego zabezpieczenia i układ przyłączenia do instalacji odbiorczej.

Rozróżnia się zespoły prądotwórcze:

- stacjonarne, połączone na stałe z określoną grupą lub pojedynczym odbiornikiem elektrycznym,
- przewożne, które w razie potrzeby w przygotowanym do tego celu miejscu można przyłączyć do instalacji elektrycznej lub bezpośrednio do wydzielonego odbiornika.

Zespoły przewożne są zalecane do stosowania w rolnictwie jako uniwersalne. Najczęściej ich moc wynosi 38 i 55 kVA. Są przystosowane do napędzania przez ciągnik rolniczy. Należy jednak podkreślić, że może je obsługiwać tylko osoba odpowiednio przeszkolona, o właściwych kwalifikacjach. Osoba ta musi ponosić odpowiedzialność za stałą gotowość ruchową zespołu, okresowe przeglądy i dochowanie warunków bezpieczeństwa pracy.

Należy pamiętać o właściwym przystosowaniu instalacji do przyłączenia zespołu jako rezerwowego źródła zasilania. Konieczne jest przede wszystkim umożliwienie normalnej pracy wybranym odbiornikom po odłączeniu ich od sieci. Zespół prądotwórczy nie ma na ogół mocy wystarczającej do zasilania całej instalacji odbiorczej. Należy więc wydzielić jej fragmenty i dołączyć w miejscu przyłączenia zespołu, gdzie instaluje się zwykle osobne gniazdo wtyczkowe, jak to pokazano na rysunku 17. Na rysunku pokazano tylko rezerwowane obwody instalacyjne. Pozostałe wyprowadzone z rozdzielnic są zasilane na stałe z sieci niskiego napięcia i w razie awarii pozostają bez napięcia.



Rys. 17. Instalacja rezerwowego zasilania

2. Instalacje elektryczne

2.1. Podstawowe funkcje i wymagania

Instalacją elektryczną nazywa się urządzenia przeznaczone do doprowadzenia energii elektrycznej z sieci niskiego napięcia za pośrednictwem przyłącza do poszczególnych odbiorników. Stanowi więc ona ostatni człon elektroenergetycznego systemu rozdzielczego, wykonany u odbiorcy energii elektrycznej, w zasadzie za rozliczeniowym licznikiem tej energii będącym własnością przedsiębiorstwa energetycznego.

Pojęcie instalacji elektrycznej obejmuje ciągi przewodów ułożone na stałe lub tymczasowo, zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz budynków wraz ze wszystkimi akcesoriami osprzętu do mocowania, łączenia itd., a także z aparatami łączeniowymi, zabezpieczającymi, pomiarowymi oraz innymi elementami pozwalającymi na spełnianie przez instalację przewidzianych funkcji.

Instalacje elektryczne powinny zapewniać:

- podawanie bez przerw i zakłóceń, do wszystkich miejsc użytkowania odbiorników elektrycznych, napięcia utrzymywanego w dopuszczalnych granicach odchyłeń (od +10 do -10%) od wartości nominalnej 230 V (w zakresie 252 do 207 V) lub 400 V (w zakresie 440 do 360 V);
- bezpieczeństwo użytkowników instalacji i odbiorników elektrycznych, przede wszystkim ochronę ludzi i zwierząt przed porażeniem i poparzeniem prądem elektrycznym;
- ochronę środowiska przed powstaniem pożaru i wybuchu, a urządzeń elektrycznych przed zniszczeniem wskutek zwarć, przeciążeń i przepięć.

Aby pełnić omówione funkcje i wymagania, instalacje muszą odpowiadać warunkom stosownych przepisów technicznych i norm. Podstawowe znaczenie mają tu „Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” (Dz.U. nr 75 z 2002 r., poz. 690; Dz.U. nr 33 z 2003 r., poz. 270; Dz.U. nr 109 z 2004 r., poz. 1156) oraz powołana w tych warunkach technicznych wieloarkuszowa norma PN-IEC 60364 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych”, wprowadzana do stosowania sukcesywnie od roku 1991. Jest ona tłumaczeniem normy międzynarodowej IEC 364. Ostatnie wydanie normy PN-IEC 60364, zatwierdzonej przez Polski Komitet Normaliza-

cyjny pochodzi z lat 1999–2002. Nowe jej arkusze nadal są opracowywane. Na końcu książki zestawiono wykaz przepisów technicznych i norm dotyczących elektrycznych instalacji odbiorczych w obiektach gospodarskich oraz obejściach gospodarstw rolnych.

Wymienione warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz norma PN-IEC 60364, jak też nowe materiały elektroinstalacyjne, które pojawiły się w ostatnich latach na rynku, doprowadziły do zasadniczych zmian w rozwiązaniach wiejskich instalacji elektrycznych, związanych zwłaszcza z ochroną przeciwporażeniową. Wszystkie instalacje w nowo wznoszonych budynkach, a także modernizowane i remontowane w istniejących budynkach muszą odpowiadać tym nowym warunkom.

Dotychczas nie wprowadzono obowiązku dostosowania starych instalacji, wykonywanych przed 1995 rokiem, do wyżej wymienionych postanowień. Tamte instalacje realizowano zgodnie z obowiązującymi uprzednio „Przepisami budowy urządzeń elektrycznych”, wielokrotnie nowelizowanymi (ostatnio w 1982 roku). Na ich podstawie były wydane w 1963 roku szczegółowe „Przepisy budowy urządzeń elektrycznych w rolnictwie”, obowiązujące do końca 1994 roku.

Należy się jednak liczyć z tym, iż w ciągu kilku najbliższych lat może być wprowadzony powszechny obowiązek stosowania postanowień warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, oraz normy PN-IEC 60364. Wymagałoby to licznych zmian we wszystkich dawniej wykonanych instalacjach w celu przystosowania ich do wymagań obowiązujących w Unii Europejskiej. Nowe rozwiązania instalacji stwarzają o wiele lepsze warunki użytkowania urządzeń elektrycznych, co powinno skłaniać do odpowiedniej przebudowy istniejących instalacji, gdy tylko pojawi się taka możliwość.

W tym miejscu wypada stwierdzić, że warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, oraz norma PN-IEC 60364 zawierają takie postanowienia, które bardzo trudno dochować w starych instalacjach. Wypadałoby więc decydować się każdorazowo na gruntowną przebudowę instalacji od razu w całym budynku. Byłoby to jednak bardzo kosztowne i trudne do przeprowadzenia na szerszą skalę. W tej sytuacji wydaje się słuszne wykonywanie przebudowy starych instalacji etapowo, poczynając od pomieszczeń, w których występuje największe zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym, takich jak kuchnie, łazienki w domach mieszkalnych czy pomieszczenia hodowlane w budynkach inwentarskich.

Takie postępowanie wymaga bardzo dobrej znajomości starych i nowych norm oraz przepisów, jak też rozumienia zasady zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej w obydwóch rozwiązaniach. Jest to ważne również przy wykonywaniu drobnych napraw, a także rozbudowy instalacji w nowych i starych

budynkach, by nie naruszyć zasad prawidłowego działania instalacji realizowanych według różnych przepisów. Utrudnia to znacznie zadania elektryków wiejskich oraz wymaga ich dużej fachowości i odpowiedzialności w pracy.

2.2. Elementy instalacji

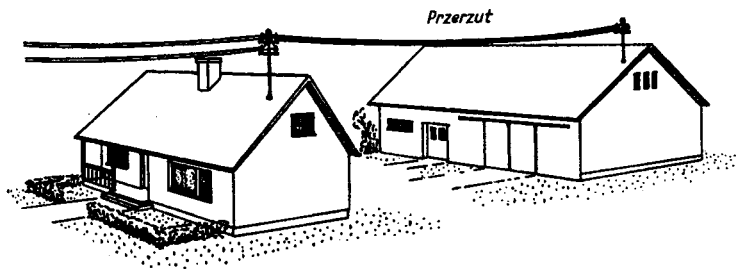
Całość instalacji elektrycznej w budynku mieszkalnym nazywa się **instalacją domową**. Tworzą ją nie tylko **obwody odbiorcze** znajdujące się za rozliczeniowymi licznikami energii, lecz także ciągi przewodów od złącza do liczników, zwane **wewnętrznymi liniami zasilającymi** (wlz). Linie te w wielorodzinnych budynkach są prowadzone wzdłuż klatek schodowych jako tzw. **piony**, od których wykonuje się **odgałęzienia** do poszczególnych mieszkań.

Za licznikiem energii następuje rozdział instalacji elektrycznej na tzw. **obwody odbiorcze**. Stanowią je osobne ciągi przewodów, wyprowadzone od rozdzielnic głównej lub rozdzielnic (tablicy) przy liczniku do grup odbiorników oraz pojedynczych urządzeń o większej mocy lub szczególnego znaczenia. W każdym obwodzie na wyprowadzeniu są zainstalowane osobne zabezpieczenia nadprądowe, pełniące zwykle funkcję wyłącznika.

Podział instalacji na obwody ma na celu:

- umożliwienie wyłączenia spod napięcia obwodu odbiorczego z pozostawieniem zasilania wybranych odbiorów, np. chłodziarki czy urządzenia alarmowego;
- wybiórcze wyłączenia awaryjne; w razie wystąpienia uszkodzenia w którymś z obwodów lub w przyłączonym do niego odbiorniku zostanie on wyłączony samoczynnie spod napięcia przez jego zabezpieczenie nadprądowe w rozdzielnicę bez wpływu na pracę pozostałych obwodów;
- stosowanie odmiennych zabezpieczeń w wydzielonym obwodzie (części instalacji), np. wymagających szczególnej ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym;
- ograniczenie przekroju przewodów zasilających odbiornik o małej mocy i stosowanie przewodów o większym przekroju tylko do zasilania odbiorników o dużej mocy, np. silników;
- oddzielenia zasilania odbiorników jednofazowych od trójfazowych.

Na wyróżnienie zasługują obwody zasilające instalacje w innych budynkach, np. gospodarczych, należących do tego samego właściciela. W obwodach tych występują przewody prowadzone od jednego budynku do drugiego, tworzące tzw. **przerzuty** (rys. 18), wykonane w sposób podobny jak przyłącza. Są one doprowadzone zwykle do dodatkowej rozdzielnicy, gdzie następuje podział na obwody odbiorcze w danym budynku. W tym przypadku rozdzielnicę przy liczniku nazywa się główną, a dalsze – rozdzielnicami obwodowymi.



Rys. 18. Napowietrzne doprowadzenie zasilania od budynku mieszkalnego do stodoły, wykonane z wykorzystaniem stojaka przyłączeniowego

Instalacje odbiorcze w zależności od rodzaju zasilanych odbiorników energii elektrycznej dzieli się na:

- **obwody oświetleniowe**, zwykle jednofazowe, do których są przyłączane elektryczne źródła światła,
- **obwody gniazd wtyczkowych** w łazience, w tym gniazdo wtyczkowe do pralki automatycznej oraz gniazd wtyczkowych do urządzeń odbiorczych w kuchni i innych zasilających drobny sprzęt gospodarstwa domowego, lampy przenośne i urządzenia małej mocy;
- **obwody odbiorników** wymagających indywidualnego zabezpieczenia, jednofazowe lub trójfazowe, zasilające silniki i grzejniki o mocy większej niż 2 kW w takich urządzeniach, jak hydrofory, ogrzewacze pomieszczeń, podgrzewacze wody, urządzenia produkcyjne.

Oprócz wymienionych obwodów w zasadzie **elektroenergetycznych** coraz częściej w instalacjach występują osobne **obwody specjalne** do aparatów sygnalizacyjnych, sterowniczych i innych, pracujących na ogół przy bardzo niskim napięciu prądu przemiennego lub stałego. Obwody te zwykle zasilane są z ogólnej instalacji niskiego napięcia prądu przemiennego za pośrednictwem transformatorów instalacyjnych lub zasilaczy prądu stałego, a niekiedy, na przykład instalację alarmową – z niezależnego źródła napięcia w postaci akumulatora.

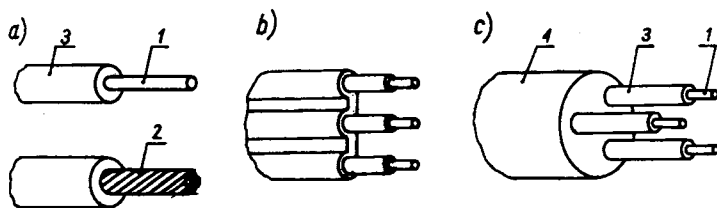
Instalacje elektryczne wykonuje się ze specjalnie do tego celu wytwarzanych urządzeń i elementów składowych, które dzieli się na:

- **przewody instalacyjne** jedno- lub wielożyłowe, najczęściej izolowane, do instalowania na stałe wewnątrz i na zewnątrz budynków, a także do zasilania odbiorników ruchomych i przenośnych;
- **osprzęt instalacyjny** do mocowania, układania, ochrony i łączenia na stałe przewodów;
- **sprzęt instalacyjny** do załączania, wyłączania i przełączania fragmentów instalacji i poszczególnych odbiorników oraz do rozłącznego przyłączania przewodów zasilających odbiorniki ruchome (przystawne lub przewoźne) i przenośne;

– **rozdzielnice instalacyjne** (tj. skrzynki z tablicami rozdzielczymi) wraz z aparatami łączeniowymi, zabezpieczającymi i pomiarowymi oraz drobny sprzęt pomocniczy.

Instalacjom elektrycznym stawia się różne wymagania zależnie od warunków środowiskowych, w których mają pracować, oraz zagrożeń, jakie mogą stwarzać dla otoczenia, ograniczeń w ich wykonaniu, estetyki itd. Dla spełnienia tych wymagań stosuje się odpowiednie **wykonania (rodzaje) instalacji**, do których są dostosowane materiały elektroinstalacyjne, produkowane w asortymentach umożliwiających ich kompletowanie, zwane **systemami instalacyjnymi**.

Na rysunku 19 pokazano budowę przewodów instalacyjnych. Ich **żyły** miedziane lub aluminiowe są wykonane z drutu lub linki. Ze względu na łatwość wyginania żyły jednodrutowe są produkowane tylko o przekroju mniejszym niż 10 mm² i są przeznaczone do instalowania na stałe. Natomiast ze względu na wymaganą wytrzymałość na wielokrotne zginanie – wszystkie przewody do odbiorników przenośnych mają żyły wielodrutowe (linki), skrócone z wielu cienkich drutów i tylko miedzianych.



Rys. 19. Budowa przewodów instalacyjnych: a) jednożyłowych; b) wielożyłowych płaskich; c) wielożyłowych okrągłych:

1 – żyła jednodrutowa, 2 – żyła wielodrutowa (linka), 3 – izolacja żyły, 4 – powłoka

Miedź jest zdecydowanie lepszym materiałem przewodzącym, wykazując przewodność właściwą o 60% większą od aluminium, dzięki czemu można stosować przewody o mniejszym przekroju żył lub zmniejszyć spadki napięcia i straty energii elektrycznej powodowane nagrzewaniem. Ponadto miedź jest twardsza i wytrzymalsza mechanicznie, co przedłuża trwałość instalacji.

Końce przewodów aluminiowych łatwo się łamią przy zginaniu, a ponadto pod naciskiem „płyną”, tj. odkształcają się w zaciskach, poluzowując połączenia w miarę upływu czasu, co doprowadza do ich nagrzewania się i zagraża pożarem. Z tych względów od kilkunastu lat w instalacjach wiejskich wymaga się stosowania wyłącznie przewodów miedzianych.

Deficyt miedzi w okresie powojennym zmusił do powszechnego stosowania przewodów aluminiowych w instalacjach układanych na stałe; dlatego wy-

stępują one jeszcze w wielu instalacjach odbiorczych na wsiach. Przy okazji remontów należy je wymieniać na miedziane. Należy jednak mieć na uwadze, że w pewnych warunkach, m.in. w atmosferze amoniaku, miedź pokrywa się szybko źle przewodzącym tlenkiem miedzi (śniedzią), co prowadzi do nagrzewania się styków. W takich przypadkach powinno się stosować przewody z twardego aluminium.

Żyły przewodów instalacyjnych są pokryte warstwą materiału izolacyjnego stanowiącego tzw. **izolację**. Od wielu lat do tego celu stosuje się przede wszystkim polichlorek winylu, nazywany skrótowo **polwinitem**. Ma on nie tylko dobre właściwości elektroizolacyjne, lecz także jest odporny na wilgoć i większość związków chemicznych, a do tego jest tani. Jednak jest tworzywem termoplastycznym, a więc mięknie i odsłania żyły przy nagrzewaniu się przewodów w temperaturze powyżej 70°C, co ogranicza ich obciążalność prądową. Są również dobre materiały elektroizolacyjne o dużo większej odporności na temperaturę, np. guma silikonowa, włókno szklane, ale są zbyt kosztowne, by można je było stosować powszechnie (są przydatne np. w suszarniach).

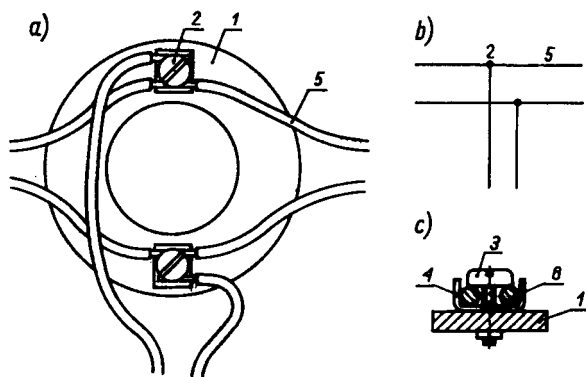
Grubość izolacji żyły zależy od napięcia, na które są wykonane przewody, przy czym wymagany jest pewien zapas wytrzymałości na przebicie. W instalacji pracującej przy napięciu 230 V wymaga się stosowania przewodów o napięciu znamionowym 300 V, a w instalacji 230/400 V – przewodów o znamionowym napięciu międzyprzewodowym 500 V. W obwodach pracujących przy bardzo niskich napięciach stosuje się przewody o odpowiednio cieńszej izolacji.

W instalacjach elektrycznych oprócz przewodów jednożyłowych stosuje się również **przewody wielożyłowe** (od dwu- do pięciożyłowych), w których żyły – ułożone równolegle w jednej płaszczyźnie lub skręcone – są otoczone powłoką izolacyjną. Przewody takie do układania na stałe nazywa się niekiedy **przewodami kabelkowymi**. Grubość powłoki zależy od warunków środowiskowych, w których mają pracować przewody, oraz od ich przeznaczenia: czy do układania na stałe, czy do zasilania odbiorników ruchomych i przenośnych.

W instalacjach wykonuje się liczne połączenia przewodów: na stałe lub łatwo rozłączalne. Są one najczęstszą przyczyną uszkodzeń w instalacji i dlatego stawia się im szczególne wymagania co do sposobu rozwiązania konstrukcyjnego i wykonania. Chodzi o to, by zapobiec poluzowaniu się połączeń i wskutek tego utworzeniu się źle przewodzących warstw między stykającymi się powierzchniami przewodzącymi. Powoduje to bowiem wzrost rezystancji i nagrzewanie się miejsc połączeń, co prowadzi do uszkodzenia cieplnego izolacji przewodów i osłon. W skutkach grozi zniszczeniem elementów instalacji i zapalaniem się otaczających je łatwo palnych materiałów.

Z tego względu w instalacjach układanych na stałe wszystkie połączenia

części wiodących prąd wykonuje się przez skręcanie śrubami, a w szczególnych przypadkach - przez lutowanie lub spawanie, przy czym miejsca połączeń, normalnie osłonięte, muszą być dostępne dla kontroli ich stanu. W tym celu stosuje się specjalny osprzęt łączeniowy w postaci puszek lub gniazd z pierścieniami rozgałęźnymi (rys. 20).



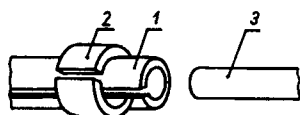
Rys. 20. Pierścień rozgałęźny: a) widok ogólny; b) symbol połączeń; c) widok zacisku:

1 – pierścień z materiału izolacyjnego, 2 – zacisk, 3 – śruba, 4 – podkładka blaszana z zagiętymi brzegami, 5 – przewód izolowany, 6 – żyła przewodu w zacisku

Połączenia rozłączalne przewodów instalacji stałej z przewodami zasilającymi odbiorniki przenośne i ruchome są zrealizowane w postaci zespołów **gniazda wtyczkowego i wtyczki**, w których wykorzystuje się sprężysty styk na dużej powierzchni bolca wtykowego z tulejką stykową, jak pokazano na rysunku 21. Ważne jest, by jeden z tych elementów – zwykle tulejka – sprężynował, co nie tylko stwarza odpowiedni docisk, lecz także powoduje ścieranie powierzchni stykowych z nalotu lub innych zanieczyszczeń. Takie połączenie może być wykorzystane również do przedłużania przewodów do odbiorników przenośnych i ruchomych.

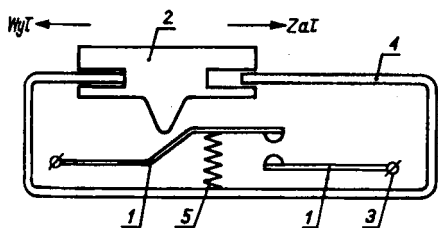
Do załączania, wyłączania i przełączania obwodów instalacyjnych służą różnego rodzaju **łączniki**, nazywane zależnie od spełnianej funkcji wyłącznikami lub przełącznikami. Ich podstawowym elementem są tzw. **zestyki** robocze: jeden w przypadku wyłącznika i dwa lub więcej w przypadku przełącznika. Zadaniem zestyku jest tworzenie w obwodzie prądu elektrycznego przerwy izolacyjnej, bezpiecznej dla otoczenia w położeniu otwarcia łącznika. Natomiast w położeniu zamknięcia zapewniają poprawne przewodzenie prądu.

Zestyk taki tworzą zwykle dwie sprężyste blaszki przewodzące z nałożonymi stykami z metalu odpornego na wysoką temperaturę, jak pokazano schema-



Rys. 21. Zestyk tulejowy w gniazdach wtyczkowych: 1 – tulejka gniazda, 2 – sprężyna pierścieniowa, 3 – bolec wtykowy

tycznie na rysunku 22. Między tymi stykami podczas przełączania powstaje krótkotrwałe łuk elektryczny. W konstrukcji łącznika chodzi o to, by zamykanie i rozwieranie zestyku, np. za pomocą przycisku lub klawisza, następowało jak najszybciej. Ważne jest także, by styki rozwierały się na odległość, która uniemożliwia przebicie warstwy izolującego powietrza w stanie otwartym i zapewnia zerwanie łuku przy otwieraniu łącznika. Zestyk umieszcza się przy tym zwykle w komorze zwanej gaszeniową, izolującej zestyk od pozostałych części łącznika.



Rys. 22. Zestyk płytkowy w łączniku instalacyjnym:

1 – blaszka ze stykiem, 2 – suwak załączająco-wyłączający, 3 – zacisk przyłączeniowy, 4 – obudowa, 5 – sprężyna zwrotna

Ze względu na funkcję pełnioną w instalacjach elektrycznych rozróżnia się następujące rodzaje łączników:

- **odłączniki** – do załączania i odłączania obwodów w zasadzie w stanie bezprądowym,
- **rozłączniki** – do załączania i wyłączania obwodów w stanie zasilania odbiorników,
- **wyłączniki zwarciovowe** – do wyłączania obwodów przy pełnym obciążeniu i w stanie zwarcia,
- **łączniki manewrowe** – przeznaczone do sterowania pracą odbiorników.

Łączniki te zwykle różnią się budową, głównie ze względu na odmienną zdolność łączeniową.

2.3. Rodzaje i układy instalacji

Warunki otoczenia, w których pracują instalacje, wpływają bezpośrednio na sposób ich wykonania. Z tego względu należy uwzględnić narażenia, jakim będą one poddane podczas użytkowania, aby chronić je przed uszkodzeniami i zniszczeniem.

W miejscach, gdzie występuje duża wilgoć, a nawet skrapla się woda (np. w szklarniach), różne części instalacji, przede wszystkim połączenia przewodów, są narażone na postępujące szybko zniszczenie. Jeszcze bardziej niekorzystnie na stan instalacji, a zwłaszcza izolacji przewodów wpływają wyziewy zające, na przykład powstające w pomieszczeniach inwentarskich. Wówczas

izolacja się kruszy, a to prowadzi do zwiększenia prądu upływowego przez izolację i wystąpienia zwarcia. Przewody w miejscach połączeń pokrywają się śniedzią, co powoduje ich nagrzewanie się, a następnie przerwy w obwodach.

Podobnie niebezpieczne jest działanie wysokiej temperatury na instalację. W pomieszczeniach o podwyższonej temperaturze prowadzi ono do zwęglenia izolacji, a więc znów do zwarcia i niebezpieczeństwa pożaru. Uszkodzenie przewodów i innych elementów instalacji może następować wskutek uderzeń mechanicznych, na przykład uderzeń twardymi przedmiotami w miejscu wykonywania ciężkich prac. Może to powodować przerwanie żył przewodów lub ich połączeń oraz wystąpienie zwarcia w wyniku zniszczenia izolacji.

Instalacja elektryczna w pewnych warunkach może stwarzać także zagrożenie. Choćby iskrzenie w miejscach połączeń przewodów, spowodowane obluźnianiem docisku śrub, może wywołać pożar umieszczonych w pobliżu materiałów łatwo palnych (np. zboża lub siana w stodole, drewna w składzie). W magazynie środków chemicznych lub w garażu takie uszkodzenie instalacji może nawet spowodować wybuch.

W pewnych okolicznościach instalacja elektryczna stwarza też zwiększone niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym ludzi i zwierząt. Na przykład zdarza się to na zewnątrz budynków, gdy użytkownik może dotykać elementów instalacji stojąc na ziemi, albo w pomieszczeniach inwentarskich, gdzie w pobliżu instalacji przebywają zwierzęta.

Wymagania stawiane instalacjom elektrycznym zależą od miejsca i warunków jej użytkowania. Są one różne, przede wszystkim w odniesieniu do instalacji wewnętrznej i na zewnątrz budynków. Przy instalacjach wewnętrznych należy uwzględnić:

- stopień wilgotności powietrza w danym pomieszczeniu,
- obecność wyziewów żrących i ich charakter,
- obecność owadów i gryzoni,
- zagrożenie pożarem,
- zagrożenie wybuchem,
- niebezpieczeństwo porażenia prądem,
- charakter wykonywanych prac,
- możliwość uszkodzeń mechanicznych.

Nie zawsze pomieszczeniom można przypisać jedno zagrożenie. Pomieszczenia rolnicze charakteryzują się znaczną wilgotnością, podwyższoną temperaturą i niebezpieczeństwem pożarowym. W takich warunkach należy zapewnić:

- wygodę użytkowania instalacji,
- łatwość montażu,
- estetykę wykonania.

Instalacje zewnętrzne pracują w szczególnie niekorzystnych warunkach,

ponieważ są dodatkowo narażone na wpływy atmosferyczne, a więc opady deszczu i śniegu, napromieniowanie słoneczne oraz duże różnice temperatury (od upału do mrozu).

Aby uwzględnić wymienione warunki, stosuje się różne sposoby wykonania instalacji, a także wykorzystuje się odpowiednie przewody oraz inne części składowe. Instalacje mogą być ułożone na ścianie (na wierzchu ściany) lub w sposób ukryty (np. wewnątrz ściany), przewodami podwieszonymi itd. Zawsze należy mieć na uwadze, by trasy przewodów elektrycznych przebiegały po liniach prostych, równoległych do krawędzi ścian i stropów.

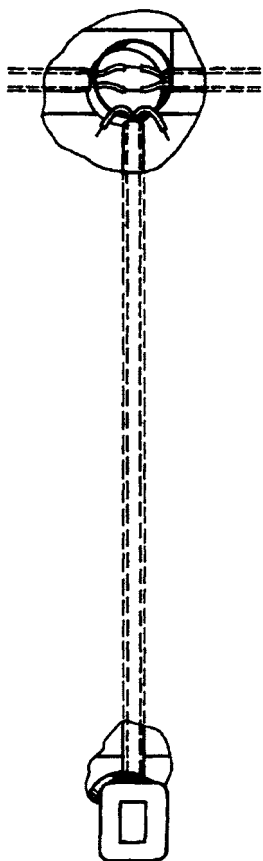
Rozróżnia się następujące rodzaje instalacji:

Instalacja podtynkowa w rurach instalacyjnych, zwykle giętkich, ze specjalnym sprzętem, tj. łącznikami i gniazdami wtyczkowymi, oraz osprzętem rozgałęźnym, umieszczonymi w puszkach osadzonych w ścianach (rys. 23).

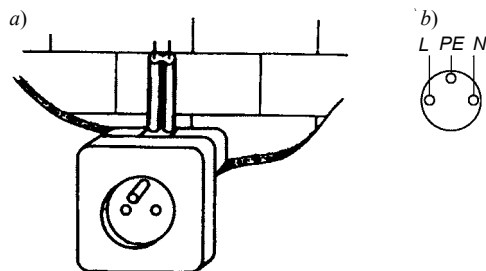
W instalacji tej stosuje się przewody jednożyłowe izolowane.

Zaletą tego sposobu wykonania instalacji jest to, że przewody nie są narażone na uszkodzenia mechaniczne, a rury są niewidoczne. Wadą natomiast jest trudność uszczelnienia i kłopotliwa rozbudowa lub przebudowa instalacji. Instalacja może być układana w zasadzie jedynie w ścianach murowanych, wykonanych z materiałów o bardzo dobrej izolacji cieplnej.

Instalacja wtynkowa zrealizowana **przewodami wtynkowymi**, ułożonymi na surowych ścianach z niepalnych materiałów budowlanych (bez kucia bruzd), a następnie zatynkowanymi, z zastosowaniem w zasadzie specjalnego, płaskiego osprzętu i sprzętu do ukrycia w tynku (rys. 24) lub sprzętu natynkowego. Stosuje się także sprzęt i osprzęt podtynkowy w puszkach wkrutych w podłozę. Takie rozwiązanie spotyka się wyłącznie w mieszkaniach, w nowych budynkach z bloków siporeksowych, pustaków lub podobnych. Zaletą jest ukrycie przewodów, wadą – łatwość uszkodzenia przewodów przy pracach remontowych, np. wbijaniu gwoździ.



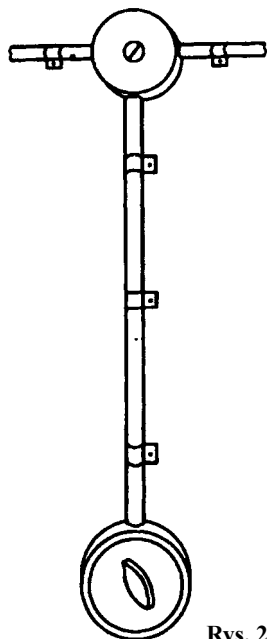
Rys. 23. Fragment instalacji podtynkowej w rurach instalacyjnych między puszką rozgałęźną a puszką końcową z osadzonym w niej łącznikiem oświetleniowym



Rys. 24. Gniazdo wtyczkowe wtnikowe przyłączone przewodem ułożonym w tynku: a) widok; b) rozmieszczenie styków w gnieździe

Instalacja w ścianie lub pod podłogą, wykonana przewodami jedno- lub wielożyłowymi wciągniętymi do rur instalacyjnych, zatopionych w prefabrykowanych płytach ściennych i stropowych lub w rurach ułożonych pod podłogą w warstwie szlichty. Taki sposób wykonania instalacji w budownictwie wiejskim występuje bardzo rzadko. Instalacja ta ma zalety i wady instalacji w rurach pod tynkiem.

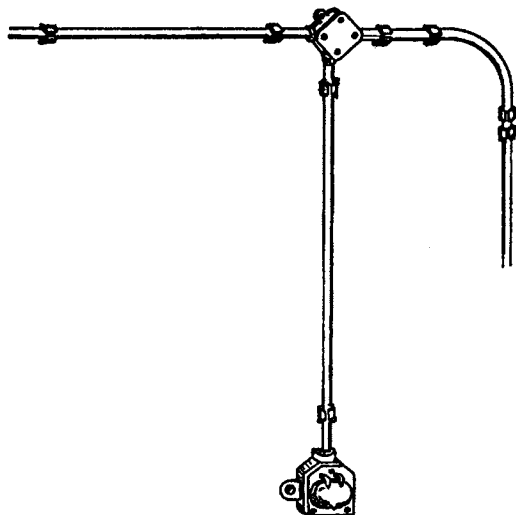
Instalacja w rurach instalacyjnych na ścianie, wykonana jednożyłowymi przewodami izolowanymi, wciągniętymi do sztywnych rur, mocowanych na ścianie bez względu na rodzaj materiału budowlanego, z zastosowaniem specjalnych puszek instalacyjnych, natynkowych, z króćcami do sztywnego z mocowania z rurami, oraz sprzętu natynkowego (rys. 25). Ten rodzaj instalacji niekiedy występuje w mieszkaniach i pomieszczeniach pomocniczych.



Instalacja naścienna w rurach stalowych, wykonana jednożyłowymi przewodami izolowanymi, ułożonymi w rurach stalowych z zastosowaniem specjalnego osprzętu rozgałęźnego w postaci żeliwnych puszek i sprzętu łączeniowego w obudowie metalowej lub izolacyjnej (rys. 26). Instalacja taka jest odporna na uszkodzenia mechaniczne i szczelna, jeśli tylko jest starannie wykonana i właściwie eksploatowana. Może być stosowana w każdych warunkach wewnątrz i na zewnątrz budynków. W takiej instalacji przewody mogą mieć przekrój od małych do bardzo dużych.

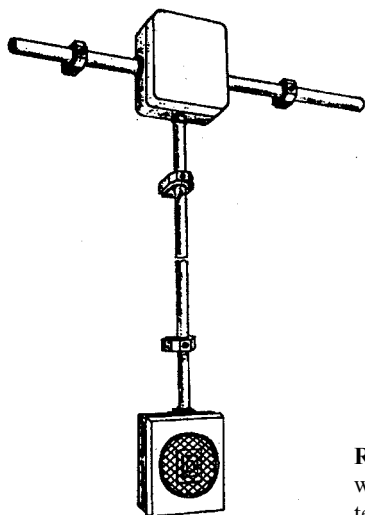
Instalacja przewodami wielożyłowymi na ścianie występuje w dwóch odmianach, zależnie od warunków panujących w pomieszczeniu. W pomieszczeniach o warunkach normalnych przewody mają

Rys. 25. Instalacja naścienna z przewodami w rurach winidurowych



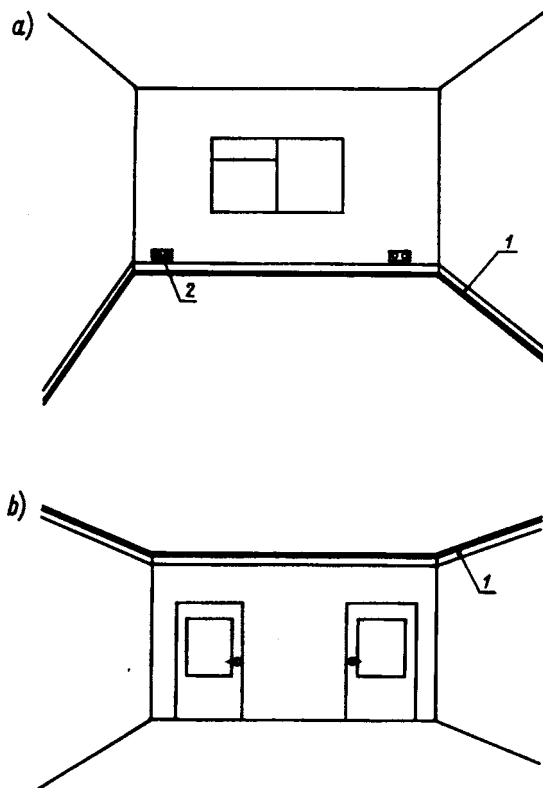
Rys. 26. Instalacja w rurach stalowych na ścianie z osprzętem w obudowie metalowej

cieńszą powłokę izolacyjną i są mocowane do powierzchni ścian, a osprzęt oraz sprzęt instalacyjny są w lżejszym wykonaniu. W pomieszczeniach wilgotnych i z wyziewami żrącymi przewody mają wzmocnioną powłokę, są mocowane w uchwytach odstępowych do ścian i sufitów, a osprzęt i sprzęt są w specjalnie szczelnym wykonaniu i są wytrzymalsze mechanicznie (rys. 27). Przewody na niektórych odcinkach, np. do pewnej wysokości, można układać w rurach stalowych w celu zwiększenia ich wytrzymałości na udary mechaniczne.



Instalacja w listwach instalacyjnych, wykonana przewodami wielożyłowymi z osprzętem naściennym (rys. 28). Listwy są przytwierdzone do ścian przy listwach podłogowych (lub przy suficie) i ościeżnicach drzwiowych. Przewody układane są w specjalnych kanałach w listwach i przykryte osłonami. Instalacje takie stosuje się w pomieszczeniach miesz-

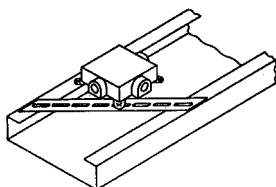
Rys. 27. Instalacja naścienna przewodami wielożyłowymi w uchwytach odstępowych ze szczelnym sprzętem i osprzętem w obudowie z materiału izolacyjnego



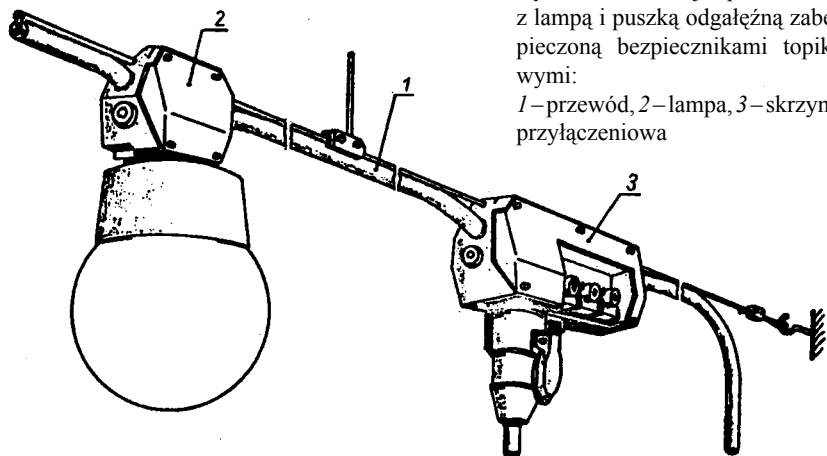
Rys. 28. Instalacja przewodami ułożonymi w listwach instalacyjnych: a) przy podłodze, b) pod sufitem: 1 – listwa instalacyjna, 2 – sprzęt

kalnych, umożliwiając bowiem łatwe zmiany rozmieszczenia elementów instalacji, np. przenoszenie gniazd wtyczkowych.

Instalacja w korytkach instalacyjnych, ułożonych na perforowanych półkach, które tworzą osłony aluminiowe lub stalowe, otwarte od góry, jest realizowana, gdy nie ma innego sposobu poziomego prowadzenia przewodów, głównie w budynkach gospodarczych (rys. 29). W korytkach układa się luźno przewody wielożyłowe, łączące sprzęt i osprzęt instalacyjny. Ponieważ tego typu instalacje stosuje się w pomieszczeniach, gdzie mogą być narażone na uszkodzenia mechaniczne i działanie wilgoci, sprzęt musi być w wykonaniu szczelnym.



Rys. 29. Korytko instalacyjne z zamocowanym gniazdem rozgałęźnym



Rys. 30. Instalacja podwieszona z lampą i puszką odgałęźną zabezpieczoną bezpiecznikami topikowymi:

1 – przewód, 2 – lampa, 3 – skrzynka przyłączeniowa

Instalacja podwieszona jest stosowana w podobnych warunkach jak instalacja w korytkach, gdy nie ma ścian lub sufitu, jak na przykład w szklarniach, z tym że stosuje się tu przewody z linką nośną, zawieszane w powietrzu przez uchwycenie ich linki na obu końcach i przymocowanie do elementów konstrukcyjnych budowli (rys. 30). Na wiszącym przewodzie może być w dowolnym miejscu założony sprzęt instalacyjny, np. gniazda wtyczkowe i puszki rozgałęźne w specjalnym wykonaniu. Instalacja podwieszona jest stosowana także na zewnątrz budynków, np. w celu zasilania lamp oświetleniowych lub gniazd wtyczkowych, zamocowanych na słupach.

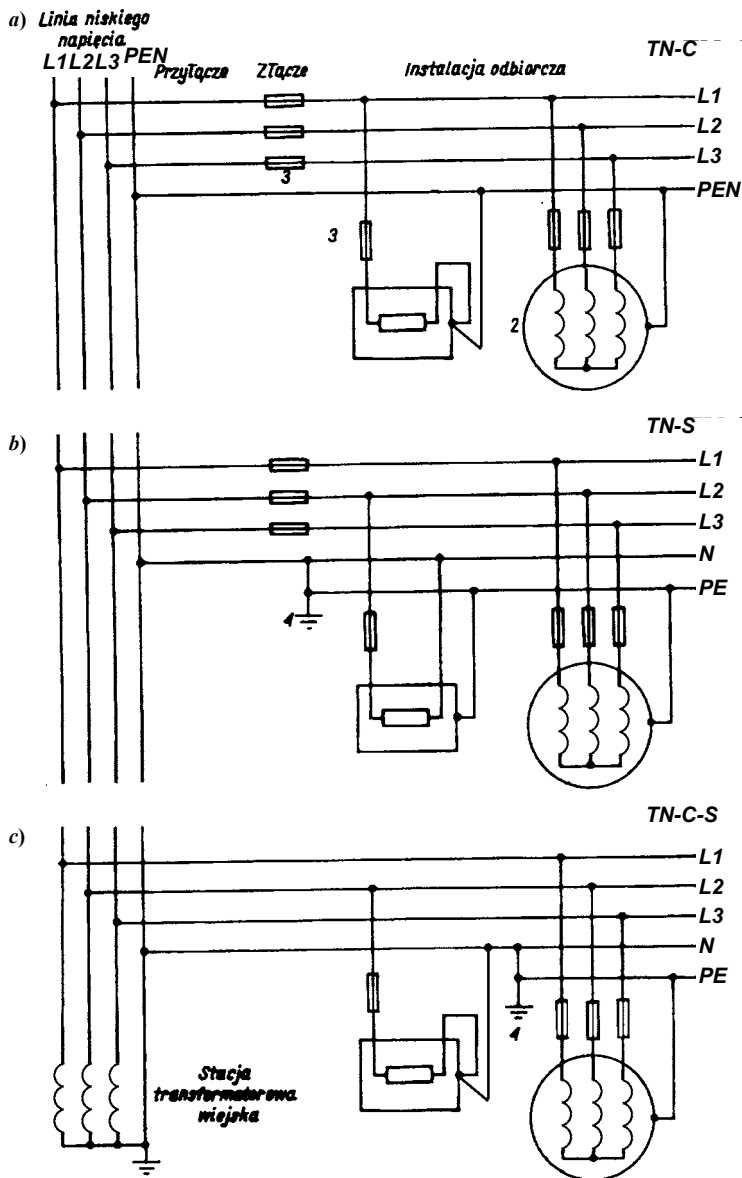
Instalacja wiązkowa, stosowana przy równoległym prowadzeniu kilku obwodów instalacyjnych w powietrzu, polega na skręceniu tych kilku przewodów wielożyłowych i podwieszeniu ich na linie nośnej. Pozwala to na szybkie i tanie wykonanie instalacji, która ma jednak nieestetyczny wygląd i jest rzadko spotykana w obiektach rolniczych.

Liczba przewodów lub żył przewodów wielożyłowych w obwodach instalacyjnych zależy od **układu instalacji**, a ten – od **układu sieci niskiego napięcia**. Decydujące znaczenie ma przy tym to, czy zasilanie jest jedno- czy

→

Rys. 31. Różne układy instalacyjne ze względu na sposób prowadzenia przewodu ochronnego: a) w układzie TN-C ze wspólnym przewodem ochronno-neutralnym PEN; b) w układzie TN-S z oddzielnym przewodem neutralnym N i ochronnym PE; c) w układzie TN-C-S ze wspólnym przewodem PEN od strony zasilania, a w dalszej części instalacji z dwoma oddzielnymi przewodami (N i PE):

1 – odbiornik jednofazowy, 2 – odbiornik trójfazowy, 3 – zabezpieczenia nadprądowe, 4 – uziemienie



trójfazowe, czy przewód neutralny jest uziemiony czy nie, oraz jaki przyjęto system ochrony przeciwporażeniowej.

Układ instalacji oznacza się przy tym symbolem trójliterowym, w którym pierwsza litera *I* (*isolare* – izolować) oznacza układ sieci z izolowanym punk-

tem neutralnym transformatora, a litera **T** (*terra* – ziemia) – z punktem neutralnym uziemionym. Druga litera oznacza, z czym łączy się dostępne, przewodzące części urządzeń (ich metalowe obudowy): jeśli z uziemionym punktem neutralnym, to zaznacza się literą **N**, a jeśli bezpośrednio z lokalnym z uziemieniem – literą **T**. Wiejskie sieci niskiego napięcia mają z reguły układ **TN**.

Trzecia litera określa związek między przewodem neutralnym a przewodem ochronnym, łączącym dostępne części przewodzące urządzeń, przy czym **C** oznacza wykorzystanie do tego celu przewodu ochronno-neutralnego, **S** – zastosowanie osobnych przewodów: ochronnego i neutralnego, natomiast **C-S** wykorzystanie przewodu ochronno-neutralnego w sieci zasilającej, a w instalacji odbiorczej zastosowanie oddzielnych przewodów: ochronnego i neutralnego. W układzie **S** do odbiorników jednofazowych są doprowadzone trzy przewody jednożyłowe lub przewód trójżyłowy, a do odbiorników trójfazowych – pięć przewodów jednożyłowych lub przewód pięćżyłowy (do trójfazowych silników indukcyjnych doprowadza się cztery przewody bez przewodu neutralnego).

Na rysunku 31 pokazano schematy sieci i instalacji odbiorczej trój- i jednofazowej w najczęściej występującym dotychczas układzie **TN-C** oraz w obowiązującym obecnie układzie **TN-C-S**. Na schemacie oznaczono przewody fazowe literą **L**, przewód neutralny – **N**, przewód ochronny – **PE** i przewód ochronno-neutralny – **PEN**.

Warto zapamiętać, że układ **TN-C** odpowiada systemowi ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim (ochrony przy uszkodzeniu), nazywanej uprzednio zerowaniem, a układ **TN-S** jest odpowiedni do zastosowania wyłączników ochronnych różnicowoprądowych w instalacjach. Jest to omówione dokładniej w rozdziale 4.3 i 4.4.


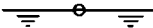






















2.4. Plany i schematy instalacji
























Projekt instalacji elektrycznej zapewnia poprawność rozwiązań technicznych z uwzględnieniem obowiązujących przepisów technicznych i powołanych w tych przepisach Polskich Norm, wymagań Prawa budowlanego oraz zasad wiedzy technicznej, a także życzeń użytkownika. Projekt ten zawiera między innymi plan instalacji oraz schemat ideowy.





Plan instalacji nanosi się na poziomych rzutach poszczególnych kondygnacji budynków, wykorzystując projekty dokumentacji budowlanej. Na planach pokazuje się przebiegi wszystkich obwodów, liczbę przewodów w danych odcinkach i wyposażenie w sprzęt instalacyjny oraz miejsca zainstalowania na stałe takich odbiorników, jak lampy oświetleniowe, wentylatory, ogrzewacze, kuchnie elektryczne itd. Zaznacza się również takie elementy instalacji jak roz-

Tablica 1. Symbole graficzne urządzeń elektrycznych

Symbol	Znaczenie
A. Symbole na planach instalacji elektrycznych	
Obwody instalacyjne i przewody	
	tor obwodu elektrycznego z zaznaczeniem liczby przewodów jednożyłowych lub żył przewodu wielożyłowego
	przewód neutralny N
	przewód ochronno-neutralny PEN
	przewód ochronny PE
	linia elektryczna odchodząca w górę, w dół i poprowadzona z dołu do góry (np. pion)
	instalacja projektowana
	instalacja istniejąca
	instalacja do demontażu
	instalacja zdemontowana
	obwód instalacji sygnalizacyjnej, sterowniczej itp.
	linia telekomunikacyjna: F – telefoniczna, TV – telewizyjna, D – transmisji danych cyfrowych (np. komputera)
	instalacja naścienna
	instalacja w tynku
	instalacja pod tynkiem
	instalacja pod stropem
	instalacja w stropie
	instalacja pod podłogą
	instalacja w listwie przyściennej
	przewody w rurze ochronnej
	instalacja podwieszona z zaznaczeniem miejsc zamocowania linki nośnej
















Symbol	Znaczenie
	instalacja w korytku z zaznaczeniem końców korytka
	linia napowietrzna z zaznaczeniem słupa
	linia elektroenergetyczna podziemna (np. linia kablowa)
	przewód giętki
	uziemienie
	listwa zaciskowa
Sprzęt instalacyjny	
	rozdzielnica z zaznaczeniem zasilania i wyprowadzeń instalacyjnych obwodów rozdzielczych
	rozdzielnica naścienna
	rozdzielnica we wnęce
	rozdzielnica we wnęce z drzwiczkami
	łącznik (<i>symbol ogólny</i>)
	łącznik jednobiegunowy
	łącznik trójbiegunowy
	łącznik grupowy (hotelowy)
	łącznik szeregowy (świecznikowy)
	łącznik krańcowy, drogowy
	przełącznik jednobiegunowy zmienny (schodowy)
	przełącznik krzyżowy
	przełącznik kierunku obrotów silnika
	przełącznik prędkości obrotowej
	przełącznik gwiazda-trójkąt
	gniazdo wtyczkowe (<i>symbol ogólny</i>)
	gniazdo pojedyncze ze stykiem ochronnym
	gniazdo podwójne





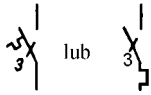









Symbol	Znaczenie
              	<p>gniazdo podwójne ze stykami ochronnymi</p> <p>gniazdo wtyczkowe z łącznikiem blokującym wysuwanie i wsuwanie wtyczki</p> <p>przycisk (<i>symbol ogólny</i>)</p> <p>lampka sygnalizacyjna</p> <p>lampka alarmowa</p> <p>zespół n przycisków</p> <p>zespół dwóch przycisków z lampkami kontrolnymi</p> <p>dzwonek</p> <p>brzęczyk</p> <p>buczek</p> <p>zamek drzwiowy elektryczny</p> <p>domofon</p> <p>centralka pożarowa</p> <p>antena</p> <p>czujka pożarowa</p>
Odbiorniki elektryczne	
       	<p>silnik jednofazowy prądu przemiennego</p> <p>silnik trójfazowy prądu przemiennego</p> <p>grzejnik</p> <p>żarówka pojedyncza</p> <p>żyrandol z sześcioma żarówkami</p> <p>oprawa oświetleniowa z n świetłówkami</p> <p>oprawa żarówkowa z reflektorem</p> <p>oprawa oświetleniowa ścienna</p>

Symbol	Znaczenie
	radioodbiornik
	telefon
	telewizor
	faks

B. Symbole na schematach ideowych instalacji i rozdzielnic

Symbole na schematach ideowych

	przewód, np. fazowy L, neutralny N
	obwód czteroprzewodowy
	połączenie galwaniczne na stałe (śrubowe, lutowane lub spawane)
	połączenie rozłączne (np. zaciski przyłączeniowe aparatów)
	podział rysunku, połączenia mechaniczne elementów urządzeń
	bateria akumulatorów
	prostownik
	bateria kondensatorów
	transformator bezpieczeństwa lub separacyjny
	transformator instalacyjny, np. dzwonkowy
	warystorowy ogranicznik przepięć
	iskiernik
	iskiernikowy ogranicznik przepięć
	bezpiecznik topikowy, (symbol ogólny)
	zespół trzech bezpieczników

Symbol	Znaczenie
      	<p>wyłącznik</p> <p>rozłącznik</p> <p>odłącznik</p> <p>wyłącznik stycznikowy, stycznik</p> <p>wyłącznik samoczynny nadprądowy trójbiegunowy z wyzwalaczem (lub przekaźnikiem) cieplnym</p> <p>wyłącznik samoczynny nadprądowy z wyzwalaczem (lub przekaźnikiem) cieplnym i elektromagnesowym</p> <p>wyłącznik ochronny różnicowoprądowy</p>
Symbole na schematach rozwiniętych	
      	<p>cewka elektromagnesu stycznika</p> <p>przekaźnik cieplny</p> <p>symbol ogólny przekaźnika pomiarowego (np. n – prędkości obrotowej, t – temperatury, p – ciśnienia)</p> <p>przekaźnik elektromagnetyczny</p> <p>przycisk zwierny</p> <p>przycisk rozwierny</p> <p>sprężyna napędu zwrotnego</p>

dzielnice, złącze oraz przebieg wewnętrznych linii zasilających i doprowadzeń przerzutów do innych budynków.

Schemat instalacji obejmuje współpracujące ze sobą urządzenia elektryczne i ich połączenia. Za pomocą odpowiednich symboli graficznych przedstawia się wyposażenie poszczególnych rozdzielnic w urządzenia zabezpieczające przed skutkami przetężeń, przepięć i porażeń prądem elektrycznym, łączniki tablicowe i ewentualnie przyrządy pomiarowe, jak liczniki energii, amperomierze czy woltomierze wraz z aparaturą pomocniczą. Jest także pokazane też rozmieszczenie tych aparatów i połączenia między nimi wraz z doprowadzeniem zasilania i wyprowadzeniem obwodów.

Plany i schematy instalacji są najważniejszą częścią dokumentacji technicznej. Są one bowiem podstawą wykonania instalacji zgodnie z projektem. Dokumentacja taka ma również duże znaczenie dla dokonującego przebudowy i rozbudowy instalacji. Jest ona bowiem pomocna przy jej kontroli i naprawie, gdyż pozwala rozpoznać przebiegi poszczególnych obwodów, ich zabezpieczeń itd. Dlatego jest celowe, by była aktualizowana przez nanoszenie wszelkich zmian, m.in. wykonywanych przez elektryków wiejskich.

Plany i schematy instalacji elektrycznych rysuje się według określonych zasad z wykorzystaniem różnych symboli rysunkowych (graficznych) oraz skrótowych oznaczeń cyfrowo-literowych. Znajomość tych symboli jest niezbędna do odczytywania i ewentualnego uzupełniania lub poprawiania rysunków.

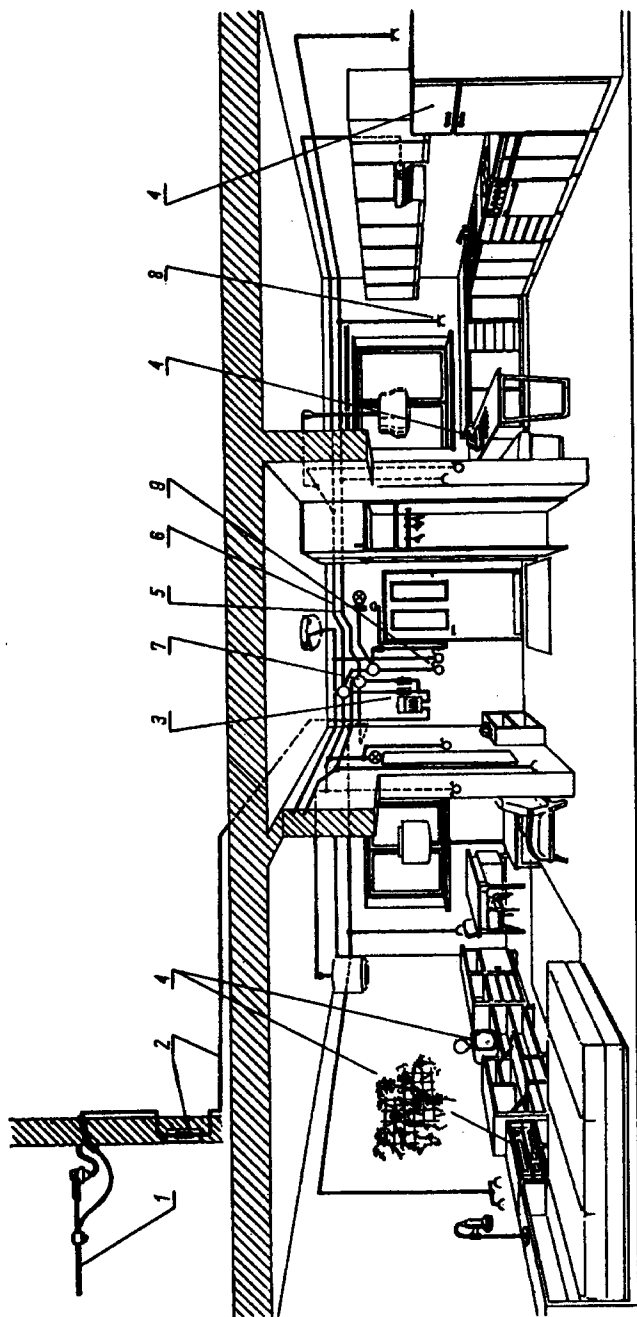
W tablicy 1 zestawiono najczęściej stosowane symbole rysunkowe i oznaczenia opisowe.

Podstawową zasadą jest to, że ciągi przewodów w obwodach rysuje się jedną linią, a liczbę przewodów jednożyłowych lub żył w przewodach wielożyłowych zaznacza się poprzecznymi kreskami lub pojedynczą kreską z odpowiednią cyfrą. Na ogół z przebiegów linii oznaczających ciągi przewodów można się zorientować, czy są one ułożone na ścianach, sufitach czy pod podłogą.

Miejsca połączeń przewodów w obwodach rozgałęzionych, a więc również puszki i gniazda rozgałęźne, zaznacza się zaczernionymi kółkami. Podobnie pokazuje się pionowe odcinki obwodów, np. przy przejściu do innych kondygnacji budynku, przy czym ukośną strzałką zaznacza się kierunek tego przejścia: do góry czy w dół. Sprzęt instalacyjny zaznacza się stosownymi symbolami, umieszczonymi przy liniach obwodów. Dodatkowe oznaczenia i skróty literowe wyjaśniają rodzaj instalacji i sprzętu.

Na jednym planie mogą być naniesione obwody instalacji elektrycznych zarówno typowych, jak też innych, np. sygnalizacyjnych, z tym, że dla odróżnienia rysuje się je liniami różnej grubości lub nieciągłymi (przerywanymi, kreskami z kropkami itp.).

Schematy instalacji zawierają dane, których nie umieszcza się na planach,

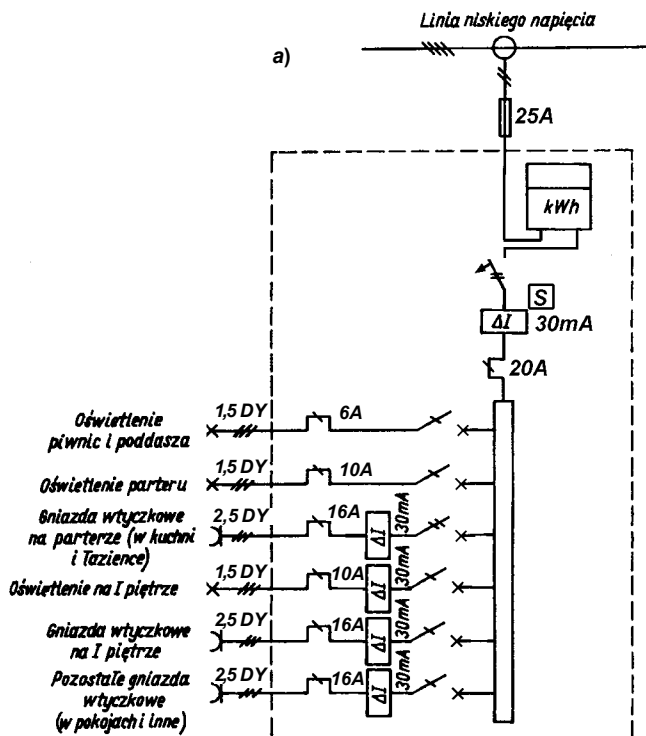


Rys. 32. Fragment instalacji elektrycznej w wiejskim budynku mieszkalnym: 1 – przyłącze, 2 – złącze i wewnętrzna linia zasilająca, 3 – rozdzielnica mieszkaniowa z licznikiem i zabezpieczeniami, 4 – odbiorniki elektryczne, 5 – obwód gniazd wtyczkowych, 6 – obwód oświetleniowy, 7 – puszkę wtyczkowe, 8 – gniazda wtyczkowe, 9 – wyłączniki instalacyjne

aby nie zaciemnić ich przejrzystości. Chodzi głównie o rozdzielnice z wyraźnym pokazaniem ich zasilania i wyprowadzeń obwodów oraz wyposażenia w urządzenia zabezpieczające, łączeniowe i pomiarowe z zaznaczeniem ich danych znamionowych.

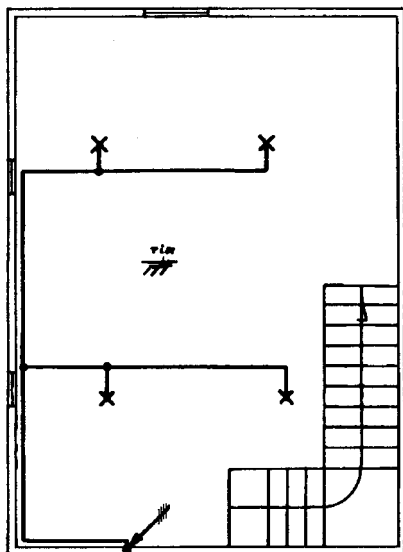
Schematy – podobnie jak plany instalacji – rysuje się na ogół pojedynczymi liniami łączącymi poszczególne elementy instalacji przedstawione symbolami graficznymi. Poprzecznymi kreskami zaznacza się liczbę przewodów (żył) i liczbę urządzeń jednobiegunowych, np. bezpieczników topikowych, lub liczbę biegunów, jeśli są to urządzenia wielobiegunowe. Tylko w szczególnych przypadkach skomplikowanych połączeń schematy instalacji rysuje się w całości lub we fragmentach jako tzw. schematy rozwinięte, kreśląc dla każdego obwodu oddzielnymi liniami każdy przewód, a nawet żyły i bieguny w urządzeniach, sprzęcie i osprzęcie.

Na rysunku 32 pokazano wnętrze budynku mieszkalnego z wykonaną instalacją elektryczną. W celu wyjaśnienia sposobu rysowania oraz odczytywania planów i schematów instalacji na rysunkach 33 przedstawiono przykładowe rozwiązanie instalacji w wyżej wymienionym budynku.

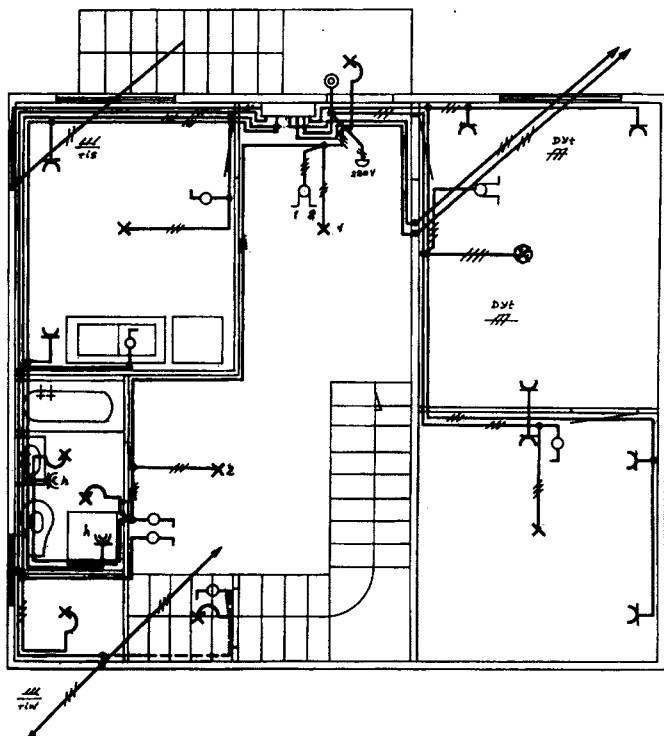


Rys. 33. Przykładowy projekt instalacji elektrycznej w wiejskim budynku mieszkalnym: a) schemat rozdzielnic głównej budynku; b) plan instalacji w piwnicy; c) plan instalacji na parterze; d) plan instalacji na I piętrze; e) plan instalacji na poddaszu

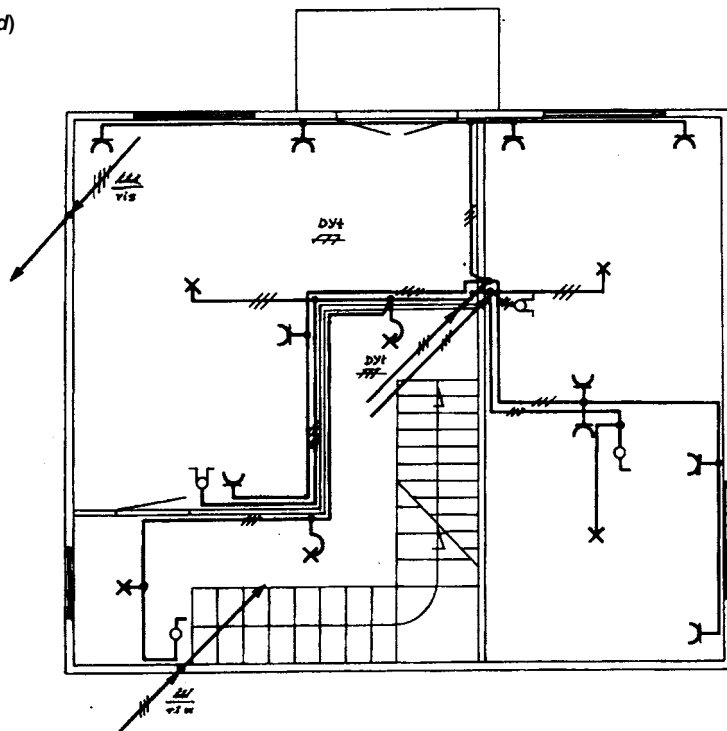
b)



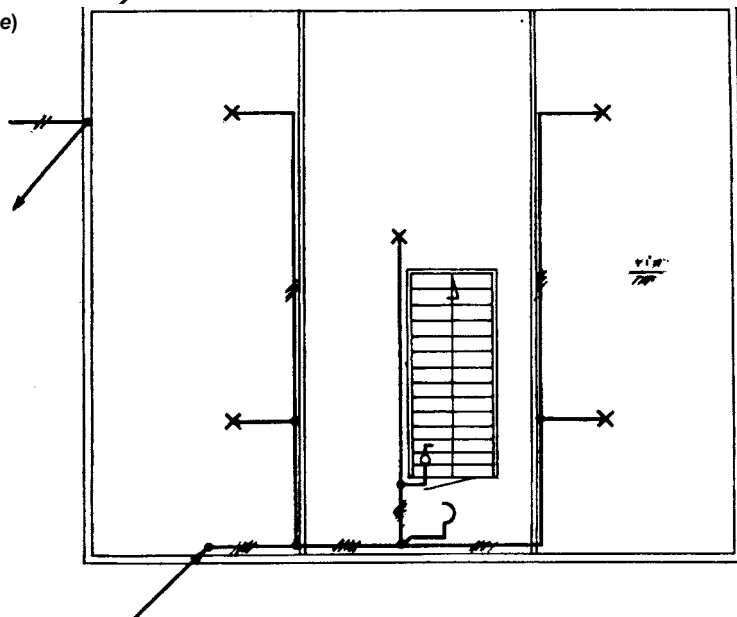
c)



d)



e)



3. Zabezpieczenia i ochrona instalacji

3.1. Zabezpieczenia nadprądowe

Przewody elektryczne przy przepływie prądu elektrycznego nagrzewają się, przy czym nagrzewają się tym intensywniej, im większa jest wartość prądu, a mniejszy przekrój żył. Nie można dopuścić do tego, aby przewody osiągały tak wysoką temperaturę, że następowałoby uszkodzenie izolacji przewodów. Dlatego dobiera się przekrój przewodów. Obwody zasilające odbiorniki o większej mocy, powodujące przepływ dużego prądu, muszą być wykonane przewodami o większym przekroju żył. Przekrój żył przewodów zależy także od warunków oddawania jego ciepła. W przypadku przewodów ułożonych w rurach pod tynkiem, z uwagi na gorsze warunki chłodzenia, przekrój żył powinien być większy niż w przewodach bez żadnej osłony ułożonych na ścianie.

W zależności od liczby i przekroju żył oraz określonej budowy (typu) przewodu, a także od sposobu ułożenia podaje się największą dopuszczalną wartość prądu, tzw. **obciążalność prądową długotrwałą**. Obciążalność ta zależy też od rodzaju pomieszczeń, gdyż w pomieszczeniach zagrożonych pożarem lub wybuchem nie można dopuścić do takiego nagrzania przewodów, jak w pomieszczeniach bezpiecznych pod tym względem. Wymaga się również ograniczenia temperatury nagrzewania się przewodów stosowanych do odbiorników ruchomych i przenośnych, ponieważ przewody te układa się luźno i mogą one stykać się z przedmiotami łatwo palnymi.

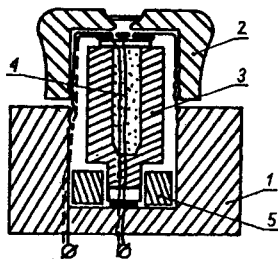
Wskutek przepływu prądu przewód się nagrzewa stopniowo, choć tym szybciej, im jest większy prąd. Można zatem pozwolić na przepływ prądu przekraczającego dopuszczalną obciążalność przewodu bez ich uszkodzenia, lecz tylko przez krótki czas. Krótkotrwały przepływ takiego prądu występuje na przykład przy załączaniu silnika, jako tzw. prąd rozruchowy. Ponieważ trwa on zaledwie od kilku do kilkunastu sekund, nie wywołuje nadmiernego nagrzewania przewodu.

Inny przypadek przepływu dużego prądu występuje przy **zwarcu** między przewodami lub przewodu z ziemią. Jeżeli obwód zostanie przy tym wyłączony dostatecznie szybko, to wtedy nie dojdzie do zniszczenia izolacji przewodów. Nie można dopuścić do **przeciążenia instalacji**, przylączając do niej

odbiorniki o takiej mocy, że wywołują w sposób długotrwały przepływ prądu większego niż dopuszczalna obciążalność przewodów zasilających. Instalacja musi być wtedy wyłączona spod napięcia, chociaż może to nastąpić z pewnym opóźnieniem, jednak tym szybciej, im większe jest przeciążenie.

Przewody instalacji elektrycznej muszą być chronione przed skutkami przepływu prądu występującego w wyniku zwarcia i przeciążeń, o wartości większej niż ich dopuszczalna obciążalność. Służą do tego **zabezpieczenia nadprądowe**, do których zalicza się **bezpieczniki topikowe** i **wyłączniki samoczynne nadprądowe**.

Na rysunku 34 pokazano schematycznie budowę bezpiecznika topikowego i zaznaczono drogę przepływu prądu.



Rys. 34. Konstrukcja bezpiecznika topikowego: 1 – gniazdo porcelanowe ze sworzniami, 2 – wstawka ograniczająca, 3 – wkładka topikowa, 4 – główka, 5 – styk dolny wkładki, 6 – korpus porcelanowy, 7 – element topikowy, 8 – gasiwo, 9 – styk górny, 10 – wskaźnik zadziałania

Bezpiecznik topikowy zawiera włączony szeregowo w tor przepływu prądu cienki, kalibrowany element topikowy, np. drucik srebrny, umieszczony w ceramicznym korpusie **wkładki bezpiecznikowej**. Prąd, przepływając przez ten element, powoduje jego nagrzewanie. Gdy prąd ten wzrasta i jest większy niż prąd znamionowy wkładki – element topikowy ulega stopieniu, tj. przepaleniu bezpiecznika. W ten sposób następuje przerwa w dopływie prądu do zabezpieczonego tym bezpiecznikiem obwodu instalacyjnego wraz z przyłączonymi do tego obwodu odbiornikami.

Bezpiecznik przepala się w czasie zależnym od wartości prądu. Następuje to tym szybciej, im większy jest prąd, a więc przy prądzie podczas zwarcia między przewodami działa on niemal natychmiastowo, zabezpieczając urządzenia przed zniszczeniem. Krótkotrwałe prądy rozruchowe silników nie powodują przepalenia wkładki. Oznaczona na wkładce wartość znamionowa prądu wskazuje, jaki największy prąd może przepływać przez nią trwale, nie powodując przepalenia.

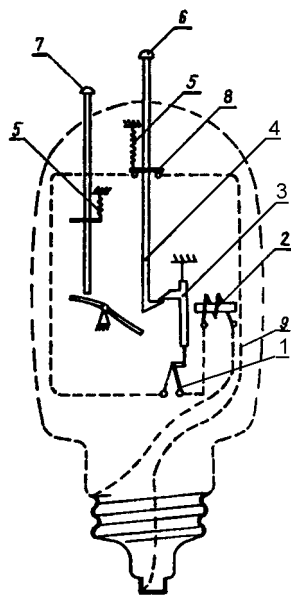
Zasadniczą wadą bezpieczników topikowych jest to, że po przepaleniu się wkładki musi być ona za każdym razem wymieniona na nową. Nie wolno jej w żaden sposób „naprawiać”, gdyż nie ma wtedy pewności zadziałania i ochrony urządzeń odbiorczych przed skutkami zwarcia i przeciążeń. Inną wadą

bezpieczników jest to, że są mało skuteczne do ochrony przed przeciążeniami niektórych odbiorników, bardzo wrażliwych na przegrzanie, między innymi silników elektrycznych, ze względu na stosunkowo cienką (ze względów konstrukcyjnych) izolację przewodów uzwojeń.

Lepszym, ale i droższym rozwiązaniem jest stosowanie **wyłączników samoczynnych nadprądowych**. Po zadziałaniu bowiem można je ponownie załączać, a ponadto są dokładniejsze w działaniu niż bezpieczniki topikowe. Instalacyjne wyłączniki nadprądowe są dostępne w dwojakim rozwiązaniu jako:

- wyłączniki jednobiegunowe, nazywane bezpiecznikami automatycznymi, z gwintem do wkręcania w gniazda bezpiecznikowe zamiast bezpieczników,
- wyłączniki wielobiegunowe do umieszczania w rozdzielnicach lub w specjalnej obudowie do mocowania bezpośrednio na ścianie.

Na rysunku 35 pokazano w uproszczony sposób konstrukcję **bezpiecznika automatycznego**. Przerwę w przepływie prądu powoduje zestyk utworzony z trzech blaszek, z których środkowa, ruchoma, zwiera dwie pozostałe po wciśnięciu głównego przycisku (koloru czarnego) na obudowie bezpiecznika, a ten utrzymywany jest w takim stanie przez zapadkę na jego trzpieniu zahaczającą o sprężynującą kotwiczkę. Kotwiczka może zwolnić zapadkę zarówno po wciśnięciu drugiego przycisku, wyłączającego (oznaczonego kolorem czerwonym), umieszczonego na obudowie bezpiecznika, jak i na skutek zadziałania wyzwalacza elektromagnesowego lub wyzwalacza cieplnego.



Rys. 35. Konstrukcja bezpiecznika automatycznego: 1 – wyzwalacz cieplny bimetalowy, 2 – wyzwalacz elektromagnesowy, 3 – kotwiczka, 4 – zapadka, 5 – sprężyna zwrotna, 6 – przycisk załączający, 7 – przycisk wyłączający, 8 – zestyk płytkowy, 9 – połączenia elektryczne

Wyzwalacz cieplny jest elementem bimetalowym w postaci zespolonych ze sobą warstw dwóch metali o różnej rozszerzalności cieplnej, co powoduje silne wyginanie się ich pod wpływem wzrostu temperatury. Element bimetalowy wygina się bowiem wskutek przepływającego i nagrzewającego go prądu. W ten sposób odsuwa kotwiczkę aż do zwolnienia zapadki, a wtedy zwalnia się przycisk pod działaniem sprężyny zwrotnej i rozwiera zestyk, co przerywa przepływ prądu w obwodzie.

Wyzwalacz elektromagnesowy jest elektromagnesem, którego uzwojenie jest włączone szeregowo w obwód prądu. W wyniku przepływu prądu powstaje strumień magnetyczny w rdzeniu elektromagnesu. Przy określonej wartości strumienia następuje przyciągnięcie kotwiczki, zwolnienie zapadki, rozwarcie zestyku i przerwanie przepływu prądu w obwodzie (podobnie jak element bimetalowy). O ile jednak wyzwalacz cieplny działa z pewnym opóźnieniem, o tyle wyzwalacz elektromagnesowy działa natychmiastowo, gdy tylko prąd przekroczy ustaloną wartość, zwykle wielokrotnie większą od wartości znamionowej prądu bezpiecznika.

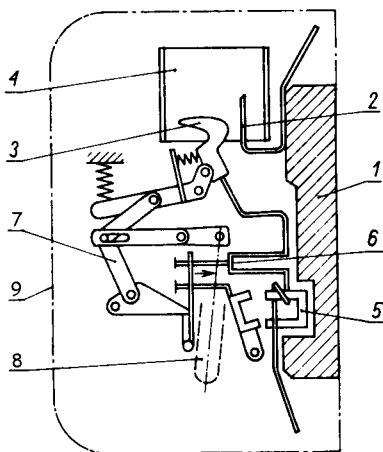
Z powyższego wynika, że w obwodzie przy niewielkim zwiększeniu prądu ponad wartość znamionową prądu bezpiecznika, jego wyłączenie samoczynne następuje wskutek zadziałania wyzwalacza cieplnego po upływie pewnego czasu, tym krótszego, im większa jest wartość prądu w obwodzie. Takie opóźnienie działania zabezpieczenia nie stwarza zagrożenia, gdyż przewody w instalacji i odbiornikach nagrzewają się także z pewnym opóźnieniem. Dopuszcza się więc chwilowy przepływ prądu o wartości większej niż w warunkach ustalonych pracy normalnej. Dzięki temu jest możliwy rozruch silników.

W razie wystąpienia zwarcia, gdy prąd wzrasta gwałtownie i niebezpiecznie do dużej wartości, następuje bezzwłoczne zadziałanie wyzwalacza elektromagnesowego. Natychmiastowe przerwanie przepływu prądu przez wyłącznik zapobiega uszkodzeniom, jakie mogłyby powstać w instalacjach i odbiornikach. Warto wiedzieć, że wyłączniki takie charakteryzują się zdolnością wyłączania dużych prądów zwarciovych. Ze względu na rozległość wiejskich sieci elektroenergetycznych, wielokrotną transformację napięcia przy przepływie energii od elektrowni oraz niewielką moc transformatorów w stacjach wiejskich prądy zwarciove w instalacjach wiejskich na ogół są mniejsze niż 5 kA.

Na podobnej zasadzie działają wyłączniki samoczynne, zwane **nadprądowymi wyłącznikami instalacyjnymi**. Są to aparaty jedno- i wielobiegunowe (dwu-, trzy-, czterobiegunowe) w wykonaniu modułowym w płaskiej obudowie, do mocowania na listwach montażowych. Stosuje się je przede wszystkim w rozdzielnicach skrzynkowych.

Na rysunku 36 pokazano budowę takiego wyłącznika. Jego główne styki robocze znajdują się w komorze gaszeniowej, zdolne do wyłączenia prądu w sze-

rokach granicach wartości. Wyłącznik zawiera zespół napędu umożliwiając ręczne załączanie oraz samoczynne jego wyłączanie pod wpływem wyzwalacza elektromagnesowego nadprądowego lub wyzwalacza cieplnego. Niekiedy jest on wyposażony również w cewkę podnapięciową, powodującą zadziałanie samoczynne wyłącznika przy zaniku napięcia w instalacji.



Rys. 36. Samoczynny wyłącznik instalacyjny nadprądowy:

1 – podstawa, 2, 3 – styki, 4 – komora gaszeniowa, 5 – wyzwalacz elektromagnesowy, 6 – wyzwalacz cieplny, 7 – zamek, 8 – dźwignia napędu, 9 – obudowa

Trójfazowe wyłączniki nadprądowe trzy- lub czterobiegunowe tego samego typu mają mechanizm umożliwiający załączanie i wyłączanie wszystkich biegunów jednocześnie. Zapobiega to pracy silników przy zasilaniu na dwóch fazach, co mogłoby doprowadzić do uszkodzenia tych maszyn.

Wyłączniki nadprądowe płaskie wytwarza się o różnych typach charakterystyk czasowo-prądowych. Zależnie od tego są przeznaczone do zabezpieczania przewodów w instalacjach mieszkaniowych lub obwodów silników. W wyłącznikach stosowanych głównie do zabezpieczeń silników przed skutkami przeciążeń i zwarć wykorzystuje się podobną zasadę działania. Są one przystosowane do wyłączania większego prądu w obwodach zasilających odbiorniki trójfazowe, a więc odbiorniki o większych mocach.

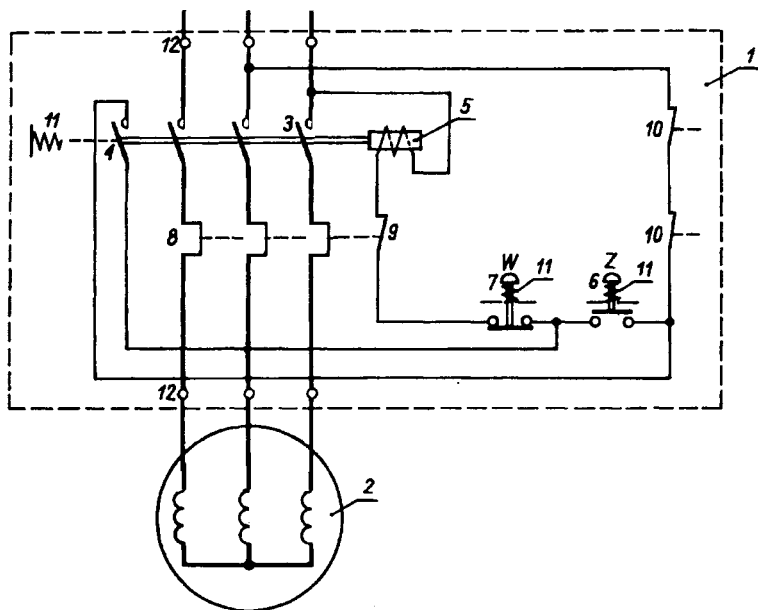
Wymaga to masywniejszych zestyków odpornych na działanie łuku elektrycznego oraz umieszczenia ich w osobnych dla każdej fazy komorach gaszeniowych z ceramicznymi ściankami, które uniemożliwiają przerzut łuku na sąsiednie fazy i powstanie groźnych zwarć międzyfazowych.

Ponadto odpowiednie ukształtowanie komór gaszeniowych zaopatrzonych w szereg kanałów izolacyjnych wydłuża drogę łuku elektrycznego i wywołuje podmuch powietrza, co sprzyja zerwaniu łuku. Bardzo ważne jest przy tym - dla skrócenia cieplnego działania łuku - by zestyki szybko się rozwierały przy

otwieraniu i szybko zwierały przy zamykaniu. Umożliwia to specjalny układ przegubów i sprężyn.

Wyłączniki samoczynne nadprądowe są produkowane jako **łączniki zapadkowe** lub **stycznikowe**. W pierwszym rozwiązaniu działają na zasadzie mechanizmu uruchamianego ręcznie za pomocą umieszczonych na obudowie przycisków: czarnego, oznaczonego symbolem **I** (załączającego) i czerwonego, oznaczonego symbolem **O** (wyłączającego). Rozwiązanie takie odpowiada zasadzie działania bezpiecznika automatycznego, tyle tylko, że konstrukcja jego jest bardziej złożona. Stycznik jest uruchamiany elektromagnesem.

Stycznik jest aparatem złożonym z zestyków głównych, nazywanych roboczymi, wyposażonych w odpowiednie komory gaszeniowe. Zestyki zwierają się pod działaniem elektromagnesu, przyciągającego zworę łączącą mechanicznie ruchome styki zestyków, a są rozwierane przez sprężyny zwrotne, zwalniane przy wyłączeniu cewki elektromagnesu. Na rysunku 37 przedstawiono koncepcję tego rozwiązania.



Rys. 37. Układ połączeń stycznika elektromagnetycznego:

1 – stycznik, 2 – odbiornik elektryczny (silnik), 3 – zestyki robocze, 4 – zestyk pomocniczy, 5 – elektromagnes załączający, 6 – przycisk załączający, 7 – przycisk wyłączający, 8 – wyzwalacz cieplny bimetalowy, 9 – zestyk rozwierny sprzężony z wyzwalaczem cieplnym, 10 – zestyki rozwiernie innych przełączników zabezpieczających, 11 – sprężyny zwrotne, 12 – zaciski przyłączeniowe

Przyciski załączający i wyłączający, nazywane sterującymi, są zaopatrzone w proste zestyki z płytek metalowych i włączone w obwód cewki elektromagnesu, uruchamiającego zestyki robocze. Dzięki temu przyciski mogą być umieszczone na obudowie stycznika lub poza nim w dowolnym miejscu i połączone z cewką elektromagnesu stycznika trzema przewodami. Cewka ta ze względu na dużą liczbę zwojów (zapewnia to owiednio duży strumień magnetyczny) wykazuje dużą rezystancję, a w jej obwodzie, nazywanym sterującym, występuje niewielki prąd. Z tego względu zarówno uzwojenie cewki, jak i przewody łączące mogą mieć małe przekroje, a zestyki przycisków małe wymiary.

Wyposażając stycznik w przekaźniki: cieplny (np. bimetalowy) i elektromagnesowy, włączone szeregowo w obwód sterujący stycznika, tworzy się łącznik samoczynny do ochrony przed przeciążeniami i zwarciami. **Przekaźnik cieplny** bimetalowy ma na płycie z bimetalu nawiniętą spiralę grzejącą z drutu oporowego, włączoną szeregowo w obwód instalacyjny. Płytką bimetalową, nagrzewając się od spirali grzejnej, wygina się, co prowadzi do rozwarcia się zestyku w obwodzie sterującym i zadziałania łącznika samoczynnego. Opóźnienie w działaniu jest uzależnione od długości płytki bimetalowej, a prąd zadziałania od rozwiązania spirali grzejnej.

Przekaźnik elektromagnesowy ma jeden styk przytwierdzony do rdzenia elektromagnesu, a drugi – nieruchomy. W ten sposób przy wciągnięciu rdzenia po pokonaniu oporu sprężyny zwrotnej przy odpowiednim strumieniu magnetycznym, zależnym od prądu przepływającego przez uzwojenie cewki, następuje otwarcie zestyku i zadziałanie wyłącznika. Zmieniając liczbę zwojów cewki elektromagnesu, zmienia się wartość prądu zadziałania przekaźnika i wyłącznika.

Zaletą stycznika oprócz możliwości załączania go lub wyłączania przyciskami z odległości jest także to, że w obwód sterowania można włączać inne zabezpieczenia, np. podnapięciowy, działający przy nadmiernym obniżeniu się napięcia zasilania, co zabezpiecza silniki przed przeciążeniem. Przy zaniku napięcia stycznik wyłącza się samoczynnie, co uniemożliwia nagłe uruchamianie się urządzeń po ponownym włączeniu napięcia zasilania. Jest to na ogół nie do przyjęcia w odniesieniu do urządzeń produkcyjnych, choć może być pożądane w układach oświetlenia, ogrzewania pomieszczeń, schładzania produktów itp.

3.2. Ochrona przed przepięciami

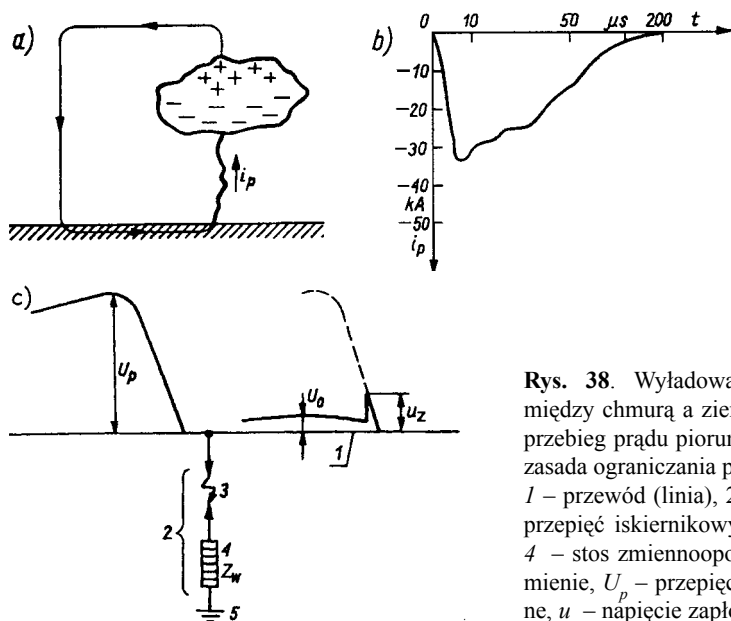
Napięcie w sieci niskiego napięcia 230/400 V ulega ciągłym odchyleniom wywoływanym spadkami napięcia w przewodach wskutek zmian poboru mocy przez odbiorców, którzy załączają i wyłączają coraz to inne odbiorniki elek-

tryczne. W normalnych warunkach pracy systemu elektroenergetycznego te zmiany napięcia zasilania w instalacjach elektrycznych utrzymują się w niewielkich dopuszczalnych granicach odchyłeń od wartości napięcia nominalnego. Nie powodują one żadnych ujemnych skutków w instalacji ani w urządzeniach odbiorczych, gdyż cała instalacja ma określony poziom wytrzymałości elektrycznej.

W sieci oraz instalacji pojawia się jednak napięcie różniące się od nominalnego, wyższe niż jego dopuszczalne odchylenie. Takie napięcie jest zwane **przepięciem** i może się utrzymywać w różnym czasie, zależnie od przyczyny występowania. Może być spowodowane zwarcie w odbiorniku lub linii, zerwaniem przewodu, czynnościami łączeniowymi, a także wyładowaniami atmosferycznymi. Mogą być też indukowane przez naładowane elektrycznie chmury.

W instalacjach elektrycznych na wsiach, przede wszystkim w okresie wiosenno-letnim, występują wyładowania atmosferyczne (rys. 38). Są one powodowane uderzeniem pioruna w konstrukcje i urządzenia napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego i niskiego napięcia lub w pobliżu tych linii.

Wówczas w przewodach linii powstają **fale przepięciowe** (rys. 38c) ze stromym czołem i znaczną wartością szczytową, sięgającą nawet setek tysięcy kilowoltów, chociaż bardzo szybko przemijającą, w ciągu milionowych części



Rys. 38. Wyładowanie piorunowe między chmurą a ziemią (a), typowy przebieg prądu piorunowego (b) oraz zasada ograniczania przebieg (c):

1 – przewód (linia), 2 – ogranicznik przebieg iskiernikowy, 3 – iskiernik, 4 – stos zmiennoooporowy, 5 – uzziemienie, U_p – przebieg atmosferyczny, U_z – napięcie zapłonu, U_o – napięcie obniżone

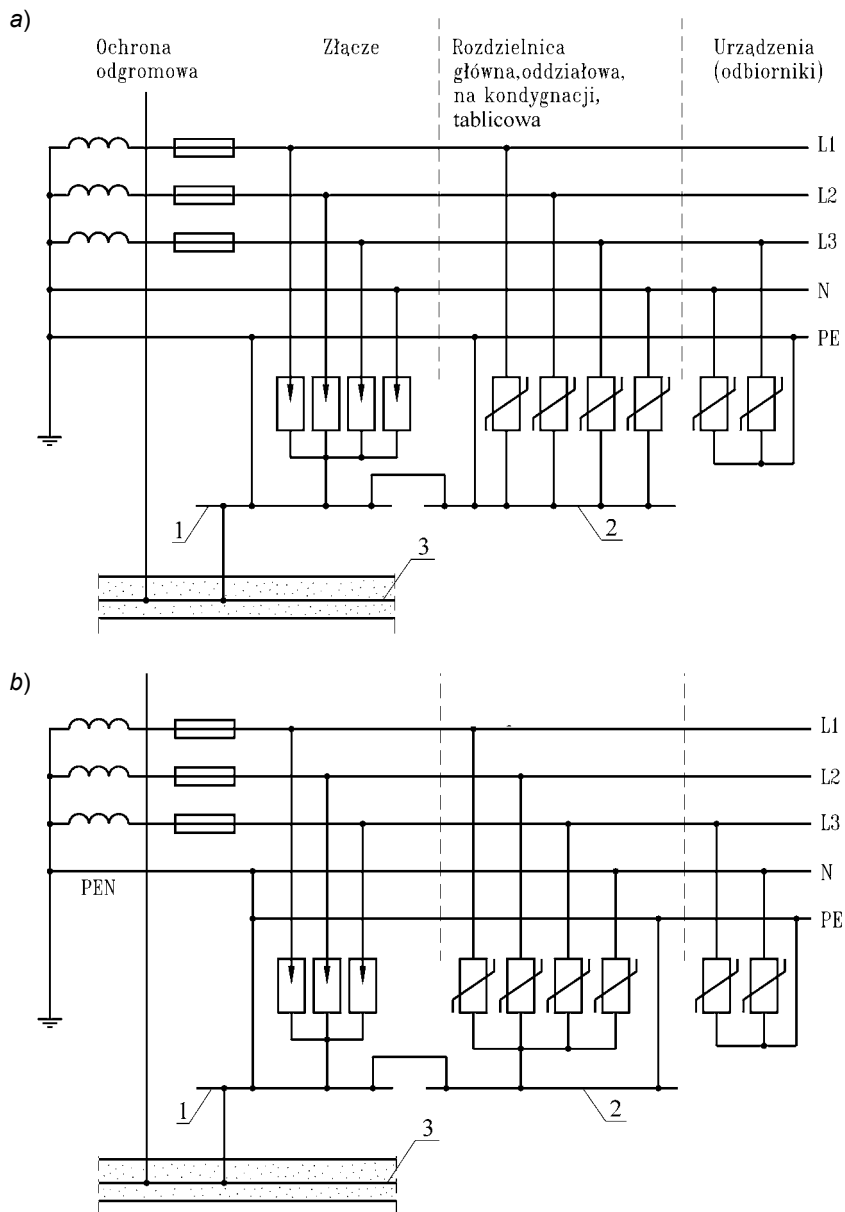
sekundy. Obejmują one jednak duży obszar. Na przykład przy wyładowaniu atmosferycznym oddziaływanie kanału piorunowego sięga nawet do 1,5 km od miejsca jego uderzenia. Przepięcia atmosferyczne mogą powodować poważne uszkodzenia zarówno w stacjach transformatorowych, jak i w sieci rozdzielczej niskiego napięcia oraz urządzeniach odbiorczych i to na dużych obszarach. Pojawia się bowiem niebezpieczne napięcie wysokie, które przekracza wytrzymałość elektryczną urządzeń. Konieczna więc jest ochrona przeciwprzepięciowa.

W obwodach odbiorczych instalacji elektrycznych oprócz przepięć pochodzenia atmosferycznego pojawiają się tzw. **przepięcia łączeniowe**. Są one wywoływane przez łączniki podczas wyłączania i załączania obwodów z indukcyjnością i pojemnością. Nie powodują one szkód w urządzeniach elektroenergetycznych, ale mogą być przyczyną zakłóceń w pracy urządzeń elektronicznych, a nawet ich uszkodzeń. Dotyczy to między innymi komputerów, które coraz częściej są spotykane na wsiach.

Ochronę przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi w instalacjach elektrycznych należy zapewnić, stosując urządzenia do ograniczania przepięć, zwane **ogranicznikami przepięć**, oraz poprawnie wykonane połączenia wyrównawcze. Rozróżnia się ograniczniki przepięć iskiernikowe oraz warystorowe. Zaletą tych pierwszych jest to, że odprowadzają do ziemi nawet duże (kilkadziesiąt kiloamperów) prądy wyładowcze. Nie obniżają one jednak przepięć do poziomu napięć wytrzymywanych przez urządzenia stosowane w instalacji. Do tego celu wykorzystuje się ograniczniki warystorowe, które zapewniają poziom ochrony nawet niższy niż 1,5 kV.

W systemie ochrony przeciwprzepięciowej szczególnie ważny jest podstawowy układ ochrony zainstalowany na początku instalacji. Tworzące ten układ ograniczniki przepięć powinny zapewnić podstawową ochronę przed wszelkiego rodzaju przepięciami łączeniowymi w sieci elektroenergetycznej oraz przepięciami atmosferycznymi nawet w przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna w budynek. Należy je instalować bezpośrednio w złączu lub w rozdzielnicy głównej. Są to ograniczniki typu iskiernikowego; powinny być włączone między każdy przewód fazowy a uziom oraz między przewód neutralny N a uziom, jeżeli przewód N nie jest na początku instalacji uziemiony. Skuteczne ich działanie zapewnia się stosując możliwie najkrótsze przewody łączące ograniczniki przepięć (najlepiej, aby całkowita ich długość nie przekraczała 0,5 m). Przewody uziemiające ograniczników przepięć powinny mieć przekrój nie mniejszy niż 4 mm² Cu, a przy istnieniu instalacji piorunochronnej nie mniejszy niż 10 mm² Cu.

Dla większości urządzeń elektrycznych wykorzystanie tylko ograniczników przepięć tworzących podstawowy układ ochrony jest niewystarczające. W dalszych częściach instalacji elektrycznej należy stosować ograniczniki przepięć



Rys. 39. Przykład rozmieszczenia ograniczników przepięć: a) w układzie sieci TN-S; b) w układzie sieci TN-C-S;

1 – główna szyna uziemiająca, 2 – szyna uziemiająca, 3 – uziom fundamentowy

tworzące stopnie ochrony odpowiednio do przyjętej kategorii wytrzymałości udarowej (kategorii przepięć). Ograniczniki warystorowe należy instalować w rozdzielnicach i tablicach rozdzielczych, a w przypadku urządzeń specjalnie chronionych – w gniazdach wtyczkowych, puszkach instalacyjnych lub bezpośrednio w chronionym urządzeniu. Powinny być one włączone między każdy przewód czynny (L1, L2, L3, N) a szynę uziemiającą lub przewód ochronny.

W celu zapewnienia koordynacji działania poszczególnych aparatów ochrony przeciwprzepięciowej wielostopniowej odległości pomiędzy ogranicznikami przepięć iskiernikowymi (odgromnikami) a ogranicznikami warystorowymi (ochronnikami) powinny wynosić od kilku do kilkunastu metrów. Szczegółowe zalecenia w tym zakresie podają producenci ograniczników przepięć. W innym przypadku konieczne jest zastosowanie pomiędzy nimi dodatkowego aparatu w postaci tak zwanej indukcyjności odsprężającej.

Przykłady rozmieszczeń ograniczników przepięć w instalacji elektrycznej w zależności od układu sieci przedstawiono na rysunku 39.

Na budynkach należy stosować urządzenia piorunochronne chroniące przed skutkami bezpośrednich wyładowań atmosferycznych. Instalacja piorunochronna składa się ze **zwodów**, umieszczonych na dachu, przejmujących wyładowania piorunowe, oraz z **przewodów odprowadzających**. Przewody te rozmieszczone pionowo na ścianach zewnętrznych budynku łączą zwody z uziomem i odprowadzają prądy piorunowe do ziemi.

Zbliżenia przewodów odprowadzających instalacji piorunochronnej do przewodów instalacji odbiorczej mogą przy uderzeniu pioruna spowodować przeskoکی iskrowe między nimi, natomiast przy ułożeniu równoległym obu instalacji – przepięcia indukowane w instalacji wewnętrznej. By temu przeciwdziałać, należy stosować ograniczniki przepięć włączone między obiema instalacjami, najlepiej umieszczone w złączu.

3.3. Ochrona ze względu na środowisko

Na obwody odbiorcze instalacji elektrycznej mogą działać niekorzystnie czynniki środowiskowe, przede wszystkim wilgoć, opary żrące, zapylenie i zanieczyszczenia, np. pochodzące od owadów, wysoka temperatura i udary mechaniczne. Instalacje mogą też ze swej strony zagrażać otoczeniu, przede wszystkim pożarem, a nawet wybuchem, oraz porażeniem prądem elektrycznym ludzi i zwierząt. Konieczne jest więc wykonanie instalacji elektrycznych w sposób odpowiadający warunkom otoczenia i występującym narażeniom, a także stosowania odpowiednich środków ochrony.

Ze względu na wpływy czynników środowiskowych rozróżnia się pomieszczenia, a nawet całe budynki:

Tabela 2. Stopnie ochrony zapewniane przez obudowę sprzętu i aparatów elektroinstalacyjnych przed dotknięciem oraz przedostawaniem się ciał stałych (znaczenie pierwszej cyfry w kodzie IP), wg normy PN-EN 60529:2003

Stopień ochrony IP	Ochrona ludzi przed dotknięciem części pod napięciem lub części ruchomych	Ochrona urządzenia przed przedostawaniem się ciał stałych
0	bez ochrony	bez ochrony
1	przed przypadkowym dotknięciem wierzchem dłoni	o średnicy 50 mm i większej
2	przed dotknięciem palcem	o średnicy 12,5 mm i większej
3	przed dotknięciem narzędziem lub drutem o średnicy 2,5 mm i większej	o średnicy 2,5 mm i większej
4	przed dotknięciem narzędziem lub drutem o średnicy 1 mm i większej	o średnicy 1 mm i większej
5	jw.	ochrona przed pyłem utrudniającym działanie sprzętu
6	jw.	całkowita ochrona przed pyłem

Tabela 3. Stopnie ochrony zapewniane przez obudowę sprzętu i aparatów elektroinstalacyjnych przed dostępem wody (oznaczenie drugiej cyfry w kodzie IP), wg normy PN-EN 60529:2003

Stopień ochrony IP	Ochrona przed dostępem wody
0	bez ochrony
1	przed kroplami wody padającymi pionowo
2	przed kroplami wody padającymi na urządzenie odchylone o 15° od położenia normalnego
3	przed natryskiwaniami pod kątem do 60° od pionu, z każdej strony
4	przed rozbryzgiwaniem wody z dowolnego kierunku
5	przed oblewaniem strugą wody z dowolnego kierunku
6	przed oblewaniem silną strugą wody
7	obudowa zanurzona krótkotrwale, brak wnikania wody
8	obudowa ciągle zanurzona w wodzie w uzgodnionych warunkach

- **przejściowo wilgotne** (o wilgotności do 75%), w których nie występują gwałtowne zmiany temperatury, ale mogą przejściowo występować para i skropliny, np. kuchnie i łazienki w mieszkaniach;
- **wilgotne** (o wilgotności 75 do 100%), np. hydrofornie, paszarnie i dojarnie;
- **bardzo wilgotne** (o wilgotności stale 100%), w których ściany, sufit, podłoga i przedmioty są pokryte skroplinami, np. w budynkach szklarni;
- **gorące**, w których temperatura jest wyższa długotrwale niż +35°C, np. kotłownie i pieczarkarnie;
- **zapyłone**, w których występuje stale lub przejściowo duże zapylenie, np. stodoły, magazyny zbożowe i paszowe, przechowalnie pylistych nawozów sztucznych;
- **z wyziewami żrącymi**, przede wszystkim agresywnych związków amoniaku i siarkowodoru, a więc pomieszczenia produkcji zwierzęcej, tj. obory, chlewnie, składy odchodów zwierzęcych;
- **zagrożone niebezpieczeństwem pożaru**, gdzie przerabia się lub przechowuje materiały łatwo palne, a więc składy paliwa stałego, stodoły, składy siana;
- **niebezpieczne ze względu na uszkodzenia mechaniczne**, gdzie instalacja jest narażona na uderzenia używanymi w pomieszczeniach narzędziami i przenoszonymi twardymi przedmiotami tępymi lub ostrymi, np. warsztaty, paszarnie itp.

Wymienione narażenia mogą występować łącznie. Ochrona instalacji przed tymi wpływami środowiskowymi polega na doborze przewodów o stosownej izolacji i odpowiednim sposobie ułożenia przewodów oraz – co bardzo ważne – na stosowaniu właściwego osprzętu i sprzętu instalacyjnego. W przypadku tego ostatniego chodzi głównie o stopień ochrony obudowy i odporność na udary mechaniczne.

Stopień ochrony obudów jest oznaczany symbolem cyfrowym w kodzie międzynarodowym IP, w którym:

- pierwsza cyfra oznacza stopień ochrony ludzi przed dotknięciem części czynnych urządzenia (będących pod napięciem) lub części ruchomych oraz ochronę urządzenia przed przedostaniem się do jego wnętrza ciał stałych (zanieczyszczeń mechanicznych),
 - druga cyfra oznacza stopień ochrony urządzenia przed wnikaniem wody.
- W tablicy 2 i 3 podano stopnie ochrony i ich znaczenie.

W ogólności w budynkach mieszkalnych, w pomieszczeniach przejściowo wilgotnych i wilgotnych przewody izolowane mogą być ułożone w dowolny sposób pod warunkiem uszczelnienia miejsc ich połączeń i zastosowania osprzętu szczelnego, a także rozdzielnic o stopniu ochrony co najmniej IP35.

W budynkach inwentarskich, w pomieszczeniach wilgotnych i z wyziewami

żrącymi, a także w bardzo wilgotnych pomieszczeniach innych budynków gospodarczych mogą być stosowane przewody wielożyłowe przymocowane na uchwytych na ścianach lub ułożone w korytkach i wiązkach, lub podwieszone, z osprzętem szczelnym co najmniej IP44 lub lepiej IP55.

W zapyłonych budynkach i pomieszczeniach gospodarczych są dopuszczalne wszystkie sposoby ukrytego ułożenia przewodów wielożyłowych i jednożyłowych w rurach pod tynkiem i na ścianach, ale przy uszczelnieniu całej instalacji (puszek) i zastosowaniu osprzętu szczelnego co najmniej IP44.

W pomieszczeniach, w których instalacja może być narażona na uszkodzenia mechaniczne, przewody powinny być ułożone w sposób ukryty lub w rurach stalowych na wierzchu ścian z osprzętem w obudowie metalowej lub poliestrowej z włóknem szklanym, jak też rozdzielnice powinny być wykonane w skrzynkach z żywicy poliestrowo-szklanych lub blachy. Dawniej stosowano w takich przypadkach osprzęt żeliwny i rozdzielnice w skrzynkach żeliwnych.

W pomieszczeniach gorących i lokalnie w miejscach występowania wysokiej temperatury, np. w kotłowniach i na ścianach kominowych, zaleca się stosowanie specjalnych przewodów ciepłoodpornych, np. o izolacji polwinitowej typu LgYc lub o izolacji z gumy silikonowej typu LGs.

Na zewnętrznych ścianach instalacja może być wykonana w różny sposób. Przewody wielożyłowe ułożone na ścianie zaleca się osłonić przed promieniowaniem słonecznym i bezpośrednimi opadami atmosferycznymi, obowiązkowo uszczelnić puszki rozgałęźne oraz zastosować osprzęt i rozdzielnice o stopniu ochrony co najmniej IP44.

Ochrona instalacji oraz odbiorczych urządzeń elektroenergetycznych przed zagrożeniem pożarem sprowadza się głównie do sprawnie działających zabezpieczeń nadprądowych. Chronią one bowiem instalację przed nadmiernym nagrzewaniem się przewodów, a więc również ich osłon. Wyłączają zwarcia, a więc chronią też przed łukiem elektrycznym, który może zawsze stanowić zarzewie pożaru.

Duże znaczenie ze względu na niebezpieczeństwo pożarowe ma zastosowanie wyłączników ochronnych różnicowoprądowych. Wyłączają one samoczynnie instalacje spod napięcia w każdym przypadku upływu poza obwód instalacyjny prądu, który mógłby spowodować nagrzanie materiałów w pobliżu miejsca tego upływu do temperatury zapłonu. Wystarczy przy tym czułość (znamionowy prąd różnicowy) takich wyłączników ok. 0,3 do 0,5 A.

W pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem pożarowym instalacje elektryczne muszą odpowiadać szczególnym warunkom wykonania. Przewody powinny być prowadzone w miarę możliwości na zewnątrz zagrożonych pomieszczeń, a wewnątrz tych pomieszczeń tak, by nie mogły być otoczone

przez materiały palne. Sposób ułożenia przewodów powinien uniemożliwiać gromadzenie się na nich zanieczyszczeń oraz pyłów. Wyposażenie elektryczne powinno być tak dobrane, aby przyrosty temperatury nie mogły spowodować pożaru.

W pomieszczeniu zagrożonym pożarem, w miejscu łatwo dostępnym powinien być zainstalowany łącznik umożliwiający wyłączenie całej instalacji spod napięcia w razie takiego zagrożenia.

Aby zapobiec nagrzewaniu się przewodów do niebezpiecznej temperatury zapłonu materiałów palnych, zastrzega się odpowiednio zmniejszoną obciążalność prądową przewodów, co prowadzi do większych niż normalnie przekrojów przewodów. Ponadto jest wymagana wzmocniona izolacja przewodów wielożyłowych na napięcie znamionowe przynajmniej 750 V, a przewodów jednożyłowych ułożonych w rurach – na napięcie 450 V w instalacji pracującej przy napięciu 230/400 V.

Cała instalacja elektryczna powinna być chroniona przed uszkodzeniami mechanicznymi, osprzęt i sprzęt muszą być szczelne, w obudowie przynajmniej o stopniu ochrony IP4X (druga cyfra, oznaczona tu jako X, winna odpowiadać warunkom wilgoci).

Oprawy oświetleniowe dopuszcza się tylko instalowane na stałe. Powinny one mieć obudowę uniemożliwiającą gromadzenie się zanieczyszczeń i być osłonięte kloszami ochronnymi, by uniemożliwić opadnięcie gorących części lampy w razie jej uszkodzenia. Gniazda wtyczkowe – jeżeli są potrzebne – powinny być zainstalowane na zewnątrz pomieszczeń zagrożonych pożarem.

Jeszcze surowsze wymagania stawia się urządzeniom elektrycznym w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem. Na przykład cały sprzęt instalacyjny, tj. łączniki i gniazda wtyczkowe należy instalować na zewnątrz tych pomieszczeń, a oprawy oświetleniowe powinny mieć obudowę przeciwybuchową. Wymaga się także, aby wszystkie aparaty, rurociągi itp., na których może wystąpić elektryczność statyczna, były uziemione w celu zapobieżenia powstawaniu iskier. Instalacje elektryczne w tych pomieszczeniach powinny być kontrolowane przez upoważnione służby, np. straż pożarną, a urządzenia elektryczne w wykonaniu przeciwybuchowym (oznaczenie Ex) odpowiednio dobrane do stref zagrożenia wybuchem.

4. Ochrona przeciwporażeniowa

4.1. Niebezpieczeństwo porażen

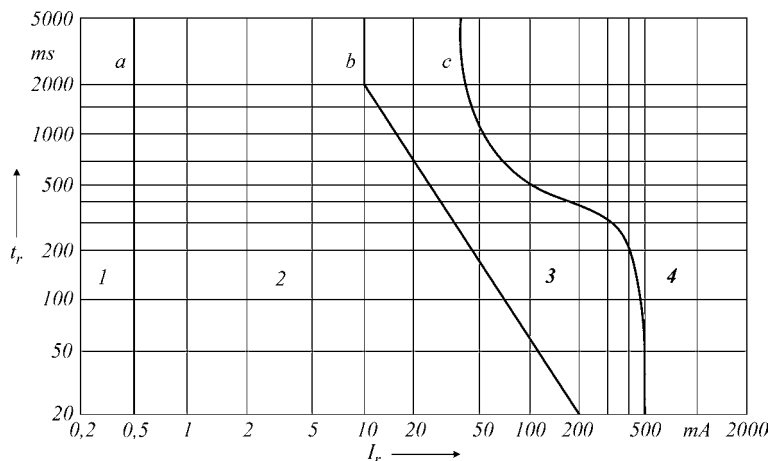
Ciało człowieka przewodzi prąd elektryczny, przy czym na drodze jego przepływu tylko naskórek wykazuje znaczną rezystancję, natomiast krew oraz inne płyny organiczne są dobrymi przewodnikami elektrycznymi. Przepływ prądu elektrycznego przez ciało człowieka, czyli **rażenie prądem**, może wywoływać różne ujemne skutki dla jego zdrowia, a także może być groźny dla życia, może bowiem doprowadzić do **porażenia**.

Na rezystancji ciała wydzielą się ciepło, które zależnie od wartości prądu może spowodować poważne oparzenia, a nawet spalenie narządów i kończyn. Przepływ prądu przez organy wewnętrzne wywołuje rozkład chemiczny płynów organicznych i powstanie niebezpiecznych toksyn, powodujących zatrucie organizmu.

Jednak najbardziej niebezpieczny jest wpływ prądu elektrycznego na pracę serca, działającego przecież pod wpływem bardzo słabych, ustrojowych prądów elektrycznych. Przepływ prądu z zewnętrznego źródła napięcia elektrycznego wytrąca serce z normalnego rytmu skurczów i rozkurczów, przy czym bardzo niebezpieczne są prądy przemiennie o małej częstotliwości, a zwłaszcza 50 Hz. Powodowane przez nie **migotanie komór sercowych** jest najczęstszą przyczyną zgonów.

Wyniki wieloletnich badań doprowadziły do wniosku, że zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym zależy od wartości prądu, czasu trwania oraz drogi jego przepływu przez ciało człowieka. Na rysunku 40 przedstawiono charakterystyki czasu rażenia w funkcji rażeniowego prądu przemiennego o małej częstotliwości (do 100 Hz) na drodze przepływu przez serce (lewa ręka – obie stopy). Charakterystyki te rozdzielają strefy oddziaływania prądu rażeniowego wywołującego różny skutek. Na wykresie zaznaczono cztery strefy:

- 1 – brak odczuwania skutków przepływu prądu,
- 2 – rażony odczuwa skutki przepływu prądu i może się uwolnić spod działania napięcia,
- 3 – różne objawy reakcji organizmu, ale bez niebezpiecznych uszkodzeń,
- 4 – silne zaburzenia aż do wystąpienia skutków patofizjologicznych, takich jak migotanie komór serca, zatrzymanie oddechu, poważne oparzenia.



Rys. 40. Strefy czasowo-prądowe oddziaływania elektrycznego prądu przemiennego na organizm człowieka:

1 – brak jakiegokolwiek odczuć przepływu prądu, 2 – możliwość samodzielnego uwolnienia się rażonego spod napięcia, bez niebezpiecznych skutków, 3 – duże prawdopodobieństwo wystąpienia migotania komór serca i wypadków śmiertelnych; a, b, c – granice stref

Oczywiście każdy organizm reaguje inaczej; zdarzały się sporadyczne wypadki porażen osób bardzo wrażliwych i chorych, jakie wypadły w obszarze 3.

Jak wynika z wykresu, rażenie nie jest znacznym zagrożeniem, jeśli prąd rażeniowy nie przekroczy 30 mA, bo nie występuje wtedy jeszcze skurcz mięśni, który uniemożliwałby oderwanie się rażonego od urządzenia, lub jeśli czas przepływu prądu przez ciało człowieka nie jest dłuższy niż 0,2 s, choćby prąd osiągnął wiele amperów. Korzysta się zatem z dwóch sposobów ochrony przed porażeniem prądem przez zastosowanie tzw. **bardzo niskiego napięcia** lub **szybkie, samoczynne wyłączenie** zasilania urządzenia zagrażającego porażeniem.

Na podstawie licznych pomiarów impedancji ciała ludzi (oprócz rezystancji występują też pojemności, zwłaszcza skóry) w różnych warunkach ustalono $1000\ \Omega$ jako minimalną jej wartość. A więc jako całkowicie bezpieczne określono urządzenia pracujące przy napięciu przemiennym nieprzekraczającym 25 V o częstotliwości 50 Hz. Zastosowanie tak niskiego napięcia jest jednak ograniczone tylko do odbiorników o bardzo małych mocach, np. lamp przenośnych, używanych w szczególnie niebezpiecznych warunkach otoczenia.

Organizmy zwierząt hodowlanych: bydła, trzody, koni, reagują na przepływ prądu elektrycznego podobnie jak organizmy ludzi, ale są bardziej wrażliwe. Jako bezpieczną wartość prądu przemiennego 50 Hz przyjęto dla nich 15–20 mA. Ponieważ zwykle ich impedancja jest większa, można by uznać,

że środki ochrony przeciwporażeniowej skuteczne dla ludzi są też takimi dla zwierząt. Dodatkową trudność powoduje to, że zwierzę rażone prądem zapamiętuje takie przykre doznanie. W przypadku gdy nastąpiło to w budynku inwentarskim, jest trudno zmusić je do powrotu na swoje leże i dlatego najczęściej musi być oddane na ubój.

4.2. Środki ochrony przeciwporażeniowej

Człowiek (jak też zwierzę) doznaje rażenia prądem elektrycznym, gdy dotknie - rękoma, ręką i nogą lub innymi częściami ciała – części przewodzących, między którymi występuje różnica potencjałów elektrycznych, nazywana **napięciem dotykowym**. **Prąd rażeniowy** zależy od wartości tego napięcia i impedancji między miejscami dotyku.

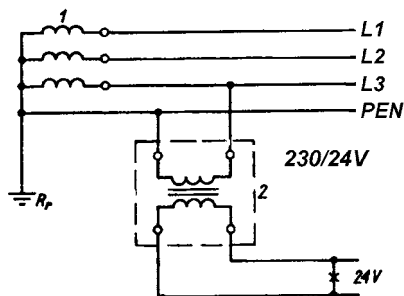
Ważne jest więc, czy rażony jest ubrany, czy ma obuwie i rękawice itd. Najgroźniejsze jest dotknięcie obiema gołymi rękoma lub gołą ręką i obnażonymi plecami. Ważne są też warunki otoczenia, gdyż na przykład wilgoć, wyziewy żrące i wysoka temperatura zmniejszają znacznie rezystancję naskórka, stawiającego największy opór przepływowi prądu rażeniowego.

Porażenie może nastąpić wskutek dotknięcia przez człowieka lub zwierzę zarówno przewodzących prąd części czynnych urządzeń elektrycznych (**dotyk bezpośredni**), jak i innych części tych urządzeń (np. metalowych obudów), niebędących pod napięciem w normalnych warunkach ich pracy, które jednak zetknęły się z częściami czynnymi na skutek uszkodzenia ich izolacji (**dotyk pośredni**). Zagrożenie porażeniem następuje przy jednoczesnym dotyku części przewodzących urządzeń nieelektrycznych (np. rur wodociągowych) lub ścian żelbetonowych budynków, mających kontakt z ziemią.

Części czynne odbiorczych urządzeń elektrycznych muszą być izolowane, by nie następowało zwarcie między częściami o różnym potencjale elektrycznym, np. między przewodami lub między tymi częściami a nienależącymi do obwodu elektrycznego elementami przewodzącymi, połączonymi z ziemią (**doziemienie**). Taka **izolacja** podstawowa stanowi jednocześnie podstawową **ochronę przeciwporażeniową** przed dotykiem bezpośrednim. W przypadku części czynnych urządzeń nieizolowanych (np. gołych przewodów przyłączy) ochrona przed bezpośrednim dotykiem polega na umieszczeniu ich poza zasięgiem ręki użytkownika lub zastosowaniu przegród ochronnych, tzn. obudów lub ogrodzeń zapewniających stopień ochrony co najmniej IP2X.

W układach bardzo niskiego napięcia, tzn. o napięciu 25 V w pomieszczeniach suchych, a 12 V w pomieszczeniach wilgotnych i bardzo wilgotnych oraz na zewnątrz budynków, w układzie oznaczonym symbolem **SELV** (rys. 41), izolacja podstawowa czynnych części urządzeń jest uznawana jako dostatecz-

na ochrona przed porażeniami. Przecież nawet bezpośredni dotyk części czynnych takich urządzeń nie jest groźny dla życia i zdrowia. Obwód taki może być zasilany albo ze specjalnego **transformatora bezpieczeństwa** (przyłączonego do instalacji 230 V prądu przemiennego), którego konstrukcja uniemożliwia przerzut napięcia 230 V na uzwojenie wtórne, albo z baterii akumulatorów.



Rys. 41. Układ bardzo niskiego napięcia z zastosowaniem transformatora ochronnego (bezpieczeństwa):

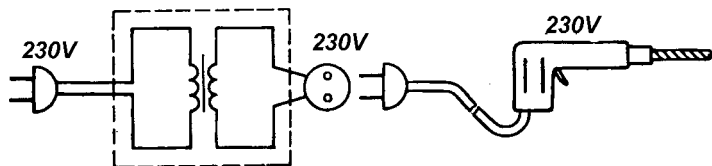
1 – uzwojenie wtórne transformatora większego 15/0,4 kV, 2 – transformator ochronny 230/24 V

W jedno- i trójfazowych obwodach instalacyjnych niskiego napięcia wymaga się zastosowania oprócz ochrony podstawowej również **ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim** (ochrony przy uszkodzeniu) części przewodzących urządzeń niebędących pod napięciem w normalnych warunkach ich pracy. Chodzi bowiem o to, by zapewnić ochronę przed porażeniem od urządzenia z uszkodzoną izolacją podstawową, również gdy to jest niezauważone przez użytkowników.

Ochrona taka nie dotyczy urządzeń z osłoną lub obudową z materiałów elektroizolacyjnych, jak np. przewody jednożyłowe w rurach winidurkowych, ciągi przewodów wielożyłowych w powłoce polwinitowej, osprzęt rozgałęźny w puszkach bakelitowych, sprzęt łączeniowy w obudowie melaminowej itd. Konieczna jest natomiast zawsze na przykład w obwodach silników elektrycznych i grzejników ze względu na ich metalową obudowę.

Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona przy uszkodzeniu) może być realizowana w różny sposób, m.in. przez **izolowanie stanowiska pracy** przy urządzeniu elektrycznym lub przez **separację** elektryczną z zastosowaniem specjalnego transformatora separacyjnego, zasilającego pojedynczy odbiornik (rys. 42), dzięki czemu unika się zamknięcia obwodu prądu rażeniowego. Nie są to jednak rozwiązania stosowane w praktyce w budownictwie wiejskim. Najczęściej bowiem wykorzystuje się **izolację dodatkową czynnych części** urządzeń lub **samoczynne wyłączenie zasilania** w razie uszkodzenia izolacji podstawowej i pojawienia się niebezpiecznego napięcia dotykowego na obudowach chronionych urządzeń elektrycznych.

Pierwsze z tych rozwiązań stosuje się głównie do opraw oświetleniowych i elektrycznego sprzętu gospodarstwa domowego oraz do narzędzi elektrycz-



Rys. 42. Ochrona przeciwporażeniowa z zastosowaniem transformatora separacyjnego

nych i ręcznych aparatów używanych w produkcji rolniczej. Urządzenia, w których ochrona jest zapewniona przez izolację podwójną (podstawową i dodatkową) lub izolację wzmocnioną, muszą być wyraźnie oznaczone symbolem \square .

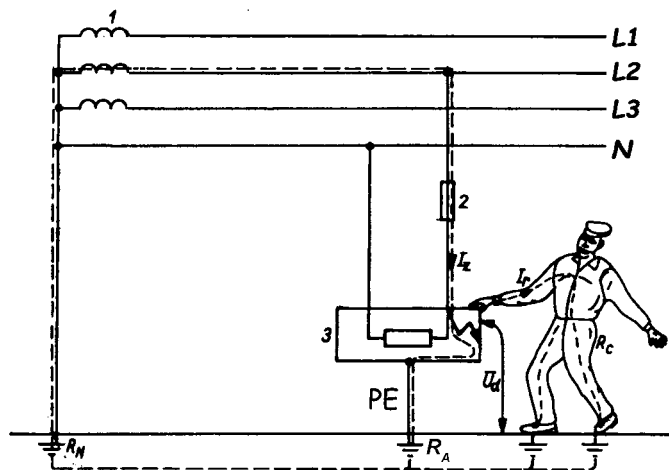
Oznacza to, że ich wykonanie odpowiada warunkom **II klasy ochronności**. Korzystanie z takich odbiorników jest równie pożądane, jak stosowanie urządzeń w obudowach z materiałów izolacyjnych.

Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona przy uszkodzeniu) przez samoczynne wyłączenie zasilania wykorzystuje zabezpieczenia instalacyjne, przy czym jej rozwiązanie zależy od układu sieci zasilającej i instalacji. Istnieją w zasadzie dwa rodzaje tych rozwiązań:

1. Tworzy się takie warunki dla zwarć fazowych, by w razie uszkodzenia izolacji podstawowej w chronionych urządzeniach popłynął prąd zwarciový powodujący dostatecznie szybkie zadziałanie zabezpieczeń nadprądowych i wyłączenie spod napięcia obwodu zasilającego uszkodzone urządzenie.

2. Przez pomiar prądu upływowego z urządzeń odbiorczych do ziemi powoduje się natychmiastowe zadziałanie wyłącznika samoczynnego w obwodzie zasilającym te urządzenia po przekroczeniu określonej wartości prądu upływowego.

Stosując ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie typu **TT**, części przewodzące dostępne powinny być przyłączone do uziomów ochronnych. Oznacza to uziemienie metalowych obudów odbiorników i elementów instalacji, jak pokazano na rysunku 43. Rozwiązanie takie dawniej nazywano uziemieniem ochronnym. Ten sposób ochrony jest wykorzystywany w instalacjach wiejskich niezmiennie rzadko i tylko we wsiach zelektryfikowanych do lat pięćdziesiątych, a to dlatego, że skuteczność takiej ochrony wymaga uziomów o rezystancji mniejszej niż $1\ \Omega$. To bowiem warunkuje, że w razie zwarcia z obudową odbiornika prąd zwarciový spowoduje zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego. Takie uziomy są jednak trudne do wykonania i kosztowne (uziomy sztuczne). Wówczas nie było na wsi rozległych, zakopanych w ziemi rur metalowych, np. wodociągowych, przydatnych jako uziomy naturalne o małej rezystancji.



Rys. 43. Ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu w układzie TT (dawniej uziemienie ochronne):

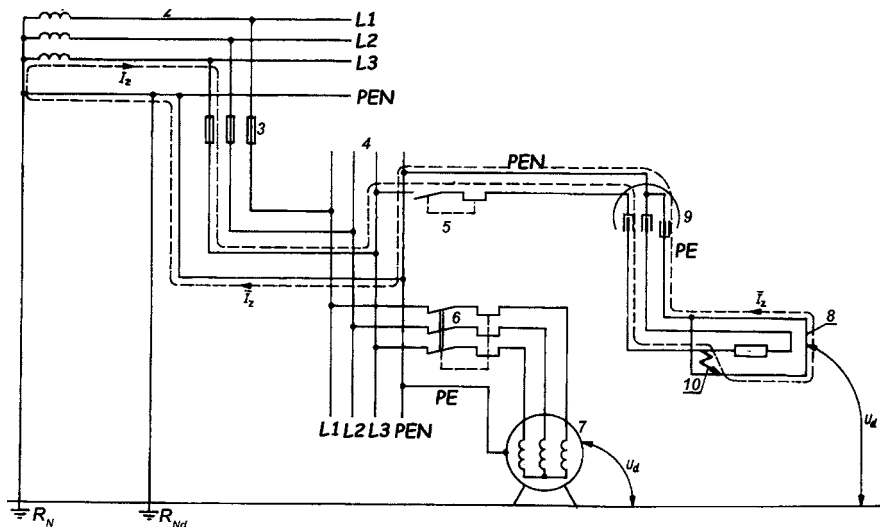
I – transformator zasilający sieć niskiego napięcia, 2 – zabezpieczenie nadprądowe, 3 – odbiornik w obudowie metalowej: I_k – prąd zwarciovowy, I_r – prąd rażeniowy, U_d – napięcie dotykowe, R_c – rezystancja ciała rażonego, R_N – rezystancja uziemienia funkcjonalnego (roboczego) punktu neutralnego transformatora, R_A – rezystancja uziemienia ochronnego

Instalacje wiejskie w ponad 95% są zasilane w układzie typu **TN**, a ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu polega na połączeniu części przewodzących dostępnych (metalowych obudów urządzeń odbiorczych) z uziemionym punktem neutralnym za pomocą przewodu ochronnego PE (lub PEN). Takie rozwiązanie nazywano uprzednio zerowaniem. Ma ono wady omówione w rozdziale 4.3, ale jest łatwe do zrealizowania i tanie.

Możliwe są trzy sposoby realizacji ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu w układach typu **TN**, różniących się sposobem prowadzenia przewodów PEN, PE i N:

- w układzie **TN-C** przez przyłączenie obudów urządzeń chronionych bezpośrednio do przewodu ochronno-neutralnego (rys. 44),
- w układzie **TN-S** przez zastosowanie do tych połączeń oddzielnego przewodu ochronnego, poprowadzonego wzdłuż całej instalacji w obiekcie,
- w układzie mieszanym **TN-C-S** przez zastosowanie takiego przewodu ochronnego tylko do części odbiorników w obiekcie (budynek), a sieć elektroenergetyczna zasilająca obiekt (budynek) ma wspólny przewód PEN.

Właśnie ten ostatni sposób jest spotykany niemal wyłącznie, przy czym osobny przewód ochronny **PE** stosuje się powszechnie w przewodach przyłączonych do wszystkich chronionych odbiorników ruchomych (przenośnych



Rys. 44. Ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu w układzie TN-C:

1 – transformator zasilający wiejską sieć niskiego napięcia, 2 – linia niskiego napięcia, 3 – zabezpieczenia nadprądowe w złączu, 4 – rozdzielnica w instalacji odbiorczej, 5 – zabezpieczenie nadprądowe (wyłącznik samoczynny) obwodu jednofazowego, które powinno zadziałać wskutek przepływu prądu zwarciovego, 6 – zabezpieczenie nadprądowe (wyłącznik samoczynny) obwodu trójfazowego, 7 – silnik, 8 – grzejnik, 9 – gniazdo wtyczkowe, 10 – zwarcie pełne z obudową grzejnika, I_z – prąd zwarciový na skutek uszkodzenia izolacji w grzejniku, U_d – napięcie dotykowe, R_B – uziemienie punktu neutralnego transformatora, R_{B1} – dodatkowe uziemienie przewodu ochronno-neutralnego linii niskiego napięcia

lub przewoźnych). W tym przypadku podział przewodu PEN na przewody PE i N dokonuje się w gniazdach wtyczkowych.

W dążeniu do poprawy warunków bezpieczeństwa pod względem porażeniowym zaczęto od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku upowszechniać w krajach zachodnich stosowanie **wyłączników ochronnych różnicowoprądowych** (oznaczanych symbolem ΔI), zwłaszcza w instalacjach wiejskich. W wyłącznikach tych wykorzystuje się jako człon pomiarowy przekładnik Ferrantiego, który wytwarza napięcie proporcjonalne do prądu upływowego z zabezpieczonego obwodu instalacyjnego. Napięcie to wykorzystywane jest do wyzwiania wyłącznika samoczynnego, zamontowanego zwykle na wyprowadzeniu obwodu z rozdzielnicy.

Konstrukcja wyłączników ochronnych tego typu podlegała różnym modyfikacjom w miarę pojawiania się coraz doskonalszych materiałów ferromagnetycznych oraz układów elektronicznych. W rezultacie uzyskano urządzenie

bardzo czułe i pewne w działaniu, o zwartej budowie i stosunkowo tanie, które jest ze znanych dotychczas najdoskonalszym środkiem ochrony przeciwporażeniowej.

Stosownie do tego zmieniały się wymagania techniczne dotyczące środków ochrony przed porażeniem prądem w urządzeniach odbiorczych prądu przemennego. Wprowadzono obowiązek powszechnego stosowania wyłączników ochronnych różnicowoprądowych w instalacjach wiejskich zarówno w domach mieszkalnych, jak też w obiektach gospodarskich i na dworze.

Obecnie dostępne są na rynku wyłączniki ochronne różnicowoprądowe o bardzo dużej tzw. **czułości**, wyłączające obwód w razie pojawienia się prądu upływowego o bardzo małej wartości (nawet 10 i 30 mA). Działają one niemal natychmiastowo, bo w czasie krótszym niż 0,04 s. Takie bardzo czułe wyłączniki ochronne różnicowoprądowe o znamionowym prądzie różnicowym nie większym od 30 mA mogą zatem chronić przed porażeniem ludzi i zwierzęta, również przy bezpośrednim dotknięciu części czynnych urządzeń elektrycznych, pozostających stale pod napięciem. Uzupełniają one w tym przypadku ochronę przed dotykiem bezpośrednim.

Uznaje się je za szczególnie skuteczny środek ochrony przed dotykiem pośrednim i to szczególnie w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniowego. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim jest uzupełniającą, cenną zaletą tego rozwiązania. Chodzi o to, by nie dopuszczać do użytkowania urządzeń w metalowej obudowie lub osłonie z uszkodzoną izolacją podstawową, jakby czyhającego na użytkownika nieświadomego zagrożenia. Wyłącznik ochronny wymaga zawsze stosowania w instalacjach układu TN-S.

Połączenia wyrównawcze pełnią podobną szczególnie korzystną funkcję ochronną, uzupełniającą inne zastosowane środki ochrony przeciwporażeniowej. Dotyczy to zwłaszcza warunków zwiększonego zagrożenia porażeniowego występujących w łazienkach, ciasnych pomieszczeniach wyposażonych w liczne urządzenia z metalową obudową lub w pomieszczeniach hodowlanych. Nieuziemione przewody połączeń wyrównawczych powinny łączyć wszystkie części przewodzące jednocześnie dostępne urządzeń elektrycznych i innych. Mogą to być przewody ochronne, części przewodzące zarówno dostępne, jak i obce, które mogą być dotknięte przez ludzi lub zwierzęta.

Taka **ekwipotentjalizacja** (wyrównanie potencjału) zapobiega pojawianiu się niebezpiecznych napięć dotykowych w chronionym obszarze, nawet w przypadku wystąpienia w całym układzie połączeń napięcia względem ziemi wskutek uszkodzenia izolacji w którymś urządzeniu elektrycznym, przepięć od instalacji piorunochronnej lub z innych przyczyn. Należy jednak zadbać, by inne zabezpieczenia zapobiegały trwałemu utrzymywaniu się takiego stanu.

4.3. Ochrona przy uszkodzeniu w układzie TN-C

Ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu urządzenia przed niebezpiecznym napięciem przy dotyku pośrednim (dawne zerowanie) w instalacjach zasilanych z sieci 230/400 V w układzie TN polega na przyłączeniu do przewodu ochronno-neutralnego bezpośrednio lub za pomocą odcinka przewodu ochronnego – przewodzącej (metalowej) obudowy każdego podlegającego ochronie odbiornika i elementu instalacji. Jest to ochrona przez wyłączenie zasilania (dawniej nazywane zerowaniem).

W tak realizowanej ochronie dąży się do zmniejszenia **impedancji pętli zwarciowej**, czyli obwodu zwarcia przewodu fazowego z przewodem ochronnym lub częścią przewodzącą dostępną wskutek uszkodzenia izolacji podstawowej w chronionym urządzeniu. Powinno to wywołać przepływ prądu zwarciowego, który spowoduje zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego i wyłączenie uszkodzonego urządzenia.

Warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie jest spełniony, gdy

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

przy czym:

Z_s – impedancja pętli zwarciowej, w Ω ,

I_a – prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia ochronnego, w A,

U_0 – napięcie nominalne instalacji względem ziemi, w V.

Czas wyłączenia obwodów odbiorczych zasilających urządzenia I klasy ochronności ręczne lub przenośne powinien być krótszy niż 0,4 s w warunkach środowiskowych normalnych, a krótszy niż 0,2 s w warunkach środowiskowych stwarzających zwiększone zagrożenie przy napięciu 230 V.

Na rysunku 44, na uproszczonym schemacie linii niskiego napięcia oraz instalacji z odbiornikiem, w którym powstało zwarcie przewodu fazowego z metalową obudową, zaznaczono drogę przepływu prądu zwarciowego pod działaniem napięcia fazowego w transformatorze zasilającym sieć niskiego napięcia. Wartość prądu w obwodzie zwarcia jest ograniczana przez impedancję przewodów: fazowego i ochronno-neutralnego oraz impedancję miejsca zwarcia.

Im bliżej zacisku odbiornika występuje zwarcie (zwarcie pełne), tym większy jest prąd zwarciowy, a napięcie dotykowe wyższe niż 100 V, ale tym pewniej i szybciej następuje wyłączenie zasilania. Natomiast im bliżej punktu neutralnego odbiornika zostaje uszkodzona izolacja podstawowa lub im większa jest rezystancja w miejscu zwarcia, tym mniejszy jest prąd zwarciowy oraz

tym niższe napięcie dotykowe, aż do niegroźnego poziomu, gdy wartość prądu jest na tyle mała, że nie spowodowałaby zadziałania zabezpieczenia nadprądowego.

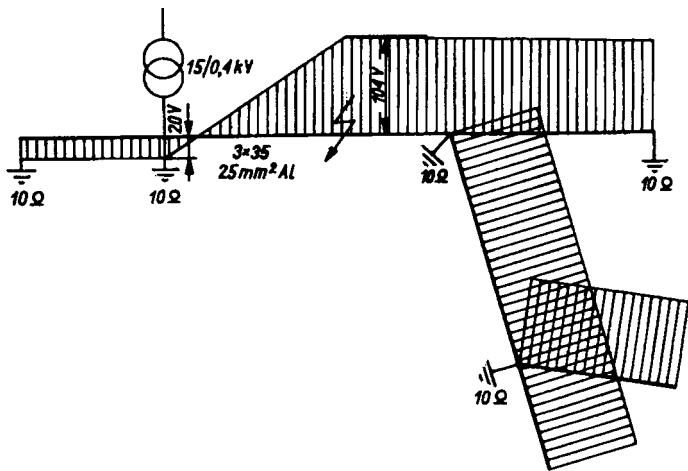
Można by więc uznać omówione rozwiązanie ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu za satysfakcjonujące. Mogą się jednak zdarzyć przypadki bardzo groźne, gdy przy pełnym zwarciu w urządzeniu chronionym nie zadziała zabezpieczenie nadprądowe. Wówczas bowiem nie tylko na obudowie tego urządzenia utrzymuje się napięcie dotykowe wyższe niż 100 V, lecz także przenosi się ono przewodem ochronno-neutralnym na przyłączone do tego przewodu obudowy innych, nieuszkodzonych urządzeń we wszystkich obwodach odbiorczych.

Długie linie niskiego napięcia, a niekiedy również długie obwody instalacyjne są powodem występowania dużej impedancji pętli zwarciorowej, ograniczającej wartości prądu zwarciorowego, co obniża pewność szybkiego działania zabezpieczeń nadprądowych przy zwarciach jednofazowych. Wynika z tego obowiązek sprawdzania **skuteczności ochrony** przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim). Polega on na pomiarze impedancji obwodu zwarciorowego w najdalszych punktach od zasilania i sprawdzeniu, czy najbliższe zabezpieczenia nadprądowe zadziałają dostatecznie szybko przy ewentualnym zaistnieniu zwarcia.

Badania takie są konieczne, zwłaszcza przy zwiększaniu mocy użytkowanych urządzeń odbiorczych i wymianie zabezpieczeń na „mocniejsze”. Jeśli warunek skuteczności ochrony nie jest spełniony, należy przebudować instalację w celu zastosowania przewodów o większych przekrojach (dla zmniejszenia ich rezystancji). Przydałoby się nawet zwiększenie przekrojów przewodów w liniach niskiego napięcia lub bardziej radykalna przebudowa sieci niskiego napięcia przez dobudowanie dodatkowych stacji transformatorowych i skrócenie długości obwodów sieci niskiego napięcia do odbiorców. Samowolna wymiana zabezpieczeń nadprądowych na inne o większej wartości prądu znamionowego, jak również „naprawianie” bezpieczników topikowych w podobnym celu jest karygodne, może bowiem stworzyć zagrożenie porażeniem nie tylko samego sprawcy i jego rodziny, lecz także sąsiadów.

Przewód ochronno-neutralny w sieci niskiego napięcia jest elementem obwodów elektrycznych, przez który płynie prąd wyrównawczy zależnie od obciążenia poszczególnych faz i różnych zdarzeń eksploatacyjnych. Na przewodzie tym – mimo jego uziemienia – występuje pewne napięcie względem ziemi, zmieniające się w czasie i zróżnicowane na długości poszczególnych linii. W normalnych warunkach pracy sieci napięcie to ma niewielką wartość i przyłączanie do przewodu ochronno-neutralnego metalowych obudów urządzeń odbiorczych nie stwarza zagrożenia porażeniem prądem od tych urządzeń.

Jednak takie zagrożenie może powstać, na przykład przy przerwaniu ciągłości połączeń lub samego przewodu ochronno-neutralnego oraz przy doziemieniu przewodu fazowego (rys. 45). Na rysunku zaznaczono wielokrotne uziemienie przewodu PEN w sieci. Jest to warunek wymagany ze względu na stosowanie ochrony przeciwporażeniowej z wykorzystaniem szybkiego wyłączenia zwarć jednofazowych. Rezystancja tych uziemień powinna być mniejsza niż $30\ \Omega$. Na rysunku podano rezystancję $10\ \Omega$ ze względu na to, że uziomy te wykorzystuje się jednocześnie do ochrony przeciwprzepięciowej przez ograniczniki iskiernikowe zainstalowane na słupach.



Rys. 45. Rozkład napięcia względem ziemi na przewodzie neutralnym w przykładowej sieci niskiego napięcia przy zwarciu przewodu fazowego z przewodem ochronno-neutralnym w zaznaczonym miejscu

W celu złagodzenia skutków przerwy w przewodzie ochronno-neutralnym PEN (ze względu na rozkład napięcia na tym przewodzie względem ziemi) wymaga się jego wielokrotnego uziemiania w całej sieci, w odstępach nie większych niż 500 m i na końcach linii. Najniebezpieczniejsza jest bowiem przerwa w ciągłości przewodu PEN w takim miejscu, że pozostaje część nieuziemia, do której są przyłączone odbiorniki jednofazowe. Część ta po załączeniu choćby jednego z tych odbiorników znajdzie się pod niebezpiecznym napięciem względem ziemi, przenosząc to napięcie na obudowy wszystkich urządzeń, dołączone do tej części przewodu ochronno-neutralnego.

Obecnie z tego względu jest obowiązkowe stosowanie osobnego przewodu ochronnego PE (w układzie TN-S) na całej długości obwodów instalacyjnych, począwszy od złącza lub rozdzielnic głównej, gdzie powinno być wykona-

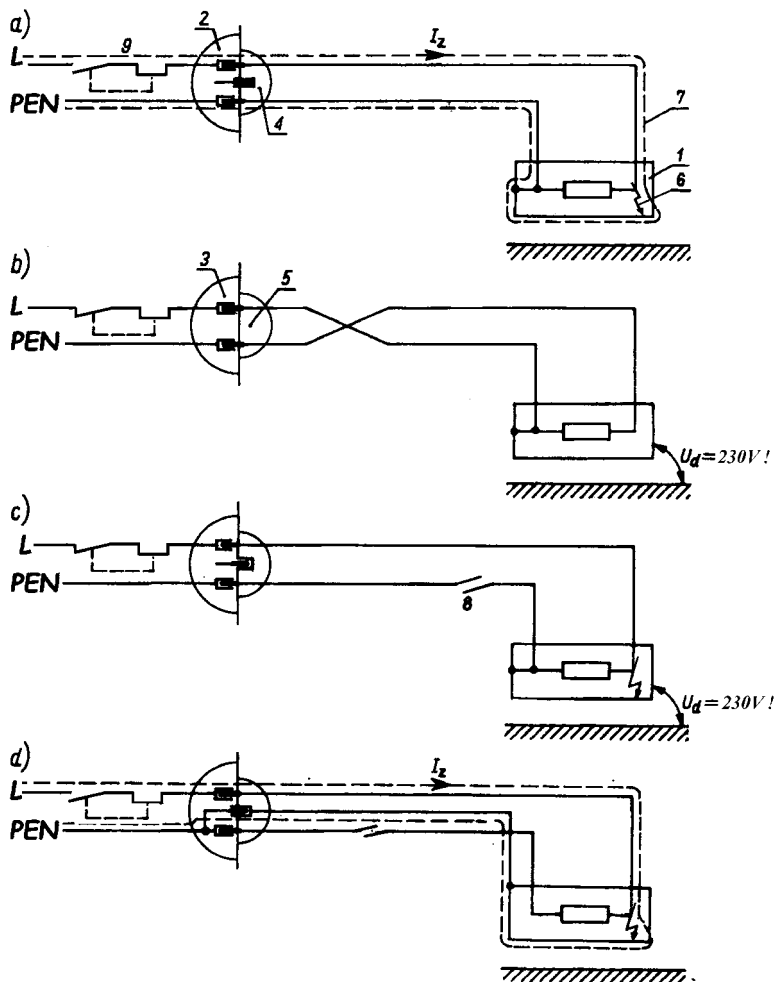
ne uziemienie przewodu ochronno-neutralnego. Dawniej względy oszczędnościowe powodowały, że tylko w przewodach do odbiorników ruchomych, w których często zdarzają się przerwy żył tych przewodów, wymagano zawsze, by miały one osobną żyłę ochronną, dołączoną do metalowej obudowy odbiornika z jednej strony i do przewodu ochronno-neutralnego w instalacji stałej w gnieździe wtyczkowym (układ **TN-C-S**) z drugiej strony.

To drugie połączenie wymaga dodatkowego styku ochronnego w gnieździe wtyczkowym i wtyczce. Najczęściej stosuje się taki sposób, że gniazdo jest wyposażone w długi bolec wtykowy, a wtyczka w odpowiednią tuleję wtykową (rys. 46). Bolec w gnieździe jest dłuższy od bolców stykowych we wtyczce, co powoduje, że połączenie przewodu ochronnego następuje przed zetknięciem się styków przewodów: fazowych i neutralnego. Połączenie przewodu ochronnego z neutralnym jest wykonane za pomocą metalowej blaszki, tzw. mostka, w samym gnieździe wtyczkowym.

Takie rozwiązanie konstrukcyjne zapobiega pomyłkowemu zestawieniu połączeń styków. Umożliwia także przyłączenie odbiorników II klasy ochronności (z izolacją podwójną lub wzmocnioną) lub z obudową izolowaną, bez żyły ochronnej w przewodzie zasilającym, zakończonym taką samą wtyczką z otworem na bolec ochronny. Spotyka się gniazda i wtyczki ze stykami ochronnymi w innym, starszym wykonaniu, np. umieszczonymi na zewnętrznej powierzchni wtyczki i wewnętrznej w gnieździe; takie rozwiązanie nie jest jednak tak uniwersalne, jak omówione poprzednio.

Przy przerwie przewodu ochronno-neutralnego w sieci – co jest łatwo dostrzegalne – napięcie na tym przewodzie względem ziemi nie osiąga tak dużych wartości (częste uziemienia), jak przy przerwie tego przewodu w instalacji, przy czym zależy to od miejsca przerwy, mocy przyłączonych odbiorników jednofazowych i rezystancji uziemień. Może się jednak zdarzyć, że na metalowych obudowach nieuszkodzonych urządzeń, połączonych z przewodem PEN dla zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim, wystąpią niebezpieczne napięcia dotykowe, a urządzenia nie zostaną samoczynnie wyłączone. Z tego wynika zakaz stosowania zabezpieczeń w przewodzie ochronno-neutralnym (np. bezpieczników topikowych), które mogłyby spowodować przerwę w tym przewodzie, oraz zalecenie szczególnie starannego wykonania połączeń tego przewodu.

Równie niebezpieczne, choć rzadko się zdarzające, są doziemienia przewodu fazowego w sieci lub instalacjach. Wówczas na przewodach ochronno-neutralnych i na długich odcinkach wielu linii zasilanych z jednej stacji transformatorowej oraz na metalowych obudowach chronionych urządzeń odbiorczych zasilanych z tych linii mogą występować napięcia nawet wyższe niż np. 100 V, aż do czasu zadziałania odpowiednich zabezpieczeń w rozdzielniczy niskiego napięcia w stacji transformatorowej.



Rys. 46. Przykłady stosowania gniazd wtyczkowych w układach TN-C i TN-C-S do zasilania odbiornika jednofazowego (np. grzejnika) z metalową obudową: a) gniazdo ze stykiem ochronnym, jednak bez dodatkowego przewodu ochronnego (układ TN-C); b) w razie mylnego włożenia wtyczki bez styku ochronnego w układzie TN-C; c) w razie przerwy w przewodzie ochronno-neutralnym i uszkodzenia izolacji w odbiorniku; d) jak c), lecz z zastosowaniem dodatkowego przewodu ochronnego (system TN-C-S):

I – odbiornik, 2 – gniazdo wtyczkowe ze stykiem ochronnym, 3 – gniazdo bez styku ochronnego, 4 – wtyczka ze stykiem ochronnym (tulejką stykową), 5 – wtyczka bez styku ochronnego, 6 – zwarcie pełne w odbiorniku z jego obudową, 7 – obwód prądu zwarciovego I_z , 8 – miejsce przerwy żyły przewodu, 9 – zabezpieczenie nadprądowe (wyłącznik nadprądowy) obwodu po zadziałaniu wskutek przepływu prądu zwarciovego

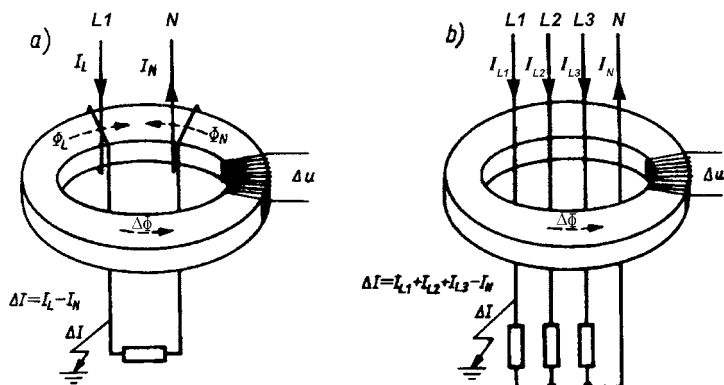
Wiele wypadków porażen ludzi i zwierząt zdarza się na skutek zamiany przewodu PEN z fazowym podczas remontów instalacji (zwłaszcza przy zasilaniu innych budynków). Wtedy na metalowych obudowach chronionych urządzeń stacjonarnych pojawia się pełne napięcie 230 V i utrzymuje się długo.

Jak wynika z powyższego omówienia zagrożeń porażeniem pochodzących od urządzeń z metalową obudową, przyłączoną do przewodu ochronno-neutralnego (i to bez uszkodzonej izolacji podstawowej), przy wszelkich pracach elektromontażowych w instalacjach i sieciach, w których stosuje się taką ochronę przed dotykiem pośrednim, należy zwracać szczególną uwagę na sprawdzenie skuteczności tej ochrony i na możliwe, poważne konsekwencje ewentualnych pomyłkowych połączeń.

4.4. Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe w układzie TN-S

Wyłączniki takie zalicza się do urządzeń szybkiego samoczynnego wyłączenia zasilania odbiorników. Stosuje się je jako środek ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim). Działają one zależnie od wystąpienia prądów upływowych do ziemi w obwodach objętych ochroną.

Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe są zbudowane podobnie jak wyłączniki samoczynne nadprądowe omówione w rozdziale 3.1, z tym, że zadziałanie ich jest wywoływane przez napięcie w uzwojeniu wtórnym sumu-



Rys. 47. Zasada budowy przekładnika różnicowego (Ferrantiego): I_L , I_N – prąd odpowiednio w przewodzie fazowym i neutralnym, ΔI – prąd upływowy poza obwód instalacyjny, Φ_L , Φ_N – strumienie magnetyczne indukowane w rdzeniu od prądu w przewodach fazowym i neutralnym, $\Delta\Phi$, Δu – różnicowy strumień magnetyczny i wyindukowane napięcie w cewce pomiarowej

jącego przekładnika prądowego, zwanego przekładnikiem Ferrantiego. Przekładnik ten (rys. 47) ma rdzeń toroidalny, wykonany ze specjalnego materiału ferromagnetycznego o bardzo dużej przenikalności magnetycznej. Przez okno rdzenia przechodzą przewody fazowe i przewód neutralny, a omija je przewód ochronny. Na rdzeniu jest nawinięta w tym samym kierunku jednakowa liczba zwojów każdego przewodu fazowego i neutralnego, tworzących uzwojenie pierwotne oraz dodatkowe wielozwojowe uzwojenie wtórne. Uzwojeń pierwotnych jest tyle, ile przewodów ma obwód instalacyjny, łącznie z przewodem neutralnym, a więc cztery w układzie trójfazowym i dwa – w jednofazowym. Tak wykonane uzwojenie jest włączone szeregowo w obwód instalacyjny.

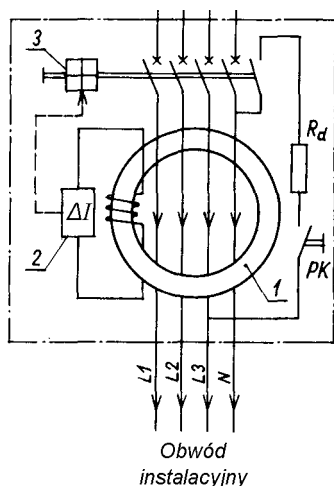
Wytwarzane w rdzeniu przekładnika przez uzwojenie pierwotne strumienie magnetyczne są proporcjonalne do wartości prądu w poszczególnych przewodach. Gdy nie występuje uszkodzenie izolacji i nie płynie prąd upływowy, wówczas suma tych prądów jest równa zeru; również strumienie magnetyczne od poszczególnych uzwojeń (cewek) sumują się do zera. Tylko przy wystąpieniu prądu upływowego w obwodzie instalacyjnym za miejscem włączenia przekładnika Ferrantiego powstaje różnicowy strumień magnetyczny, który we wtórnym uzwojeniu pomiarowym indukuje siłę elektromotoryczną, a ta wytwarza napięcie proporcjonalne do wartości prądu upływowego. Napięcie to wykorzystuje się do samoczynnego wyłączania wyłącznika.

Na rysunku 48 pokazano w sposób uproszczony zasadę budowy wyłącznika różnicowoprądowego trójfazowego o działaniu bezpośrednim. Charakteryzuje się ona tym, że napięcie w uzwojeniu wtórnym przekładnika Ferrantiego jest podane bezpośrednio na cewkę mechanizmu zamka wyłącznika powodującego jego wyłączenie. Konstrukcja nowoczesnych wyłączników tego typu jest bardziej złożona, choć zasada rozwiązania pozostaje bez zmian.

W wyłącznikach o działaniu pośrednim stosuje się wzmacniacz elektroniczny na wyjściu uzwojenia wtórnego przekładnika. W ten sposób zwiększa się czułość wyłącznika. Takie rozwiązanie powoduje jednak, że wyłącznik nie zadziała w przypadku przerwy lub zaniku napięcia na wzmacniaczu. Wady tej unika się, stosując dodatkowy układ z kondensatorem podtrzymującym napięcie na wzmacniaczu w razie zaniku napięcia zasilania.

Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe powinny spełniać następujące wymagania:

- wyłączać wszystkie przewody czynne chronionego obwodu instalacyjnego (łącznie z przewodem neutralnym),
- działać w czasie krótszym niż 0,2 s, jeśli nie wymaga się opóźnienia działania,
- zapewniać stopień bezpieczeństwa równoważny II klasie ochronności,
- umożliwiać łatwe sprawdzenie sprawności ich działania.



Rys. 48. Konstrukcja wyłącznika ochronnego różnicowoprądowego:

1 – przekładnik prądowy, 2 – przekaźnik różnicowoprądowy, 3 – zamek wyłącznika, PK – przycisk kontrolny, R_d – opornik ograniczający prąd zwarciový

Ten ostatni warunek spełnia przycisk kontrolny, pokazany na rys. 48, za pomocą którego wykonuje się sztuczne zwarcie fazowe bezpośrednio za wyłącznikiem, poprzez opornik o dużej rezystancji. Powinno to spowodować zadziałanie wyłącznika; w przeciwnym razie stwierdza się, że jest on uszkodzony.

Pod względem czułości działania podawanej przez wytwórcę jako znamionowy prąd różnicowy $I_{\Delta n}$ (wartość prądu upływowego, która powinna spowodować zadziałanie) rozróżnia się dwa rodzaje wyłączników: o wysokiej czułości, zwykle 30 mA, a niekiedy 6 i 10 mA, a także o małej czułości 300 i 500 mA. W przypadku wyłączników o małej czułości powinno być możliwe ich działanie z opóźnieniem nawet do 1 s.

Aby spełnić warunek zadziałania wyłącznika w każdym przypadku uszkodzenia izolacji w urządzeniach z metalową obudową, wymaga się stosowania osobnych przewodów ochronnych PE, ułożonych na całej długości obwodów instalacyjnych. Przewody te powinny być izolowane i nie mogą być połączone z przewodem neutralnym za wyłącznikiem (od strony zasilania), Mogłoby to bowiem doprowadzić do niezadziałania wyłącznika przy wystąpieniu prądu upływowego do ziemi, gdyż wtedy prąd różnicowy nie płynąłby w przekładniku pomiarowym wyłącznika ochronnego.

Przewód ochronny PE doprowadzony do wszystkich urządzeń elektrycznych z metalową obudową, przyłączonych do chronionego obwodu instalacyjnego, powinien być uziemiony, a więc przyłączony do uziemionego punktu neutralnego. Dzięki takim połączeniom tworzy się metaliczna pętla zwarciová przy uszkodzeniu.

Czas samoczynnego wyłączenia zasilania może być dłuższy, nawet do 5 s, gdy spadek napięcia na przewodzie ochronnym będzie niższy niż najwyższe dopuszczalne napięcie dotykowe U_L . Wymaga to spełnienia warunku

$$Z_{PE} \leq (U_L/U_0) Z_s$$

w którym:

Z_{PE} – impedancja przewodu ochronnego na odcinku między rozdzielnicą a główną szyną uziemiającą, w Ω ,

U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale równe 50 lub 25 V, zależnie od warunków środowiska,

U_0 – napięcie nominalne instalacji względem ziemi, w V,

Z_s – impedancja pętli zwarciowej, w Ω .

Chodzi o to, by na obwodach chronionych urządzeń nie mogło utrzymać się napięcie dotyku przekraczające wartości dopuszczalne.

Do najważniejszych zalet stosowania wyłączników różnicowoprądowych należy:

- skuteczność ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przez samoczynne wyłączenie zasilania w każdych, nawet bardzo trudnych warunkach środowiskowych – w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniowego,

- z zastosowaniem wyłączników wysokoczułych (o prądzie $I_{\Delta n} \leq 30$ mA) zapewnienie ochrony uzupełniającej od porażień przy bezpośrednim dotyku do części czynnych urządzeń elektrycznych,

- spełnienie jednoczesnej ochrony przed pożarami od urządzeń elektrycznych przy $I_{\Delta n} \leq 500$ mA,

- duża pewność działania i łatwa kontrola skuteczności ochrony,

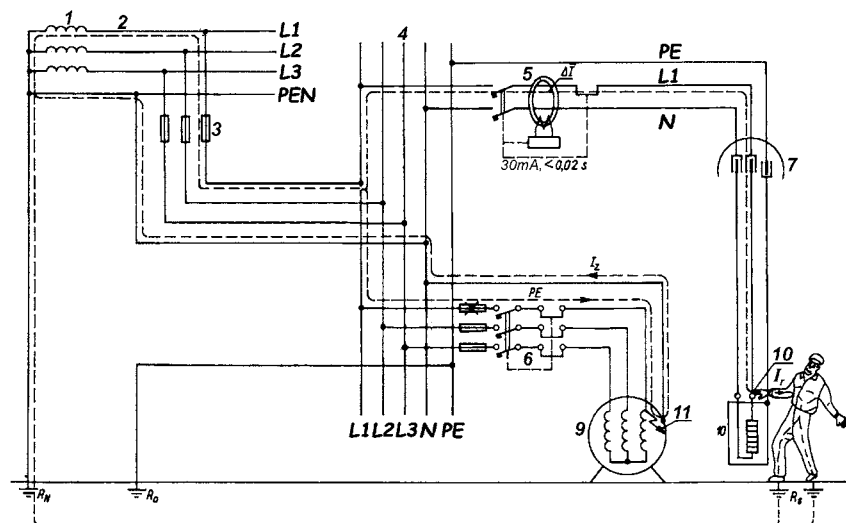
- działanie niezależne od układu i warunków eksploatacyjnych sieci zasilającej niskiego napięcia,

- możliwość zastosowania w poszczególnych obwodach instalacyjnych, niezależnie od środków ochrony przeciwporażeniowej w innych obwodach, co umożliwia stopniowe wprowadzenie tego sposobu ochrony aż do objęcia nim całych instalacji i to bez potrzeby przebudowy sieci zasilającej.

W instalacjach o złym stanie technicznym nie można jednak stosować wyłączników ochronnych różnicowoprądowych, a zwłaszcza wysokoczułych. Instalacje takie charakteryzują się dużą upływnością, a przez częste zadziałanie uniemożliwią one w ogóle użytkowanie urządzeń elektrycznych. W warunkach wiejskich, przede wszystkim w budynkach gospodarskich i obejściach zagród, prąd upływowy może być nawet większy niż 500 mA.

W tych przypadkach oprócz właściwego stanu izolacji podstawowej w instalacjach i wyeliminowania uszkodzonych odbiorników, należy zwiększyć liczbę obwodów instalacyjnych po to, aby obejmowały one mniejsze fragmenty instalacji i zasilaly mniej odbiorników.

Na rysunku 49 przedstawiono rozwiązanie ochrony przeciwporażeniowej



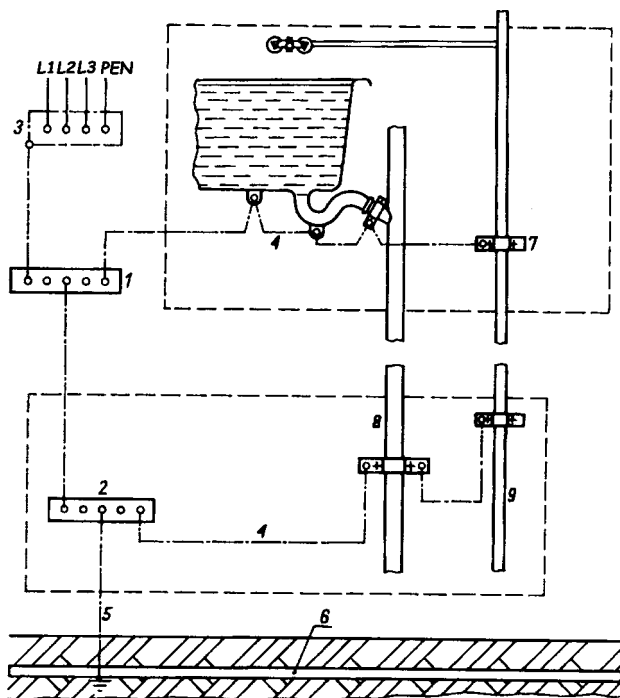
Rys. 49. Działanie wyłącznika ochronnego różnicowoprądowego w obwodzie odbiorczy instalacji w układzie TN-C-S:

1 – transformator zasilający wiejską sieć niskiego napięcia, 2 – linia niskiego napięcia, 3 – bezpieczniki topikowe w złączu, 4 – szyny zbiorcze w rozdzielnicy głównej w instalacji, 5 – wyłącznik ochronny różnicowoprądowy obwodowy, 6 – wyłącznik samoczynny silnika, 7 – gniazdo wtyczkowe ze stykiem ochronnym, 8 – silnik, 9 – grzejnik w metalowej obudowie, 10 – nieosłonięty zacisk przyłączeniowy, 11 – zwarcie z obudową silnika, R_N – uziom transformatora, R_o – uziom przewodu ochronnego w instalacji, I_Δ – prąd zwarcia w silniku, I_ϕ – prąd rażeniowy, ΔI – prąd upływowy z instalacji do ziemi

przez samoczynne wyłączenie zasilania z zastosowaniem wyłącznika ochronnego różnicowoprądowego. W obwodzie w układzie TN-S, zasilającym urządzenia użytkowane w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem prądem, wykorzystano wyłącznik różnicowoprądowy wysokoczuły o prądzie $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$. Dla zrealizowania tej ochrony konieczne było poprowadzenie osobnego przewodu ochronnego PE do rozdzielnicy. Został on uziemiony zgodnie z warunkami poprawnego działania wyłącznika różnicowoprądowego. W układzie TN-C pozostawiono zarówno ochronę silnika przez zabezpieczenia nadprądowe, jak i połączenie obudowy silnika – oddzielnym przewodem – z przewodem neutralnym w rozdzielnicy. Ochronę przed zagrożeniem pożarem od prądów upływowych do ziemi wskutek uszkodzenia lub osłabienia izolacji w instalacji i odbiornikach realizuje się, stosując wyłącznik ochronny różnicowoprądowy o małej czułości $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA}$ jako główny w całej instalacji. Spełnia on jednocześnie funkcję samoczynnego wyłączenia zasilania w ochronie przed dotykiem pośrednim.

4.5. Połączenia wyrównawcze

W ochronie przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim realizowanej przez samoczynne wyłączenie zasilania funkcję uzupełniającą pełnią połączenia wyrównawcze. Zapewniają skuteczność ochrony i dlatego odgrywają niezmiernie ważną rolę we wszystkich pomieszczeniach, gdzie ludzie lub zwierzęta hodowlane znajdują się w otoczeniu wielu przedmiotów metalowych, należących zarówno do urządzeń elektrycznych, jak też innych instalacji nie-elektrycznych, np. wodociągowych, grzewczych, gazowych, kanalizacyjnych w budynkach mieszkalnych, a ponadto technologicznych w budynkach inwentarskich. Połączenia te uniemożliwiają pojawienie się niebezpiecznych napięć dotykowych między jednocześnie dostępnymi częściami przewodzącymi tych urządzeń.



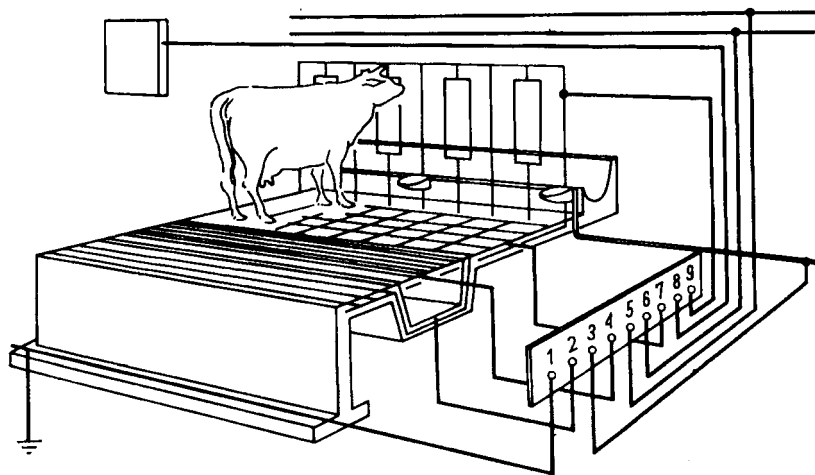
Rys. 50. Połączenia wyrównawcze w budynku mieszkalnym:

1, 2 – szyna wyrównawcza w piwnicy i na parterze, 3 – rozdzielnica lub złącze w skrzynce metalowej, 4 – połączenie wyrównawcze PE, 5 – przewód uziemiający, 6 – zbrojenie fundamentu, 7 – obejma przyłączeniowa, 8 – żeliwna rura kanalizacyjna, 9 – rura wodociągowa

Wykonywanie połączeń wyrównawczych zaleca się również w tych przypadkach, gdy nie jest możliwe stosowanie innych środków ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim. Stanowią one wtedy jedyny środek umożliwiający bezpieczne użytkowanie urządzeń elektrycznych. Ważne jest także, że rozwiązanie to jest niezależne od innych środków ochrony i może być realizowane w każdych warunkach, byle rozsądnie i starannie.

Połączenia wyrównawcze polegają na bezpośrednim połączeniu galwanicznym (tj. dobrze przewodzącym prąd elektryczny) ze sobą wszystkich części przewodzących: części dostępnych (metalowych obudów odbiorników) oraz części obcych (metalowych części urządzeń nieelektrycznych, np. elementów konstrukcji), a także przewodów ochronnych **PE** i przewodów uziemiających instalacji elektrycznych. Połączenia takie wykonuje się przewodami o odpowiednim przekroju, dostatecznie wytrzymałymi mechanicznie, oznaczonymi symbolem **PE**. Zwykle łączy się je za pośrednictwem **szyny wyrównawczej** (zestawu zacisków), którą może być na przykład główna szyna uziemiająca. Połączenia te wyrównują potencjały na przedmiotach przewodzących połączonych ze sobą.

Są one realizowane jako **połączenia wyrównawcze główne** i **dodatkowe (miejscowe)**. Pierwsze dotyczą całej instalacji i są na ogół wykonane w pobliżu złącza, najczęściej w najniższej kondygnacji budynku (rys. 50). Zwykle



Rys. 51. Połączenia wyrównawcze w oborze

Oznaczenia zacisków szyny wyrównawczej: 1 – uziom, 2 – zbrojenie kanału nawozowego, 3 – rurociąg wodny do poideł, 4 – rama rusztu nawozowego, 5 – rurociąg do mleka, 6 – przewód próżniowy dojarek, 7 – zbrojenie płyty podłogowej, 8 – instalacja przeciwprzepięciowa, 9 – wiazadła

wykorzystuje się główną szynę uziemiającą, do której przyłącza się przewody uziemiające oraz przewody ochronne **PE** lub ochronno-neutralne **PEN**, zależnie od rozwiązania ochrony przeciwporażeniowej. Do takiej szyny za pomocą połączeń wyrównawczych **PE** przyłącza się metalowe rury i metalowe urządzenia instalacji wodociągowej, ściekowej, centralnego ogrzewania, gazu przewodowego oraz metalowe powłoki lub pancerze kabli energetycznych, a także metalowe elementy konstrukcji budynku, np. zbrojenie, jeśli tylko budynek został tak wykonany.

W pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu porażeniowym stosuje się dodatkowe połączenia wyrównawcze. Łączą one dostępne części przewodzące urządzeń elektrycznych, części przewodzące obce, przewody ochronne wszystkich urządzeń i metalowe elementy budowlane. Na rysunku 50 pokazano takie rozwiązanie w łazience, a na rysunku 51 – w oborze z wykorzystaniem miejscowej szyny wyrównawczej. Wszystkie połączenia powinny być wykonane w sposób pewny i trwały oraz zabezpieczone przed korozją.

5. Projektowanie instalacji

5.1. Ocena zakresu robót

Podjęcie prac instalacyjnych, niezależnie od ich zakresu, jest obciążone odpowiedzialnością za spowodowane tym ewentualne zagrożenie życia, zdrowia i mienia użytkowników instalacji elektrycznych oraz za nieprawidłowe działanie wykorzystywanych przez nich urządzeń. Świadomość tej odpowiedzialności, która może mieć skutki finansowe, a nawet karne w wypadku porażenia prądem lub pożaru, powinna skłaniać do w pełni świadomego i rzetelnego wykonywania przez elektryków wiejskich zleconych im zadań. Wymaga to nie tylko dokładnej znajomości odpowiednich norm i przepisów technicznych, lecz także rozumienia motywów oraz teoretycznego uzasadnienia poszczególnych postanowień tych dokumentów normalizacyjnych i aktów prawnych. Niezbędna jest również wiedza o wprowadzanych rozwiązaniach technicznych.

Jest to szczególnie ważne obecnie, w okresie stosowania nowych rozwiązań instalacyjnych. W przypadku realizowania instalacji w nowych budynkach sytuacja jest jednoznaczna, gdyż muszą one w całości odpowiadać postanowieniom Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, powoływanym w tych warunkach Polskim Normom, a w tym normie PN-IEC 60364 oraz zasadom wiedzy technicznej. W instalacjach wykonanych przed 1994 rokiem w przypadku napraw polegających tylko na wymianie uszkodzonego sprzętu, przeniesieniu go w inne miejsce lub poprawie stanu połączeń itp. jest zasadne spełnienie warunków technicznych obowiązujących w poprzednim okresie.

Natomiast przebudowa lub rozbudowa eksploatowanych od dawna instalacji wymaga rozstrzygnięcia, w jakim stopniu należy uwzględnić nowe wymagania techniczne, które w niedalekiej przyszłości powinny być spełnione w całej instalacji. Rozbudowując na przykład instalację w celu przyłączenia nowego odbiornika elektrycznego o mocy większej niż moc odbiorników dotychczas użytkowanych, należałoby się zastanowić, czy nie stworzyć nowego obwodu instalacyjnego i wykonać go zgodnie z nowymi zasadami. W domu mieszkalnym, przebudowując instalację w jednym z pomieszczeń, które wymaga generalnego remontu, a może nawet zmiany jego funkcji, należałoby podjąć

decyzję wykonania tej instalacji z uwzględnieniem nowych rozwiązań instalacji, a zwłaszcza ochrony przeciwporażeniowej.

Podobnie należałoby postąpić przy wymianie niesprawnej instalacji elektrycznej na przykład w chlewni lub kurniku. Może to wymagać przebudowy linii zasilającej oraz innego doprowadzenia zasilania do budynku, a nawet zastosowania nowej rozdzielniczy głównej. Z okazji remontu budynku obory warto się zastanowić nie tylko nad rozwiązaniem samej instalacji elektrycznej, lecz także zdecydować się na wykonanie połączeń wyrównawczych. Zapewne często pojawią się inne potrzeby, wymagające podjęcia decyzji o zakresie robót. Przyjęty sposób rozwiązania powinien odpowiadać warunkom technicznym późniejszej przebudowy całej instalacji przystosowanej do wymagań aktualnych norm.

Jak wiadomo, w nowych budynkach wykonanie instalacji powinno być oparte na zatwierdzonej we właściwym trybie dokumentacji projektowej, zawierającej między innymi szczegółowe plany instalacji oraz schematy ideowe zaprojektowanych rozwiązań instalacyjnych, za które pełną odpowiedzialność ponosi projektant. Natomiast bardzo rzadko przygotowuje się odpowiedni projekt przebudowy lub rozbudowy fragmentów czynnej instalacji. W takich przypadkach wykonawca powinien przeanalizować możliwe rozwiązania, dokonać niezbędnych obliczeń i zdecydować, jak ma być wykonane zlecone zadanie. Dlatego elektryk wiejski powinien mieć niezbędną wiedzę o projektowaniu instalacji elektrycznych oraz umiejętność wykonania niektórych czynności projektowych.

Dla wygody wykonawcy prac elektroinstalacyjnych, ale także na potrzeby użytkownika urządzeń odbiorczych jest celowe sporządzenie dokumentacji rozbudowy lub przebudowy instalacji. Byłoby również pożyteczne – gdy nie ma dokumentacji projektowej istniejącej instalacji – sporządzenie przynajmniej planów całej instalacji z uwzględnieniem dokonanych zmian. Dzięki temu elektryk wiejski mógłby się łatwo orientować w instalacji oraz mógł określić zadanie do wykonania przy przyjmowaniu dalszych zleceń. Mógłby on także ocenić, które zmiany wprowadzono po jego ostatniej usłudze, co może zapobiec odpowiedzialności w razie jakiegoś nieszczęśliwego wypadku.

W każdym przypadku rozbudowy instalacji elektrycznej należy przede wszystkim sprawdzić, czy:

- nie zostaną przekroczone wartości znamionowe prądu zabezpieczeń nadprądowych,
- nie trzeba wymieniać przewodów w obwodach na inne o większych przekrojach,
- spadki napięcia będą utrzymane w dopuszczalnych granicach,
- nie jest konieczne wystąpienie do przedsiębiorstwa energetycznego o zwiększenie przydziału mocy,
- nie zostaną naruszone warunki skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.

5.2. Podstawowe ustalenia

Projektowanie instalacji elektrycznych rozpoczyna się od ustalenia miejsc poboru energii elektrycznej, tzw. **wypustów instalacyjnych**. Są one potrzebne do zainstalowania urządzeń zawierających stałe odbiorniki elektryczne oraz do rozmieszczenia gniazd wtyczkowych, do których mają być przyłączone ruchome odbiorniki elektryczne. Należy przy tym określić moce wszystkich odbiorników, ich charakter (silnik, grzejnik, lampa, odbiornik radiowo-telewizyjny itp.), wymagane zasilanie (jedno- czy trójfazowe) oraz pory roku i dni, w których będą najprawdopodobniej załączane do pracy.

Wypusty do odbiorników instalowanych na stałe powinny być wykonane oddzielnie do każdego odbiornika, możliwie blisko miejsca zasilanego urządzenia. Dzięki temu przewody przyłączeniowe mogą być jak najkrótsze. Jest pożądané, aby były one dobrze ukryte, a przynajmniej zabezpieczone przed uszkodzeniem. W przypadku wypustów do gniazd wtyczkowych, z których zasilają się urządzenia przenośne lub ruchome, zaleca się nie ograniczać liczby tych gniazd. Obecnie w gospodarstwach wiejskich używa się coraz więcej takich urządzeń. Nie powinny one być zasilane za pomocą zbyt dużej liczby długich przewodów, przedłużaczy i rozgałęziaczy. W dodatku są one układane w sposób nieuporządkowany, co naraża je na uszkodzenia, a to z kolei grozi porażeniem prądem i niebezpieczeństwem pożaru.

Zaleca się w nowoczesnej kuchni instalować od 6 do 10 gniazd wtyczkowych, w jadalni, sypialni i pokoju wypoczynkowym – 4 do 6, a w przedpokoju, na klatce schodowej, na strychu i w garażu – co najmniej 1 do 2.

Dzięki tym ustaleniom można ocenić **zapotrzebowanie na moc** w poszczególnych obwodach instalacyjnych, liniach zasilających rozdzielnice i przyłączy. W obwodach zapotrzebowanie to odpowiada zwykle sumie mocy znamionowej przyłączonych odbiorników, zwanej **mocą zainstalowaną**. Jeżeli sprawia trudność ustalenie mocy dla gniazd wtyczkowych, to można przyjąć 100 W na każde gniazdo przeznaczone do przyłączania urządzeń o małej mocy w gospodarstwie domowym, a 250 W – w budynkach gospodarczych.

W przypadku linii zasilających rozdzielnice należy sumę mocy odbiorników zadeklarowanych przez użytkownika zwiększyć o co najmniej 20% dla umożliwienia późniejszej rozbudowy instalacji. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku dla gospodarstw domowych przewidywano następujące zapotrzebowanie na moc:

- 1 kW na izbę, lecz nie mniej niż 4 kW na mieszkanie w budynku z kuchnią węglową lub gazową;
- 7 kW na mieszkanie w budynku z kuchnią elektryczną i elektrycznym ogrzewaniem wody oraz po 300 W na każdą izbę na pozostałe odbiorniki;

– dodatkowo doliczano moc ogrzewaczy, np. akumulacyjnych, w razie stosowania ogrzewania elektrycznego.

W gospodarstwach rolnych do tych wartości mocy należy dodać moc zapotrzebowaną przez odbiorniki używane w produkcji rolniczej. Ocena powinna być dokonana indywidualnie, dla każdego gospodarstwa. Jednak zwykle w przypadku małych i średnich gospodarstw szacuje się łączną moc zapotrzebowaną na potrzeby domowe i produkcyjne w zależności od obszaru użytków rolnych. Dla gospodarstw o powierzchni do 2 ha przyjmuje się moc zapotrzebowaną 5 do 6 kW, o powierzchni 2 do 5 ha – 6 do 8 kW, a 5 do 15 ha – 9 do 14 kW. W nowo wznoszonych domach przeznaczonych do użytkowania przez kilkadziesiąt lat należy przewidywać większą moc zapotrzebowaną ze względu na coraz większą liczbę nowych urządzeń, zasilanych energią elektryczną – nawet do 20 kW i więcej, jeśli przewiduje się ogrzewanie elektryczne pomieszczeń.

W większych gospodarstwach rolnych moc zapotrzebowaną wyznacza się metodą współczynnika zapotrzebowania. W tym celu określa się sumę mocy znamionowej (zainstalowanej) wszystkich odbiorników stosowanych w produkcji rolniczej oraz współczynnik k_z uwzględniający niejednoczesność załączania poszczególnych odbiorników. Moc zapotrzebowaną oblicza się ze wzoru

$$P_z = k_z \cdot \sum_{i=1}^n P_i$$

w którym:

n – liczba wszystkich odbiorników,

Σ (grecka litera sigma) – symbol wyrażający sumowanie.

Współczynnik k_z zawiera się w granicach od 0,3 do 0,6, przy czym mniejsza wartość dotyczy gospodarstw o dużej liczbie różnych odbiorników, a większa – gospodarstw gorzej wyposażonych. Należy uwzględnić także pewien zapas mocy zapotrzebowanej w zakresie od 10 do 90%, z tym, że większa wartość dotyczy gospodarstw gorzej zagospodarowanych, rokujących rozwój zastosowań różnych odbiorników elektrycznych.

Następnym etapem projektowania instalacji odbiorczej jest ustalenie liczby obwodów elektrycznych i naniesienie ich przebiegów na planach budowlanych. Nie wolno zapomnieć o tym, że odbiorniki zasilane z jednego obwodu są współzależne, gdyż w razie uszkodzenia jednego z nich zabezpieczenie obwodu wyłącza jednocześnie wszystkie pozostałe. Pod względem warunków napięciowych jest także podobnie. Na przykład wahania napięcia przy rozruchu silnika wywołują migotanie lamp, jeśli przyłączy się je do tego samego obwodu.

Ważna jest też możliwość wyłączenia napięcia tylko w części instalacji, decydująca o bezpieczeństwie pod względem pożarowym, bez przerywania pracy innych urządzeń, takich jak chłodziarki czy instalacja alarmowa. Jednak zbyt duża liczba obwodów podnosi koszty i może niepotrzebnie skomplikować całą instalację.

Zaleca się, by w budynku mieszkalnym wydzielić:

- jednofazowe obwody oświetlenia mieszkania (obejmujące do 20 lamp na obwód), ewentualnie osobno oświetlenia sieni, piwnicy i garażu,
- obwód jednofazowych gniazd wtyczkowych w pokojach (co najwyżej 10 gniazd na jeden obwód),
- obwód jednofazowych gniazd wtyczkowych w łazience,
- obwód jednofazowych gniazd wtyczkowych w kuchni,
- niezależne obwody zespołu hydroforowego i kuchni elektrycznej, przy czym może być konieczne wykonanie obwodów trójfazowych.

Osobny obwód należy przewidzieć dla instalacji zasilania zamka elektrycznego, instalacji alarmowej itp. Nie zawsze jednak instalacja musi być tak rozbudowana.

Budynki gospodarcze powinny mieć własne rozdzielnice z odejściami (wyprowadzone osobne obwody) do głównych odbiorników w stacjonarnych urządzeniach produkcyjnych i do gniazd wtyczkowych (w celu przyłączania odbiorników ruchomych) oraz z obwodem instalacji oświetleniowej.

W przypadku kilku budynków gospodarczych w jednym pomieszczeniu, dogodnym ze względu na środowisko, warto zastosować dodatkową rozdzielnicę główną, przeznaczoną do zasilania rozdzielnic w poszczególnych budynkach. Rozdzielnica ta powinna być przyłączona – za pomocą osobnej linii zasilającej – do rozdzielnic głównej na całe gospodarstwo, umieszczonej zwykle w budynku mieszkalnym.

Linie zasilające, które stanowią połączenia między budynkami, zaleca się wykonać kablem elektroenergetycznym, by nie utrudniać przejazdu maszyn rolniczych. W małych gospodarstwach w tym celu można stosować przewody izolowane podwieszone.

Trasy obwodów powinny być tak wyznaczane, aby były prowadzone równolegle lub prostopadle do brzegów ścian w domach mieszkalnych. Tam, gdzie jest to możliwe, powinny one znajdować się na wysokości co najmniej 2,5 m nad podłogą, poza zasięgiem ludzi i zwierząt.

Wybierając sposób wykonania instalacji, a więc ułożenia przewodów, należy przede wszystkim ustalić, do jakiej grupy zalicza się pomieszczenie ze względu na warunki środowiskowe. W tablicy 4 podano odpowiednią klasyfikację budynków i pomieszczeń w gospodarstwach rolnych oraz w innych obiektach na wsi. Określono także, które sposoby ułożenia przewodów są w danych wa-

Tablica 4. Dobór sposobu wykonania instalacji (rodzaj i sposób układania przewodów)

Lp.	Rodzaj pomieszczenia	Typ przewodów														
		YDYp	YDYt	DY	YDY	YDYn	YDY									
		Sposób ułożenia przewodów														
		pod tynkiem	na tynku, na betonie	na drewnie	w tynku ¹⁾	pod tynkiem	w rurach			pod tynkiem	na uchwyłach	na tynku ⁴⁾ , betonie, drewnie	na tynku, betonie, drewnie ⁴⁾	na uchwyłach	w koryłkach	w listwach
							pod tynkiem	na tynku, betonie, drewnie ²⁾	na tynku, betonie, drewnie ^{2, 3)}							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Pomieszczenia zwykłe Pomieszczenia mieszkalne: pokoje wypoczynkowe, sypialnie, pokoje do nauki, biurowe, dziecięce itp., sale szkolne, sale sprzedaży w sklepach, biura	+	0	+	+	0	0	-	-	-	+	0	-	0	+	
2	Ogrzewane pomieszczenia pomocnicze, jak korytarze, sienie, klatki schodowe itp.	+	+	+	+	0	0	-	-	-	+	+	-	0	+	
3	Pomieszczenia reprezentacyjne, jak sale zebrań, kina, muzea, kościoły itp.	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	0	+	
4	Ogrzewane pomieszczenia warsztatów rzemieślniczych z atmosferą zwykłą.	+ ⁶⁾	+	+	+ ⁶⁾	+ ⁶⁾	0	+	-	-	0	+	-	+	0	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	Ogrzewane piwnice, szopy, składy, magazyny, z atmosferą zwykłą, strychy	+	+	+	+	0	0	-	-	-	+	+	-	+	0
6	Ogrzewane pomieszczenia warsztatowe i magazynowe z atmosferą zwykłą, narażone na uszkodzenia mechaniczne, jak np. kuźnie, składy beczek, rur, skrzyń ⁵⁾	+	-	-	+	0	-	+	-	-	+	0	-	+	-
7	Pomieszczenia przejściowo wilgotne Kuchnie w mieszkaniach, nieogrzewane warsztaty rzemieślnicze	+	0	+	+	0	-	0	-	-	+	0	-	0	+
8	Łazienki i wc w pomieszczeniach, nieogrzewane korytarze, sienie, klatki schodowe, szopy, składy, magazyny z atmosferą zwykłą. Zewnętrzne pod dachem, jak np. podcienie, przejścia bram, wiaty itp.	+	+	+	+	0	-	-	-	-	+	+	-	-	-
9	Pomieszczenia wilgotne Kuchnie w zagrodach i zbiorowego żywienia, łaźnie, natryski i wc zbiorowe, pralnie, suszarnie, kotłownie, mleczarnie, chłodnie, pomieszczenia produkcyjne i składowe itp.	+	0	+	0	-	-	-	+	0	+	0	-	-	-
10	Szklarnie	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	0	+	+	-
11	Piwnice nieogrzewane, hydrofornie, pompownie itp.	+	+	+	0	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
12	Pomieszczenia z wyziewami żrącymi Kurniki, obory, chlewnie, stajnie, składy nawozów	0	+	+	0	-	-	-	0	+	0	+	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Pomieszczenia niebezpieczne pod względem pożarowym⁸⁾ lub wybuchowym														
13	Stodoły, składy pasz, nawozów sztucznych itp.	-	-	-	-	+	+ ⁹⁾	+	0	-	+	-	-	-	-
14	Stolarnie, garaże, remizy, składy materiałów łatwo palnych, magazyny zbożowe itp. ⁷⁾	-	-	-	-	+	-	0 ⁽¹⁰⁾	+	0	+	0	-	-	-
15	Młyny, paszarnie suche itp. ⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	+	0	+	0	-	-	-

Uwagi:

¹⁾ Na ścianach z materiałów łatwo palnych należy stosować podkład z zaprawy grubości co najmniej 5 mm.

²⁾ Dopuszcza się przewody DG, lecz nie zaleca.

³⁾ W wyjątkowych uzasadnionych przypadkach rura stalowa.

⁴⁾ Tylko do włz, a także „przerzutów” oraz ich nieprzecinanych odcinków ułożonych wewnątrz budynku.

⁵⁾ Dotyczy również pomieszczeń nieogrzewanych.

⁶⁾ Zalecane dla mniejszych instalacji, zwłaszcza oświetleniowych.

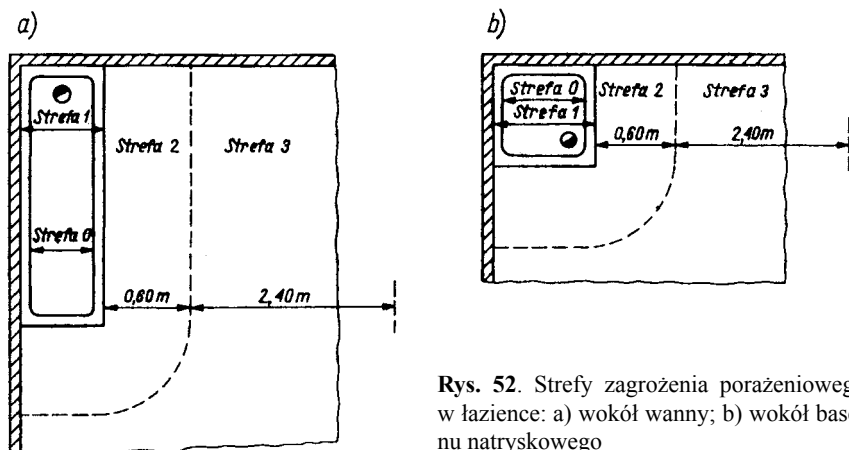
⁷⁾ Ze sprzętem w wykonaniu szczelnym.

⁸⁾ Przewody o izolacji 750 V.

⁹⁾ Chronić na całej długości od uszkodzeń mechanicznych – nie stosować w stodołach.

¹⁰⁾ W stolarniach niedozwolone.

Oznaczenia: + zalecane, 0 niestosowane, – niedopuszczalne.



Rys. 52. Strefy zagrożenia porażeniowego w łazience: a) wokół wanny; b) wokół basenu natryskowego

runkach środowiskowych dopuszczalne i zalecane. Ze względów praktycznych i estetycznych nie należy niepotrzebnie wprowadzać w jednym pomieszczeniu różnych rodzajów instalacji, np. przy rozbudowie obwodów.

W niektórych pomieszczeniach, gdzie występuje zwiększone zagrożenie porażeniem prądem lub pożarem, wyróżnia się strefy zagrożeń. Na rysunku 52 zaznaczono przykładowo w łazience cztery **strefy zagrożenia porażeniowego**:

- strefę 0 obejmującą wnętrze wanny lub basenu natryskowego, gdzie nie można używać żadnych urządzeń elektrycznych,
- trzy strefy (1–3) sięgające do wysokości 2,25 m.

W strefach 1 i 2 nie wolno instalować puszek, gniazd wtyczkowych i rozgałęźników, a przewody można prowadzić jedynie do górnych wypustów, np. lamp oświetleniowych. Można instalować na stałe tylko podgrzewacz wody, a w strefie 2 – również lampy oświetleniowe, które są urządzeniami II klasy ochronności.

W strefie 3 można instalować przewody, a nawet gniazda wtyczkowe, jeśli są one zasilane indywidualnie z transformatora separacyjnego lub transformatora bezpieczeństwa, lub gdy są zabezpieczone wyłącznikiem ochronnym różnicowoprądowym, o znamionowym prądzie różnicowym nie większym niż 30 mA. Najczęściej tylko to ostatnie rozwiązanie umożliwia użytkowanie w łazience pralki elektrycznej, aparatu do golenia itp.

W przypadku ogrzewania elektrycznego urządzenia grzejne mogą być zainstalowane tylko na stałe z osłonami blaszanymi przyłączonymi do połączeń wyrównawczych, których wykonanie jest wtedy obowiązkowe w całym pomieszczeniu.

Podobnie w pomieszczeniach chowu i hodowli zwierząt użytkowych, np. w oborach, chlewniach i stajniach, wyznacza się strefy zagrożenia porażeniowego w miejscu legowisk, udoju, porodu, wychowu młodych itp. Miejsca odpoczynku i karmienia zwierząt uważa się za strefę 1 zagrożenia. W strefie tej nie należy przewidywać żadnych stałych urządzeń elektrycznych ani elementów instalacji umieszczonych niżej niż na wysokości 2,25 m. Wymagane jest stosowanie połączeń wyrównawczych obejmujących wszystkie części metalowe urządzeń nielektrycznych.

Do strefy 2 zalicza się korytarze obsługi, gdzie mogą być zamontowane gniazda wtyczkowe do przyłączania aparatów elektrycznych do obsługi zwierząt, na przykład do ich czyszczenia, strzyżenia, lecz zasilane z transformatorów separacyjnych i bezpieczeństwa lub z obwodów zabezpieczonych wyłącznikami ochronnymi różnicowoprądowymi o znamionowym prądzie różnicowym nie większym niż 30 mA.

Do strefy 3 zagrożenia zalicza się korytarze przepędzania i dozoru zwierząt, w których należy zadbać o to, by instalacja elektryczna nie mogła być uszkodzona mechanicznie, natomiast obsługa i zwierzęta były chronione przed porażeniem prądem elektrycznym.

W pomieszczeniach zagrożonych pożarem należy wyznaczyć strefy zagrożenia. Należałoby w nich unikać w ogóle wykonania instalacji elektrycznej.

5.3. Dobór przekroju przewodów i zabezpieczeń

Jedną z podstawowych czynności podczas projektowania instalacji elektrycznych jest ustalenie przekroju przewodów, a właściwie przekroju ich żył. Chodzi przede wszystkim o to, by w warunkach normalnej pracy instalacji prąd płynący przez przewody do odbiorników nie nagrzewał ich do temperatury, która mogłaby uszkodzić izolację. Temperatura topnienia izolacji żył jest znacznie niższa niż materiału przewodzącego żył. Wytrzymałość cieplną izolacji przewodów określa ich dopuszczalna **obciążalność prądowa** wyrażana w amperach.

Obciążalność ta zależy nie tylko od przekroju żył, lecz także od warunków chłodzenia przewodów, a więc od sposobu ich ułożenia (np. bez osłony lub w rurach, od liczby przewodów w rurach, od tego, czy są pokryte tynkiem, czy ułożone na wierzchu ścian, czy na nagrzanym podłożu). W pomieszczeniach zagrożonych pożarem, a nawet wybuchem obciążalność przewodów musi być mniejsza, by temperatura na powierzchni przewodów nie spowodowała zagrożenia otoczenia.

W doborze przekroju przewodów z uwagi na omówione wyżej względy są pomocne tablice dopuszczalnej obciążalności przewodów. Rozróżnia się

Tablica 5. Obciążalność prądowa długotrwała (w amperach) przewodów i kabli z żyłami miedzianymi o izolacji polwinitowej (obciążone dwie lub trzy żyły) przy prądzie stałym lub przemiennym i dopuszczalnej temperaturze żyły 70°C

Przekrój znamionowy żyły mm ²	Sposób ułożenia i liczba żył							
	przewody jednożyłowe w rurach i wielożyłowe, w ścianie		przewody jednożyłowe w rurach na ścianie		przewody wielożyłowe na ścianie		kable w przepustach i w ziemi	
	2	3	2	3	2	3	2	3
1,5	14,5	13	17,5	15,5	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	24	21	26	24	29	24
4	26	24	32	28	35	32	38	31
6	34	31	41	36	46	41	47	39
10	46	42	57	50	63	57	63	52
16	61	56	76	68	85	76	81	67
25	80	73	101	89	112	96	104	86
35	99	89	125	111	138	119	125	103
50	119	108	151	134	168	144	148	122
70	151	136	192	171	213	184	183	151
95	182	164	232	207	258	223	216	179
120	210	188	269	239	299	259	246	203
150	240	216	-	-	344	294	278	230
185	273	248	-	-	392	341	312	257
240	320	286	-	-	461	403	360	297
300	367	328	-	-	530	464	407	336

Tablica 6. Obciążalność prądowa długotrwała (w amperach) przewodów i kabli z żyłami aluminium o izolacji polwinitowej (obciążone dwie lub trzy żyły) przy prądzie stałym lub przemiennym i dopuszczalnej temperaturze żyły 70°C

Przekrój znamionowy żyły mm ²	Sposób ułożenia i liczba żył							
	przewody jednożyłowe w rurach i wielożyłowe, w ścianie		przewody jednożyłowe w rurach na ścianie		przewody wielożyłowe na ścianie		kable w przepustach i w ziemi	
	2	3	2	3	2	3	2	3
16	48	43	59	53	66	59	62	52
25	63	57	79	69	83	73	80	66
35	77	70	98	86	103	91	96	80
50	93	84	118	105	125	110	113	94
70	118	107	150	133	160	140	140	117
95	142	129	181	161	195	170	166	138
120	164	149	210	186	226	197	189	157
150	189	170	-	-	261	227	213	178
185	215	194	-	-	298	259	240	200
240	252	227	-	-	352	305	277	230
300	289	261	-	-	406	351	313	260

Tablica 7. Wybrane współczynniki poprawkowe do wyznaczenia dopuszczalnej obciążalności przewodów stykających się przy zgrupowaniu wielu obwodów lub przewodów wielożyłowych

Sposób rozmieszczenia przewodów	Liczba obwodów lub przewodów wielożyłowych								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zgrupowanie na powierzchni lub w rurze, lub korytku	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50
Pojedyncza warstwa na ścianie lub podłodze	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70
Pojedyncza warstwa pod sufitem	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,60
Uwaga. Współczynników poprawkowych nie stosuje się, jeżeli odległość pozioma między powierzchnią zewnętrzną przewodów jest dwa razy większa niż ich średnica.									

obciążalność długotrwałą i dorywczą. W odniesieniu do instalacji wiejskich należy brać pod uwagę tylko obciążalność długotrwałą podaną w tabl. 5 i 6 z uwzględnieniem współczynników poprawkowych (tabl. 7). Przekrój przewodów należy określić tak, by przewidywany prąd obciążenia obwodu był mniejszy od wartości obciążalności podanej w tablicach odpowiadających wymienionym warunkom ułożenia przewodów. Tablice takie są podane w normie PN-IEC 60364.

Przy doborze przekroju przewodów należy również uwzględnić ich wytrzymałość mechaniczną (możliwość pęknięcia przy zginaniu). Wymaga się, by przewody instalowane na stałe w instalacjach elektrycznych budynku miały żyły miedziane o przekroju nie mniejszym niż 1,5 mm².

Prąd w obwodzie oblicza się z następujących wzorów:

– w przypadku odbiornika jednofazowego

$$I = \frac{P}{U_f \cdot \cos\varphi}$$

– w przypadku odbiornika trójfazowego

$$I_p = \frac{P}{1,73 U_p \cdot \cos\varphi}$$

w których:

P – moc zainstalowana, w watach,

U_f – napięcie w obwodzie jednofazowym, w woltach ($U_f = 230$ V),

U_p – napięcie międzyprzewodowe w obwodzie trójfazowym ($U_p = 400$ V),

$\cos\varphi$ – współczynnik mocy (w przypadku lamp i grzejników przyjmuje

się równy 1, a w przypadku silników równy 0,8, jeśli nie ma dokładniejszych danych),

I_p – prąd przewodowy, w amperach.

Jeśli obwód zasila kilka wypustów instalacyjnych, to prąd całkowity można obliczyć przez dodawanie arytmetyczne (bez uwzględnienia przesunięcia fazowego) wartości prądu poszczególnych odbiorników. Uzyskuje się wtedy wynik równy lub nieco większy od rzeczywistego, ale nie ma to praktycznie żadnego znaczenia.

Jak wiadomo, odbiorniki trójfazowe najczęściej powodują przepływ prądu o jednakowej wartości skutecznej we wszystkich trzech przewodach fazowych i nie obciążają przewodu neutralnego. Jeśli natomiast w obwodzie z odbiornikiem trójfazowym przyłącza się odbiornik jednofazowy, to prąd tego odbiornika dodaje się w przewodzie fazowym do prądu odbiorników trójfazowych, a także występuje w przewodzie neutralnym. Wymaga to doboru zabezpieczeń obwodu na większy prąd znamionowy i to we wszystkich trzech fazach po to, by ich nie różnicować ani nie komplikować wykonania obwodu.

Jak już wspomniano w podrozdziale 3.1, istnieją dwa rozwiązania ochrony przed przetężeniem, które polegają na stosowaniu bezpieczników topikowych lub wyłączników samoczynnych nadprądowych. Obecnie wymaga się, by w obwodach odbiorczych stosowano tylko wyłączniki samoczynne nadprądowe. Należy jednak rozróżnić **ochronę przed skutkami zwarć** i **ochronę przed skutkami przeciążeń**. W pierwszym bowiem przypadku chodzi o zadziałanie zabezpieczenia możliwie natychmiastowe, w drugim natomiast o działanie z opóźnieniem, tym większym, im mniejsze występuje przeciążenie.

Zabezpieczenia instalacji przed skutkami przeciążeń muszą być tak dobrane, aby w razie przepływu prądu o wartości większej od długotrwałej obciążalności prądowej przewodów I_Z następowało ich działanie zanim nastąpi nadmierne nagrzanie się przewodów, zestyków oraz połączeń przewodów. Wymagania uważa się za spełnione przez dotrzymanie następujących warunków:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_d \leq 1,45 I_Z$$

gdzie:

I_B – prąd obliczeniowy w obwodzie elektrycznym lub prąd znamionowy odbiornika (jeśli obwód zasila ten jeden odbiornik),

I_N – prąd znamionowy lub prąd nastawienia zabezpieczenia nadprądowego,

I_d – prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego,

I_Z – obciążalność prądowa długotrwała przewodu.

Prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego I_d należy określać jako krotność prądu znamionowego I_N wyłącznika lub bezpiecznika według zależności

$$I_d = k \cdot I_N$$

w której:

k – współczynnik krotności prądu powodującego zadziałanie urządzenia zabezpieczającego, przyjmowany jako równy:

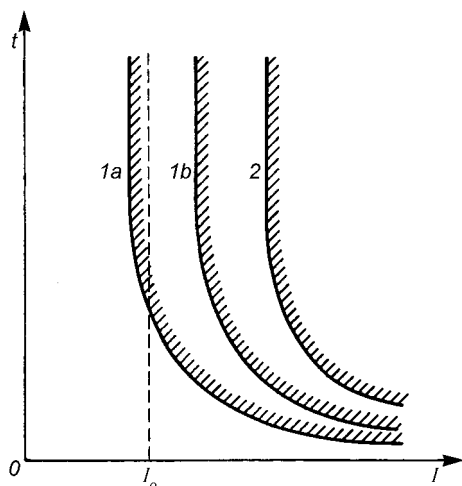
1,6–2,1 dla wkładek topikowych,

1,45 dla wyłączników samoczynnych nadprądowych o charakterystyce B, C i D.

Wartość współczynnika k dla wyłączników mniejsza niż dla bezpieczników oznacza, że charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników są lepiej dopasowane do zabezpieczenia przewodów przed przeciążeniem. Przy zabezpieczaniu ich wyłącznikami samoczynnymi nadprądowymi umożliwia to stosowanie przewodów o mniejszej obciążalności prądowej długotrwałej, a więc o mniejszym przekroju.

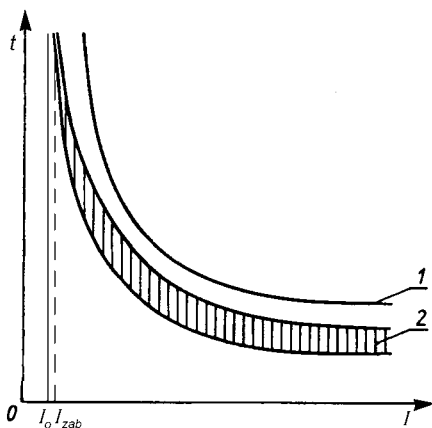
Na rysunku 53 przedstawiono zależność prądu, dopuszczalnego ze względu na nagrzewanie się przewodu, od czasu trwania jego przepływu, zwaną **charakterystyką czasowo-prądową** wytrzymałości cieplnej przewodu. Zakresowano przy tym obszar zagrożenia, w którym izolacja przewodu ulega uszkodzeniu wskutek wzrostu temperatury. Z tego względu **charakterystyka czasowo-prądowa zabezpieczenia** nadprądowego w całym zakresie powinna przebiegać poniżej obszaru zagrożenia.

Charakterystyka czasowo-prądowa wkładek bezpiecznikowych ma postać pasmową, co pokazano na rysunku 54. Chodzi o to, że wkładka przy jej bada-



Rys. 53. Charakterystyki czasowo-prądowe wytrzymałości cieplnej izolowanych przewodów instalacyjnych o różnych przekrojach, pracujących w różnych warunkach:

1 – przewód o przekroju S_1 ułożony w rurach pod tynkiem (krzywa 1a) oraz przewód wielożyłowy w instalacji naściennej (krzywa 1b); 2 – przewód o przekroju $S_2 > S_1$ ułożony w rurach pod tynkiem, I_o – obciążenie długotrwałe

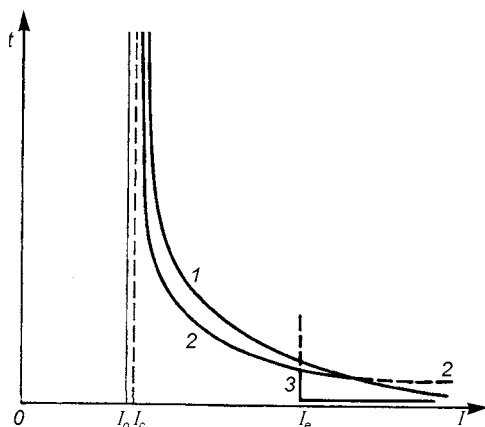


Rys. 54. Czasowo-prądowa charakterystyka pasmowa bezpieczników topikowych (2) do zabezpieczania obwodu instalacyjnego wykonanego przewodami izolowanymi o charakterystyce I wytrzymałości cieplnej:

I_{zab} – prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowych, I_o – prąd obciążenia

niu ulega zniszczeniu, a więc na wykresie można wyznaczyć tylko jeden punkt. Aby uzyskać całą charakterystykę, należy prowadzić badania na reprezentatywnej próbce zawierającej wiele wybranych losowo wkładek danego typu. Zbiór punktów uzyskanych podczas takich badań wyznacza pole (pasmo), które określa działanie prawdopodobne określonych wkładek.

Przy dużych prądach zwarciovych zadziałanie wkładki topikowej jest na tyle szybkie, że szerokość pasma charakterystyki nie ma znaczenia. Natomiast przy przeciążeniach czas zadziałania wkładki może być różny, w dość szerokim zakresie. Istnieje więc obawa zbyt powolnego wyłączenia małego prądu przeciążeniowego. Decyduje to o małej przydatności bezpieczników topikowych do ochrony nadprądowej urządzeń o dużej wrażliwości na przeciążenia, a zwłaszcza silników. Przewody instalacyjne, wytrzymalsze na przegrzanie,



Rys. 55. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłącznika instalacyjnego nadprądowego (2 i 3) chroniącego urządzenie o charakterystyce I wytrzymałości cieplnej:

2 – charakterystyka wyzwalacza cieplnego, 3 – charakterystyka wyzwalacza elektromagnesowego, I_o – maksymalna wartość prądu obciążenia, I_c – nastawiona wartość wyzwalacza cieplnego, I_e – nastawiona wartość wyzwalacza elektromagnesowego

mogą być chronione przez bezpieczniki topikowe zarówno przy zwarcia, jak i przeciążeniach.

Charakterystyka czasowo-prądowa wyłączników samoczynnych nadprądowych, przedstawiona na rysunku 55 składa się z dwóch części: dla wyzwalaczy cieplnych w zakresie ochrony przed przeciążeniami i dla wyzwalaczy elektromagnesowych w zakresie ochrony przed zwarciami. W pierwszym przypadku charakterystyka 2 ma przebieg hiperboliczny, zbliżony do charakterystyki wytrzymałości cieplnej chronionego urządzenia. W drugim natomiast przypadku ma postać linii łamanej (krzywa 3).

Prąd zadziałania bezzwłocznego wyzwalacza elektromagnesowego jest zwykle kilka razy większy od wartości nastawienia wyzwalacza cieplnego. Chodzi bowiem o to, że wyzwalacz elektromagnesowy, działając bardzo szybko, mógłby powodować wyłączenie obwodu nawet przy przeciążeniach chwilowych, niestwarzających zagrożenia chronionego urządzenia. Charakterystyka czasowo-prądowa wyłączników samoczynnych, wyposażonych w obydwa wyzwalacze, jest bardzo korzystna. Zależnie od typu (B, C i D) umożliwia zabezpieczenie różnych urządzeń i uzasadnia powszechne stosowanie w instalacjach wiejskich, a zwłaszcza w obwodach odbiorczych.

Warto jednak wiedzieć, że w wielu dawniej wykonanych instalacjach do ochrony przewodów przed nadmiernym nagrzewaniem się przy przeciążeniach i zwarcia służą bezpieczniki topikowe, które zabezpieczają także aparaty

Tabela 8. Prąd znamionowy (w amperach) wybranych wkładek topikowych bezpieczników instalacyjnych oraz samoczynnych wyłączników nadprądowych

Wkładowe topikowe						Wyłączniki nadprądowe	
Bi-Wts WT-1/F	Bi-Wtz WT-1/T	DI, DII	DIII	DIV	DV	S190	S 300
						B	C, D
2	-	2	-	-	-	-	2
4	-	4	-	-	-	-	4
6	6	6	-	-	-	6, 8	6
10	10	10	-	-	-	10	10
16	16	16	-	-	-	16	16
20	20	20	-	-	-	20	20
25	25	25	-	-	-	25	25
32	32	-	35	-	-	32, 40	32, 40
50	50	-	50	-	-	50	50
63	63	-	63	-	-	63	63
80	80	-	-	80	-	-	-
100	100	-	-	100	-	-	-
125	-	-	-	-	125	-	-
160	-	-	-	-	160	-	-
200	-	-	-	-	200	-	-

i silniki elektryczne w przypadku zwarc. Jedynie silniki o większej mocy zabezpieczano wyłącznikami samoczynnymi, wyposażonymi często tylko w wyzwalacze cieplne umieszczone przy nich lub na nich.

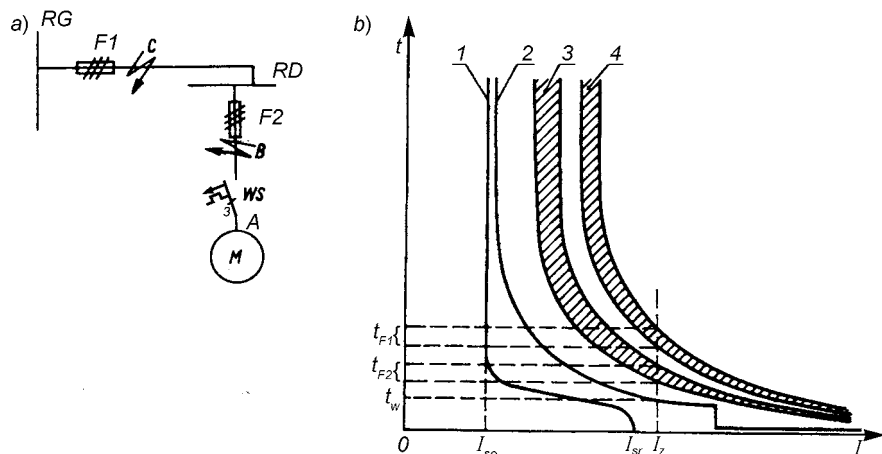
Doboru bezpieczników (wkładek topikowych) i samoczynnych jednobiegowych wyłączników nadprądowych dokonuje się z szeregu prądowego oferty produkcyjnej, tak by ich prąd znamionowy był nie mniejszy niż 90% obliczonej wartości prądu pełnego obciążenia w obwodzie. Przykłady takich wkładek bezpieczników instalacyjnych oraz wyłączników nadprądowych o charakterystyce B, C i D zamieszczono w tablicy 8.

Często na drodze przepływu prądu od źródła zasilania do odbiorników występuje kilka włączonych szeregowo zabezpieczeń nadprądowych, na przykład w złączu, rozdzielnicy głównej, rozdzielnicy dodatkowej i przy odbiorniku. Należy zapewnić tzw. **selektywność** działania tych **zabezpieczeń**. Oznacza to, że w razie przeciążenia lub zwarcia powinno zadziałać tylko zabezpieczenie znajdujące się najbliżej miejsca uszkodzenia wywołującego przepływ niebezpiecznie dużego prądu. Ogranicza się w ten sposób zakres wyłączeń urządzeń spod napięcia i zapobiega poszukiwaniu odpowiedzialnego za to zabezpieczenia. Spełnienie tego wymagania umożliwia stosowanie kolejnych zabezpieczeń połączonych szeregowo, o prądzie znamionowym przynajmniej o jeden stopień większym, im bliżej znajdują się źródła zasilania.

Tę zasadę wybiórczego działania zabezpieczeń nadprądowych wyjaśniono na rysunku 56. Z porównania charakterystyk czasowo-prądowych zabezpieczeń połączonych szeregowo w obwodzie wynika na przykład, że przy przeciążeniu silnika *A* zadziała tylko jego wyłącznik samoczynny, a przy zwarcu w punkcie *B* prąd I_z spowoduje zadziałanie zabezpieczenia w rozdzielnicy *RD*. Dopiero zwarcie w punkcie *C* spowoduje wyłączenie spod napięcia całej instalacji przez bezpieczniki w złączu.

Przekroje żył przewodów w obwodach instalacyjnych należy tak dobierać, by ich dopuszczalna obciążalność prądowa długotrwała, w określonych warunkach ułożenia przewodów, była większa niż wartość prądu znamionowego bezpieczników lub wyzwalaczy cieplnych wyłączników samoczynnych, zainstalowanych na początku rozpatrywanych obwodów. Przekroje przewodów w całym obwodzie powinny być przy tym w zasadzie jednakowe, chyba że następuje odgałęzienie z własnym zabezpieczeniem nadprądowym, do którego dobrane są przekroje przewodów odgałęzienia, chronionych przez to zabezpieczenie.

W celu uproszczenia doboru przewodów i zabezpieczeń w najczęstszych przypadkach przebudowy lub rozbudowy instalacji proponuje się następujący tok postępowania. W pierwszej kolejności dobiera się zabezpieczenia nadprądowe w taki sposób, aby można było użytkować odbiorniki, a więc do wartości



Rys. 56. Selektowność działania zabezpieczeń nadprądowych w obwodzie zasilającym silnik: a) układ; b) przebieg prądu (I) przy rozruchu silnika i obciążeniu znamionowym oraz charakterystyki czasowo-prądowe: 2 – wyłącznika samoczynnego, 3, 4 – bezpieczników topikowych F_1 , F_2 – bezpieczniki topikowe, WS – wyłącznik samoczynny, I_{so} – znamionowy prąd obciążenia silnika, I_{sr} – prąd rozruchowy silnika, I – maksymalna wartość prądu silnika, RG , RD – rozdzielnica główna i rozdzielnica obwodowa, I_z – prąd zwarcia, t_w , t_{F2} , t_{F1} – czasy zadziałania wyłącznika samoczynnego i bezpieczników ($t_w < t_{F2} < t_{F1}$)

prądu przewidywanego obciążenia. Następnie dobiera się przekrój przewodów tak, by były chronione przed przegrzaniem przy obciążeniu długotrwałym.

W tablicach 9–11 zestawiono wyniki takich ustaleń dla najbardziej typowych rozwiązań. W innych warunkach ułożenia przewodów lub kabli należy postąpić w omówiony poprzednio sposób.

Przekrój przewodów w instalacjach elektrycznych określa się jednak nie tylko ze względu na warunki ich nagrzewania się (obciążalność prądowa długotrwała), lecz także ze względu na wymagania odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, ograniczenie spadków napięcia i skuteczność ochrony przeciwporażeniowej. Pod względem wytrzymałości mechanicznej przewodów przekrój żył ma zasadnicze znaczenie dla trwałości instalacji, a zwłaszcza stanu połączeń. Obowiązujące obecnie zasady techniczne ustalają jako minimalny przekrój żył miedzianych w izolowanych przewodach instalacyjnych: $1,5 \text{ mm}^2$ w obwodach do wypustów oświetleniowych, $2,5 \text{ mm}^2$ w przewodach do gniazd wtyczkowych ogólnego przeznaczenia, a w wewnętrznych liniach zasilających co najmniej 10 mm^2 .

Żyły aluminiowe przewodów instalacyjnych nie mogą mieć przekroju mniejszego niż 10 mm^2 . W starych instalacjach wiejskich zdarzają się jednak prze-

Tablica 9. Dobór przekroju przewodów (z żyłami miedzianymi) ułożonych na stałe w pomieszczeniach gospodarstw wiejskich (z wyjątkiem pomieszczeń zagrożonych wybuchem) i zasilających urządzenia elektryczne ze względu na zabezpieczenia (wkładki bezpiecznikowe i wyłączniki nadprądowe)

Największy dopuszczalny prąd zabezpieczenia	Przewody jednożyłowe (DY, LY, LYg, DYc, LYc, LgYc, DYd, LYd, LgYd, LgY itp.)						Przewody wielożyłowe (YDY, YLY, YDyp, YDYt, YDYpp, YDYn, DYp, DYt itp.)																	
	ułożone w rurach stalowych albo pod wspólną osłoną metalową				ułożone w rurach instalacyjnych lub pod wspólną osłoną izolacyjną				pojedynczo na uchwytych lub na izolatorach lub zawieszone na linie nośnej				ułożone pojedynczo bezpośrednio na tynku lub w tynku				ułożone pojedynczo na uchwytych lub zawieszone na linie nośnej							
	po 1	po 2	po 3	po 4-6	po 1	po 2	po 3	po 4-6	liczba żył				liczba żył											
	mm ²								mm ²								mm ²				mm ²			
	0,75	0,75	1	1,5	0,75	1	1,5	1,5	0,75	1	1,5	1,5	0,75	1	1,5	0,75	1	1,5						
10	1,5	1,5	2,5	2,5	1,5	2,5	2,5	4	1	1,5	1,5	0,75	2,5	2,5	1,5	2,5	2,5							
16	2,5	2,5	4	4	2,5	2,5	4	4	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4							
20	2,5	4	6	6	4	4	6	6	2,5	2,5	2,5	4	4	4	2,5	4	6							
25	4	6	6	6	6	6	10	10	4	4	4	6	6	6	4	6	6							
32	6	6	10	10	6	6	10	10	4	4	4	6	6	6	6	6	10							
35	6	6	10	10	6	10	10	16	4	4	6	6	10	10	6	10	10							
40	10	10	10	16	10	10	16	16	6	10	10	10	10	10	10	10	16							
50	10	16	16	16	16	16	25	25	10	10	10	16	16	16	16	16	16							
60	10	16	16	25	16	16	25	25	10	10	10	16	16	16	16	16	25							
63	10	16	16	25	16	16	25	25	10	10	10	16	16	16	16	16	25							
80	16	25	25	35	25	25	35	35	16	16	16	25	25	25	16	25	35							
100	25	25	35	50	25	35	50	50	25	25	25	25	35	35	25	35	50							

Tablica 11. Dobór przekroju kabli elektroenergetycznych trzy- i czterożyłowych do zabezpieczeń

Największy dopuszczalny prąd wkładki bezpiecznikowej	Kable w powietrzu		Kable w ziemi	
	Cu	Al	Cu	Al
A	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
63	16	25	-	-
80	25	35	16	25
100	25	50	16	25

wody izolowane z żyłami aluminiowymi o przekroju od 2,5 mm² (było to dopuszczalne w poprzednich przepisach). Podczas remontu instalacji przewody te o przekroju 2,5–10 mm² należy zastąpić miedzianymi. W obecnych przepisach dopuszcza się stosowanie przewodów aluminiowych, lecz o przekroju co najmniej 10 mm².

Liczba przewodów jednożyłowych lub liczba żył przewodów wielożyłowych zależy od zasilanych odbiorników i sposobu ochrony przeciwporażeniowej. W układzie **TN-C** obwody zasilające odbiorniki jednofazowe były wykonywane przewodami dwużyłowymi lub dwoma jednożyłowymi, a obwody zasilające odbiorniki trójfazowe – w zasadzie przewodami czterożyłowymi lub czterema przewodami jednożyłowymi.

W układzie **TN-S** lub **TN-C-S** wszystkie obwody powinny być wykonywane z dodatkową żyłą ochronną w przewodach wielożyłowych i dodatkowym przewodem ochronnym PE przy stosowaniu przewodów jednożyłowych. A więc obwody jednofazowe wymagają trójżyłowych przewodów wielożyłowych lub trzech przewodów jednożyłowych, a obwody trójfazowe – pięciożyłowych przewodów wielożyłowych lub pięciu przewodów jednożyłowych.

Wprawdzie do urządzeń z obudową izolacyjną lub o konstrukcji odpowiadającej klasie ochronności II (bez zacisku ochronnego) – a takie wykonanie zaleca się, gdzie tylko można – nie ma potrzeby prowadzenia przewodu ochronnego lub dodatkowej żyły. Jednak należy się liczyć z możliwością zastosowania przez użytkownika odbiornika z obudową metalową oraz izolacją podstawową (klasa ochronności I). Dlatego zaleca się wszystkie obwody wykonywać w układzie **TN-S**. W nowym obwodzie instalacyjnym należałoby od razu wykorzystać przewód wielożyłowy z dodatkową żyłą ochronną PE lub – gdy stosuje się przewody jednożyłowe – z dodatkowym przewodem ochronnym PE.

5.4. Inne ustalenia

Przekroje przewodów dobrane ze względu na nagrzewanie się wymagają na ogół sprawdzenia ze względu na dopuszczalny spadek napięcia. Zbyt duże spad-

ki napięcia na zaciskach odbiorników mogą spowodować ich niewłaściwą pracę. Żarówki zmniejszają wyraźnie wydajność świetlną, świetlówki mogą gasnąć, grzejniki o wiele mniej się nagrzewają. Silniki natomiast pobierają – dla sprostania obciążeniu – prąd większy niż zwykle, przegrzewają się i mogą ulec uszkodzeniu, jeśli nie zadziałałyby zabezpieczenia nadprądowe; moment obrotowy silników przy rozruchu jest mniejszy, co jest powodem tzw. ciężkiego rozruchu.

Warunki napięciowe w instalacjach wiejskich zależą od rozległych sieci zasilających. Ze względu na stosunkowo krótkie i słabo obciążone obwody odbiorcze, występujące w nich spadki napięcia są na ogół małe. Łączny dopuszczalny spadek napięcia na odcinku od złącza do odbiornika przyłączonego na końcu najdłuższego, najbardziej obciążonego obwodu nie powinien być większy niż 4% napięcia nominalnego instalacji. Zwykle w wewnętrznych liniach zasilających oraz doprowadzeniach do innych budynków spadek napięcia jest mniejszy niż 1%, a więc na obwody instalacyjne do punktów przyłączenia odbiorników przypada 3%.

W prawidłowo wykonanych stałych instalacjach wiejskich, w których prąd roboczy jest mniejszy od długotrwałej obciążalności prądowej przewodów, spadki napięcia nie przekraczają zwykle wartości dopuszczalnej i nie ma potrzeby ich obliczania. Zawsze zresztą można zmierzyć napięcie na odbiornikach i w rozdzielnicy, by przekonać się, czy warunki napięciowe są dotrzymane. W przeciwnym razie należy wyjaśnić, z jakich przyczyn występuje odstępstwo.

Dopiero przy różnicy napięcia na początku i końcu obwodu większej niż 7 V w przypadku napięcia fazowego, a 12 V – napięcia międzyprzewodowego, należy wyznaczyć przekrój przewodów ze względu na spadek napięcia, korzystając z następujących wzorów:

– w obwodzie jednofazowym

$$S_{\min} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i}{\gamma \cdot \Delta u_{\%} \cdot U_{nf}^2} \cdot 10^5$$

– w obwodzie trójfazowym

$$S_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i}{\gamma \cdot \Delta u_{\%} \cdot U_{np}^2} \cdot 10^5$$

w których:

S_{\min} – minimalny przekrój przewodów, w mm^2 ,
 U_n – napięcie nominalne 230 lub 400 V (f – fazowe, p – międzyprzewodowe),
 γ – przewodność czynna (konduktancja) przewodu, w $\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ lub $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$,

$\Delta u_{\%}$ – dopuszczalny procentowy spadek napięcia, w %,

P_i – moc i -tego odbiornika, w kW,

l_i – odległość i -tego odbiornika od początku obwodu, w metrach,
 przy czym:

$$\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i = P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + \dots + P_n \cdot l_n$$

W przypadku obwodu zasilającego pojedynczy odbiornik o mocy P w odległości l od rozdzielnicy, w instalacji wykonanej przewodami miedzianymi, w której spadek napięcia jest mniejszy niż 3%, powyższe wzory upraszcza się do postaci:

– w obwodzie jednofazowym:

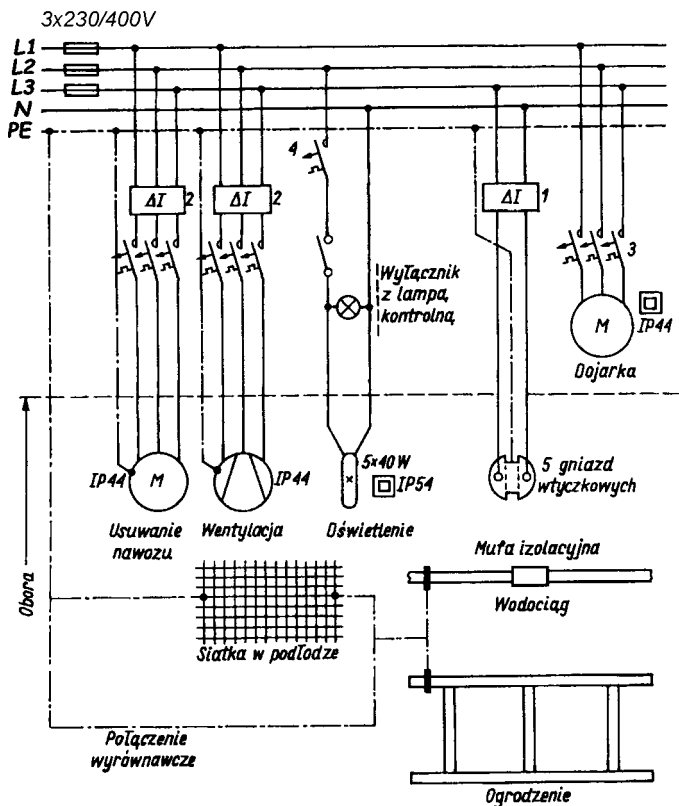
$$S_{\min} \approx 0,024 P \cdot l$$

– w obwodzie trójfazowym:

$$S_{\min} \approx 0,004 P \cdot l$$

Tablica 12. Dopuszczalna długość łączna przewodu (w metrach) od gniazda instalacji stałej do odbiornika w zależności od liczby żył i ich przekroju

Prąd znamionowy wtyczki	Przekrój przewodu, mm ²								
	0,35	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10
A	Dopuszczalna łączna długość przewodu, m								
Odbiorniki jednofazowe									
10	4	6	9	12	19	31	50	75	125
16	-	4	6	8	12	19	31	47	78
Odbiorniki trójfazowe									
10	9	12	18	25	37	62	100	150	250
16	-	8	12	15	23	39	62	94	156
25	-	-	-	10	15	25	40	60	100
32	-	-	-	8	12	19	31	47	78
63	-	-	-	-	-	10	16	24	40



Rys. 58. Schemat ideowy przykładowej rozdzielnicy w budynku gospodarczym (w oborze), odpowiadający wymaganiom normy PN-IEC 60364:

1 – wyłącznik różnicowoprądowy o czułości 30 mA, 2 – wyłącznik samoczynny nadprądowy trójfazowy z członem różnicowoprądowym, 3 – wyłącznik samoczynny nadprądowy trójbiegunowy, 4 – wyłącznik samoczynny nadprądowy jednobiegunowy

pożarem i wybuchem oraz zwiększonego zagrożenia porażeniem, a także na zewnątrz budynków przewody powinny mieć izolację odpowiednio na napięcie 750 i 500 V.

Następne wymagania dotyczą ochrony przeciwporażeniowej i przeciwpożarowej. Na podstawie podanych poprzednio wskazań należy ustalić rodzaj izolacji przewodów w poszczególnych pomieszczeniach oraz środki ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim).

Na rysunkach 57 i 58 przedstawiono schematy zabezpieczeń typowej instalacji wiejskiej wykonanej zgodnie z „Warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” oraz z powołaną w nich normą

PN- IEC 60364. Jak widać, układ TN-C (dawniej zerowanie) kończy się w złączu, to znaczy do złącza jest doprowadzony wspólny przewód ochronno-neutralny PEN, do którego powinny być przyłączone wszelkie części przewodzące (metalowe) złącza, które normalnie nie są pod napięciem, przede wszystkim skrzynka lub drzwiczki złącza. Cała zaś instalacja jest rozwiązana w układzie TN-S z oddzielnym przewodem ochronnym PE wzdłuż wewnętrznych linii zasilających i wszystkich obwodów instalacyjnych.

Wszystkie obwody zasilające urządzenia elektryczne w pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu porażeniowym i pożarowym oraz obwody użytkowane przez osoby niewykwalifikowane lub niepoinstruowane powinny być zabezpieczone wyłącznikami ochronnymi różnicowoprądowymi o znamionowym prądzie różnicowym $I_{\Delta n} \leq 30$ mA, wyłączającymi w czasie krótszym niż 0,2 s. Cała instalacja powinna być zabezpieczona przez główny wyłącznik różnicowoprądowy selektywny, umieszczony w rozdzielnicy głównej lub złączu. Prąd $I_{\Delta n}$ tego wyłącznika powinien być równy 300 lub 500 mA, a czas działania – do 1 s dla zapewnienia selektywności wyłączeń. W strefach zwiększonego zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym należy wykonać połączenia wyrównawcze.

Zastosowanie takiego rozwiązania w istniejących instalacjach wymagałoby jednak całkowitej ich przebudowy. Stopniowa realizacja tego zadania powinna się rozpocząć od wykonania połączeń wyrównawczych w łazienkach oraz pomieszczeniach chowu i hodowli zwierząt gospodarskich. Zaleca się następnie w pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu porażeniem, pożarem lub wybuchem wykonać od nowa obwody zasilające, zabezpieczone wyłącznikami ochronnymi różnicowoprądowymi o dużej czułości. Ostatni etap obejmuje pełną przebudowę całej instalacji.

Takie postępowanie wymaga dużej rozważli. Szczególnie ważne jest przy tym, by przewodów ochronnych PE nie łączyć z przewodem neutralnym. Chodzi o to, aby przez uzwojenie przekładnika wyłącznika ochronnego nie płynął prąd upływowy z instalacji, bo wtedy przekładnik nie pełniłby swej funkcji. Wspólny przewód ochronno-neutralny PEN może występować tylko przed (od strony zasilania) wyłącznikiem ochronnym różnicowoprądowym.

Jeśli do ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu wykorzystuje się wyłączniki samoczynne nadprądowe, niezbędne jest zapewnienie, by prąd pełnego zwarcia fazowego (przez bezpośrednie połączenie galwaniczne przewodu fazowego z ochronnym) w najdalszym wypuszcie instalacyjnym od miejsca zasilania powodował zadziałanie zabezpieczenia (wyłącznika samoczynnego nadprądowego) w czasie nie dłuższym niż 5 s.

W razie niespełnienia warunku samoczynnego wyłączenia zasilania jedynym rozwiązaniem jest zmiana urządzenia zabezpieczającego oraz zmniejsze-

nie rezystancji przewodu PEN. Dlatego wymaga się, by przekrój przewodu ochronno-neutralnego PEN wynosił co najmniej 16 mm^2 – aluminiowy (takie stosuje się w liniach niskiego napięcia), a 10 mm^2 – miedziany.

Najmniejsze dopuszczalne przekroje przewodów ochronnych w instalacjach zależą od przekrojów przewodów fazowych instalacji. Wymaga się, by przewody ochronne miały przekrój taki sam jak przewody fazowe o przekroju do 16 mm^2 . Przy większych przekrojach przewodów fazowych (lecz mniejszych niż 35 mm^2) nie mogą mieć przekroju mniejszego niż 16 mm^2 . Natomiast przy przekrojach przewodów fazowych większych od 35 mm^2 , minimalny przekrój przewodu ochronnego nie powinien być mniejszy niż połowa przekroju przewodu fazowego.

Podstawowe normy i przepisy

1. PN-90/E-93002 Wyłączniki nadprądowe do instalacji domowych i podobnych.
2. PN-90/E-93003 Wyłączniki samoczynne do zabezpieczenia urządzeń elektrycznych.
3. PN-EN 60269-1:2001 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Część 1: Wymagania ogólne.
4. PN-EN 60269-3:1997 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Część 3: Wymagania dodatkowe dotyczące bezpieczników instalacyjnych przeznaczonych do stosowania przez osoby niewykwalifikowane (bezpieczniki głównie do gospodarstw domowych i podobnych zastosowań).
5. PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewniające przez obudowy (kod IP).
6. PN-IEC 60364-1:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Zakres, przedmiot i wymagania podstawowe.
7. PN-IEC 60364-3:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ustalenie ogólnych charakterystyk.
8. PN-IEC 60364-4-41:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.
9. PN-IEC 60364-4-47:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Stosowanie środków ochrony zapewniających bezpieczeństwo. Postanowienia ogólne. Środki ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym.
10. PN-IEC 60364-4-482:1999 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Dobór środków ochrony w zależności od wpływów zewnętrznych. Ochrona przeciwpożarowa.
11. PN-IEC 60364-5-51:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Postanowienia ogólne.
12. PN-IEC 60364-5-523:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.
13. PN-IEC 60364-6-6-1:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzanie. Sprawdzanie odbiorcze.

14. PN-IEC 60364-7-705:1999 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Instalacje elektryczne w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych.
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75 z 2002 r., poz. 690; Dz.U. nr 33 z 2003 r., poz. 270; Dz.U. nr 109 z 2004 r., poz. 1156).
16. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U. nr 74 z 1999 r., poz. 836).
17. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz.U. nr 89 z 2006 r., poz. 625; Dz.U. nr 104 z 2006 r., poz. 708; Dz.U. nr 158 z 2006 r., poz. 1123).
18. Wytyczne ochrony przeciwporażeniowej i pożarowej w rolniczych instalacjach odbiorczych. Wyd. IBMER, Warszawa 1995 r.

Uwaga: Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych, wyd. WEMA nie obowiązują od 1995 r.