ELEKTROTECHNIKA WIZUALNA 2026

Ponad 150 wizualnych map z elektrotechniki

Teoria – obwody – wzory – zastosowania praktyczne.
Kompletny materiał do nauki, powtórki i pracy zawodowej.

PAKIET 1 – PODSTAWY, OBWODY I POMIARY ELEKTRYCZNE
PAKIET 2 – BEZPIECZEŃSTWO ELEKTRYCZNE I ZASADY BHP
PAKIET 3 – SCHEMATY, SYMBOLIKA I DOKUMENTACJA TECHNICZNA
PAKIET 4 – STEROWANIE ELEKTRYCZNE I ROZRUCH SILNIKÓW
PAKIET 5 – MASZYNY ELEKTRYCZNE I TRANSFORMATORY
PAKIET 6 – INSTALACJE, ZABEZPIECZENIA I ELEKTROENERGETYKA

EDYCJA 2026

ELEKTROTECHNIKA WIZUALNA 2026

Ponad 150 wizualnych map z elektrotechniki

Sześć pakietów tematycznych – 150 map wizualnych – słownik ponad 100 terminów – 50 fiszek powtórkowych

WYDANIE CYFROWE – FORMAT A4 – EDYCJA 2026

Materiał do nauki, powtórki przedegzaminacyjnej i pracy zawodowej

Jak korzystać z tego materiału

Ten materiał został pomyślany jako zestaw niezależnych map, a nie jako podręcznik czytany od deski do deski. Każda mapa zajmuje dokładnie jedną stronę i zamyka jeden temat: definicje, zależności, wzory albo tabelę wartości oraz krótkie podsumowanie, które warto zapamiętać.

Taki układ ma konkretny cel. Kiedy potrzebujesz odświeżyć jedno zagadnienie, otwierasz jedną stronę i masz na niej komplet informacji, bez konieczności przeglądania kilkunastu rozdziałów. Kiedy uczysz się systematycznie, przechodzisz przez kolejne mapy w obrębie pakietu i budujesz spójny obraz tematu.

Budowa pojedynczej mapy

Każda strona zaczyna się od pasa z nazwą pakietu i numerem mapy, co ułatwia orientację. Pod tytułem znajduje się krótki akapit wprowadzający, który ustawia kontekst i wyjaśnia, dlaczego dane zagadnienie ma znaczenie w praktyce.

Środkową część zajmują ponumerowane punkty kluczowe. Obok nich albo pod nimi umieszczono blok uzupełniający: zestaw wzorów, tabelę wartości albo listę zasad praktycznych. Stronę zamyka pole oznaczone jako ZAPAMIĘTAJ, zawierające jedną najważniejszą myśl.

Trzy sposoby pracy z materiałem

Nauka od podstaw: przechodź pakiety po kolei, od pierwszego do szóstego. Kolejność nie jest przypadkowa, ponieważ pakiety późniejsze korzystają z pojęć wprowadzonych wcześniej.

Powtórka przed egzaminem: przejrzyj wyłącznie pola ZAPAMIĘTAJ oraz bloki ze wzorami i tabelami, a następnie sprawdź się na fiszkach zamieszczonych na końcu opracowania.

Praca zawodowa: korzystaj ze spisu treści jako indeksu. Odszukaj temat, otwórz jedną stronę i wróć do pracy. Słownik na końcu pozwala szybko sprawdzić znaczenie terminu spotkanego w dokumentacji.

Zastrzeżenie

Materiał ma charakter edukacyjny i porządkujący wiedzę. Podane wartości liczbowe, progi i okresy badań są wartościami typowymi, służącymi zilustrowaniu zależności. Przy projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji zawsze stosuj aktualne normy, przepisy oraz dokumentację techniczną producenta.

Prace przy urządzeniach elektrycznych mogą wykonywać wyłącznie osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia.

Spis treści

Pakiet 1 – Podstawy, obwody i pomiary

001	Podstawowe wielkości elektryczne	8
002	Prawo Ohma – podstawa elektrotechniki	9
003	Połączenie szeregowe elementów	10
004	Połączenie równoległe elementów	11
005	Rezystory i kod kolorów	12
006	Moc elektryczna w praktyce	13
007	Dwa prawa Kirchhoffa	14
008	Prąd stały i prąd przemienny	15
009	Wartość skuteczna, szczytowa i średnia	16
010	Częstotliwość, okres i pulsacja	17
011	Kondensator w obwodzie	18
012	Cewka indukcyjna	19
013	Reaktancja i impedancja	20
014	Trójkąt mocy i współczynnik mocy	21
015	Kompensacja mocy biernej	22
016	Układ trójfazowy: gwiazda i trójkąt	23
017	Rezystywność, przewodność i przekrój przewodu	24
018	Spadek napięcia w linii zasilającej	25
019	Wpływ temperatury na rezystancję	26
020	Dzielnik napięcia i dzielnik prądu	27
021	Multimetr: pomiar napięcia, prądu i rezystancji	28
022	Pomiar rezystancji izolacji	29
023	Pomiar impedancji pętli zwarcia	30
024	Cęgi prądowe i pomiar prądu upływu	31
025	Błędy pomiarowe i klasa dokładności	32

Pakiet 2 – Bezpieczeństwo elektryczne i BHP

026	Działanie prądu na organizm człowieka	34
027	Napięcia bezpieczne: SELV, PELV, FELV	35
028	Strefy pracy przy urządzeniach elektrycznych	36
029	Pięć zasad bezpiecznej pracy	37
030	Organizacja prac: polecenie i uprawnienia	38
031	Środki ochrony indywidualnej i sprzęt izolacyjny	39
032	Ochrona podstawowa i ochrona przy uszkodzeniu	40
033	Układy sieci TN-C, TN-S i TN-C-S	41
034	Układy sieci TT i IT	42
035	Uziemienie i rezystancja uziomu	43
036	Połączenia wyrównawcze	44
037	Samoczynne wyłączenie zasilania	45
038	Wyłącznik różnicowoprądowy: zasada działania	46

Spis treści (ciąg dalszy)

039 Typy wyłączników różnicowoprądowych 47
040 Stopnie ochrony IP 48
041 Klasy ochronności urządzeń 49
042 Łuk elektryczny i zagrożenie oparzeniem 50
043 Pierwsza pomoc przy porażeniu prądem 51
044 Gaszenie pożarów urządzeń elektrycznych 52
045 Blokady i oznaczanie miejsca pracy 53
046 Prace pod napięciem 54
047 Ocena ryzyka zawodowego elektryka 55
048 Napięcie dotykowe i napięcie krokowe 56
049 Instalacje w pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu 57
050 Oględziny i próby odbiorcze instalacji 58

Pakiet 3 – Schematy, symbolika i dokumentacja

051 Rodzaje schematów elektrycznych 60
052 Schemat jednokreskowy: czym jest i do czego służy 61
053 Schemat rozwinięty: obwód główny i sterowania 62
054 Symbole graficzne: elementy bierne 63
055 Symbole łączników i styków 64
056 Symbole aparatów zabezpieczających 65
057 Symbole maszyn i transformatorów 66
058 Symbole instalacji elektrycznych w budynkach 67
059 Oznaczenia literowe aparatów 68
060 Oznaczanie zacisków aparatów 69
061 Barwy żył i oznaczanie przewodów 70
062 Oznaczenia typów przewodów i kabli 71
063 Czytanie schematu rozdzielnicy 72
064 Numeracja potencjałów i odsyłacze 73
065 Tabliczka znamionowa silnika 74
066 Tabliczka znamionowa transformatora 75
067 Dokumentacja powykonawcza 76
068 Protokół z pomiarów odbiorczych 77
069 Karta katalogowa aparatu 78
070 Struktura norm instalacyjnych 79
071 Rysunek szafy sterowniczej 80
072 Tabelka rysunkowa, legenda i skala 81
073 Schemat blokowy i funkcjonalny 82
074 Zestawienie aparatury i materiałów 83
075 Od schematu do montażu 84

Pakiet 4 – Sterowanie elektryczne i rozruch silników

076 Stycznik od środka 86

Spis treści (ciąg dalszy)

077	Najczęściej stosowane napięcia sterownicze	87
078	Przekaźnik pomocniczy	88
079	Przekaźnik czasowy i jego funkcje	89
080	Przekaźnik termiczny	90
081	Układ z samopodtrzymaniem	91
082	Sterowanie z wielu miejsc	92
083	Blokada wzajemna i rewersja silnika	93
084	Rozruch bezpośredni silnika	94
085	Rozruch gwiazda-trójkąt	95
086	Softstart	96
087	Falownik: zasada działania	97
088	Parametryzacja falownika	98
089	Hamowanie silnika indukcyjnego	99
090	Wyłącznik silnikowy	100
091	Przyciski i sygnalizacja	101
092	Wyłączniki krańcowe	102
093	Czujniki zbliżeniowe indukcyjne	103
094	Czujniki pojemnościowe i optyczne	104
095	Wejścia i wyjścia sterownika PLC	105
096	Schemat drabinkowy	106
097	Obwód zatrzymania awaryjnego	107
098	Przekaźnik bezpieczeństwa	108
099	Dobór aparatury dla napędu	109
100	Diagnostyka układu sterowania	110

Pakiet 5 – Maszyny elektryczne i transformatory

101	Jak działa silnik elektryczny	112
102	Silnik indukcyjny klatkowy: budowa	113
103	Poślizg i charakterystyka mechaniczna	114
104	Silnik pierścieniowy	115
105	Silnik jednofazowy	116
106	Zmiana kierunku obrotów i kolejność faz	117
107	Prąd rozruchowy silnika	118
108	Sprawność i klasy IE	119
109	Rodzaje pracy silnika S1 do S9	120
110	Chłodzenie i sposób montażu maszyny	121
111	Silnik synchroniczny	122
112	Silnik prądu stałego	123
113	Silnik krokowy i serwonapęd	124
114	Prądnica synchroniczna	125
115	Transformator: zasada działania	126

Spis treści (ciąg dalszy)

116	Przekładnia i dobór transformatora	127
117	Stan jałowy i stan zwarcia transformatora	128
118	Straty i sprawność transformatora	129
119	Grupy połączeń transformatora	130
120	Stacja transformatorowa słupowa	131
121	Transformator olejowy a suchy	132
122	Autotransformator	133
123	Przekładniki prądowe i napięciowe	134
124	Praca równoległa transformatorów	135
125	Diagnostyka maszyn elektrycznych	136

Pakiet 6 – Instalacje, zabezpieczenia i elektroenergetyka

126	Struktura systemu elektroenergetycznego	138
127	Zasilanie budynku: złącze i WLZ	139
128	Stacja transformatorowa SN/nn	140
129	Rozdzielnica niskiego napięcia	141
130	Tablica rozdzielcza w mieszkaniu	142
131	Obwody gniazd i oświetlenia	143
132	Dobór przewodu i obciążalność	144
133	Wyłącznik nadprądowy i charakterystyki	145
134	Zdolność zwarciowa i selektywność	146
135	Bezpiecznik topikowy	147
136	Wyłącznik kompaktowy i powietrzny	148
137	Ograniczniki przepięć	149
138	Instalacja odgromowa	150
139	Oświetlenie awaryjne i ewakuacyjne	151
140	Instalacja fotowoltaiczna	152
141	Magazyn energii i praca wyspowa	153
142	Ładowarki pojazdów elektrycznych	154
143	Kompensacja mocy biernej w zakładzie	155
144	Jakość energii i harmoniczne	156
145	Układ pomiarowy i taryfy	157
146	Linie napowietrzne i kablowe	158
147	Zabezpieczenia w sieci średniego napięcia	159
148	Badania okresowe instalacji	160
149	Eksploatacja instalacji: obowiązki i dokumenty	161
150	Odbiór instalacji i przekazanie do użytku	162

Dodatki – słownik i fiszki

S	Słownik terminów z elektrotechniki	164
F	50 fiszek powtórkowych	169

PAKIET I

Podstawy, obwody i pomiary elektryczne

Fundament całej elektrotechniki: wielkości i jednostki, prawa obwodów, wzory na moc oraz metody pomiarowe stosowane na co dzień.

Mapy 001 – 025

Podstawowe wielkości elektryczne

Napięcie, prąd, rezystancja i moc opisują każdy obwód elektryczny. Bez swobodnego posługiwania się nimi nie da się czytać schematów ani interpretować wyników pomiarów.

1. **Napięcie (U)** różnica potencjałów między dwoma punktami obwodu, wyrażana w woltach. To ona wymusza uporządkowany ruch ładunku.
2. **Prąd (I)** ilość ładunku przepływającego przez przekrój przewodnika w jednostce czasu, mierzona w amperach.
3. **Rezystancja (R)** miara przeciwstawiania się przepływowi prądu, w omach. Zależy od materiału, długości i przekroju przewodu.
4. **Moc (P)** szybkość przetwarzania energii elektrycznej w inną formę energii, wyrażana w watach.
5. **Energia (W)** moc pomnożona przez czas. To ją rozlicza licznik energii, w kilowatogodzinach.

JEDNOSTKI I ZALEŻNOŚCI

$U = I \times R$
napięcie [V]

$I = U / R$
prąd [A]

$R = U / I$
rezystancja [Ω]

$P = U \times I$
moc czynna [W]

$W = P \times t$
energia [Wh]

$Q = I \times t$
ładunek [C]

PRZEDROSTKI, KTÓRE SPOTKASZ W PRAKTYCE

Przedrostek	Symbol	Mnożnik	Przykład zastosowania
mega	M	10^6	MW mocy w elektrowni, MΩ rezystancji izolacji
kilo	k	10^3	kW mocy silnika, kV napięcia w sieci SN
mili	m	10^{-3}	mA prądu różnicowego, mV sygnału pomiarowego
mikro	µ	10^{-6}	µF pojemności kondensatora

ZAPAMIETAJ Zapamiętaj trójkąt Ohma: U na górze, I oraz R na dole. Zasłaniając szukaną wielkość, od razu odczytujesz właściwy wzór.

Prawo Ohma – podstawa elektrotechniki

Prawo Ohma wiąże napięcie, prąd i rezystancję w jednej prostej zależności. Jest punktem wyjścia dla obliczeń obwodów, doboru zabezpieczeń i interpretacji pomiarów.

1. **Treść prawa** prąd płynący przez odbiornik jest wprost proporcjonalny do napięcia i odwrotnie proporcjonalny do rezystancji.
2. **Warunek stosowania** dotyczy elementów liniowych o stałej rezystancji. Dioda, żarówka czy łuk elektryczny są nieliniowe.
3. **Interpretacja praktyczna** podwojenie napięcia na tym samym odbiorniku podwaja prąd, a więc czterokrotnie zwiększa moc.
4. **Zastosowanie w pomiarach** znając dwie wielkości, zawsze wyznaczysz trzecią. Stąd bierze się metoda techniczna pomiaru rezystancji.
5. **Częsty błąd** mylenie rezystancji odbiornika z rezystancją przewodu zasilającego. To dwie różne wartości w tym samym obwodzie.

TRZY POSTACIE WZORU

$U = I \times R$
szukasz napięcia

$I = U / R$
szukasz prądu

$R = U / I$
szukasz rezystancji

$P = U^2 / R$
moc przy znanym U

$P = I^2 \times R$
moc przy znanym I

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

- Grzałka 230 V o rezystancji 46 Ω. Prąd: I = 230 / 46 = 5 A.
- Moc: P = 230 × 5 = 1150 W, czyli 1,15 kW.
- Po 2 godzinach pracy zużyje 2,3 kWh energii.
- Zabezpieczenie 10 A wystarczy, 6 A byłoby na granicy obciążenia.

ZAPAMIETAJ Prawo Ohma opisuje jeden element obwodu. Zanim je zastosujesz, ustal, którego dokładnie elementu dotyczą Twoje dane.

Połączenie szeregowe elementów

W połączeniu szeregowym istnieje tylko jedna droga przepływu prądu. Ten sam prąd płynie przez wszystkie elementy, a napięcie źródła rozkłada się między nie.

1. **Prąd** identyczny w każdym elemencie gałęzi. Pomiar w dowolnym punkcie da tę samą wartość.
2. **Napięcie** sumuje się. Napięcie źródła jest sumą spadków napięć na poszczególnych elementach.
3. **Rezystancja zastępcza** jest sumą rezystancji składowych, więc zawsze większa od największej z nich.
4. **Skutek przerwy** uszkodzenie jednego elementu przerywa cały obwód. Stąd problem starych łańcuchów lampek choinkowych.
5. **Gdzie występuje** obwody sterowania z szeregiem styków bezpieczeństwa, dzielniki napięcia, rezystory dobierające prąd diody LED.

ZALEŻNOŚCI

$I = I_1 = I_2 = I_3$
prąd wspólny

$U = U_1 + U_2 + U_3$
napięcia się sumują

$R = R_1 + R_2 + R_3$
rezystancja zastępcza

$U_1 = U \times R_1 / R$
rozkład napięcia

INTERPRETACJA W OBWODZIE STEROWANIA

- Szeregowy łańcuch styków to logiczne I: obwód zamknie się dopiero, gdy wszystkie warunki są spełnione.
- Wyłącznik awaryjny, wyłącznik krańcowy i styk przekaźnika termicznego łączy się szeregowo w obwodzie cewki stycznika.
- Każdy dodatkowy styk wprowadza własną rezystancję przejścia, co przy długich łańcuchach obniża napięcie na cewce.

ZAPAMIETAJ Jeżeli w obwodzie szeregowym jedno napięcie jest podejrzanie duże, największa rezystancja jest właśnie tam. To gotowa metoda lokalizacji uszkodzenia.

Połączenie równoległe elementów

W połączeniu równoległym wszystkie elementy pracują pod tym samym napięciem, a prąd rozdziela się na gałęzie. Tak zbudowana jest praktycznie każda instalacja odbiorcza.

1. **Napięcie** jednakowe na każdej gałęzi. Dlatego każde gniazdo w mieszkaniu ma 230 V niezależnie od pozostałych.
2. **Prąd** sumuje się. Prąd pobierany ze źródła to suma prądów wszystkich gałęzi.
3. **Rezystancja zastępcza** jest mniejsza od najmniejszej rezystancji składowej. Każdy nowy odbiornik ją obniża.
4. **Skutek przerwy** uszkodzenie jednej gałęzi nie wyłącza pozostałych. To główna zaleta tego układu.
5. **Konsekwencja projektowa** dokładanie odbiorników zwiększa prąd w przewodzie zasilającym, a nie napięcie na nich.

ZALEŻNOŚCI

$U = U_1 = U_2 = U_3$
napięcie wspólne

$I = I_1 + I_2 + I_3$
prądy się sumują

$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$
rezystancja zastępcza

$R = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)$
dla dwóch rezystorów

PRAKTYCZNE WNIOSKI

- Dwa jednakowe rezystory równolegle dają połowę rezystancji jednego z nich.
- Przeciążenie obwodu bierze się z sumowania prądów, a nie z liczby gniazd.
- Równoległe łączenie styków realizuje funkcję logiczną LUB, na przykład sterowanie z dwóch miejsc.

ZAPAMIETAJ Przy równoległych odbiornikach zawsze licz sumę prądów, nie sumę mocy na oko. To prąd decyduje o doborze przewodu i zabezpieczenia.

Rezystory i kod kolorów

Rezystor ogranicza prąd i wytwarza zadany spadek napięcia. Jego wartość odczytasz z pasków barwnych albo z nadruku, a tolerancja mówi, jak bardzo rzeczywista wartość może odbiegać od nominalnej.

1. **Zadanie w obwodzie** ograniczenie prądu, podział napięcia, zadanie punktu pracy elementu półprzewodnikowego, rozproszenie energii.
2. **Kod czteropaskowy** dwa paski cyfr znaczących, jeden mnożnik, jeden tolerancja. Czytamy od paska położonego bliżej krawędzi.
3. **Kod pięciopaskowy** trzy cyfry znaczące, mnożnik i tolerancja. Stosowany w rezystorach precyzyjnych.
4. **Moc znamionowa** określa, ile ciepła rezystor może odprowadzić. Przekroczenie oznacza przegrzanie i zmianę wartości.
5. **Tolerancja** typowo 5 procent dla rezystorów węglowych i 1 procent dla metalizowanych.

KOD KOLORÓW

Kolor	Cyfra	Mnożnik
czarny	0	×1
brązowy	1	×10
czerwony	2	×100
pomarańcz.	3	×1 k
żółty	4	×10 k
zielony	5	×100 k
niebieski	6	×1 M
fioletowy	7	×10 M
szary	8	–
biały	9	–
złoty	–	×0,1 / 5 %
srebrny	–	×0,01 / 10 %

ZAPAMIETAJ Rezystor mierzymy zawsze po wylutowaniu lub odłączeniu jednej końcówki. Elementy równoległe w obwodzie zafałszują wynik.

Moc elektryczna w praktyce

Moc mówi, jak szybko urządzenie zamienia energię elektryczną na ciepło, ruch lub światło. Od niej zależy dobór przewodu, zabezpieczenia i koszt eksploatacji.

1. **Moc czynna P** faktycznie wykonywana praca, w watach. To ją zlicza licznik energii.
2. **Moc bierna Q** krąży między źródłem a odbiornikiem indukcyjnym, w warach. Nie wykonuje pracy, ale obciąża sieć.
3. **Moc pozorna S** geometryczna suma mocy czynnej i biernej, w woltoamperach. Decyduje o doborze transformatora.
4. **Obwód jednofazowy** moc czynna to iloczyn napięcia, prądu i współczynnika mocy.
5. **Obwód trójfazowy** we wzorze pojawia się pierwiastek z trzech, bo napięcie międzyfazowe jest większe od fazowego.

WZORY NA MOC

$P = U \times I \times \cos \varphi$
1-fazowo [W]

$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$
3-fazowo [W]

$S = U \times I$
moc pozorna [VA]

$Q = U \times I \times \sin \varphi$
moc bierna [var]

$S^2 = P^2 + Q^2$
trójkąt mocy

SZYBKIE SZACOWANIE PRĄDU

- Odbiornik 1-fazowy 230 V: prąd w amperach to około moc w watach podzielona przez 230.
- Silnik 3-fazowy 400 V: prąd to około moc w kilowatach razy dwa, dla typowej sprawności i cos fi.
- Grzałka i żarnik żarowy mają cos fi równy jeden, więc moc pozorna równa się czynnej.

ZAPAMIETAJ Transformator i przewód dobiera się do mocy pozornej, a rachunek płacisz za moc czynną. To dwie różne wartości.

Dwa prawa Kirchhoffa

Prawa Kirchhoffa pozwalają analizować obwody rozgałęzione, w których samo prawo Ohma nie wystarcza. Są podstawą wszystkich metod obliczania sieci elektrycznych.

1. **I prawo, prądowe** suma prądów wpływających do węzła równa się sumie prądów z niego wypływających. Ładunek nie gromadzi się w węźle.
2. **Zapis algebraiczny** przyjmując prądy wpływające jako dodatnie, suma wszystkich prądów w węźle wynosi zero.
3. **II prawo, napięciowe** w oczku zamkniętym suma sił elektromotorycznych równa się sumie spadków napięć.
4. **Znaki w oczku** obieramy kierunek obiegu oczka i konsekwentnie przypisujemy znaki napięciom zgodnym i przeciwnym.
5. **Zastosowanie** obliczanie rozpływu prądów w sieci, analiza mostków pomiarowych, sprawdzanie bilansu w rozdzielnicy.

ZAPIS FORMALNY

$\Sigma I = 0$
prawo prądowe (węzeł)

$\Sigma E = \Sigma (I \times R)$
prawo napięciowe (oczko)

$I_1 = I_2 + I_3$
przykład węzła

$U_ź = U_1 + U_2$
przykład oczka

KONTROLA PRAKTYCZNA

- W rozdzielnicy suma prądów odpływów musi zgadzać się z prądem zasilania. Rozbieżność wskazuje na prąd upływu lub błąd pomiaru.
- W układzie trójfazowym symetrycznym suma prądów fazowych w przewodzie neutralnym jest bliska zeru.
- Duży prąd w przewodzie N przy symetrycznym obciążeniu sygnalizuje wyższe harmoniczne, zwłaszcza trzecią.

ZAPAMIETAJ Prawa Kirchhoffa obowiązują zawsze, także w obwodach prądu przemiennego. Trzeba tylko operować wartościami zespolonymi zamiast liczbami rzeczywistymi.

Prąd stały i prąd przemienny

Różnica między DC i AC to nie tylko kształt przebiegu. Wpływa ona na sposób pomiaru, dobór aparatury łączeniowej i zagrożenie porażeniowe.

1. **Prąd stały DC** kierunek i wartość nie zmieniają się w czasie. Źródła: bateria, akumulator, prostownik, panel fotowoltaiczny.
2. **Prąd przemienny AC** kierunek i wartość zmieniają się okresowo, w Polsce z częstotliwością 50 Hz.
3. **Dlaczego sieć jest AC** łatwa transformacja napięcia, prostsza konstrukcja silników, tańsze przesyłanie energii na duże odległości.
4. **Gaszenie łuku** prąd przemienny przechodzi przez zero sto razy na sekundę, co ułatwia gaszenie łuku w łączniku. W DC łuk trzeba wygasić siłowo.
5. **Skutek dla aparatury** łącznik o parametrach AC nie może być dowolnie stosowany w obwodzie DC. Sprawdź osobne dane katalogowe dla prądu stałego.

PORÓWNANIE

Cecha	DC	AC
Kierunek	stały	zmienny
Transformacja	przetwornica	transformator
Łuk	ciągły	gaśnie w zerze
Pomiar	wartość rzecz.	wartość skut.
Zastosowanie	PV, EV, elektronika	sieć, silniki

ZAPAMIETAJ W instalacjach fotowoltaicznych strona stałoprądowa bywa groźniejsza od przemiennej, bo łuk stałoprądowy nie gaśnie samoczynnie.

Wartość skuteczna, szczytowa i średnia

Napięcie 230 V to wartość skuteczna, a nie maksymalna. Rozróżnianie tych wartości jest niezbędne przy doborze izolacji, elementów elektronicznych i przy pomiarach.

1. **Wartość skuteczna RMS** taka wartość prądu stałego, która wydzieliłaby w rezystorze tę samą moc cieplną co dany przebieg przemienny.
2. **Wartość szczytowa** maksymalna chwilowa wartość przebiegu. Dla sinusoidy jest większa od skutecznej o pierwiastek z dwóch.
3. **Sieć 230 V** wartość szczytowa wynosi około 325 V, a napięcie międzyszczytowe około 650 V.
4. **Wartość średnia** dla pełnej sinusoidy równa zeru, dlatego liczy się ją dla półokresu, na przykład po prostowaniu.
5. **Pomiar True RMS** miernik zwykły zakłada idealną sinusoidę. Przy przebiegach odkształconych potrzebny jest miernik True RMS.

PRZELICZENIA DLA SINUSOIDY

$U_m = U \times \sqrt{2}$
szczytowa z skutecznej

$U = U_m / \sqrt{2}$
skuteczna z szczytowej

$230\ V \rightarrow 325\ V$
sieć jednofazowa

$400\ V \rightarrow 566\ V$
sieć trójfazowa

$U_{śr} = 0{,}637 \times U_m$
średnia półokresu

ZAPAMIETAJ Izolację i elementy elektroniczne dobiera się do wartości szczytowej, a moc i obciążalność liczy się z wartości skutecznej.

Częstotliwość, okres i pulsacja

Częstotliwość opisuje, jak szybko powtarza się przebieg przemienny. Wpływa na prędkość silników, wartość reaktancji i pracę całego systemu elektroenergetycznego.

1. **Okres T** czas jednego pełnego cyklu przebiegu, w sekundach. Dla 50 Hz wynosi 20 milisekund.
2. **Częstotliwość f** liczba cykli na sekundę, w hercach. Jest odwrotnością okresu.
3. **Pulsacja omega** prędkość kątowa wektora wirującego, używana we wzorach na reaktancję.
4. **Znaczenie systemowe** częstotliwość w sieci odzwierciedla bilans mocy. Spadek poniżej wartości znamionowej oznacza deficyt generacji.
5. **Wpływ na maszyny** prędkość synchroniczna silnika zależy wprost od częstotliwości. Na tym opiera się regulacja falownikowa.

ZALEŻNOŚCI

$f = 1 / T$
częstotliwość [Hz]

$T = 1 / f$
okres [s]

$\omega = 2\pi f$
pulsacja [rad/s]

$n_s = 60f / p$
prędkość synchr. [obr/min]

PRĘDKOŚĆ SYNCHRONICZNA PRZY 50 HZ

Liczba par biegunów	Bieguny	Prędkość synchroniczna
1	2	3000 obr/min
2	4	1500 obr/min
3	6	1000 obr/min
4	8	750 obr/min

ZAPAMIETAJ Silnik z tabliczki 1450 obr/min to maszyna czterobiegunowa. Różnica względem 1500 obr/min to poślizg znamionowy.

Kondensator w obwodzie

Kondensator gromadzi energię w polu elektrycznym. W obwodzie prądu przemiennego powoduje wyprzedzenie prądu względem napięcia, co wykorzystuje się do kompensacji i filtracji.

1. **Budowa** dwie okładziny rozdzielone dielektrykiem. Pojemność zależy od powierzchni okładzin, odległości i rodzaju dielektryka.
2. **Zachowanie w DC** po naładowaniu prąd zanika. Kondensator stanowi przerwę dla prądu stałego.
3. **Zachowanie w AC** przewodzi tym lepiej, im wyższa częstotliwość. Jego reaktancja maleje ze wzrostem częstotliwości.
4. **Przesunięcie fazowe** prąd wyprzedza napięcie o kąt zbliżony do 90 stopni.
5. **Zagrożenie** kondensator pozostaje naładowany po wyłączeniu zasilania. Przed pracą wymaga rozładowania i sprawdzenia.

WZORY

$Q = C \times U$
ładunek [C]

$X_C = 1 / (2\pi f C)$
reaktancja poj. [Ω]

$E = \frac{1}{2} \times C \times U^2$
energia [J]

$C = C_1 + C_2$
połączenie równoległe

$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$
połączenie szeregowe

TYPOWE ZASTOSOWANIA

- Kompensacja mocy biernej baterią kondensatorów w rozdzielnicy zakładowej.
- Kondensator rozruchowy i pracy w silniku jednofazowym.
- Filtracja tętnień po prostowniku w zasilaczu.
- Tłumienie zakłóceń w układach sterowania i przy stykach.

ZAPAMIETAJ Baterie kondensatorów wyposaża się w rezystory rozładowcze. Zawsze odczekaj czas podany przez producenta i sprawdź brak napięcia.

Cewka indukcyjna

Cewka gromadzi energię w polu magnetycznym i przeciwstawia się zmianom prądu. To ona odpowiada za przepięcia łączeniowe i za indukcyjny charakter większości odbiorników przemysłowych.

1. **Zasada działania** przepływ prądu wytwarza pole magnetyczne. Zmiana tego pola indukuje siłę elektromotoryczną przeciwdziałającą zmianie.
2. **Zachowanie w DC** po ustaleniu się prądu cewka zachowuje się jak zwykły rezystor o małej rezystancji uzwojenia.
3. **Zachowanie w AC** reaktancja rośnie ze wzrostem częstotliwości, ograniczając prąd.
4. **Przesunięcie fazowe** prąd opóźnia się względem napięcia o kąt zbliżony do 90 stopni.
5. **Przepięcia łączeniowe** przerwanie prądu w cewce wywołuje wysokie napięcie samoindukcji. Stąd iskrzenie styków i konieczność stosowania układów tłumiących.

WZORY

$X_L = 2\pi f L$
reaktancja ind. [Ω]

$E = ½ \times L \times I^2$
energia [J]

$e = -L \times \Delta I/\Delta t$
napięcie samoindukcji

$L = L_1 + L_2$
połączenie szeregowe

OCHRONA PRZED PRZEPIĘCIEM CEWKI

- Dioda gasząca w obwodach prądu stałego, równolegle do cewki, katodą do plusa.
- Układ RC lub warystor w obwodach prądu przemiennego.
- Brak tłumienia skraca żywotność styków i zakłóca pracę sterowników.

ZAPAMIETAJ Cewka stycznika, uzwojenie silnika i dławik to wszystko indukcyjności. Każde ich wyłączenie generuje przepięcie, które trzeba przewidzieć.

Reaktancja i impedancja

W obwodach prądu przemiennego samo pojęcie rezystancji nie wystarcza. Opór całkowity, czyli impedancja, obejmuje także wpływ cewek i kondensatorów.

1. **Rezystancja R** część rzeczywista, na której wydziela się moc czynna. Nie zależy od częstotliwości.
2. **Reaktancja indukcyjna** wnoszona przez cewki, rośnie z częstotliwością. Powoduje opóźnienie prądu.
3. **Reaktancja pojemnościowa** wnoszona przez kondensatory, maleje z częstotliwością. Powoduje wyprzedzenie prądu.
4. **Reaktancja wypadkowa** różnica reaktancji indukcyjnej i pojemnościowej. Gdy są równe, występuje rezonans.
5. **Impedancja Z** całkowity opór obwodu prądu przemiennego, wyznaczany geometrycznie z rezystancji i reaktancji.

WZORY

$X_L = 2\pi f L$
indukcyjna [Ω]

$X_C = 1/(2\pi f C)$
pojemnościowa [Ω]

$X = X_L - X_C$
wypadkowa

$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}$
impedancja [Ω]

$\cos \varphi = R / Z$
współczynnik mocy

REZONANS W OBWODZIE

- Rezonans szeregowy: impedancja minimalna, prąd maksymalny, ryzyko przeciążenia.
- Rezonans równoległy: impedancja maksymalna, prąd pobierany ze źródła minimalny.
- W instalacjach z baterią kondensatorów i harmonicznymi rezonans może wywołać niebezpieczne przetężenia.

ZAPAMIETAJ Impedancja pętli zwarcia mierzona przy odbiorze instalacji to właśnie ta wielkość. Jej wartość decyduje o skuteczności samoczynnego wyłączenia zasilania.

Trójkąt mocy i współczynnik mocy

Współczynnik mocy pokazuje, jaka część mocy pobieranej z sieci jest faktycznie wykorzystywana. Niska wartość oznacza wyższe prądy, większe straty i opłaty za moc bierną.

1. **Trójkąt mocy** moc czynna jako przyprostokątna pozioma, bierna jako pionowa, pozorna jako przeciwprostokątna.
2. **Kąt fi** kąt przesunięcia fazowego między napięciem a prądem. Jego cosinus to współczynnik mocy.
3. **Odbiornik rezystancyjny** grzałka i żarówka żarowa mają współczynnik mocy równy jedności.
4. **Odbiornik indukcyjny** silnik nieobciążony może mieć współczynnik mocy w okolicach 0,3, a obciążony około 0,85.
5. **Skutek niskiej wartości** przy tej samej mocy czynnej rośnie prąd, a więc straty w przewodach i obciążenie transformatora.

ZALEŻNOŚCI

$S^2 = P^2 + Q^2$
trójkąt mocy

$\cos \varphi = P / S$
współczynnik mocy

$Q = P \times \mathrm{tg}\, \varphi$
moc bierna

$I = P / (U \times \cos \varphi)$
prąd 1-fazowy

WPŁYW NA PRĄD PRZY P = 10 KW, U = 400 V

cos fi	Prąd	Komentarz
1,00	14,4 A	odbiornik rezystancyjny
0,90	16,0 A	poprawnie skompensowany
0,70	20,6 A	wymaga kompensacji
0,50	28,9 A	podwójny prąd bez zysku mocy

ZAPAMIETAJ Poprawa współczynnika mocy nie zmniejsza zużycia energii czynnej. Zmniejsza prąd, straty i opłaty za energię bierną.

Kompensacja mocy biernej

Kompensacja polega na wytworzeniu mocy biernej pojemnościowej w pobliżu odbiorników indukcyjnych. Dzięki temu sieć zasilająca przesyła mniejszy prąd.

1. **Cel** podniesienie współczynnika mocy do wartości wymaganej przez umowę, zwykle powyżej 0,93.
2. **Kompensacja indywidualna** kondensator przy pojedynczym odbiorniku, najczęściej przy dużym silniku pracującym w sposób ciągły.
3. **Kompensacja grupowa** bateria przy rozdzielnicy zasilającej grupę odbiorników o zbliżonym czasie pracy.
4. **Kompensacja centralna** bateria automatyczna w rozdzielnicy głównej, załączająca stopnie w zależności od bieżącego zapotrzebowania.
5. **Ryzyko przekompensowania** nadmiar pojemności powoduje charakter pojemnościowy, wzrost napięcia i również jest rozliczany przez operatora.

DOBÓR BATERII

$Qc = P \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$

moc baterii [var]

$tg\varphi_1$

stan przed kompensacją

$tg\varphi_2$

stan docelowy

$C = Qc / (2\pi f \times U^2)$

pojemność [F]

UWAGI WYKONAWCZE

- Przy dużej zawartości harmonicznych stosuje się baterie z dławikami odstrojającymi.
- Bateria wymaga zabezpieczenia zwarciowego i rezystorów rozładowczych.
- Sterownik mocy biernej powinien mierzyć prąd w miejscu reprezentatywnym dla całego zakładu.

ZAPAMIETAJ Kompensacja przy odbiorniku odciąża całą drogę zasilania. Kompensacja centralna odciąża tylko odcinek od rozdzielnicy głównej w górę.

Układ trójfazowy: gwiazda i trójkąt

Sieć trójfazowa dostarcza trzy napięcia przesunięte o 120 stopni. Sposób połączenia odbiornika decyduje o napięciu na jego uzwojeniach i o pobieranym prądzie.

1. **Napięcie fazowe** mierzone między fazą a przewodem neutralnym, w sieci nn wynosi 230 V.
2. **Napięcie międzyfazowe** mierzone między dwiema fazami, wynosi 400 V. Jest większe od fazowego o pierwiastek z trzech.
3. **Połączenie w gwiazdę** końce uzwojeń łączy się w punkcie zerowym. Napięcie na uzwojeniu to napięcie fazowe.
4. **Połączenie w trójkąt** koniec jednego uzwojenia łączy się z początkiem następnego. Na uzwojeniu występuje pełne napięcie międzyfazowe.
5. **Konsekwencja praktyczna** ten sam silnik w trójkącie pobiera trzykrotnie większy prąd i wytwarza trzykrotnie większą moc niż w gwieździe.

ZALEŻNOŚCI

$U_l = \sqrt{3} \times U^f$
400 V z 230 V

Gwiazda: $I_l = I^f$
prąd bez zmian

Trójkąt: $I_l = \sqrt{3} \times I^f$
prąd liniowy większy

$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi$
moc 3-fazowa

TABLICZKA SILNIKA A SIEĆ 400 V

Oznaczenie	Połączenie w sieci 400 V	Uwaga
230/400 V	gwiazda	trójkąt spaliłby uzwojenia
400/690 V	trójkąt	typowe dla rozruchu gwiazda-trójkąt
Mostki na listwie	poziome: trójkąt	pionowe: gwiazda

ZAPAMIETAJ Zanim połączysz mostki na listwie zaciskowej, sprawdź tabliczkę znamionową. Błędne połączenie kończy się natychmiastowym uszkodzeniem uzwojeń.

Rezystywność, przewodność i przekrój przewodu

Rezystancja przewodu zależy od materiału, długości i przekroju. Ta prosta zależność decyduje o doborze kabla i o wielkości strat w instalacji.

1. **Rezystywność** cecha materiału opisująca jego opór właściwy. Miedź ma mniejszą rezystywność niż aluminium.
2. **Wpływ długości** rezystancja rośnie proporcjonalnie do długości przewodu. Podwojenie trasy podwaja spadek napięcia.
3. **Wpływ przekroju** rezystancja maleje odwrotnie proporcjonalnie do przekroju. Zwiększenie przekroju dwukrotnie zmniejsza rezystancję o połowę.
4. **Przewodność** odwrotność rezystywności. Wygodna przy porównywaniu materiałów przewodzących.
5. **Aluminium a miedź** aby uzyskać tę samą rezystancję, przewód aluminiowy musi mieć o około 60 procent większy przekrój.

WZORY

$R = \rho \times l / S$
rezystancja przewodu

$\rho\ Cu \approx 0{,}0178$
Ω·mm²/m

$\rho\ Al \approx 0{,}0282$
Ω·mm²/m

$\gamma = 1 / \rho$
przewodność

TYPOWE PRZEKROJE W INSTALACJACH NN

Przekrój	Zastosowanie	Typowe zabezpieczenie
1,5 mm²	obwody oświetleniowe	B10
2,5 mm²	obwody gniazd	B16
4 mm²	gniazda o dużym obciążeniu, kuchnia	B20 / B25
6 mm²	zasilanie tablicy, płyta indukcyjna	B32

ZAPAMIETAJ Przekrój dobiera się z dwóch warunków naraz: obciążalności długotrwałej i dopuszczalnego spadku napięcia. Decyduje warunek ostrzejszy.

Spadek napięcia w linii zasilającej

Każdy przewód ma rezystancję, więc na jego długości traci się część napięcia. Zbyt duży spadek oznacza gorszą pracę odbiorników i wyższe straty energii.

1. **Przyczyna** przepływ prądu przez rezystancję przewodu powoduje spadek napięcia zgodnie z prawem Ohma.
2. **Droga prądu** w obwodzie jednofazowym prąd pokonuje trasę tam i z powrotem, więc długość liczy się podwójnie.
3. **Wartości dopuszczalne** typowo do 3 procent dla obwodów oświetleniowych i do 5 procent dla obwodów odbiorczych.
4. **Skutki przekroczenia** przygasanie oświetlenia, trudny rozruch silników, przegrzewanie się uzwojeń, zwiększone straty.
5. **Środki zaradcze** zwiększenie przekroju, skrócenie trasy, przeniesienie punktu zasilania bliżej odbiornika, zasilanie trójfazowe.

OBLICZENIA

$\Delta U = 2 \times I \times R$
obwód 1-fazowy

$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times R$
obwód 3-fazowy

$R = \rho \times l / S$
rezystancja żyły

$\Delta U\% = \Delta U / U_n \times 100$
spadek względny

PRZYKŁAD

- Obwód 1-fazowy, przewód miedziany 2,5 mm2, długość 30 m, prąd 10 A.
- Rezystancja żyły: 0,0178 × 30 / 2,5 = 0,214 Ω.
- Spadek napięcia: 2 × 10 × 0,214 = 4,3 V, czyli około 1,9 procent.
- Wynik mieści się w dopuszczalnym zakresie dla obwodu odbiorczego.

ZAPAMIETAJ Zasilanie trójfazowe zamiast jednofazowego przy tej samej mocy zmniejsza prąd i radykalnie ogranicza spadek napięcia na długich trasach.

Wpływ temperatury na rezystancję

Rezystancja przewodników rośnie wraz z temperaturą. Ma to wpływ na obciążalność kabli, wyniki pomiarów i zachowanie zabezpieczeń.

1. **Metale** wzrost temperatury zwiększa drgania sieci krystalicznej, co utrudnia ruch elektronów i podnosi rezystancję.
2. **Współczynnik temperaturowy** dla miedzi wynosi około 0,004 na stopień. Wzrost o 50 stopni podnosi rezystancję o około 20 procent.
3. **Półprzewodniki** zachowują się odwrotnie, ich rezystancja maleje ze wzrostem temperatury.
4. **Skutek dla kabli** kabel ułożony w wiązce, w izolacji cieplnej albo w wysokiej temperaturze otoczenia ma obniżoną obciążalność.
5. **Skutek dla pomiarów** rezystancję uzwojeń i pętli zwarcia przelicza się na temperaturę odniesienia, aby wyniki były porównywalne.

PRZELICZENIE

$R_t = R_0 \times (1 + \alpha \Delta T)$

rezystancja w temp. t

α Cu $\approx 0{,}00393$

1/K

α Al $\approx 0{,}00403$

1/K

$\Delta T = t - 20\ °C$

przyrost temperatury

WSPÓŁCZYNNIKI POPRAWKOWE

- Temperatura otoczenia wyższa od 30 stopni obniża dopuszczalny prąd kabla.
- Ułożenie wielu obwodów w jednej rurze wymaga zastosowania współczynnika grupowania.
- Izolacja termiczna wokół przewodu może obniżyć obciążalność nawet o połowę.

ZAPAMIETAJ Ciepły przewód ma większą rezystancję, więc większy spadek napięcia i większe straty. Przegrzewanie jest procesem samonapędzającym.

Dzielnik napięcia i dzielnik prądu

Dzielniki pozwalają uzyskać wymaganą część napięcia lub prądu bez dodatkowego źródła. Są podstawą układów pomiarowych i obwodów zadających sygnał.

1. **Dzielnik napięcia** dwa rezystory połączone szeregowo. Napięcie wyjściowe zdejmuje się z jednego z nich.
2. **Zasada podziału** napięcie rozkłada się proporcjonalnie do rezystancji. Większa rezystancja przejmuje większą część napięcia.
3. **Wpływ obciążenia** dołączenie odbiornika o małej rezystancji zmienia podział napięcia. Dzielnik nieobciążony liczy się inaczej niż obciążony.
4. **Dzielnik prądu** dwa rezystory połączone równolegle. Prąd dzieli się odwrotnie proporcjonalnie do rezystancji.
5. **Zastosowania** potencjometry zadające, bocznik pomiarowy, dopasowanie sygnału do wejścia sterownika, dzielniki wysokonapięciowe.

WZORY

$U_2 = U \times R_2/(R_1+R_2)$
dzielnik napięcia

$I_1 = I \times R_2/(R_1+R_2)$
dzielnik prądu

$U_1/U_2 = R_1/R_2$
proporcja napięć

$I_1/I_2 = R_2/R_1$
proporcja prądów

BOCZNIK POMIAROWY

- Bocznik to rezystor o bardzo małej i znanej rezystancji włączony szeregowo w obwód.
- Spadek napięcia na boczniku jest proporcjonalny do mierzonego prądu.
- Typowe wykonania dają 60 mV przy prądzie znamionowym.

ZAPAMIETAJ Dzielnik napięcia nie jest źródłem zasilania. Przy poborze prądu przez odbiornik napięcie wyjściowe gwałtownie spada.

Multimetr: pomiar napięcia, prądu i rezystancji

Multimetr jest podstawowym narzędziem elektryka. Sposób podłączenia zależy od mierzonej wielkości, a pomyłka może zniszczyć przyrząd lub spowodować zwarcie.

1. **Pomiar napięcia** przyrząd łączy się równolegle do badanego elementu. Woltomierz ma bardzo dużą rezystancję wewnętrzną.
2. **Pomiar prądu** przyrząd łączy się szeregowo, po przerwaniu obwodu. Amperomierz ma bardzo małą rezystancję wewnętrzną.
3. **Pomiar rezystancji** wykonuje się wyłącznie w obwodzie beznapięciowym, po odłączeniu badanego elementu.
4. **Wybór zakresu** zaczynaj od najwyższego zakresu i schodź niżej. Zakres automatyczny nie zwalnia z ostrożności.
5. **Kategoria pomiarowa** przyrząd musi mieć kategorię odpowiednią do miejsca pomiaru, na przykład CAT III dla rozdzielnic.

PODŁĄCZENIE PRZYRZĄDU

Wielkość	Podłączenie	Stan obwodu
Napięcie	równolegle	pod napięciem
Prąd	szeregowo	pod napięciem
Rezystancja	do elementu	bez napięcia
Ciągłość	do elementu	bez napięcia

NAJCZĘSTSZE BŁĘDY

- Pozostawienie przewodów w gnieździe prądowym i próba pomiaru napięcia, co powoduje zwarcie.
- Pomiar rezystancji w obwodzie pod napięciem, czyli uszkodzenie przyrządu.
- Zaufanie wskazaniu napięcia indukowanego na przewodzie odłączonym, tak zwanemu napięciu widmo.
- Brak sprawdzenia przyrządu na znanym źródle przed i po pomiarze braku napięcia.

ZAPAMIETAJ Zasada trzech kroków: sprawdź przyrząd na znanym napięciu, wykonaj pomiar, ponownie sprawdź przyrząd. Dopiero wtedy wynik jest wiarygodny.

Pomiar rezystancji izolacji

Pomiar rezystancji izolacji wykrywa jej degradację, zawilgocenie i uszkodzenia mechaniczne, zanim doprowadzą do zwarcia lub porażenia.

1. **Zasada** miernik podaje wysokie napięcie stałe i mierzy bardzo mały prąd upływu przez izolację.
2. **Napięcie probiercze** dobiera się do napięcia znamionowego obwodu, dla instalacji 230/400 V jest to zwykle 500 V DC.
3. **Przygotowanie** obwód musi być odłączony od zasilania, odbiorniki wypięte, a elementy elektroniczne zabezpieczone lub usunięte.
4. **Zakres pomiarów** między żyłami czynnymi wzajemnie oraz między każdą żyłą a przewodem ochronnym.
5. **Interpretacja** wynik poniżej wartości minimalnej oznacza izolację do naprawy. Wartości bardzo wysokie są normalne dla dobrej izolacji.

WYMAGANIA PODSTAWOWE

Napięcie obwodu	Napięcie probiercze	Rezystancja minimalna
SELV, PELV	250 V DC	0,5 MΩ
do 500 V	500 V DC	1,0 MΩ
powyżej 500 V	1000 V DC	1,0 MΩ

BEZPIECZEŃSTWO I TYPOWE PUŁAPKI

- Po pomiarze rozładuj obwód, bo pojemność kabla utrzymuje wysokie napięcie.
- Nie mierz przy podłączonych urządzeniach elektronicznych, ogranicznikach przepięć ani lampach LED.
- Wilgoć w puszkach i mufach jest najczęstszą przyczyną niskich wyników.
- Wynik zapisuj wraz z temperaturą i wilgotnością, bo wpływają na wartość.

ZAPAMIETAJ Niska rezystancja izolacji rzadko oznacza zwarcie natychmiastowe. To sygnał ostrzegawczy, że awaria jest kwestią czasu.

Pomiar impedancji pętli zwarcia

Pomiar pętli zwarcia sprawdza, czy w razie uszkodzenia popłynie prąd wystarczający do zadziałania zabezpieczenia w wymaganym czasie.

1. **Co obejmuje pętla** źródło, przewód fazowy, miejsce zwarcia oraz drogę powrotną przewodem ochronnym lub neutralnym.
2. **Zasada pomiaru** miernik obciąża obwód znanym prądem i z zaobserwowanego spadku napięcia wylicza impedancję.
3. **Prąd zwarciowy** wyznacza się z napięcia znamionowego i zmierzonej impedancji.
4. **Warunek skuteczności** prąd zwarciowy musi przekroczyć prąd zadziałania zabezpieczenia w czasie wymaganym normą.
5. **Czas wyłączenia** dla obwodów gniazd do 32 A w układzie TN wymagane jest zwykle 0,4 sekundy.

OBLICZENIA

$Z_s = U_0 / I_k$
impedancja pętli

$I_k = U_0 / Z_s$
prąd zwarciowy

$I_k \geq I_a$
warunek skuteczności

$U_0 = 230\ V$
napięcie fazowe

ORIENTACYJNY PRĄD ZADZIAŁANIA WYŁĄCZNIKÓW

Charakterystyka	Krotność prądu znamionowego	Przykład dla 16 A
B	3 do 5	około 80 A
C	5 do 10	około 160 A
D	10 do 20	około 320 A

ZAPAMIETAJ Zbyt duża impedancja pętli oznacza, że zabezpieczenie nie zadziała dostatecznie szybko. Rozwiązaniem jest większy przekrój, krótsza trasa lub zastosowanie wyłącznika różnicowoprądowego.

Cęgi prądowe i pomiar prądu upływu

Cęgi pozwalają zmierzyć prąd bez przerywania obwodu. W wersji upływowej wykrywają bardzo małe prądy uciekające do ziemi.

1. **Zasada działania** cęgi obejmują przewód i mierzą pole magnetyczne wytwarzane przez płynący w nim prąd.
2. **Cęgi AC** wykorzystują przekładnik prądowy, mierzą tylko prąd przemienny.
3. **Cęgi z czujnikiem Halla** mierzą także prąd stały, przydatne w instalacjach fotowoltaicznych i przy akumulatorach.
4. **Pomiar prądu upływu** obejmuje się jednocześnie wszystkie żyły robocze obwodu. Suma różna od zera to prąd upływu.
5. **Typowa diagnostyka** prąd upływu rzędu kilkudziesięciu miliamperów wyjaśnia przyczynę zbędnych zadziałań wyłącznika różnicowoprądowego.

ZASADY POPRAWNEGO POMIARU

- Obejmuj tylko jeden przewód, jeśli mierzysz prąd obciążenia. Objęcie fazy i neutralnego da wynik bliski zeru.
- Do pomiaru upływu obejmij komplet żył czynnych obwodu, bez przewodu ochronnego.
- Przewód umieść centralnie w cęgach, aby zminimalizować błąd.
- Sprawdź zakres, bo cęgi upływowe mają inny zakres niż cęgi obciążeniowe.

ORIENTACYJNE POZIOMY PRĄDU UPŁYWU

Wartość	Interpretacja
poniżej 1 mA	typowy upływ pojedynczego urządzenia
3 do 10 mA	suma upływów w rozbudowanym obwodzie
powyżej 15 mA	prawdopodobna przyczyna wyzwalania RCD 30 mA
powyżej 30 mA	uszkodzenie izolacji, obwód do sprawdzenia

ZAPAMIETAJ Zbędne wyłączanie RCD najczęściej nie jest wadą wyłącznika. To sumujący się upływ wielu odbiorników, który da się zmierzyć i zlokalizować.

Błędy pomiarowe i klasa dokładności

Każdy pomiar obarczony jest błędem. Świadomość jego źródeł pozwala odróżnić wynik wiarygodny od takiego, na którym nie można oprzeć decyzji.

1. **Błąd bezwzględny** różnica między wartością zmierzoną a rzeczywistą, wyrażona w jednostkach mierzonej wielkości.
2. **Błąd względny** stosunek błędu bezwzględnego do wartości rzeczywistej, wyrażany w procentach.
3. **Błąd systematyczny** powtarzalny, wynikający z wadliwej kalibracji lub metody. Da się go skorygować.
4. **Błąd przypadkowy** zmienny, wynikający z zakłóceń i warunków otoczenia. Ogranicza się go przez uśrednianie serii pomiarów.
5. **Błąd metody** wpływ samego przyrządu na mierzony obwód, na przykład rezystancja amperomierza włączona szeregowo.

OBLICZANIE BŁĘDU

$\Delta x = x_m - x_r$

błąd bezwzględny

$\delta = \Delta x / x_r \times 100\ \%$

błąd względny

$\Delta x = kl\ \% \times zakres$

z klasy przyrządu

WNIOSEK PRAKTYCZNY

- Klasa dokładności odnosi się do zakresu, a nie do wskazania. Pomiar 10 V na zakresie 1000 V jest obarczony dużym błędem względnym.
- Dobieraj zakres tak, aby wskazanie mieściło się w górnej części skali.
- Przy pomiarach odbiorczych stosuj przyrządy z aktualnym świadectwem wzorcowania.
- Zapisuj warunki pomiaru, bo wpływają na interpretację wyników.

ZAPAMIETAJ Wynik bez podanej niepewności jest tylko liczbą. Dopiero znajomość błędu pozwala stwierdzić, czy wymaganie normy jest spełnione.

PAKIET II

Bezpieczeństwo elektryczne i zasady BHP

Działanie prądu na organizm, układy sieci, środki ochrony przeciwporażeniowej, organizacja prac i postępowanie w sytuacjach awaryjnych.

Mapy 026 – 050

Działanie prądu na organizm człowieka

Skutki porażenia zależą od wartości prądu, czasu przepływu i drogi przez ciało. To prąd, a nie samo napięcie, decyduje o skali zagrożenia.

1. **Skurcz mięśni** prąd wywołuje niekontrolowany skurcz. Powyżej progu samouwolnienia poszkodowany nie jest w stanie puścić przedmiotu.
2. **Migotanie komór** najgroźniejszy skutek, zaburzenie pracy serca prowadzące do zatrzymania krążenia.
3. **Oparzenia** powstają w miejscu wejścia i wyjścia prądu oraz wewnątrz ciała, wzdłuż drogi przepływu.
4. **Droga przepływu** najgroźniejsza jest droga ręka-ręka oraz ręka-stopy, ponieważ prąd przechodzi przez klatkę piersiową.
5. **Rezystancja ciała** waha się od kilku kiloomów przy suchej skórze do kilkuset omów przy skórze mokrej lub uszkodzonej.

SKUTKI PRZY PRĄDZIE PRZEMIENNYM 50 HZ

Prąd	Skutek
0,5 do 2 mA	próg odczuwania
2 do 10 mA	ból, skurcz mięśni
10 do 30 mA	przekroczony próg samouwolnienia
30 do 50 mA	zaburzenia oddychania
powyżej 50 mA	ryzyko migotania komór

CZYNNIKI ZWIĘKSZAJĄCE ZAGROŻENIE

- Wilgoć, pot i uszkodzenia naskórka drastycznie obniżają rezystancję ciała.
- Praca w pozycji wymuszonej ogranicza możliwość odsunięcia się od źródła.
- Przewodzące podłoże i konstrukcje metalowe tworzą dobrą drogę powrotu prądu.
- Prąd stały jest mniej groźny przy tej samej wartości, ale wywołuje silniejsze skutki elektrolityczne.

ZAPAMIETAJ Wyłącznik różnicowoprądowy 30 mA nie chroni przed odczuciem porażenia. Ogranicza czas przepływu prądu tak, aby nie doszło do migotania komór.

Napięcia bezpieczne: SELV, PELV, FELV

Obniżenie napięcia to najskuteczniejsza ochrona przed porażeniem. Trzy układy różnią się sposobem separacji i uziemienia obwodu.

1. **SELV** obwód bardzo niskiego napięcia, całkowicie odseparowany od obwodu zasilającego i nieuziemiony.
2. **PELV** obwód bardzo niskiego napięcia odseparowany od zasilania, ale z jednym punktem uziemionym.
3. **FELV** obwód niskiego napięcia bez pełnej separacji. Wymaga dodatkowych środków ochrony jak obwód zasilający.
4. **Źródła** transformator bezpieczeństwa, przetwornica z separacją, akumulator, zasilacz o odpowiedniej konstrukcji.
5. **Zasada rozdziału** obwodów SELV i PELV nie wolno łączyć z obwodami wyższego napięcia ani prowadzić w jednym kablu bez wzmocnionej izolacji.

WARTOŚCI GRANICZNE

Warunki	AC	DC
Warunki normalne	50 V	120 V
Pomieszczenia wilgotne	25 V	60 V
Zanurzenie, baseny	12 V	30 V

TYPOWE ZASTOSOWANIA

- Obwody sterowania maszyn zasilane napięciem 24 V.
- Oświetlenie w strefach basenowych i pomieszczeniach kąpielowych.
- Zasilanie narzędzi w zbiornikach metalowych i przestrzeniach ograniczonych.
- Instalacje sygnalizacyjne i automatyka budynkowa.

ZAPAMIETAJ Sama wartość napięcia nie czyni obwodu bezpiecznym. Decyduje sposób separacji od źródła i zachowanie warunków instalacyjnych.

Strefy pracy przy urządzeniach elektrycznych

Wokół części czynnych wyznacza się strefy, którym przypisane są różne wymagania i uprawnienia. Zbliżenie się bez zachowania odległości jest równoznaczne z pracą pod napięciem.

1. **Strefa prac pod napięciem** obszar bezpośrednio przy części czynnej. Wejście w nią wymaga technologii i wyposażenia PPN.
2. **Strefa prac w pobliżu napięcia** obszar wokół strefy poprzedniej. Praca dozwolona przy zastosowaniu środków ograniczających zbliżenie.
3. **Strefa bezpieczna** obszar poza wyznaczonymi odległościami. Praca prowadzona bez dodatkowych ograniczeń elektrycznych.
4. **Odległości graniczne** zależą od napięcia znamionowego urządzenia. Im wyższe napięcie, tym większy promień strefy.
5. **Nadzór** przy pracach w pobliżu napięcia wyznacza się osobę nadzorującą i stosuje osłony izolacyjne.

ORIENTACYJNE ODLEGŁOŚCI

Napięcie	Strefa PPN	Strefa w pobliżu
do 1 kV	kontakt	0,3 m
15 kV	0,12 m	0,6 m
30 kV	0,15 m	0,9 m
110 kV	1,0 m	2,0 m

ŚRODKI ORGANIZACYJNE

- Wygrodzenie strefy i oznakowanie tablicami ostrzegawczymi.
- Osłony izolacyjne na częściach czynnych, do których możliwe jest zbliżenie.
- Instruktaż przed rozpoczęciem pracy, obejmujący wskazanie granic strefy.
- Kontrola narzędzi o dużym zasięgu, drabin i sprzętu podnośnikowego.

ZAPAMIETAJ Odległości podane w tabeli są orientacyjne. Zawsze stosuj wartości z instrukcji organizacji prac obowiązującej u danego pracodawcy.

Pięć zasad bezpiecznej pracy

Zestaw pięciu kroków przygotowujących miejsce pracy do bezpiecznego wykonania czynności przy urządzeniu wyłączonym spod napięcia. Kolejność nie jest przypadkowa.

1. **Wyłącz** odłącz urządzenie od zasilania ze wszystkich stron, z uwzględnieniem zasilania rezerwowego i awaryjnego.
2. **Zabezpiecz przed załączeniem** zablokuj napędy łączników, wyjmij wkładki bezpiecznikowe, załóż blokadę i tabliczkę ostrzegawczą.
3. **Sprawdź brak napięcia** użyj wskaźnika sprawdzonego bezpośrednio przed i po pomiarze, na wszystkich żyłach.
4. **Uziem i zewrzyj** przy urządzeniach powyżej 1 kV wykonaj widoczne uziemienie i zwarcie części czynnych.
5. **Oznacz i osłoń** wygrodź miejsce pracy oraz osłoń sąsiednie części czynne, które pozostają pod napięciem.

NAJCZĘSTSZE UCHYBIENIA

- Pominięcie sprawdzenia wskaźnika na znanym źródle napięcia.
- Wyłączenie tylko jednego źródła przy zasilaniu dwustronnym.
- Brak blokady mechanicznej, przy założeniu że nikt nie załączy.
- Pominięcie zasilania z falownika, UPS albo obwodu sterowania z innej rozdzielnicy.

DLACZEGO KOLEJNOŚĆ MA ZNACZENIE

- Zabezpieczenie przed załączeniem musi nastąpić przed sprawdzaniem braku napięcia, inaczej sprawdzenie traci ważność.
- Uziemienie zakłada się dopiero po potwierdzeniu braku napięcia, nigdy przed.
- Oznaczenie strefy chroni także osoby postronne, nie tylko wykonujących pracę.

ZAPAMIETAJ Brak napięcia to stan, który trzeba potwierdzić pomiarem, a nie założyć na podstawie położenia łącznika czy zgaszonej lampki.

Organizacja prac: polecenie i uprawnienia

Prace przy urządzeniach energetycznych wykonuje się w określonej formie organizacyjnej. Od rodzaju pracy zależy, czy wystarczy polecenie ustne, czy wymagane jest polecenie pisemne.

1. **Polecenie pisemne** wymagane dla prac szczególnie niebezpiecznych, w tym prac pod napięciem i w pobliżu napięcia powyżej 1 kV.
2. **Polecenie ustne** dopuszczalne dla prac o mniejszym zagrożeniu, wykonywanych zgodnie z instrukcją.
3. **Prace bez polecenia** czynności ratownicze, zabezpieczenie przed rozszerzeniem awarii, prace określone w instrukcji jako rutynowe.
4. **Uprawnienia E** kwalifikacje na stanowisku eksploatacji, uprawniające do obsługi, konserwacji, remontów, montażu i pomiarów.
5. **Uprawnienia D** kwalifikacje na stanowisku dozoru, obejmujące kierowanie czynnościami, nadzór i wydawanie poleceń.

ROLE PRZY PRACY NA POLECENIE

Rola	Zakres odpowiedzialności
Poleceniodawca	wydaje polecenie i określa zakres
Koordynujący	uzgadnia terminy i warunki
Dopuszczający	przygotowuje i dopuszcza miejsce pracy
Kierujący zespołem	nadzoruje wykonanie i bezpieczeństwo
Członek zespołu	wykonuje pracę zgodnie z poleceniem

ZAPAMIETAJ Uprawnienia potwierdzają kwalifikacje, ale nie zastępują polecenia. Zakres pracy zawsze wynika z dokumentu wydanego przed rozpoczęciem czynności.

Środki ochrony indywidualnej i sprzęt izolacyjny

Sprzęt ochronny jest ostatnią barierą między człowiekiem a napięciem. Jego dobór, stan techniczny i aktualność prób decydują o skuteczności ochrony.

1. **Rękawice elektroizolacyjne** dobierane do klasy napięciowej. Przed każdym użyciem sprawdza się je wzrokowo i próbą pneumatyczną.
2. **Obuwie i dywaniki** ograniczają przepływ prądu przez ciało do ziemi. Wymagają suchego i czystego podłoża.
3. **Hełm z osłoną twarzy** chroni przed skutkami łuku elektrycznego i odpryskami.
4. **Odzież trudnopalna** obowiązkowa przy pracach z ryzykiem łuku. Odzież syntetyczna topi się i pogłębia oparzenia.
5. **Drążki i kleszcze izolacyjne** umożliwiają manipulacje z bezpiecznej odległości przy urządzeniach średniego napięcia.

PRZYKŁADOWE OKRESY PRÓB

Sprzęt	Okres badania
Rękawice elektroizolacyjne	co 6 miesięcy
Drążki izolacyjne	co 12 miesięcy
Wskaźniki napięcia SN	co 12 miesięcy
Dywaniki i pomosty	co 12 miesięcy

KONTROLA PRZED UŻYCIEM

- Sprawdź datę ważności badania i cechę na sprzęcie.
- Obejrzyj powierzchnię pod kątem nacięć, przetarć i zabrudzeń chemicznych.
- Rękawice napełnij powietrzem i sprawdź szczelność.
- Sprzęt uszkodzony wycofaj natychmiast i oznacz, aby nie trafił z powrotem do użycia.

ZAPAMIETAJ Sprzęt ochronny bez aktualnej próby traktuje się jak sprzęt niesprawny, nawet jeśli wygląda nienagannie.

Ochrona podstawowa i ochrona przy uszkodzeniu

System ochrony przeciwporażeniowej opiera się na dwóch niezależnych warstwach. Awaria jednej nie może prowadzić do bezpośredniego zagrożenia.

1. **Ochrona podstawowa** zapobiega dotknięciu części czynnych w warunkach normalnych. Realizowana przez izolację, obudowy i przegrody.
2. **Ochrona przy uszkodzeniu** działa, gdy izolacja zawiedzie. Najczęściej realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania.
3. **Ochrona uzupełniająca** dodatkowa warstwa, zwykle wyłącznik różnicowoprądowy o prądzie do 30 mA oraz połączenia wyrównawcze.
4. **Środki wzmocnione** izolacja podwójna lub wzmocniona spełnia obie funkcje jednocześnie, dlatego nie wymaga przewodu ochronnego.
5. **Separacja elektryczna** zasilanie pojedynczego odbiornika z transformatora separacyjnego, bez uziemienia obwodu wtórnego.

ŚRODKI OCHRONY

Warstwa	Przykład realizacji
Podstawowa	izolacja robocza, obudowa IP2X
Przy uszkodzeniu	samoczynne wyłączenie, PE
Uzupełniająca	RCD 30 mA, połączenia wyrównawcze
Wzmocniona	II klasa ochronności

ZAPAMIETAJ Wyłącznik różnicowoprądowy jest ochroną uzupełniającą. Nie zastępuje poprawnie wykonanego przewodu ochronnego i skutecznej pętli zwarcia.

Układy sieci TN-C, TN-S i TN-C-S

Oznaczenie układu sieci mówi o sposobie uziemienia źródła i o prowadzeniu przewodu ochronnego. To od niego zależy sposób realizacji ochrony przeciwporażeniowej.

1. **Pierwsza litera** sposób uziemienia źródła. Litera T oznacza bezpośrednie uziemienie punktu neutralnego.
2. **Druga litera** sposób połączenia części przewodzących odbiornika. Litera N oznacza połączenie z punktem neutralnym źródła.
3. **TN-C** funkcje przewodu neutralnego i ochronnego pełni jeden przewód PEN na całej długości.
4. **TN-S** przewód neutralny i ochronny są rozdzielone na całej długości instalacji.
5. **TN-C-S** układ mieszany. Przewód PEN rozdziela się na N i PE w określonym punkcie, zwykle w złączu lub rozdzielnicy głównej.

KONSEKWENCJE PRAKTYCZNE

- W układzie TN-C nie wolno stosować wyłączników różnicowoprądowych, bo prąd powrotny płynie przewodem ochronnym.
- Za punktem rozdziału PEN nie wolno ponownie łączyć N z PE.
- Przerwa w przewodzie PEN powoduje pojawienie się napięcia na obudowach odbiorników. To jedna z najgroźniejszych awarii.
- Nowe instalacje wykonuje się w układzie TN-S.

PORÓWNANIE

Układ	Przewód PE	RCD
TN-C	wspólny PEN	niedopuszczalny
TN-S	oddzielny PE	dopuszczalny
TN-C-S	rozdział w punkcie	za punktem rozdziału

ZAPAMIETAJ Punkt rozdziału PEN musi być uziemiony i wykonany trwale. Kolejność jest jednokierunkowa: z PEN można zrobić N i PE, ale nigdy odwrotnie.

Układy sieci TT i IT

Poza układem TN stosuje się układy TT oraz IT. Różnią się sposobem odprowadzenia prądu uszkodzeniowego i zachowaniem przy pierwszym doziemieniu.

1. **Układ TT** źródło uziemione, a części przewodzące odbiornika uziemione niezależnym uziomem lokalnym.
2. **Prąd zwarciowy w TT** przepływa przez ziemię, więc jest ograniczony rezystancją uziomów. Zwykle za mały dla wyłącznika nadprądowego.
3. **Wymóg dla TT** ochrona przy uszkodzeniu realizowana praktycznie zawsze wyłącznikiem różnicowoprądowym.
4. **Układ IT** źródło izolowane od ziemi lub uziemione przez dużą impedancję. Pierwsze doziemienie nie powoduje wyłączenia.
5. **Zastosowanie IT** instalacje wymagające ciągłości zasilania, na przykład sale operacyjne, wybrane układy przemysłowe i statki.

PORÓWNANIE UKŁADÓW

Cecha	TT	IT
Uziemienie źródła	bezpośrednie	brak lub przez Z
Uziom odbiorczy	lokalny	lokalny
Pierwsze zwarcie	wyłączenie	sygnalizacja
Podstawowa ochrona	RCD	kontrola izolacji

WARUNKI EKSPLOATACYJNE

- W układzie TT rezystancja uziomu musi być na tyle mała, aby napięcie dotykowe nie przekroczyło wartości dopuszczalnej.
- W układzie IT stosuje się stały nadzór stanu izolacji z sygnalizacją pierwszego doziemienia.
- Drugie doziemienie w układzie IT tworzy zwarcie i wymaga wyłączenia.

ZAPAMIETAJ Układ TT spotyka się często w zasilaniu obiektów wolnostojących i w gospodarstwach rolnych. Bez sprawnego RCD ochrona w nim praktycznie nie działa.

Uziemienie i rezystancja uziomu

Uziom odprowadza prąd do ziemi i ustala potencjał odniesienia. Jego rezystancja decyduje o skuteczności ochrony i o wartości napięcia dotykowego.

1. **Uziom pionowy** pręt lub zestaw prętów pogrążonych w gruncie. Prosty w wykonaniu, wrażliwy na przesuszenie warstwy powierzchniowej.
2. **Uziom poziomy** bednarka lub linka ułożona w wykopie. Wymaga dużej powierzchni, ale jest stabilna.
3. **Uziom fundamentowy** wykonany w fundamencie budynku na etapie budowy. Trwały i o małej rezystancji.
4. **Czynniki wpływające** rodzaj gruntu, wilgotność, temperatura, głębokość pogrążenia i powierzchnia styku z gruntem.
5. **Pomiar** metodą techniczną z sondami pomocniczymi albo metodą cęgową w układach wielouziomowych.

ORIENTACYJNE WYMAGANIA

Zastosowanie	Rezystancja
Uziom ochronny w układzie TT	zależna od prądu RCD
Instalacja odgromowa	zalecane do 10 Ω
Uziom roboczy stacji	według projektu
Połączenie z uziomem fund.	zawsze zalecane

ZASADY WYKONANIA

- Połączenia w gruncie zabezpiecza się przed korozją i wykonuje jako trwałe.
- Zacisk probierczy umożliwia rozłączenie uziomu na czas pomiaru.
- Nie należy łączyć metali o dużej różnicy potencjałów elektrochemicznych bez zabezpieczenia.
- Pomiar wykonuje się w warunkach reprezentatywnych, nie po intensywnych opadach.

ZAPAMIETAJ W układzie TT wymagana rezystancja uziomu wynika z prądu znamionowego różnicowego i dopuszczalnego napięcia dotykowego. Im czulszy RCD, tym łagodniejsze wymaganie.

Połączenia wyrównawcze

Połączenia wyrównawcze sprowadzają wszystkie dostępne części przewodzące do jednego potencjału. Dzięki temu nawet w razie uszkodzenia nie powstaje groźne napięcie dotykowe.

1. **Główna szyna wyrównawcza** punkt zbiorczy w budynku, do którego przyłącza się uziom, PE, rury i konstrukcje metalowe.
2. **Połączenia główne** obejmują instalacje wodne, gazowe, centralnego ogrzewania, kanalizację metalową i konstrukcje budowlane.
3. **Połączenia miejscowe** wykonywane lokalnie, na przykład w łazience, obejmują wanny, brodziki i metalowe rurociągi.
4. **Zasada działania** wyrównanie potencjałów usuwa różnicę napięć między jednocześnie dostępnymi elementami.
5. **Przekrój przewodów** dobierany w relacji do przekroju przewodu ochronnego instalacji, z określonymi wartościami minimalnymi.

TYPOWE BŁĘDY WYKONAWCZE

- Podłączanie połączeń wyrównawczych szeregowo, zamiast promieniowo do szyny.
- Pomijanie rur po wymianie instalacji na tworzywowe, przy pozostawionych odcinkach metalowych.
- Wykorzystywanie połączeń wyrównawczych jako przewodu ochronnego obwodu odbiorczego.
- Brak zabezpieczenia antykorozyjnego połączeń w miejscach wilgotnych.

MINIMALNE PRZEKROJE

Rodzaj	Miedź
Główne połączenie wyrównawcze	6 mm²
Miejscowe połączenie wyrównawcze	2,5 mm² chronione
Miejscowe bez ochrony mechanicznej	4 mm²

ZAPAMIETAJ Połączenia wyrównawcze nie wyłączają zasilania. Sprawiają, że w chwili uszkodzenia nie powstaje różnica potencjałów, którą można dotknąć.

Samoczynne wyłączenie zasilania

To podstawowy środek ochrony przy uszkodzeniu w instalacjach niskiego napięcia. Zwarcie do części przewodzącej musi wywołać wyłączenie w określonym czasie.

1. **Warunek podstawowy** prąd zwarcia doziemnego musi być większy od prądu powodującego zadziałanie zabezpieczenia w wymaganym czasie.
2. **Rola przewodu PE** zapewnia drogę powrotu prądu zwarciowego o możliwie małej impedancji.
3. **Czasy wyłączenia** zależą od układu sieci i napięcia. Obwody odbiorcze o małym prądzie mają krótsze czasy niż obwody rozdzielcze.
4. **Sprawdzenie** wykonuje się pomiarem impedancji pętli zwarcia i porównaniem prądu zwarciowego z charakterystyką zabezpieczenia.
5. **Rozwiązanie przy niespełnieniu** zwiększenie przekroju, skrócenie obwodu, zmiana charakterystyki zabezpieczenia lub zastosowanie RCD.

MAKSYMALNE CZASY WYŁĄCZENIA

Układ	Napięcie fazowe	Czas
TN	230 V	0,4 s
TN	obwody rozdzielcze	5 s
TT	230 V	0,2 s
TT	obwody rozdzielcze	1 s

WARUNEK SKUTECZNOŚCI

$Z_s \times I_a \leq U_0$

warunek podstawowy

$I_k = U_0 / Z_s$

prąd zwarciowy

$I_k \geq I_a$

musi być spełnione

ZAPAMIETAJ Sam fakt istnienia przewodu PE nie oznacza skutecznej ochrony. Skuteczność potwierdza się wyłącznie pomiarem impedancji pętli zwarcia.

Wyłącznik różnicowoprądowy: zasada działania

Wyłącznik różnicowoprądowy porównuje prąd wpływający i wypływający z obwodu. Różnica oznacza upływ do ziemi, czyli potencjalne zagrożenie porażeniem.

1. **Przekładnik sumujący** obejmuje wszystkie żyły robocze obwodu. W stanie normalnym suma prądów jest bliska zeru.
2. **Wykrycie różnicy** prąd upływu powoduje powstanie strumienia magnetycznego i napięcia w uzwojeniu wtórnym.
3. **Wyzwalacz** przekaźnik zwalnia zamek i rozłącza styki główne w czasie kilkudziesięciu milisekund.
4. **Prąd znamionowy różnicowy** wartość, przy której wyłącznik musi zadziałać. Dla ochrony ludzi stosuje się 30 mA.
5. **Przycisk TEST** wymusza sztuczny upływ. Powinien być używany okresowo, aby potwierdzić sprawność mechanizmu.

ZASTOSOWANIE WARTOŚCI

Prąd różnicowy	Zastosowanie
10 mA	obwody szczególnie zagrożone
30 mA	ochrona ludzi, gniazda, łazienki
100 do 300 mA	ochrona przeciwpożarowa
500 mA i wyżej	ochrona instalacji, selektywność

SELEKTYWNOŚĆ I PODZIAŁ

- Wyłącznik nadrzędny powinien mieć wyższy prąd różnicowy i charakterystykę zwłoczną typu S.
- Dzielenie instalacji na kilka RCD ogranicza zakres wyłączenia przy pojedynczej usterce.
- Zbyt wiele obwodów pod jednym RCD sumuje upływy i powoduje zbędne wyłączenia.

ZAPAMIETAJ RCD chroni przed skutkami upływu do ziemi. Nie zadziała przy dotknięciu jednocześnie przewodu fazowego i neutralnego, bo suma prądów pozostaje wtedy zerowa.

Typy wyłączników różnicowoprądowych

Typ RCD określa, na jaki kształt prądu różnicowego urządzenie reaguje. Dobór niewłaściwego typu może oznaczać brak zadziałania w chwili uszkodzenia.

1. **Typ AC** reaguje wyłącznie na prądy różnicowe sinusoidalne przemienne. Coraz rzadziej dopuszczany w nowych instalacjach.
2. **Typ A** wykrywa prądy sinusoidalne oraz pulsujące stałe. Podstawowy wybór w instalacjach mieszkaniowych.
3. **Typ F** rozszerza typ A o prądy o mieszanej częstotliwości, występujące przy odbiornikach z falownikiem jednofazowym.
4. **Typ B** wykrywa dodatkowo gładkie prądy stałe. Wymagany przy ładowarkach pojazdów i falownikach trójfazowych.
5. **Zasada nadrzędności** typ wyższy obejmuje funkcje typu niższego, ale zależność nie działa w drugą stronę.

DOBÓR TYPU

Typ	Wykrywa	Typowe zastosowanie
AC	AC sinusoidalny	instalacje starsze
A	AC i pulsujący DC	gniazda, łazienki
F	A i mieszane f	pralki, klimatyzatory
B	F i gładki DC	ładowarki EV, PV

WYKONANIA DODATKOWE

- Wykonanie zwłoczne typu S zapewnia selektywność wobec wyłączników bezzwłocznych.
- Wykonanie opóźnione krótkoczasowo ogranicza wyłączenia od udarów łączeniowych.
- RCBO łączy funkcję różnicowoprądową i nadprądową w jednym aparacie.
- Sprawdź, czy urządzenie zachowuje działanie przy zaniku napięcia sieci.

ZAPAMIETAJ Za falownikiem lub zasilaczem impulsowym prąd upływu bywa stały. RCD typu AC może w takiej sytuacji nie zadziałać w ogóle.

Stopnie ochrony IP

Kod IP określa odporność obudowy na wnikanie ciał stałych i wody. To on decyduje, czy urządzenie może pracować w danym środowisku.

1. **Pierwsza cyfra** ochrona przed ciałami stałymi, od braku ochrony do pełnej pyłoszczelności.
2. **Druga cyfra** ochrona przed wodą, od braku ochrony do zanurzenia ciągłego.
3. **Litery dodatkowe** uzupełniają informację o ochronie przed dostępem do części niebezpiecznych.
4. **IP2X** podstawowe wymaganie dla ochrony przed dotknięciem palcem części czynnych wewnątrz rozdzielnicy.
5. **Dobór do strefy** w łazience, na zewnątrz i w zakładach przemysłowych obowiązują różne minimalne wartości IP.

ZNACZENIE CYFR

Kod	Ciała stałe	Woda
IP20	palec, 12,5 mm	brak
IP44	drut, 1 mm	bryzgi
IP54	pyłoodporna	bryzgi
IP65	pyłoszczelna	strumień
IP67	pyłoszczelna	zanurzenie chwilowe

ZASTOSOWANIE W PRAKTYCE

- Wnętrza suche: zwykle wystarcza IP20 dla osprzętu podtynkowego.
- Łazienki i pomieszczenia wilgotne: minimum IP44 w strefach zagrożonych.
- Instalacje zewnętrzne: IP44 do IP65 zależnie od ekspozycji.
- Hale przemysłowe z zapyleniem: IP54 i wyżej.

ZAPAMIETAJ Deklarowany stopień ochrony obowiązuje przy prawidłowym montażu. Niedokręcona pokrywa albo brak dławnicy sprowadza IP65 do wartości bez znaczenia.

Klasy ochronności urządzeń

Klasa ochronności mówi, w jaki sposób urządzenie chroni użytkownika przed porażeniem. Determinuje ona sposób podłączenia i konieczność stosowania przewodu ochronnego.

1. **Klasa 0** ochrona wyłącznie przez izolację podstawową, bez zacisku ochronnego. Praktycznie niedopuszczalna.
2. **Klasa I** izolacja podstawowa oraz zacisk ochronny. Wymaga podłączenia przewodu PE do obudowy.
3. **Klasa II** izolacja podwójna lub wzmocniona. Nie ma zacisku ochronnego i nie wolno go dorabiać.
4. **Klasa III** zasilanie napięciem bardzo niskim SELV lub PELV. Ochrona wynika z wartości napięcia.
5. **Oznaczenia** klasa II oznaczana jest symbolem podwójnego kwadratu, klasa III symbolem rombu z cyfrą trzy.

PORÓWNANIE KLAS

Klasa	PE	Przykład
I	wymagany	pralka, kuchenka, silnik
II	niedozwolony	wiertarka, zasilacz, oprawa
III	niedotyczy	lampa 12 V, sterownik 24 V

KONSEKWENCJE MONTAŻOWE

- Urządzenie klasy I bez podłączonego PE traci ochronę przy uszkodzeniu.
- Doprowadzenie PE do obudowy urządzenia klasy II narusza koncepcję jego ochrony.
- Wymiana przewodu przyłączeniowego musi zachować klasę ochronności urządzenia.

ZAPAMIETAJ Przy pomiarach ochronnych urządzenia klasy II sprawdza się rezystancję izolacji, a nie ciągłość przewodu ochronnego, którego tam po prostu nie ma.

Łuk elektryczny i zagrożenie oparzeniem

Łuk elektryczny to wyładowanie w powietrzu o temperaturze rzędu tysięcy stopni. Jest źródłem oparzeń, fali ciśnienia i odprysków metalu.

1. **Powstawanie** zwarcie, błąd łączeniowy, upuszczone narzędzie, zanieczyszczenie lub zawilgocenie izolacji.
2. **Skutki cieplne** temperatura łuku przekracza temperaturę topnienia miedzi. Oparzenia powstają także bez kontaktu z częścią czynną.
3. **Fala ciśnienia** gwałtowne rozprężenie powietrza wyrzuca elementy i może zrzucić człowieka z drabiny.
4. **Odzież** materiały syntetyczne topią się i przywierają do skóry. Wymagana jest odzież trudnopalna.
5. **Ograniczanie ryzyka** prace przy urządzeniach wyłączonych, osłony, zdalne załączanie, zabezpieczenia o krótkim czasie wyłączenia.

ŚRODKI TECHNICZNE

- Rozdzielnice łukoochronne z kanałem odprowadzania gazów.
- Funkcja zmniejszania czasu zadziałania na czas prac konserwacyjnych.
- Czujniki optyczne wykrywające błysk łuku i wyłączające zasilanie.
- Przegrody i osłony ograniczające przypadkowe zwarcie narzędziem.

ZACHOWANIE PRZY PRACY

- Nie stawaj na wprost drzwiczek aparatu w trakcie załączania.
- Używaj narzędzi izolowanych i ograniczaj liczbę odsłoniętych części czynnych.
- Zdejmuj metalowe ozdoby i zegarki przed pracą w rozdzielnicy.

ZAPAMIETAJ Energia łuku rośnie wraz z czasem jego trwania. Skrócenie czasu wyłączenia o połowę zmniejsza skutki cieplne w tym samym stopniu.

Pierwsza pomoc przy porażeniu prądem

Skuteczność pomocy zależy od szybkości działania i od bezpieczeństwa ratującego. Dotknięcie poszkodowanego przed odłączeniem zasilania oznacza drugą ofiarę.

1. **Zabezpiecz miejsce** odłącz zasilanie lub odsuń poszkodowanego przedmiotem izolacyjnym. Nigdy nie dotykaj go bezpośrednio.
2. **Oceń stan** sprawdź przytomność i oddech. Głośno wołaj o pomoc i wezwij służby ratunkowe.
3. **Brak oddechu** rozpocznij resuscytację krążeniowo-oddechową i kontynuuj do przybycia pomocy lub powrotu oddechu.
4. **Defibrylator AED** użyj natychmiast, gdy jest dostępny. Urządzenie prowadzi ratującego komunikatami głosowymi.
5. **Oparzenia** schładzaj czystą wodą, nie usuwaj przywartej odzieży, przykryj jałowym opatrunkiem.

KOLEJNOŚĆ DZIAŁAŃ

- Odłącz zasilanie albo bezpiecznie odseparuj poszkodowanego.
- Wezwij pomoc, podaj lokalizację i charakter zdarzenia.
- Sprawdź oddech, w razie braku rozpocznij uciśnięcia klatki piersiowej.
- Zastosuj AED, jeśli jest dostępne.
- Zapewnij nadzór medyczny nawet przy dobrym stanie poszkodowanego.

O CZYM PAMIĘTAĆ

- Osoba porażona powinna trafić pod obserwację nawet bez widocznych obrażeń, bo zaburzenia rytmu serca mogą wystąpić z opóźnieniem.
- Przy urządzeniach powyżej 1 kV zachowaj odległość bezpieczną i czekaj na wyłączenie przez służby.
- Napięcie krokowe w pobliżu leżącego przewodu wymaga oddalania się małymi krokami.

ZAPAMIETAJ To jest materiał informacyjny, a nie zamiennik szkolenia z pierwszej pomocy. Umiejętności praktyczne zdobywa się wyłącznie na kursie z instruktorem.

Gaszenie pożarów urządzeń elektrycznych

Pożar w instalacji pod napięciem wymaga innych środków gaśniczych niż pożar zwykłych materiałów. Użycie wody może spowodować porażenie ratującego.

1. **Pierwszeństwo wyłączenia** jeśli to możliwe, odłącz zasilanie. Po wyłączeniu można stosować standardowe środki gaśnicze.
2. **Gaśnica proszkowa** uniwersalna, skuteczna przy urządzeniach elektrycznych, ale zanieczyszcza aparaturę.
3. **Gaśnica z dwutlenkiem węgla** nie pozostawia osadu, zalecana w serwerowniach i przy elektronice. Gasi przez wyparcie tlenu.
4. **Zakaz wody w strumieniu zwartym** woda przewodzi prąd, a strumień tworzy drogę powrotu do ratującego.
5. **Napięcie graniczne** gaśnice mają określone napięcie i minimalną odległość gaszenia podaną na etykiecie.

DOBÓR ŚRODKA

Sytuacja	Środek
Rozdzielnica pod napięciem	proszek lub CO2
Serwerownia, elektronika	CO2
Transformator olejowy	instalacja stała
Instalacja wyłączona	środki standardowe

ZAPAMIETAJ Sprawdź na etykiecie gaśnicy dopuszczalne napięcie i minimalną odległość. Te wartości są warunkiem bezpiecznego użycia przy urządzeniach czynnych.

Blokady i oznaczanie miejsca pracy

Blokada uniemożliwia przypadkowe załączenie zasilania w trakcie pracy. Oznaczenie informuje, że urządzenie jest wyłączone celowo i przez kogo.

1. **Blokada mechaniczna** kłódka lub zaczep uniemożliwiający zmianę położenia łącznika przez osobę nieuprawnioną.
2. **Zasada indywidualnego klucza** każdy członek zespołu zakłada własną kłódkę. Zasilanie może wrócić dopiero po zdjęciu wszystkich.
3. **Tabliczka ostrzegawcza** informuje o zakazie załączania, wskazuje odpowiedzialnego i datę.
4. **Wyjęcie wkładek** przy aparatach bez możliwości blokady usuwa się wkładki bezpiecznikowe i przechowuje pod nadzorem.
5. **Przywrócenie zasilania** wyłącznie przez osobę, która zakładała zabezpieczenie, po sprawdzeniu, że nikt nie pracuje przy urządzeniu.

SEKWENCJA POSTĘPOWANIA

- Poinformuj obsługę i uzgodnij wyłączenie.
- Wyłącz zasilanie ze wszystkich stron zasilania.
- Załóż blokadę i tabliczkę ostrzegawczą.
- Sprawdź brak napięcia i przystąp do pracy.
- Po zakończeniu usuń narzędzia, zdejmij blokadę i przywróć zasilanie.

ZAPAMIETAJ Blokada bez oznaczenia jest niepełna. Sama kłódka nie mówi, kto pracuje ani kiedy zasilanie może wrócić.

Prace pod napięciem

Prace pod napięciem wykonuje się wyłącznie według zatwierdzonej technologii, przy użyciu dedykowanego sprzętu i przez osoby przeszkolone w tym zakresie.

1. **Warunek dopuszczenia** wymagana technologia, sprzęt, przeszkolenie i pisemne polecenie określające zakres.
2. **Metoda w kontakcie** pracownik izolowany od otoczenia posługuje się narzędziami izolowanymi bezpośrednio przy częściach czynnych.
3. **Metoda z odległości** manipulacje wykonywane drążkami izolacyjnymi, typowe dla urządzeń wysokiego napięcia.
4. **Metoda potencjału** pracownik na potencjale części czynnej, stosowana w liniach najwyższych napięć.
5. **Ograniczenia** prace przerywa się przy pogorszeniu warunków atmosferycznych, wyładowaniach i przy złym stanie sprzętu.

WARUNKI ORGANIZACYJNE

- Zespół minimum dwuosobowy, z wyznaczonym kierującym.
- Sprzęt z aktualnymi badaniami okresowymi, sprawdzony przed użyciem.
- Wygrodzona i oznaczona strefa pracy.
- Zakaz automatycznego ponownego załączania w obwodach objętych pracą.

KIEDY NIE WYKONUJE SIĘ PPN

- Podczas opadów, mgły, oblodzenia i przy wyładowaniach atmosferycznych.
- Przy braku możliwości zapewnienia wymaganej odległości bezpiecznej.
- Gdy stan urządzenia jest nieznany albo dokumentacja jest niezgodna ze stanem faktycznym.

ZAPAMIETAJ Prace pod napięciem to procedura, a nie improwizacja. Brak którejkolwiek składowej technologii oznacza, że pracy nie wolno rozpocząć.

Ocena ryzyka zawodowego elektryka

Ocena ryzyka wskazuje zagrożenia na stanowisku i środki ich ograniczania. Jest podstawą doboru wyposażenia ochronnego i treści instruktażu.

1. **Identyfikacja zagrożeń** porażenie, łuk elektryczny, upadek z wysokości, poparzenie, zagrożenia mechaniczne i chemiczne.
2. **Szacowanie ryzyka** iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia i ciężkości jego następstw.
3. **Hierarchia środków** eliminacja zagrożenia, zastąpienie, środki techniczne, środki organizacyjne, środki ochrony indywidualnej.
4. **Weryfikacja** ocena wymaga aktualizacji po zmianie technologii, po wypadku i po zdarzeniu potencjalnie wypadkowym.
5. **Instruktaż stanowiskowy** przekazuje wyniki oceny osobom wykonującym pracę na danym stanowisku.

PRZYKŁADOWE ZAGROŻENIA I ŚRODKI

Zagrożenie	Środek ograniczający
Porażenie	wyłączenie, blokada, sprawdzenie
Łuk elektryczny	odzież trudnopalna, osłony
Upadek z wysokości	szelki, rusztowanie, podest
Praca w ciasnej przestrzeni	asekuracja, wentylacja, SELV

ZAPAMIETAJ Środki ochrony indywidualnej są ostatnie w hierarchii. Najpierw eliminuje się zagrożenie u źródła, a dopiero potem chroni człowieka.

Napięcie dotykowe i napięcie krokowe

W czasie zwarcia doziemnego w gruncie powstaje rozkład potencjału. Człowiek znajdujący się w tym obszarze może zostać porażony, nie dotykając żadnego urządzenia.

1. **Napięcie dotykowe** różnica potencjałów między dostępną częścią przewodzącą a punktem gruntu, na którym stoi człowiek.
2. **Napięcie krokowe** różnica potencjałów między stopami rozstawionymi na odległość kroku w polu rozpływu prądu.
3. **Rozkład potencjału** maleje wraz z odległością od miejsca wprowadzenia prądu do ziemi. Największy gradient jest najbliżej uziomu.
4. **Wartości dopuszczalne** napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale wynosi 50 V w warunkach normalnych i 25 V w wilgotnych.
5. **Ograniczanie** połączenia wyrównawcze, uziomy kratowe, izolacyjne pokrycie terenu, szybkie wyłączenie zasilania.

ZACHOWANIE W STREFIE ZAGROŻENIA

- Nie zbliżaj się do przewodu leżącego na ziemi. Zachowaj odległość co najmniej kilkunastu metrów.
- Wychodź ze strefy krokami stopa przy stopie albo drobnymi podskokami złączonymi nogami.
- Nie biegnij, bo duży rozstaw stóp zwiększa napięcie krokowe.
- Ostrzeż osoby postronne i wezwij pogotowie energetyczne.

WARTOŚCI DOPUSZCZALNE

Warunki	Napięcie dotykowe
Normalne	50 V AC
Zwiększone zagrożenie	25 V AC
Prąd stały, normalne	120 V DC

ZAPAMIETAJ Napięcie krokowe rośnie wraz z długością kroku. Dlatego zwierzęta o dużym rozstawie nóg giną w miejscach, w których człowiek przechodzi bez szkody.

Instalacje w pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu

Wilgoć, przewodzące podłoże i ograniczona przestrzeń zwiększają ryzyko porażenia. Norma wprowadza dla takich miejsc dodatkowe wymagania.

1. **Strefy w łazience** wyodrębnia się strefy wokół wanny i natrysku, każda z własnym wymaganym stopniem ochrony IP.
2. **Ograniczenia osprzętu** w strefach najbliżej wanny dopuszcza się wyłącznie urządzenia zasilane bardzo niskim napięciem.
3. **Miejscowe połączenia wyrównawcze** łączą metalowe elementy instalacji sanitarnej z przewodem ochronnym.
4. **Przestrzenie ograniczone** zbiorniki i kanały metalowe wymagają zasilania napięciem bezpiecznym i asekuracji drugiej osoby.
5. **Place budowy** instalacje tymczasowe wymagają rozdzielnic budowlanych, RCD i regularnych sprawdzeń.

STREFY W POMIESZCZENIU KĄPIELOWYM

Strefa	Charakterystyka	Wymagania
0	wnętrze wanny	tylko SELV 12 V
1	nad wanną	IP44, ograniczony osprzęt
2	pas obok wanny	IP44
poza	reszta pomieszczenia	zasady ogólne

ZAPAMIETAJ W pomieszczeniach kąpielowych obowiązkowa jest ochrona uzupełniająca wyłącznikiem różnicowoprądowym o prądzie nieprzekraczającym 30 mA.

Oględziny i próby odbiorcze instalacji

Przed przekazaniem instalacji do użytku wykonuje się oględziny i komplet prób. Brak któregokolwiek elementu oznacza, że odbiór nie może zostać zakończony.

1. **Oględziny** sprawdzenie zgodności z projektem, doboru aparatów, oznaczeń, stopni ochrony i jakości połączeń.
2. **Ciągłość przewodów ochronnych** potwierdza, że każda część przewodząca jest połączona z szyną ochronną.
3. **Rezystancja izolacji** wykrywa uszkodzenia i zawilgocenie izolacji przed podaniem napięcia roboczego.
4. **Impedancja pętli zwarcia** potwierdza skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania.
5. **Próba wyłączników różnicowoprądowych** sprawdza czas zadziałania i rzeczywisty prąd wyzwalający.

KOLEJNOŚĆ PRÓB

- Ciągłość przewodów ochronnych i połączeń wyrównawczych.
- Rezystancja izolacji instalacji.
- Sprawdzenie biegunowości i kolejności faz.
- Impedancja pętli zwarcia i rezystancja uziemienia.
- Próba działania wyłączników różnicowoprądowych i sprawdzenie działania układu.

PROTOKÓŁ Z BADAŃ

- Zawiera dane obiektu, zastosowane przyrządy i ich wzorcowanie.
- Podaje wartości zmierzone oraz wartości wymagane.
- Kończy się jednoznaczną oceną i podpisem osoby z odpowiednimi uprawnieniami.

ZAPAMIETAJ Próby wykonuje się w ustalonej kolejności. Pomiar rezystancji izolacji przed podaniem napięcia chroni instalację i wykonującego pomiar.

PAKIET III

Schematy, symbolika i dokumentacja

Rodzaje schematów, symbole graficzne, oznaczenia aparatów i zacisków oraz zasady czytania i prowadzenia dokumentacji technicznej.

Mapy 051 – 075

Rodzaje schematów elektrycznych

Ten sam układ przedstawia się na kilka sposobów, zależnie od celu dokumentu. Zrozumienie rodzaju schematu jest pierwszym krokiem do jego poprawnego odczytania.

1. **Schemat blokowy** pokazuje funkcje i powiązania między zespołami, bez szczegółów połączeń. Służy do zrozumienia całości.
2. **Schemat jednokreskowy** obwód trójfazowy przedstawiony jedną linią. Używany w dokumentacji rozdzielnic i sieci.
3. **Schemat rozwinięty** pokazuje każdy przewód osobno, z podziałem na obwód główny i sterowania. Podstawa prac montażowych.
4. **Schemat montażowy** odwzorowuje rzeczywiste rozmieszczenie aparatów i trasy przewodów w szafie.
5. **Plan instalacji** rzut budynku z naniesionymi punktami odbiorczymi, obwodami i trasami.

KIEDY UŻYWAĆ

Schemat	Zastosowanie
Blokowy	koncepcja, uzgodnienia
Jednokreskowy	projekt rozdzielnicy, sieć
Rozwinięty	montaż i uruchomienie
Montażowy	prefabrykacja szafy
Plan instalacji	wykonawstwo w obiekcie

ZAPAMIETAJ Do lokalizacji usterki w układzie sterowania służy schemat rozwinięty. Jednokreskowy pokaże tylko strukturę zasilania, bez logiki działania.

Schemat jednokreskowy: czym jest i do czego służy

Schemat jednokreskowy upraszcza układ trójfazowy do jednej linii. Dzięki temu na jednym arkuszu mieści się cała struktura zasilania obiektu.

1. **Zasada uproszczenia** trzy przewody fazowe rysuje się jako jedną linię, opisując liczbę żył kreskami poprzecznymi lub adnotacją.
2. **Co pokazuje** źródła zasilania, aparaty łączeniowe, zabezpieczenia, przekroje kabli, punkty pomiarowe i odbiory.
3. **Czego nie pokazuje** logiki sterowania, kolejności działania styków, szczegółów okablowania wewnętrznego.
4. **Opisy przy aparatach** typ aparatu, prąd znamionowy, charakterystyka i zdolność zwarciowa umożliwiają weryfikację doboru.
5. **Zastosowanie** dokumentacja rozdzielnic, uzgodnienia z operatorem sieci, analiza selektywności i obliczenia zwarciowe.

JAK CZYTAĆ KROK PO KROKU

- Zacznij od źródła zasilania i idź w dół schematu.
- Zidentyfikuj rozdzielnice pośrednie i granice stref zasilania.
- Odczytaj typy i nastawy zabezpieczeń dla każdego odpływu.
- Sprawdź przekroje kabli i porównaj je z prądem zabezpieczenia.
- Zwróć uwagę na przełączenia rezerwowe i blokady międzypolowe.

TYPOWE OPISY POLA

Zapis	Znaczenie
3P+N+PE	liczba i rodzaj żył
YKY 5×16	typ i przekrój kabla
C63 / 6 kA	charakterystyka i zdolność zwarciowa
kWh	układ pomiarowy w polu

ZAPAMIETAJ Schemat jednokreskowy jest mapą zasilania obiektu. Przy każdej rozbudowie instalacji powinien zostać zaktualizowany.

Schemat rozwinięty: obwód główny i sterowania

Schemat rozwinięty dzieli układ na tor prądowy i tor sterowniczy. Ten podział pozwala analizować działanie krok po kroku.

1. **Obwód główny** przenosi energię do odbiornika. Rysowany grubszą linią, zawiera styki główne, zabezpieczenia i silnik.
2. **Obwód sterowania** realizuje logikę działania. Zawiera przyciski, styki pomocnicze, cewki i elementy sygnalizacyjne.
3. **Układ pionowy** tory sterownicze rysuje się między dwiema szynami zasilania, z góry na dół zgodnie z kolejnością działania.
4. **Numeracja torów** każdy tor otrzymuje numer kolumny, do którego odwołują się odsyłacze przy stykach pomocniczych.
5. **Rozdzielenie aparatu** cewka i jej styki pomocnicze mogą być narysowane w różnych miejscach schematu, powiązane wspólnym oznaczeniem.

METODA ANALIZY

- Znajdź cewkę realizującą funkcję, która Cię interesuje.
- Prześledź tor od szyny plus do szyny minus przez wszystkie styki.
- Ustal, które warunki muszą być spełnione, aby cewka została zasilona.
- Sprawdź odsyłacze przy stykach tej cewki, aby zobaczyć jej skutki w innych torach.

KONWENCJE RYSUNKOWE

Element	Konwencja
Stan spoczynkowy	aparaty bez zasilania
Styk zwierny	otwarty w spoczynku
Styk rozwierny	zamknięty w spoczynku
Linia obwodu głównego	grubsza niż sterownicza

ZAPAMIETAJ Schemat zawsze przedstawia stan spoczynkowy: bez napięcia, bez wciśniętych przycisków i bez zadziałania czujników.

Symbole graficzne: elementy bierne

Symbole elementów biernych są uniwersalne i powtarzają się na każdym schemacie. Ich rozpoznanie umożliwia wstępne zrozumienie każdego rysunku.

1. **Rezystor** prostokąt bez wypełnienia. Wersja z ukośną strzałką oznacza element nastawny.
2. **Kondensator** dwie równoległe kreski. Jedna wygięta lub oznaczenie polaryzacji wskazuje kondensator elektrolityczny.
3. **Cewka** łuki lub prostokąt z linią. Dodatkowe kreski wzdłuż symbolu oznaczają rdzeń ferromagnetyczny.
4. **Uziemienie** trzy zmniejszające się poziome kreski. Odróżnij od symbolu masy w postaci pełnego trójkąta.
5. **Połączenie i skrzyżowanie** kropka oznacza połączenie galwaniczne. Skrzyżowanie bez kropki to przewody niepołączone.

OZNACZENIA LITEROWE

Symbol	Element
R	rezystor
C	kondensator
L	cewka, dławik
T	transformator
V	element półprzewodnikowy
G	źródło, generator

ZAPAMIETAJ Brak kropki na skrzyżowaniu linii to informacja, a nie przeoczenie rysownika. Mylne odczytanie tego szczegółu prowadzi do błędów montażowych.

Symbole łączników i styków

Styki różnią się funkcją i sposobem działania. Rozróżnienie zwiernych, rozwiernych i przełącznych jest warunkiem poprawnego czytania układów sterowania.

1. **Styk zwierny NO** w stanie spoczynku otwarty, zamyka się po zadziałaniu aparatu. Realizuje funkcję załączania.
2. **Styk rozwierny NC** w stanie spoczynku zamknięty, otwiera się po zadziałaniu. Stosowany w obwodach zatrzymania.
3. **Styk przełączny** wspólny zacisk przełączany między dwoma torami. Oznaczany jednym wejściem i dwoma wyjściami.
4. **Styk zwłoczny** symbol uzupełniony łukiem wskazującym kierunek opóźnienia, przy zadziałaniu lub przy powrocie.
5. **Napęd łącznika** dodatkowy symbol przy styku informuje o rodzaju napędu: ręczny, nożny, krzywkowy, elektromagnetyczny.

NUMERACJA ZACISKÓW

Zaciski	Rodzaj styku
1-2, 11-12	rozwierny NC
3-4, 13-14	zwierny NO
5-6	rozwierny zwłoczny
7-8	zwierny zwłoczny
11-12-14	przełączny

ZAPAMIETAJ Ostatnia cyfra numeru zacisku mówi o funkcji styku, a pierwsza o jego kolejnym numerze w aparacie. To pozwala rozpoznać styk bez patrzenia na katalog.

Symbole aparatów zabezpieczających

Zabezpieczenia różnią się zasadą działania i sposobem rysowania. Ich prawidłowe odczytanie mówi o rodzaju ochrony realizowanej w danym polu.

1. **Bezpiecznik topikowy** prostokąt przecięty linią wzdłuż. Zabezpiecza przed skutkami zwarć i przeciążeń.
2. **Wyłącznik nadprądowy** symbol łącznika z oznaczeniem wyzwalacza termicznego i elektromagnetycznego.
3. **Wyłącznik różnicowoprądowy** symbol z przekładnikiem sumującym obejmującym żyły robocze.
4. **Przekaźnik termiczny** symbol z elementem bimetalicznym, rysowany w obwodzie głównym i ze stykami w obwodzie sterowania.
5. **Ogranicznik przepięć** symbol strzałki skierowanej do ziemi, umieszczany między przewodem czynnym a szyną PE.

OZNACZENIA LITEROWE

Litera	Aparat
F	zabezpieczenie, bezpiecznik
Q	łącznik obwodu głównego
K	przekaźnik, stycznik
S	łącznik sterowniczy
T	transformator

ZAPAMIETAJ Przekaźnik termiczny rysuje się w dwóch miejscach: element grzejny w torze głównym, a styk sygnalizacyjny w obwodzie sterowania.

Symbole maszyn i transformatorów

Maszyny wirujące i transformatory mają symbole niosące informację o rodzaju maszyny, liczbie faz i sposobie połączenia uzwojeń.

1. **Silnik** okrąg z literą M i informacją o rodzaju prądu. Trzy kreski lub oznaczenie 3~ wskazuje maszynę trójfazową.
2. **Prądnica** okrąg z literą G. Zasada rysowania identyczna jak dla silnika.
3. **Transformator** dwa okręgi zachodzące na siebie albo dwie cewki z symbolem rdzenia między nimi.
4. **Połączenie uzwojeń** symbol gwiazdy lub trójkąta przy każdym uzwojeniu informuje o sposobie połączenia.
5. **Przekładnik** rysowany jak transformator, z obwodem wtórnym prowadzącym do przyrządu lub zabezpieczenia.

TYPOWE OZNACZENIA

Zapis	Znaczenie
M 3~	silnik trójfazowy prądu przemiennego
M 1~	silnik jednofazowy
G	prądnica
Dyn5	grupa połączeń transformatora
TI	przekładnik prądowy

ZAPAMIETAJ Symbol maszyny mówi o typie, ale parametry znajdziesz wyłącznie w tabliczce znamionowej i w zestawieniu aparatury.

Symbole instalacji elektrycznych w budynkach

Na planach budowlanych stosuje się osobny zestaw symboli. Opisują one punkty odbiorcze, osprzęt i sposób prowadzenia przewodów.

1. **Gniazdo wtyczkowe** okrąg z jedną kreską. Dodatkowe kreski oznaczają liczbę gniazd w zestawie.
2. **Łącznik jednobiegunowy** okrąg z krótką kreską zakończoną kropką, sterujący jednym punktem świetlnym.
3. **Łącznik schodowy** para łączników umożliwiająca sterowanie jednym punktem z dwóch miejsc.
4. **Punkt świetlny** okrąg z krzyżem. Oprawa świetlówkowa rysowana jest jako wydłużony prostokąt.
5. **Puszka i tablica** puszka jako okrąg, rozdzielnica jako prostokąt z opisem oznaczenia i przeznaczenia.

OPISY PRZY SYMBOLACH

Zapis	Znaczenie
h = 30	wysokość montażu w cm
IP44	wymagany stopień ochrony
1,5 mm²	przekrój żyły obwodu
nr obwodu	przypisanie do zabezpieczenia

CO CZYTAĆ Z PLANU

- Liczbę punktów odbiorczych przypisanych do jednego obwodu.
- Wysokości montażu i strefy prowadzenia przewodów w ścianach.
- Lokalizację rozdzielnicy i tras zasilających.
- Wymagany stopień ochrony w pomieszczeniach wilgotnych.

ZAPAMIETAJ Przewody w ścianach prowadzi się w wyznaczonych strefach, pionowo i poziomo względem osprzętu. Ułatwia to późniejsze lokalizowanie tras.

Oznaczenia literowe aparatów

Każdy aparat na schemacie otrzymuje oznaczenie literowo-cyfrowe. Dzięki temu ten sam element da się jednoznacznie odnaleźć w szafie i w zestawieniu materiałów.

1. **Struktura oznaczenia** litera określa rodzaj aparatu, cyfra jego kolejny numer w obrębie danego rodzaju.
2. **Konsekwencja** to samo oznaczenie musi występować na schemacie, na aparacie w szafie i w zestawieniu.
3. **Grupowanie** numery przypisuje się zwykle według kolejności torów, co ułatwia poruszanie się po dokumentacji.
4. **Oznaczenia złożone** w większych instalacjach oznaczenie poprzedza się kodem urządzenia i lokalizacji.
5. **Opisy na aparatach** trwałe etykiety w szafie powinny odpowiadać oznaczeniom ze schematu, bez skrótów własnych.

NAJCZĘSTSZE LITERY

Litera	Rodzaj aparatu
Q	łącznik obwodu głównego
K	stycznik, przekaźnik
F	zabezpieczenie
S	łącznik sterowniczy, przycisk
M	silnik
T	transformator
H	sygnalizator, lampka
B	czujnik, przetwornik
X	listwa zaciskowa, złącze

ZAPAMIETAJ Konsekwentne oznaczenia to najtańszy sposób skrócenia czasu diagnostyki. Aparat opisany inaczej niż na schemacie zawsze wydłuża lokalizację usterki.

Oznaczanie zacisków aparatów

Numeracja zacisków jest znormalizowana i niesie informację o funkcji. Pozwala rozpoznać przeznaczenie zacisku bez sięgania po dokumentację.

1. **Stycznik, tor główny** zaciski oznaczane parami 1-2, 3-4, 5-6 albo w wersji rozszerzonej 1L1-2T1.
2. **Styki pomocnicze** numer dwucyfrowy. Pierwsza cyfra to numer porządkowy styku, druga określa jego funkcję.
3. **Cewka stycznika** zaciski A1 i A2. W wykonaniach z podtrzymaniem stosuje się dodatkowo A3.
4. **Przekaźnik termiczny** styk rozwierny 95-96 do obwodu wyłączania, styk zwierny 97-98 do sygnalizacji.
5. **Listwa zaciskowa** zaciski numerowane kolejno, z odsyłaczem do numeru toru i aparatu docelowego.

KLUCZ NUMERACJI

Końcówka	Funkcja
1-2	styk rozwierny
3-4	styk zwierny
5-6	rozwierny zwłoczny
7-8	zwierny zwłoczny
A1-A2	cewka
95-96	termik, rozwierny
97-98	termik, zwierny

ZAPAMIETAJ Znajomość klucza numeracji pozwala podłączyć aparat innego producenta bez szukania instrukcji. Zaciski o tym samym numerze pełnią tę samą funkcję.

Barwy żył i oznaczanie przewodów

Barwy izolacji jednoznacznie przypisują żyle funkcję w obwodzie. Ich stosowanie jest obowiązkowe i ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo.

1. **Przewód ochronny PE** barwa żółto-zielona, zastrzeżona wyłącznie dla funkcji ochronnej. Nie wolno jej używać do innych celów.
2. **Przewód neutralny N** barwa niebieska. W obwodach bez przewodu neutralnego żyła niebieska może zostać przeznaczona do innej funkcji po oznaczeniu.
3. **Przewody fazowe** barwy brązowa, czarna i szara. Kolejność ma znaczenie przy zachowaniu kolejności faz.
4. **Przewód PEN** żyła żółto-zielona z niebieskimi oznacznikami na końcach, stosowana wyłącznie w układzie TN-C.
5. **Obwody sterowania** często stosuje się barwy odróżniające obwody sterownicze, sygnałowe i zasilane z zewnątrz.

BARWY PODSTAWOWE

Funkcja	Barwa
PE	żółto-zielona
N	niebieska
L1	brązowa
L2	czarna
L3	szara
PEN	żółto-zielona z N

ZAPAMIETAJ Żyła żółto-zielona nigdy nie może pełnić funkcji przewodu czynnego. To jedyna barwa całkowicie zastrzeżona.

Oznaczenia typów przewodów i kabli

Kod na powłoce kabla opisuje materiał żyły, rodzaj izolacji, budowę i napięcie znamionowe. Pozwala szybko ocenić przydatność wyrobu.

1. **Materiał żyły** brak litery na początku oznacza miedź, litera A wskazuje aluminium.
2. **Rodzaj izolacji** Y oznacza polwinit, X oznacza polietylen usieciowany o wyższej odporności cieplnej.
3. **Budowa żyły** litera D oznacza żyłę jednodrutową, litera L żyłę wielodrutową giętką.
4. **Napięcie znamionowe** podawane jako para wartości, na przykład 450/750 V dla przewodów instalacyjnych.
5. **Liczba i przekrój żył** zapisywane po symbolu, ze wskazaniem żyły ochronnej, na przykład 5×2,5.

TYPOWE OZNACZENIA

Symbol	Charakterystyka
YDY	instalacyjny, żyły sztywne
YKY	kabel ziemny, miedziany
YAKY	kabel ziemny, aluminiowy
LgY	linka giętka jednożyłowa
OWY	przewód oponowy, przenośny
XzTKMXpw	kabel telekomunikacyjny

DOBÓR DO ZASTOSOWANIA

- Instalacje podtynkowe w budynkach: przewody typu YDY.
- Zasilanie w ziemi: kable YKY lub YAKY z odpowiednim zabezpieczeniem mechanicznym.
- Połączenia ruchome i drzwi szaf: przewody giętkie typu LgY lub OWY.
- Środowisko o podwyższonej temperaturze: izolacja typu X.

ZAPAMIETAJ Napięcie znamionowe kabla musi być nie mniejsze niż napięcie obwodu. Przewód 300/500 V nie nadaje się do obwodu 400 V.

Czytanie schematu rozdzielnicy

Rozdzielnica ma strukturę drzewa: jedno zasilanie i wiele odpływów. Analiza schematu polega na prześledzeniu tej struktury i weryfikacji doboru aparatów.

1. **Pole zasilające** zawiera rozłącznik główny, zabezpieczenie i najczęściej układ pomiarowy oraz ograniczniki przepięć.
2. **Szyny zbiorcze** rozprowadzają energię do pól odpływowych. Ich obciążalność musi odpowiadać prądowi zasilania.
3. **Pola odpływowe** każde z własnym zabezpieczeniem, opisem obwodu i przypisanym przekrojem kabla.
4. **Obwody pomocnicze** sterowanie, sygnalizacja, ogrzewanie i oświetlenie rozdzielnicy, zasilane osobnym obwodem.
5. **Rezerwa** wolne miejsca montażowe i zapas na szynie, przewidziane na przyszłą rozbudowę.

LISTA KONTROLNA ANALIZY

- Czy prąd zabezpieczenia jest mniejszy od obciążalności kabla odpływowego.
- Czy zdolność zwarciowa aparatów odpowiada prądowi zwarciowemu w miejscu zainstalowania.
- Czy zachowana jest selektywność względem zabezpieczenia nadrzędnego.
- Czy obwody gniazd objęte są ochroną różnicowoprądową.
- Czy opisy pól odpowiadają rzeczywistemu przeznaczeniu obwodów.

ZAPAMIETAJ Opis rozdzielnicy to element dokumentacji, a nie ozdoba. Nieaktualne opisy są jedną z najczęstszych przyczyn błędnych wyłączeń podczas awarii.

Numeracja potencjałów i odsyłacze

W rozbudowanych schematach jeden obwód rozciąga się na wiele arkuszy. Numeracja potencjałów i odsyłacze pozwalają śledzić połączenia bez gubienia wątku.

1. **Numer potencjału** każdy odcinek przewodu o wspólnym potencjale otrzymuje unikalny numer, powtarzany przy obu końcach.
2. **Odsyłacz kierunkowy** wskazuje numer arkusza i toru, w którym dany potencjał jest kontynuowany.
3. **Odsyłacz stykowy** przy cewce podaje wykaz jej styków wraz z lokalizacją i typem każdego z nich.
4. **Zaleta w praktyce** pomiar napięcia między dwoma punktami o tym samym numerze potencjału musi dać wartość zerową.
5. **Diagnostyka** różnica potencjałów tam, gdzie nie powinno jej być, wskazuje przerwę w danym odcinku.

JAK TO WYKORZYSTAĆ W DIAGNOSTYCE

- Wypisz numery potencjałów wzdłuż toru, który nie działa.
- Mierz napięcie kolejno między szyną a każdym numerem potencjału.
- Miejsce, w którym napięcie zanika, wskazuje uszkodzony element lub przerwę.
- Skorzystaj z odsyłaczy, aby sprawdzić styki tej samej cewki w innych torach.

ZAPAMIETAJ Metoda kolejnych potencjałów pozwala zlokalizować przerwę w obwodzie sterowania w kilka minut, bez rozbierania szafy.

Tabliczka znamionowa silnika

Tabliczka zawiera komplet danych potrzebnych do podłączenia i doboru zabezpieczeń. Jej odczytanie jest pierwszą czynnością przed każdym uruchomieniem.

1. **Napięcie i połączenie** zapis w postaci dwóch wartości wskazuje napięcia dla połączenia w trójkąt i w gwiazdę.
2. **Prąd znamionowy** podany dla obu połączeń. Stanowi podstawę nastawy zabezpieczenia przeciążeniowego.
3. **Moc znamionowa** moc mechaniczna na wale, a nie moc pobierana z sieci.
4. **Prędkość obrotowa** wartość znamionowa przy obciążeniu. Różnica względem prędkości synchronicznej to poślizg.
5. **Współczynnik mocy i sprawność** pozwalają obliczyć moc pobieraną z sieci i ocenić klasę energetyczną maszyny.

PRZYKŁADOWY ODCZYT

Zapis	Znaczenie
230/400 V	trójkąt 230 V, gwiazda 400 V
7,5/4,3 A	prąd w trójkącie i w gwieździe
1,5 kW	moc mechaniczna na wale
1430 obr/min	4 bieguny, poślizg około 5 %
cos φ 0,80	współczynnik mocy
IP55, IE3	stopień ochrony i klasa sprawności

ZAPAMIETAJ Silnik z tabliczką 230/400 V w sieci 400 V łączy się w gwiazdę. Połączenie w trójkąt oznacza przeciążenie uzwojeń napięciem.

Tabliczka znamionowa transformatora

Dane transformatora determinują sposób jego przyłączenia, dobór zabezpieczeń i możliwość pracy równoległej z innymi jednostkami.

1. **Moc znamionowa** podawana w kilowoltoamperach, ponieważ transformator obciąża się mocą pozorną.
2. **Napięcia znamionowe** górne i dolne, wraz z zakresem regulacji przełącznika zaczepów.
3. **Grupa połączeń** opisuje sposób połączenia uzwojeń i przesunięcie fazowe między stroną górną a dolną.
4. **Napięcie zwarcia** wyrażone w procentach, decyduje o prądzie zwarciowym i o rozkładzie obciążenia przy pracy równoległej.
5. **Rodzaj chłodzenia** kod literowy opisujący czynnik chłodzący i sposób obiegu, na przykład chłodzenie olejowe naturalne.

PRZYKŁADOWY ODCZYT

Zapis	Znaczenie
630 kVA	moc znamionowa
15,75/0,4 kV	napięcia górne i dolne
Dyn5	trójkąt, gwiazda z N, przesunięcie 150 stopni
u_k = 6 %	napięcie zwarcia
ONAN	chłodzenie olejowe naturalne

ZAPAMIETAJ Do pracy równoległej wymagana jest ta sama grupa połączeń, zbliżone napięcie zwarcia i identyczne przekładnie. Inaczej powstaje prąd wyrównawczy.

Dokumentacja powykonawcza

Dokumentacja powykonawcza opisuje instalację w stanie faktycznie wykonanym. Jest podstawą odbioru, eksploatacji i przyszłych modernizacji.

1. **Zakres** zaktualizowane schematy, plany tras, zestawienia aparatury, protokoły badań i deklaracje zgodności.
2. **Naniesienie zmian** wszystkie odstępstwa od projektu muszą być udokumentowane i podpisane przez uprawnioną osobę.
3. **Protokoły pomiarowe** komplet badań odbiorczych z wynikami i oceną zgodności z wymaganiami.
4. **Instrukcja eksploatacji** opisuje sposób obsługi, zakres czynności okresowych i postępowanie w sytuacjach awaryjnych.
5. **Przekazanie** dokumentacja trafia do użytkownika i musi być dostępna dla służb eksploatacyjnych.

CZĘSTE BRAKI

- Schematy niezaktualizowane po zmianach wprowadzonych na budowie.
- Brak opisu obwodów w rozdzielnicy albo opis niezgodny ze schematem.
- Protokoły bez wskazania przyrządów i dat wzorcowania.
- Brak instrukcji eksploatacji dla urządzeń wymagających obsługi okresowej.

ZAPAMIETAJ Dokumentacja niezgodna ze stanem faktycznym bywa groźniejsza niż jej brak, bo prowadzi do fałszywych założeń podczas prac.

Protokół z pomiarów odbiorczych

Protokół jest dowodem wykonania badań i podstawą oceny instalacji. Musi umożliwiać odtworzenie warunków pomiaru i weryfikację wniosków.

1. **Dane identyfikacyjne** obiekt, zakres badanej instalacji, data i warunki środowiskowe pomiaru.
2. **Przyrządy pomiarowe** typ, numer fabryczny i data ostatniego wzorcowania każdego użytego przyrządu.
3. **Wyniki** wartości zmierzone zestawione z wartościami wymaganymi, dla każdego badanego obwodu.
4. **Ocena** jednoznaczne stwierdzenie zgodności lub wskazanie stwierdzonych nieprawidłowości.
5. **Podpis** osoba wykonująca badania podaje numer swoich uprawnień i składa podpis.

ZAKRES BADAŃ W PROTOKOLE

Badanie	Wartość odniesienia
Ciągłość PE	połączenie potwierdzone
Rezystancja izolacji	co najmniej 1 MΩ
Impedancja pętli	warunek wyłączenia spełniony
Próba RCD	czas i prąd zadziałania
Rezystancja uziemienia	wartość projektowa

ZAPAMIETAJ Protokół bez podanych wartości wymaganych nie pozwala ocenić instalacji. Sama liczba bez odniesienia nie jest wynikiem badania.

Karta katalogowa aparatu

Karta katalogowa zawiera parametry decydujące o poprawnym doborze. Ich pominięcie prowadzi do awarii, nawet gdy aparat pozornie pasuje.

1. **Prąd znamionowy ciągły** wartość, którą aparat przenosi trwale w określonej temperaturze otoczenia.
2. **Zdolność łączeniowa zwarciowa** maksymalny prąd zwarciowy, który aparat wyłączy bez zniszczenia.
3. **Kategoria użytkowania** opisuje warunki łączenia, na przykład obciążenie silnikowe albo rezystancyjne.
4. **Trwałość łączeniowa** liczba cykli mechanicznych i elektrycznych, istotna przy pracy cyklicznej.
5. **Warunki środowiskowe** zakres temperatur, wilgotność, wysokość zainstalowania i wymagane odstępy montażowe.

KATEGORIE UŻYTKOWANIA STYCZNIKÓW

Kategoria	Zastosowanie
AC-1	obciążenie rezystancyjne
AC-3	silniki klatkowe, wyłączanie w ruchu
AC-4	praca impulsowa, rewersja, hamowanie
DC-1, DC-3	obwody prądu stałego

ZAPAMIETAJ Stycznik dobrany według prądu w kategorii AC-1 może być zbyt słaby dla silnika w kategorii AC-3. To ta sama wartość prądu w innych warunkach pracy.

Struktura norm instalacyjnych

Wymagania dla instalacji niskiego napięcia są zebrane w wieloczęściowej normie. Znajomość jej układu skraca poszukiwanie konkretnego wymagania.

1. **Część pierwsza** zakres, przedmiot i definicje. Ustala terminologię używaną w pozostałych częściach.
2. **Część czwarta** ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa, w tym ochrona przeciwporażeniowa i przeciwpożarowa.
3. **Część piąta** dobór i montaż wyposażenia elektrycznego, w tym oprzewodowanie i aparatura.
4. **Część szósta** sprawdzanie odbiorcze i okresowe instalacji.
5. **Część siódma** wymagania dla instalacji specjalnych, takich jak pomieszczenia kąpielowe, place budowy czy instalacje PV.

JAK KORZYSTAĆ Z NORMY

- Ustal, czy Twoja instalacja należy do przypadku szczególnego z części siódmej.
- Sprawdź wymagania ogólne w częściach czwartej i piątej.
- Zakres i metody badań znajdziesz w części szóstej.
- Zapisy części siódmej mają pierwszeństwo przed wymaganiami ogólnymi.

ZAPAMIETAJ Norma opisuje wymagania minimalne. Projektant może zastosować rozwiązania ostrzejsze, ale nigdy łagodniejsze.

Rysunek szafy sterowniczej

Rysunek rozmieszczenia aparatów pokazuje fizyczny układ szafy. Jest dokumentem wykonawczym dla prefabrykacji i punktem odniesienia przy serwisie.

1. **Widok od frontu** przedstawia płytę montażową z aparatami w rzeczywistych proporcjach i z opisem oznaczeń.
2. **Podział na szyny** aparaty grupuje się według funkcji: zasilanie, zabezpieczenia, sterowanie, zaciski.
3. **Kanały kablowe** wymiarowane tak, aby zapewnić zapas na rozbudowę i swobodne prowadzenie przewodów.
4. **Odstępy montażowe** producenci wymagają minimalnych odstępów wentylacyjnych wokół aparatów mocy.
5. **Bilans cieplny** moc strat aparatów decyduje o potrzebie wentylacji lub klimatyzacji szafy.

ZASADY ROZMIESZCZENIA

- Aparaty mocy w dolnej części, sterowanie i elektronika wyżej.
- Zaciski wyprowadzeń przy krawędzi wejścia kabli.
- Falowniki i zasilacze z zachowaniem odstępów wentylacyjnych.
- Elementy wymagające obsługi w zasięgu ręki, bez konieczności demontażu.

ZAPAMIETAJ Temperatura wewnątrz szafy obniża obciążalność aparatów. Bilans cieplny jest częścią doboru, a nie dodatkiem do projektu.

Tabelka rysunkowa, legenda i skala

Elementy formalne rysunku decydują o jego jednoznaczności. Bez nich nawet poprawny technicznie schemat trudno wykorzystać.

1. **Tabelka rysunkowa** zawiera nazwę obiektu, tytuł rysunku, numer, skalę, datę oraz osoby opracowujące i sprawdzające.
2. **Numer rysunku** jednoznacznie identyfikuje arkusz w komplecie dokumentacji i jest podstawą odsyłaczy.
3. **Legenda** objaśnia symbole niestandardowe i skróty użyte na rysunku.
4. **Skala** dotyczy rysunków odwzorowujących wymiary. Schematy ideowe wykonuje się bez skali.
5. **Rewizje** kolejne zmiany rysunku odnotowuje się z datą, opisem i osobą wprowadzającą.

TYPOWE SKALE

Skala	Zastosowanie
1:50	rzuty instalacji w pomieszczeniach
1:100	rzuty kondygnacji
1:20	rysunki szaf i tablic
bez skali	schematy ideowe i rozwinięte

ZAPAMIETAJ Przy każdej zmianie rysunku zmienia się numer rewizji. Praca według nieaktualnej wersji jest jedną z najczęstszych przyczyn błędów montażowych.

Schemat blokowy i funkcjonalny

Schemat blokowy pokazuje strukturę funkcjonalną układu bez szczegółów połączeń. Jest punktem wyjścia do projektowania i do analizy działania.

1. **Blok funkcjonalny** prostokąt opisujący jedną funkcję zespołu, na przykład zasilanie, sterowanie, pomiar.
2. **Powiązania** strzałki wskazują kierunek przepływu energii, sygnału lub informacji.
3. **Poziom szczegółowości** dobierany do odbiorcy. Dla inwestora ogólny, dla wykonawcy uszczegółowiony.
4. **Schemat funkcjonalny** rozwinięcie blokowego, pokazujące logikę bez odwzorowania rzeczywistego okablowania.
5. **Zastosowanie** uzgodnienia koncepcyjne, opis systemów automatyki, dokumentacja układów bezpieczeństwa.

TYPOWE BLOKI W UKŁADZIE NAPĘDOWYM

- Zasilanie i zabezpieczenia obwodu głównego.
- Człon wykonawczy: stycznik, softstart albo falownik.
- Silnik wraz z układem chłodzenia i czujnikami.
- Sterownik nadrzędny i panel operatorski.
- Obwód bezpieczeństwa z wyłącznikiem awaryjnym.

ZAPAMIETAJ Schemat blokowy najlepiej sprawdza się przy przekazywaniu koncepcji. Do montażu i diagnostyki potrzebny jest zawsze schemat rozwinięty.

Zestawienie aparatury i materiałów

Zestawienie łączy schemat z rzeczywistymi wyrobami. Jest podstawą zamówienia, kontroli dostawy i późniejszej wymiany elementów.

1. **Oznaczenie** musi być identyczne z oznaczeniem na schemacie i na aparacie w szafie.
2. **Opis techniczny** parametry decydujące o doborze, a nie tylko nazwa handlowa.
3. **Producent i typ** umożliwia jednoznaczne zamówienie i odnalezienie karty katalogowej.
4. **Ilość** z uwzględnieniem zapasu na elementy zużywalne, takie jak wkładki topikowe.
5. **Uwagi** informacje o zamiennikach, wymaganych akcesoriach i osprzęcie montażowym.

PRZYKŁADOWA POZYCJA

Pole	Zawartość
Oznaczenie	K1
Opis	stycznik AC-3, 9 A, cewka 230 V AC
Typ	oznaczenie katalogowe producenta
Ilość	1 szt.
Uwagi	styk pomocniczy NO montowany oddzielnie

ZAPAMIETAJ Zamiennik dobiera się według parametrów, a nie według wyglądu i wymiarów. Zgodność mechaniczna nie oznacza zgodności elektrycznej.

Od schematu do montażu

Przejście od dokumentacji do gotowej instalacji ma ustaloną kolejność. Jej zachowanie ogranicza błędy i skraca czas uruchomienia.

1. **Analiza dokumentacji** sprawdzenie kompletności, aktualności rewizji i zgodności zestawienia ze schematem.
2. **Prefabrykacja** montaż aparatów, okablowanie wewnętrzne, opisanie zacisków i sprawdzenie ciągłości.
3. **Montaż w obiekcie** ustawienie rozdzielnicy, wprowadzenie kabli, wykonanie połączeń ochronnych.
4. **Sprawdzenie przed podaniem napięcia** oględziny, pomiar rezystancji izolacji, kontrola dokręcenia połączeń.
5. **Uruchomienie** podanie napięcia sterowania, sprawdzenie logiki, dopiero potem podanie napięcia do obwodów głównych.

KOLEJNOŚĆ URUCHOMIENIA

- Sprawdź brak zwarć i poprawność podłączenia PE.
- Podaj napięcie na obwód sterowania z odłączonymi obwodami głównymi.
- Zweryfikuj działanie logiki, blokad i sygnalizacji.
- Sprawdź kierunek wirowania przy odłączonym napędzie mechanicznym.
- Uruchom obwody główne i wykonaj pomiary pod obciążeniem.

ZAPAMIETAJ Sprawdzenie logiki sterowania przy odłączonych obwodach głównych pozwala wychwycić błędy bez ryzyka uszkodzenia napędu.

PAKIET IV

Sterowanie elektryczne i rozruch silników

Aparatura łącznikowa, układy sterowania, metody rozruchu, czujniki, sterowniki programowalne i obwody bezpieczeństwa maszyn.

Mapy 076 – 100

Stycznik od środka

Stycznik to łącznik elektromagnetyczny zdolny do częstych operacji łączeniowych pod obciążeniem. Jest podstawowym elementem wykonawczym w układach napędowych.

1. **Cewka elektromagnesu** po podaniu napięcia wytwarza siłę przyciągającą zworę. Zaciski oznaczane A1 i A2.
2. **Rdzeń i zwora** przenoszą siłę magnetyczną na zespół ruchomy styków. Zwarcie zwojowe rdzenia powoduje głośny brzęk.
3. **Styki główne** przenoszą prąd obciążenia. Wykonane ze stopów srebra, odporne na erozję łukową.
4. **Styki pomocnicze** sterują obwodami pomocniczymi, realizują samopodtrzymanie i blokady.
5. **Komora gaszeniowa** dzieli i chłodzi łuk elektryczny, umożliwiając jego szybkie wygaszenie.

ZACISKI STYCZNIKA

Zaciski	Funkcja
A1, A2	cewka sterująca
1-2, 3-4, 5-6	styki główne
13-14	styk pomocniczy NO
21-22	styk pomocniczy NC

TYPOWE OBJAWY USZKODZEŃ

- Brzęczenie: zanieczyszczona powierzchnia styku rdzenia albo uszkodzona zwora zwarciowa.
- Nadpalone styki główne: przeciążenie lub zbyt częste łączenia w kategorii AC-4.
- Sklejenie styków: zwarcie w obwodzie odbiorczym albo aparat dobrany zbyt słabo.
- Brak zadziałania mimo napięcia na cewce: przerwa w uzwojeniu lub zablokowana mechanika.

ZAPAMIETAJ Napięcie cewki podane na aparacie musi odpowiadać napięciu obwodu sterowania. Cewka 24 V podłączona do 230 V ulega zniszczeniu natychmiast.

Najczęściej stosowane napięcia sterownicze

Wybór napięcia obwodu sterowania jest kompromisem między bezpieczeństwem, kosztem instalacji i zasięgiem sygnału. Każda wartość ma określone zastosowanie.

1. **24 V DC** napięcie bezpieczne, standard dla sterowników PLC, czujników i przekaźników bezpieczeństwa.
2. **24 V AC** stosowane tam, gdzie prostszy transformator wystarcza, a nie ma odbiorników wymagających prądu stałego.
3. **230 V AC** często spotykane w prostszych układach. Wymaga zachowania pełnych środków ochrony przeciwporażeniowej.
4. **400 V AC** sporadycznie, wyłącznie w obwodach bez dostępu obsługi. Zwiększa ryzyko i utrudnia serwis.
5. **Kryterium doboru** im większa dostępność obwodu dla obsługi, tym niższe napięcie sterowania powinno być zastosowane.

PORÓWNANIE

Napięcie	Zaleta	Wada
24 V DC	bezpieczne, PLC	spadki na długich trasach
24 V AC	prosty transformator	brak zasilania elektroniki
230 V AC	brak transformatora	zagrożenie porażeniem
400 V AC	brak przetwornic	niedopuszczalne przy obsłudze

UWAGI PROJEKTOWE

- Przy 24 V DC i długich przewodach sprawdź spadek napięcia na cewkach i czujnikach.
- Obwód sterowania zasilany z transformatora wymaga własnego zabezpieczenia po obu stronach.
- Przy 24 V DC stosuj zasilacze z rezerwą prądową na prądy rozruchowe cewek.

ZAPAMIETAJ Obwód sterowania 24 V nie zwalnia z ochrony przed skutkami zwarcia. Zwarcie w obwodzie niskonapięciowym również powoduje zagrożenie pożarowe.

Przekaźnik pomocniczy

Przekaźnik pomocniczy rozdziela sygnały sterownicze, zwielokrotnia styki i separuje obwody o różnych napięciach. Nie służy do łączenia obwodów mocy.

1. **Zadanie** przetworzenie jednego sygnału wejściowego na kilka niezależnych sygnałów wyjściowych.
2. **Separacja galwaniczna** cewka i styki są odseparowane, co pozwala sterować obwodem 230 V sygnałem 24 V.
3. **Styki przełączne** typowe wykonania mają od dwóch do czterech zespołów styków przełącznych.
4. **Obciążalność styków** znacznie mniejsza niż w styczniku. Podawana osobno dla obciążenia rezystancyjnego i indukcyjnego.
5. **Gniazdo montażowe** umożliwia wymianę bez rozłączania przewodów. Ułatwia serwis i skraca przestój.

ZASTOSOWANIA W PRAKTYCE

- Zwielokrotnienie sygnału z jednego wyjścia sterownika PLC.
- Dopasowanie poziomu napięcia między czujnikiem a obwodem stycznika.
- Ochrona wyjść sterownika przed przeciążeniem prądem cewki stycznika.
- Realizacja prostych funkcji logicznych bez użycia sterownika.

ZASADY DOBORU

- Sprawdź prąd cewki i porównaj go z obciążalnością wyjścia sterującego.
- Przy obciążeniu indukcyjnym stosuj układ tłumiący na cewce.
- Do obwodów bezpieczeństwa stosuj wyłącznie przekaźniki o stykach prowadzonych mechanicznie.

ZAPAMIETAJ Przekaźnik pomocniczy nie zastąpi stycznika w obwodzie silnika. Prąd rozruchowy zniszczy jego styki w krótkim czasie.

Przekaźnik czasowy i jego funkcje

Przekaźnik czasowy wprowadza opóźnienie do układu sterowania. Wybór funkcji decyduje o tym, kiedy styk zmienia stan względem sygnału sterującego.

1. **Opóźnione zadziałanie** po podaniu napięcia styk zmienia stan dopiero po upływie nastawionego czasu.
2. **Opóźniony powrót** styk zmienia stan natychmiast po podaniu napięcia, a wraca do stanu spoczynkowego po czasie od zaniku sygnału.
3. **Impuls jednorazowy** po pobudzeniu styk zamyka się na nastawiony czas, niezależnie od czasu trwania sygnału.
4. **Praca cykliczna** styk przełącza się naprzemiennie z zadanym czasem załączenia i przerwy.
5. **Zakres nastawy** wybierany przełącznikiem zakresu oraz pokrętłem wartości, zwykle od ułamków sekundy do godzin.

TYPOWE ZASTOSOWANIA

Funkcja	Przykład użycia
Opóźnione zadziałanie	przełączenie gwiazda-trójkąt
Opóźniony powrót	wybieg wentylatora po wyłączeniu
Impuls	krótkie załączenie sygnalizacji
Cykliczna	praca przerywana mieszadła

ZAPAMIETAJ W układzie gwiazda-trójkąt czas przekaźnika dobiera się do czasu rozruchu maszyny. Zbyt wczesne przełączenie powoduje skok prądu.

Przekaźnik termiczny

Przekaźnik termiczny chroni silnik przed skutkami przeciążenia. Odwzorowuje nagrzewanie uzwojeń, dlatego reaguje z opóźnieniem zależnym od krotności prądu.

1. **Zasada działania** prąd przepływa przez elementy bimetaliczne, które odkształcają się pod wpływem ciepła i zwalniają mechanizm.
2. **Nastawa** ustawiana na wartość prądu znamionowego silnika odczytaną z tabliczki, dla właściwego układu połączeń.
3. **Charakterystyka zwłoczna** im większe przeciążenie, tym krótszy czas zadziałania. Krótkotrwały rozruch nie powoduje wyłączenia.
4. **Zabezpieczenie od zaniku fazy** wykonania trójbiegunowe z mechanizmem różnicowym reagują na asymetrię prądów.
5. **Reset** ręczny lub automatyczny. W układach napędowych zaleca się reset ręczny ze względu na bezpieczeństwo.

STYKI I PODŁĄCZENIE

Zaciski	Funkcja
95-96	styk rozwierny, wyłącza sterowanie
97-98	styk zwierny, sygnalizacja awarii
Tor główny	między stycznikiem a silnikiem

NAJCZĘSTSZE BŁĘDY

- Nastawa według prądu zabezpieczenia zamiast prądu silnika.
- Pominięcie różnicy prądu przy połączeniu w gwiazdę i w trójkąt.
- Ustawienie resetu automatycznego przy napędzie z dostępem obsługi.
- Zabezpieczenie zamontowane przed stycznikiem, przez co nie chroni przy pracy ręcznej.

ZAPAMIETAJ Przekaźnik termiczny nie chroni przed zwarciem. Zabezpieczenie zwarciowe musi być zrealizowane osobno, bezpiecznikiem lub wyłącznikiem.

Układ z samopodtrzymaniem

Samopodtrzymanie utrzymuje pracę stycznika po zwolnieniu przycisku startu. To najczęściej stosowany podstawowy układ sterowania napędem.

1. **Przycisk start** styk zwierny, po wciśnięciu podaje napięcie na cewkę stycznika.
2. **Styk podtrzymujący** styk pomocniczy zwierny stycznika połączony równolegle do przycisku start.
3. **Przycisk stop** styk rozwierny włączony szeregowo. Jego naciśnięcie przerywa obwód cewki.
4. **Zabezpieczenia w torze** styk przekaźnika termicznego i wyłącznika awaryjnego włącza się szeregowo przed cewką.
5. **Zachowanie po zaniku napięcia** stycznik odpada i nie załącza się samoczynnie po powrocie zasilania. To zaleta bezpieczeństwa.

KOLEJNOŚĆ W TORZE STEROWANIA

- Szyna zasilania obwodu sterowania.
- Styk rozwierny wyłącznika awaryjnego.
- Styk rozwierny przekaźnika termicznego 95-96.
- Przycisk stop, styk rozwierny.
- Równoległy układ: przycisk start oraz styk podtrzymujący 13-14.
- Cewka stycznika A1-A2 i powrót do szyny.

DIAGNOSTYKA

- Stycznik załącza się tylko przy trzymanym przycisku: przerwa w styku podtrzymującym.
- Stycznik nie załącza się w ogóle: sprawdź kolejno styki rozwierne w torze.
- Stycznik nie wyłącza się przyciskiem stop: sklejone styki albo zwarcie w obwodzie podtrzymania.

ZAPAMIETAJ Brak samoczynnego powrotu po zaniku napięcia to funkcja bezpieczeństwa. Nigdy nie omijaj jej mostkiem, aby ułatwić sobie uruchamianie.

Sterowanie z wielu miejsc

Ten sam napęd często musi być załączany i wyłączany z kilku stanowisk. Sposób łączenia przycisków wynika wprost z ich funkcji logicznej.

1. **Przyciski start** łączone równolegle. Wciśnięcie dowolnego z nich zamyka obwód, co odpowiada funkcji LUB.
2. **Przyciski stop** łączone szeregowo. Wciśnięcie dowolnego przerywa obwód, co odpowiada funkcji I dla warunku pracy.
3. **Skutek pomyłki** zamiana układu połączeń sprawia, że jeden przycisk stop przestaje działać, gdy inne pozostają zwolnione.
4. **Sygnalizacja** przy sterowaniu z wielu miejsc lampka stanu powinna być widoczna z każdego stanowiska.
5. **Wyłącznik awaryjny** zawsze łączony szeregowo, niezależnie od liczby stanowisk sterowniczych.

ZASADA ŁĄCZENIA

Element	Połączenie	Logika
Start	równolegle	LUB
Stop	szeregowo	I
E-STOP	szeregowo	I
Termik	szeregowo	I

ZAPAMIETAJ Reguła jest prosta: elementy załączające łączy się równolegle, a elementy wyłączające szeregowo. Ta zasada obowiązuje niezależnie od skali układu.

Blokada wzajemna i rewersja silnika

Zmiana kierunku obrotów wymaga dwóch styczników. Ich jednoczesne załączenie oznaczałoby zwarcie międzyfazowe, dlatego stosuje się blokady.

1. **Zasada rewersji** drugi stycznik zamienia miejscami dwie fazy zasilające silnik, odwracając kierunek wirowania pola.
2. **Blokada elektryczna** styk rozwierny każdego stycznika włączony w tor cewki stycznika przeciwnego.
3. **Blokada mechaniczna** element montowany między stycznikami, uniemożliwiający jednoczesne zamknięcie styków.
4. **Zwłoka przy zmianie kierunku** silnik powinien się zatrzymać przed przełączeniem, inaczej powstaje bardzo duży prąd.
5. **Dobór aparatów** praca rewersyjna to kategoria AC-4, wymagająca styczników o zwiększonej obciążalności.

STRUKTURA OBWODU STEROWANIA

- Tor lewych obrotów: stop, styk NC stycznika prawego, przycisk start L z podtrzymaniem, cewka K1.
- Tor prawych obrotów: stop, styk NC stycznika lewego, przycisk start P z podtrzymaniem, cewka K2.
- Wspólny szeregowy styk termika i wyłącznika awaryjnego dla obu torów.

DLACZEGO DWIE BLOKADY

- Blokada elektryczna zabezpiecza logikę sterowania.
- Blokada mechaniczna działa nawet przy sklejonych stykach lub błędnym połączeniu.
- W napędach odpowiedzialnych stosuje się obie jednocześnie.

ZAPAMIETAJ Blokada elektryczna nie chroni przed sklejeniem styków. Dopiero blokada mechaniczna zapewnia ochronę przed zwarciem w każdym przypadku.

Rozruch bezpośredni silnika

Rozruch bezpośredni polega na podaniu pełnego napięcia na uzwojenia. Jest najprostszy, ale wiąże się z dużym prądem i udarem momentu.

1. **Zasada** stycznik podaje pełne napięcie sieci na silnik. Układ zawiera zabezpieczenie zwarciowe i przeciążeniowe.
2. **Prąd rozruchowy** wynosi zwykle od pięciu do ośmiu razy prąd znamionowy i trwa do osiągnięcia prędkości roboczej.
3. **Moment rozruchowy** wysoki, co ułatwia rozruch pod obciążeniem, ale obciąża mechanicznie przekładnię i sprzęgło.
4. **Ograniczenia** operator sieci może ograniczać moc silników uruchamianych bezpośrednio ze względu na zapady napięcia.
5. **Zastosowanie** napędy małej mocy, pompy, wentylatory, urządzenia uruchamiane rzadko.

ELEMENTY UKŁADU

- Rozłącznik bezpiecznikowy albo wyłącznik silnikowy jako zabezpieczenie zwarciowe.
- Stycznik główny w kategorii AC-3.
- Przekaźnik termiczny nastawiony na prąd znamionowy silnika.
- Obwód sterowania z samopodtrzymaniem i wyłącznikiem awaryjnym.

ZALETY I WADY

Zaleta	Wada
prosty i tani układ	duży prąd rozruchowy
pełny moment rozruchowy	udar mechaniczny
mała liczba aparatów	zapady napięcia w sieci

ZAPAMIETAJ Rozruch bezpośredni jest dopuszczalny dla silników o mocy ograniczonej warunkami przyłączenia. Przy większych mocach stosuje się rozruch łagodzony.

Rozruch gwiazda-trójkąt

Układ gwiazda-trójkąt obniża napięcie na uzwojeniach podczas rozruchu, zmniejszając prąd początkowy. Wymaga silnika przystosowanego do obu połączeń.

1. **Faza rozruchu** uzwojenia połączone w gwiazdę otrzymują napięcie mniejsze o pierwiastek z trzech.
2. **Redukcja prądu** prąd rozruchowy spada do około jednej trzeciej wartości przy rozruchu bezpośrednim.
3. **Redukcja momentu** moment również spada do około jednej trzeciej. To główne ograniczenie tej metody.
4. **Przełączenie** po osiągnięciu prędkości bliskiej roboczej przekaźnik czasowy przełącza uzwojenia w trójkąt.
5. **Warunek stosowania** silnik musi mieć tabliczkę wskazującą pracę w trójkącie przy napięciu sieci.

APARATY W UKŁADZIE

- Stycznik sieciowy K1, podający zasilanie na początki uzwojeń.
- Stycznik gwiazdy K2, zwierający końce uzwojeń w punkcie zerowym.
- Stycznik trójkąta K3, łączący końce z początkami kolejnych faz.
- Przekaźnik czasowy odmierzający czas pracy w gwieździe.
- Blokada wzajemna między stycznikiem gwiazdy a stycznikiem trójkąta.

PORÓWNANIE Z ROZRUCHEM BEZPOŚREDNIM

Parametr	Gwiazda	Trójkąt
Napięcie na uzwojeniu	230 V	400 V
Prąd rozruchowy	około 1/3	pełny
Moment	około 1/3	pełny

ZAPAMIETAJ Rozruch gwiazda-trójkąt nadaje się tylko do napędów startujących bez obciążenia lub z małym momentem oporowym.

Softstart

Układ łagodnego rozruchu płynnie zwiększa napięcie zasilania silnika. Ogranicza prąd rozruchowy i udary mechaniczne bez skokowego przełączania.

1. **Zasada działania** tyrystory sterują kątem przewodzenia, płynnie zwiększając wartość skuteczną napięcia.
2. **Rampa rozruchu** nastawiany czas narastania napięcia od wartości początkowej do pełnej.
3. **Rampa zatrzymania** łagodne obniżanie napięcia eliminuje uderzenia hydrauliczne w układach pompowych.
4. **Stycznik obejściowy** po zakończeniu rozruchu zwiera tyrystory, eliminując straty mocy i nagrzewanie.
5. **Ograniczenie** moment rozruchowy maleje wraz z napięciem, więc napęd o dużym momencie oporowym może nie ruszyć.

PORÓWNANIE METOD ROZRUCHU

Metoda	Prąd	Moment	Koszt
Bezpośredni	duży	pełny	niski
Gwiazda-trójkąt	1/3	1/3	średni
Softstart	regulowany	regulowany	wyższy
Falownik	mały	pełny	najwyższy

TYPOWE ZASTOSOWANIA

- Pompy, gdzie ważne jest wyeliminowanie uderzeń hydraulicznych.
- Przenośniki taśmowe, gdzie gwałtowny start uszkadza taśmę i transportowany materiał.
- Wentylatory o dużym momencie bezwładności.

ZAPAMIETAJ Softstart reguluje napięcie, ale nie zmienia częstotliwości. Prędkość obrotowa po rozruchu pozostaje taka jak przy zasilaniu bezpośrednim.

Falownik: zasada działania

Falownik przekształca napięcie sieci na napięcie o regulowanej częstotliwości i wartości. Dzięki temu umożliwia płynną regulację prędkości silnika.

1. **Prostownik** przekształca napięcie przemienne sieci na napięcie stałe.
2. **Obwód pośredniczący** kondensatory wygładzają napięcie stałe i magazynują energię.
3. **Falownik wyjściowy** tranzystory formują napięcie o zadanej częstotliwości metodą modulacji szerokości impulsu.
4. **Sterowanie U przez f** aby zachować strumień magnetyczny, napięcie zmienia się proporcjonalnie do częstotliwości.
5. **Funkcje dodatkowe** rampy przyspieszania, ograniczenie prądu, hamowanie, regulacja PID, komunikacja sieciowa.

ZALEŻNOŚCI

$n_s = 60f / p$
prędkość synchroniczna

$U / f = const$
zachowanie strumienia

$f < f_n$
regulacja ze stałym momentem

$f > f_n$
praca ze stałą mocą

UWAGI INSTALACYJNE

- Stosuj przewody ekranowane do silnika, z ekranem uziemionym obustronnie.
- Zachowaj maksymalną długość kabla podaną przez producenta.
- Po stronie zasilania przewiduj dławik ograniczający harmoniczne.
- Do ochrony różnicowoprądowej wymagany jest wyłącznik typu B.

ZAPAMIETAJ Praca powyżej częstotliwości znamionowej odbywa się przy stałym napięciu, więc moment maleje. Silnik traci wtedy zdolność przenoszenia pełnego obciążenia.

Parametryzacja falownika

Poprawne uruchomienie falownika wymaga wprowadzenia danych silnika i ustawienia parametrów pracy. Domyślne nastawy rzadko odpowiadają rzeczywistej aplikacji.

1. **Dane silnika** napięcie, prąd, moc, częstotliwość, prędkość i współczynnik mocy z tabliczki znamionowej.
2. **Zakres częstotliwości** minimalna i maksymalna wartość, ograniczająca prędkość do bezpiecznego zakresu.
3. **Rampy** czas przyspieszania i hamowania dobierany do bezwładności napędu.
4. **Źródło zadawania** potencjometr, wejście analogowe, panel, sieć komunikacyjna albo prędkości zaprogramowane.
5. **Zabezpieczenia** ograniczenie prądu, zabezpieczenie termiczne silnika, reakcja na zanik fazy i przeciążenie.

KOLEJNOŚĆ URUCHOMIENIA

- Przywróć nastawy fabryczne, aby wyjść od znanego stanu.
- Wprowadź dane z tabliczki znamionowej silnika.
- Wykonaj automatyczną identyfikację parametrów, jeśli falownik ją oferuje.
- Ustaw źródło sygnału zadającego i sposób startu.
- Sprawdź kierunek obrotów przy niskiej częstotliwości.
- Dostrój rampy i ograniczenia prądowe pod obciążeniem.

TYPOWE PROBLEMY

- Zgłoszenie przeciążenia przy starcie: zbyt krótka rampa przyspieszania.
- Błąd przepięcia przy hamowaniu: zbyt szybka rampa, wymagany rezystor hamujący.
- Silnik nie osiąga momentu: błędnie wprowadzone dane znamionowe.

ZAPAMIETAJ Przy pracy z niską częstotliwością chłodzenie własne silnika jest niewystarczające. W takich aplikacjach stosuje się wentylację obcą.

Hamowanie silnika indukcyjnego

Zatrzymanie napędu bywa równie ważne jak rozruch. Metodę hamowania dobiera się do wymaganego czasu zatrzymania i do bezwładności układu.

1. **Wybieg swobodny** odłączenie zasilania i zatrzymanie siłami tarcia. Najprostsze, ale najdłuższe.
2. **Hamowanie przeciwprądem** zamiana dwóch faz przy wirującym silniku. Bardzo skuteczne, ale generuje duże prądy i nagrzewanie.
3. **Hamowanie dynamiczne** podanie prądu stałego do uzwojeń wytwarza nieruchome pole hamujące.
4. **Hamowanie z odzyskiem** przy napędzie falownikowym energia wraca do obwodu pośredniczącego, a nadmiar rozprasza rezystor.
5. **Hamulec mechaniczny** elektromagnetyczny hamulec sprężynowy zwalniany napięciem, stosowany w dźwignicach.

PORÓWNANIE METOD

Metoda	Czas	Uwagi
Wybieg	długi	brak dodatkowych aparatów
Przeciwprąd	krótki	duże obciążenie cieplne
Prąd stały	średni	wymaga źródła DC
Falownik	regulowany	rezystor hamujący
Hamulec mech.	krótki	utrzymuje pozycję

ZAPAMIETAJ W dźwignicach hamulec musi działać przy zaniku napięcia. Dlatego stosuje się rozwiązania zwalniane napięciem, a nie załączane.

Wyłącznik silnikowy

Wyłącznik silnikowy łączy w jednym aparacie zabezpieczenie zwarciowe, przeciążeniowe i funkcję łączeniową. Upraszcza układ i skraca czas montażu.

1. **Wyzwalacz elektromagnetyczny** reaguje bezzwłocznie na prąd zwarciowy, zwykle przy krotności trzynastu razy prąd nastawy.
2. **Wyzwalacz termiczny** chroni przed przeciążeniem, z charakterystyką zwłoczną odwzorowującą nagrzewanie silnika.
3. **Nastawa prądowa** regulowana w zakresie odpowiadającym prądom znamionowym typoszeregu silników.
4. **Funkcja łączeniowa** umożliwia ręczne załączanie i wyłączanie napędu oraz bezpieczne odłączenie na czas prac.
5. **Wyposażenie dodatkowe** styki pomocnicze, styk sygnalizacji zadziałania, wyzwalacz podnapięciowy i wzrostowy.

ZALETY W UKŁADZIE NAPĘDOWYM

- Jeden aparat zamiast rozłącznika bezpiecznikowego i przekaźnika termicznego.
- Brak konieczności wymiany wkładek topikowych po zwarciu.
- Możliwość blokady w pozycji wyłączonej na czas prac serwisowych.
- Zwarta zabudowa i mniejsza liczba połączeń.

NASTAWA

- Ustaw wartość na prąd znamionowy silnika odczytany z tabliczki.
- Uwzględnij układ połączeń uzwojeń, bo prądy w gwieździe i w trójkącie są różne.
- Sprawdź kategorię koordynacji ze stycznikiem podaną przez producenta.

ZAPAMIETAJ Wyłącznik silnikowy z blokadą kłódkową spełnia funkcję odłącznika serwisowego. To praktyczne rozwiązanie przy maszynach wymagających częstej obsługi.

Przyciski i sygnalizacja

Elementy sterownicze i sygnalizacyjne stanowią interfejs między operatorem a maszyną. Barwy i kształty są znormalizowane, aby ich znaczenie było jednoznaczne.

1. **Barwa czerwona** zatrzymanie i wyłączenie. Zarezerwowana dla funkcji zatrzymania oraz sygnalizacji awarii.
2. **Barwa zielona** uruchomienie i stan normalny pracy.
3. **Barwa żółta** ostrzeżenie, stan wymagający uwagi albo interwencja.
4. **Barwa biała i niebieska** funkcje neutralne, potwierdzenia, informacje o stanie i wymagane działanie.
5. **Kształt przycisku** grzybkowy dla zatrzymania awaryjnego, wpuszczany dla funkcji, których nie wolno załączyć przypadkowo.

ZNACZENIE BARW

Barwa	Przycisk	Lampka
czerwona	stop, awaria	awaria, zagrożenie
zielona	start	praca normalna
żółta	interwencja	ostrzeżenie
niebieska	działanie wymagane	informacja
biała	funkcja ogólna	potwierdzenie

ZAPAMIETAJ Barwy czerwonej nie wolno używać do funkcji uruchamiających. Jednoznaczność oznaczeń jest elementem bezpieczeństwa obsługi.

Wyłączniki krańcowe

Wyłącznik krańcowy przekształca położenie mechaniczne na sygnał elektryczny. Stosowany jest do ograniczania ruchu, pozycjonowania i kontroli osłon.

1. **Zasada działania** element uruchamiający napiera na napęd łącznika, powodując przełączenie styków.
2. **Rodzaje napędów** trzpieniowy, dźwigniowy, rolkowy, sprężynowy. Dobierany do kierunku i prędkości ruchu.
3. **Działanie migowe** styk przełącza się skokowo niezależnie od prędkości najeżdżania, co ogranicza erozję styków.
4. **Styki prowadzone przymusowo** konstrukcja gwarantująca otwarcie styku rozwiernego nawet przy sklejeniu, wymagana w obwodach bezpieczeństwa.
5. **Zastosowanie w blokadach** kontrola zamknięcia osłon i drzwi, z ryglowaniem uniemożliwiającym otwarcie w czasie ruchu.

DOBÓR DO ZASTOSOWANIA

- Krańcówka pozycyjna: dokładność powtarzalności i odporność na drgania.
- Krańcówka bezpieczeństwa: styk rozwierny prowadzony przymusowo i kontrola integralności.
- Warunki środowiskowe: stopień ochrony, zakres temperatur, odporność na chemikalia.
- Trwałość mechaniczna: liczba cykli w przewidywanym okresie eksploatacji.

ZAPAMIETAJ W obwodach bezpieczeństwa stosuje się wyłącznie styki rozwierne prowadzone przymusowo. Styk zwierny nie daje pewności wykrycia otwarcia osłony.

Czujniki zbliżeniowe indukcyjne

Czujnik indukcyjny wykrywa obecność metalu bez kontaktu mechanicznego. Jest odporny na zużycie i sprawdza się w środowisku zapylonym.

1. **Zasada działania** oscylator wytwarza pole elektromagnetyczne. Zbliżenie metalu tłumi drgania i powoduje przełączenie wyjścia.
2. **Strefa działania** znamionowa odległość zadziałania podawana dla stali. Dla innych metali stosuje się współczynniki korekcyjne.
3. **Wykonanie ekranowane** pozwala na montaż w metalu na równo z powierzchnią, kosztem mniejszego zasięgu.
4. **Wykonanie nieekranowane** większy zasięg, ale wymaga wolnej strefy wokół czoła czujnika.
5. **Wyjście** tranzystorowe typu PNP lub NPN, w wersji zwiernej lub rozwiernej.

WSPÓŁCZYNNIKI KOREKCYJNE

Materiał	Współczynnik
stal konstrukcyjna	1,00
stal nierdzewna	około 0,70
mosiądz	około 0,50
aluminium	około 0,40
miedź	około 0,30

ZAPAMIETAJ Czujnik indukcyjny wykrywa wyłącznie metale. Do detekcji tworzyw, cieczy i materiałów sypkich stosuje się czujniki pojemnościowe lub optyczne.

Czujniki pojemnościowe i optyczne

Tam, gdzie czujnik indukcyjny nie wystarcza, stosuje się detekcję pojemnościową lub optyczną. Każda z metod ma odmienne ograniczenia środowiskowe.

1. **Czujnik pojemnościowy** reaguje na zmianę pojemności wywołaną zbliżeniem dowolnego materiału, także cieczy i tworzyw.
2. **Zastosowanie pojemnościowe** kontrola poziomu w zbiornikach, także przez ściankę z tworzywa.
3. **Czujnik optyczny odbiciowy** nadajnik i odbiornik w jednej obudowie, reaguje na światło odbite od obiektu.
4. **Bariera optyczna** nadajnik i odbiornik po przeciwnych stronach. Największy zasięg i najwyższa pewność detekcji.
5. **Czujnik refleksyjny** wykorzystuje lustro odblaskowe. Kompromis między zasięgiem a łatwością montażu.

DOBÓR METODY

Zadanie	Czujnik
Detekcja metalu	indukcyjny
Poziom cieczy	pojemnościowy
Obecność kartonu	optyczny odbiciowy
Duży zasięg, zapylenie	bariera optyczna
Obiekty przezroczyste	refleksyjny z filtrem

OGRANICZENIA

- Czujnik pojemnościowy reaguje na wilgoć i osady, co wymaga regulacji czułości.
- Czujniki optyczne są wrażliwe na zapylenie i zabrudzenie soczewki.
- Powierzchnie błyszczące mogą powodować fałszywe zadziałania czujników odbiciowych.

ZAPAMIETAJ Przy doborze czujnika ważniejsze od zasięgu bywa środowisko pracy. Najlepszy parametr katalogowy nie pomoże, jeśli optyka zabrudzi się w kilka godzin.

Wejścia i wyjścia sterownika PLC

Sterownik komunikuje się z maszyną przez moduły wejść i wyjść. Zrozumienie ich typów jest warunkiem poprawnego podłączenia czujników i elementów wykonawczych.

1. **Wejście dwustanowe** przyjmuje sygnał obecności lub braku napięcia. Typowo 24 V DC.
2. **Logika PNP** czujnik podaje plus zasilania na wejście. Najczęściej stosowana w Europie.
3. **Logika NPN** czujnik zwiera wejście do minusa zasilania. Wymaga wejść w konfiguracji przeciwnej.
4. **Wyjście przekaźnikowe** styk bezpotencjałowy, uniwersalny, wolniejszy i o ograniczonej trwałości łączeniowej.
5. **Wyjście tranzystorowe** szybkie, przystosowane do sterowania impulsowego, ale tylko dla obwodów prądu stałego.

PORÓWNANIE WYJŚĆ

Cecha	Przekaźnikowe	Tranzystorowe
Rodzaj prądu	AC i DC	tylko DC
Szybkość	niska	wysoka
Trwałość	ograniczona	bardzo duża
Separacja	galwaniczna	optoizolacja

ZASADY PODŁĄCZENIA

- Sprawdź, czy czujnik i wejście sterownika pracują w tej samej logice.
- Obciążenia indukcyjne na wyjściach zabezpiecz diodą lub układem RC.
- Wspólny potencjał odniesienia musi być poprowadzony i połączony jednoznacznie.
- Sygnały analogowe prowadź przewodem ekranowanym, z dala od obwodów mocy.

ZAPAMIETAJ Pomyłka między logiką PNP a NPN nie uszkadza sterownika, ale sprawia, że wejście nigdy nie zmienia stanu. To jedna z najczęstszych przyczyn problemów przy uruchomieniu.

Schemat drabinkowy

Język drabinkowy odwzorowuje logikę sterowania w postaci przypominającej schemat stykowy. Ułatwia to przejście od układów przekaźnikowych do sterowników.

1. **Struktura** dwie pionowe szyny zasilania i poziome szczeble zawierające warunki oraz element wykonawczy.
2. **Styk normalnie otwarty** warunek prawdziwy, gdy przypisany bit ma wartość jeden.
3. **Styk normalnie zamknięty** warunek prawdziwy, gdy przypisany bit ma wartość zero.
4. **Cewka** element wykonawczy na końcu szczebla, ustawiający wartość bitu wyjściowego.
5. **Kolejność wykonania** program wykonywany jest cyklicznie, szczebel po szczeblu, od góry do dołu.

PODSTAWOWE FUNKCJE

- Połączenie szeregowe styków realizuje funkcję I.
- Połączenie równoległe styków realizuje funkcję LUB.
- Styk równoległy do przycisku start realizuje samopodtrzymanie.
- Bloki czasowe i licznikowe umieszcza się na końcu szczebla jak elementy wykonawcze.

UWAGI PRAKTYCZNE

- Przycisk zatrzymania w obwodzie fizycznym powinien mieć styk rozwierny, a w programie styk normalnie otwarty.
- Wyłącznik awaryjny musi działać sprzętowo, niezależnie od programu.
- Zmiana kolejności szczebli może zmienić działanie programu w tym samym cyklu.

ZAPAMIETAJ Program nie zastępuje obwodu bezpieczeństwa. Funkcje zatrzymania awaryjnego realizuje się sprzętowo, a sterownik jedynie o nich informuje.

Obwód zatrzymania awaryjnego

Zatrzymanie awaryjne musi zadziałać niezależnie od stanu układu sterowania. Jego konstrukcja podlega odrębnym wymaganiom.

1. **Przycisk grzybkowy** czerwony na żółtym tle, z ryglowaniem po naciśnięciu i odblokowaniem przez obrót lub pociągnięcie.
2. **Styki prowadzone przymusowo** gwarantują otwarcie obwodu nawet przy sklejeniu styków.
3. **Kategoria zatrzymania 0** natychmiastowe odłączenie zasilania elementów wykonawczych.
4. **Kategoria zatrzymania 1** sterowane hamowanie, a następnie odłączenie zasilania po zatrzymaniu.
5. **Reset** zwolnienie przycisku nie może samo uruchomić maszyny. Wymagane jest świadome potwierdzenie przez operatora.

ZASADY PROJEKTOWE

- Przyciski awaryjne łączone szeregowo, w każdym miejscu dostępu do maszyny.
- Obwód niezależny od sterownika programowalnego.
- Funkcja realizowana przez przekaźnik bezpieczeństwa z kontrolą styków.
- Zasada bezpieczna: przerwa w przewodzie ma powodować zatrzymanie, a nie utratę funkcji.

CZĘSTE BŁĘDY

- Zatrzymanie awaryjne realizowane wyłącznie programowo przez wejście sterownika.
- Brak kontroli sklejenia styków elementów wykonawczych.
- Automatyczne wznowienie pracy po odblokowaniu przycisku.

ZAPAMIETAJ Zatrzymanie awaryjne jest funkcją uzupełniającą, a nie zastępującą osłony i blokady. Ma ograniczać skutki zdarzenia, które już wystąpiło.

Przekaźnik bezpieczeństwa

Przekaźnik bezpieczeństwa nadzoruje obwody wyłączników awaryjnych i osłon. Kontroluje własne styki oraz elementy wykonawcze, wykrywając ich uszkodzenie.

1. **Kanały wejściowe** wykonania jedno- i dwukanałowe. Dwa kanały pozwalają wykryć zwarcie i przerwę w przewodach.
2. **Kontrola zwarcia doziemnego** różne potencjały kanałów umożliwiają wykrycie zwarcia między przewodami.
3. **Obwód sprzężenia zwrotnego** styki rozwierne styczników wykonawczych włączone w pętlę potwierdzającą ich odpadnięcie.
4. **Warunek startu** moduł zezwala na załączenie dopiero po sprawdzeniu, że wszystkie warunki wyjściowe są spełnione.
5. **Wyjścia bezpieczne** styki zwierne prowadzone przymusowo, przeznaczone do obwodów wyłączających.

STRUKTURA OBWODU

- Wyłącznik awaryjny z dwoma stykami rozwiernymi do dwóch kanałów modułu.
- Przycisk startu do wejścia potwierdzającego.
- Styki rozwierne styczników wykonawczych w pętli sprzężenia zwrotnego.
- Dwa styczniki w obwodzie mocy, wyłączające niezależnie od siebie.

ZAPAMIETAJ Dwa styczniki wyłączające szeregowo dają nadmiarowość. Sklejenie styków jednego z nich zostaje wykryte przez pętlę sprzężenia zwrotnego przy kolejnym starcie.

Dobór aparatury dla napędu

Kompletny układ zasilania silnika wymaga skoordynowania kilku aparatów. Każdy z nich pełni inną funkcję ochronną i dobierany jest według innego kryterium.

1. **Zabezpieczenie zwarciowe** dobierane do prądu zwarciowego w miejscu zainstalowania oraz do prądu rozruchowego silnika.
2. **Stycznik** dobierany według kategorii AC-3 dla napędu klatkowego, z uwzględnieniem częstości łączeń.
3. **Zabezpieczenie przeciążeniowe** nastawiane na prąd znamionowy silnika w rzeczywistym układzie połączeń.
4. **Przewód zasilający** dobierany do prądu znamionowego silnika, warunków ułożenia i dopuszczalnego spadku napięcia.
5. **Koordynacja** producenci publikują tabele doboru zestawów, gwarantujące określony typ koordynacji przy zwarciu.

PRZYKŁAD: SILNIK 5,5 KW, 400 V

- Prąd znamionowy około 11 A, prąd rozruchowy około 70 A.
- Przewód zasilający 4 × 2,5 mm2 przy krótkiej trasie i typowych warunkach ułożenia.
- Stycznik o prądzie znamionowym w kategorii AC-3 nie mniejszym niż 12 A.
- Przekaźnik termiczny z zakresem nastawy obejmującym 11 A.
- Zabezpieczenie zwarciowe dobrane według tabeli koordynacji producenta.

ZAPAMIETAJ Koordynacja typu 2 oznacza, że po zwarciu aparat pozostaje zdatny do dalszej pracy. Koordynacja typu 1 dopuszcza jego uszkodzenie.

Diagnostyka układu sterowania

Skuteczna diagnostyka polega na zawężaniu obszaru poszukiwań, a nie na wymianie kolejnych elementów. Punktem wyjścia jest zawsze schemat rozwinięty.

1. **Ustal objaw** sprawdź, czy napęd nie startuje, startuje i odpada, czy pracuje nieprawidłowo. Każdy objaw prowadzi w inną stronę.
2. **Sprawdź zasilanie** napięcie na szynie obwodu sterowania oraz stan zabezpieczeń tego obwodu.
3. **Prześledź tor** mierz napięcie kolejno na numerach potencjałów wzdłuż toru cewki.
4. **Zlokalizuj przerwę** miejsce zaniku napięcia wskazuje uszkodzony element lub przerwany przewód.
5. **Zweryfikuj przyczynę** usterka wtórna, na przykład zadziałanie termika, ma zwykle przyczynę mechaniczną lub obciążeniową.

OBJAW I PRAWDOPODOBNA PRZYCZYNA

Objaw	Sprawdź w pierwszej kolejności
Brak reakcji	zasilanie sterowania, zabezpieczenia
Działa tylko przy trzymaniu	styk podtrzymujący
Odpada po chwili	termik, przeciążenie mechaniczne
Brzęczy	napięcie cewki, zanieczyszczony rdzeń
Nie wyłącza się	sklejone styki, zwarcie w torze

ZAPAMIETAJ Zanim wymienisz aparat, ustal, dlaczego uległ uszkodzeniu. Wymiana bez usunięcia przyczyny prowadzi do powtórnej awarii.

PAKIET V

Maszyny elektryczne i transformatory

Budowa i zasada działania silników, prądnic i transformatorów, ich parametry znamionowe, eksploatacja oraz diagnostyka.

Mapy 101 – 125

Jak działa silnik elektryczny

Każdy silnik zamienia energię elektryczną na mechaniczną dzięki oddziaływaniu pola magnetycznego na przewodnik z prądem. Różnią się tylko sposobem wytwarzania i sterowania tym polem.

1. **Siła elektrodynamiczna** przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym doznaje siły prostopadłej do pola i do kierunku prądu.
2. **Pole wirujące** trzy uzwojenia zasilane napięciami przesuniętymi o 120 stopni wytwarzają pole obracające się w przestrzeni.
3. **Moment obrotowy** powstaje z oddziaływania pola stojana na prądy indukowane lub wymuszone w wirniku.
4. **Bilans energii** część mocy pobranej zamienia się na ciepło w uzwojeniach i rdzeniu, reszta na pracę mechaniczną.
5. **Reguła praktyczna** zamiana dwóch dowolnych faz zasilających odwraca kierunek wirowania pola, a więc i wirnika.

PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI

$F = B \times I \times l$
siła na przewodniku [N]

$M = P / \omega$
moment obrotowy [Nm]

$P = M \times n / 9550$
moc [kW] przy n w obr/min

$\eta = P_{mech} / P_{el}$
sprawność

RODZINY MASZYN WIRUJĄCYCH

Typ	Zasada	Typowe zastosowanie
Indukcyjny klatkowy	pole wirujące, prąd indukowany	napędy przemysłowe
Synchroniczny	wirnik nadąża za polem	duże moce, kompensacja
Prądu stałego	komutator, pole stałe	regulacja, trakcja
Krokowy i serwo	sterowanie impulsowe	pozycjonowanie

ZAPAMIETAJ Moc na tabliczce znamionowej to moc oddawana na wale, a nie pobierana z sieci. Moc pobierana jest większa o straty.

Silnik indukcyjny klatkowy: budowa

To najczęściej spotykana maszyna w przemyśle. Prosta konstrukcja bez elementów ślizgowych przekłada się na niską awaryjność i niski koszt eksploatacji.

1. **Stojan** pakiet blach z uzwojeniem trójfazowym w żłobkach. Wytwarza pole wirujące.
2. **Wirnik klatkowy** pręty zwarte pierścieniami na obu końcach, zalane w pakiecie blach. Brak uzwojenia wyprowadzonego na zewnątrz.
3. **Łożyska i tarcze** ustalają położenie wirnika i przenoszą obciążenia promieniowe oraz osiowe.
4. **Kadłub i żebra** odprowadzają ciepło. Wentylator na wale wymusza przepływ powietrza wzdłuż żeber.
5. **Skrzynka zaciskowa** sześć wyprowadzeń uzwojeń z mostkami umożliwiającymi połączenie w gwiazdę lub w trójkąt.

DLACZEGO JEST TAK POPULARNY

- Brak szczotek i komutatora, więc brak zużywających się elementów elektrycznych.
- Wysoka odporność na zapylenie i wilgoć przy odpowiednim stopniu ochrony.
- Prosty rozruch, także bezpośredni, przy ograniczonych mocach.
- Łatwa regulacja prędkości po zastosowaniu falownika.

TYPOWE PRZYCZYNY AWARII

Objaw	Prawdopodobna przyczyna
Głośna praca, drgania	zużyte łożyska, niewyosiowanie
Przegrzewanie	przeciążenie, zabrudzone żebra, zanik fazy
Brak rozruchu, buczenie	praca na dwóch fazach
Zadziałanie zabezpieczenia	zwarcie zwojowe, wilgoć w uzwojeniu

ZAPAMIETAJ Praca na dwóch fazach jest najczęstszą przyczyną spalenia uzwojeń. Dlatego stosuje się zabezpieczenia reagujące na asymetrię prądów.

Poślizg i charakterystyka mechaniczna

Wirnik silnika indukcyjnego zawsze obraca się wolniej od pola wirującego. Ta różnica, zwana poślizgiem, jest warunkiem powstania momentu.

1. **Definicja poślizgu** względna różnica między prędkością pola wirującego a prędkością wirnika.
2. **Poślizg znamionowy** dla typowych maszyn wynosi od 2 do 6 procent. Silnik 4-biegunowy obraca się około 1430 obr/min.
3. **Poślizg a obciążenie** wzrost obciążenia zwiększa poślizg i prąd, aż do osiągnięcia momentu krytycznego.
4. **Moment krytyczny** największy moment, jaki silnik może wytworzyć. Przekroczenie go powoduje zatrzymanie wirnika.
5. **Praca przy zatrzymanym wirniku** poślizg równy jedności, prąd maksymalny, brak chłodzenia własnego. Grozi spaleniem w kilkadziesiąt sekund.

OBLICZENIA

$n_s = 60f / p$
prędkość synchroniczna

$s = (n_s - n) / n_s$
poślizg

$s = 100\ \% \times \ldots$
wyrażany w procentach

$f_r = s \times f$
częstotliwość w wirniku

PUNKTY CHARAKTERYSTYKI

Punkt	Poślizg	Opis
Bieg jałowy	bliski zeru	moment tylko na straty
Praca znamionowa	2 do 6 %	moment znamionowy
Moment krytyczny	15 do 25 %	maksimum momentu
Rozruch	100 %	moment rozruchowy, prąd maks.

ZAPAMIETAJ Silnik obciążony ponad moment krytyczny nie zwolni stopniowo, tylko gwałtownie się zatrzyma. Zabezpieczenie przeciążeniowe musi zadziałać wcześniej.

Silnik pierścieniowy

Silnik pierścieniowy ma uzwojenie wirnika wyprowadzone przez pierścienie ślizgowe. Pozwala to sterować rozruchem przez dołączanie rezystancji.

1. **Budowa wirnika** trójfazowe uzwojenie połączone w gwiazdę, wyprowadzone na trzy pierścienie ślizgowe.
2. **Rozrusznik rezystorowy** rezystory dołączane do obwodu wirnika, wyłączane stopniowo w trakcie rozruchu.
3. **Efekt** zwiększenie momentu rozruchowego przy jednoczesnym ograniczeniu prądu pobieranego z sieci.
4. **Zastosowanie** napędy o dużym momencie oporowym przy starcie, na przykład młyny, kruszarki, dźwignice.
5. **Obsługa** szczotki i pierścienie wymagają okresowej kontroli i wymiany. To główna wada rozwiązania.

PORÓWNANIE Z SILNIKIEM KLATKOWYM

Cecha	Klatkowy	Pierścieniowy
Moment rozruchowy	ograniczony	regulowany, duży
Prąd rozruchowy	duży	ograniczony
Obsługa	minimalna	szczotki, pierścienie
Koszt	niższy	wyższy

ZAPAMIETAJ W nowych instalacjach silnik pierścieniowy jest zwykle zastępowany przez klatkowy z falownikiem. Falownik daje tę samą kontrolę bez elementów ślizgowych.

Silnik jednofazowy

Sieć jednofazowa nie wytwarza pola wirującego, dlatego silnik wymaga dodatkowego uzwojenia z przesunięciem fazowym. Najczęściej realizuje się to kondensatorem.

1. **Uzwojenie główne** zasilane bezpośrednio z sieci, wytwarza pole pulsujące, które samo nie wywołuje rozruchu.
2. **Uzwojenie pomocnicze** zasilane przez kondensator, daje przesunięcie fazowe i zamienia pole pulsujące na eliptyczne.
3. **Kondensator rozruchowy** duża pojemność, załączany tylko na czas rozruchu przez wyłącznik odśrodkowy lub przekaźnik.
4. **Kondensator pracy** mniejsza pojemność, pozostaje w obwodzie stale, poprawiając sprawność i równomierność pracy.
5. **Zmiana kierunku** zamiana wyprowadzeń uzwojenia pomocniczego względem głównego.

DIAGNOSTYKA TYPOWYCH USTEREK

- Silnik buczy i nie rusza: uszkodzony kondensator albo przerwa w uzwojeniu pomocniczym.
- Rusza dopiero po ręcznym obróceniu wału: utrata pojemności kondensatora.
- Nagrzewa się przy pracy: pozostawiony kondensator rozruchowy, uszkodzony wyłącznik odśrodkowy.
- Mniejsza moc niż oczekiwana: napięcie zasilania poniżej wartości znamionowej.

BEZPIECZEŃSTWO

- Kondensator pozostaje naładowany po wyłączeniu. Rozładuj go przed dotknięciem zacisków.
- Kondensator zastępczy dobiera się według pojemności i napięcia znamionowego, nie według wymiarów.

ZAPAMIETAJ Silniki jednofazowe mają gorszą sprawność i mniejszy moment rozruchowy niż trójfazowe o tej samej mocy. Przy większych mocach zawsze wybieraj zasilanie trójfazowe.

Zmiana kierunku obrotów i kolejność faz

Kierunek wirowania silnika trójfazowego zależy wyłącznie od kolejności faz. Sprawdzenie jej przed uruchomieniem zapobiega uszkodzeniom napędzanej maszyny.

1. **Zasada** zamiana dwóch dowolnych przewodów fazowych odwraca kierunek wirowania pola i wirnika.
2. **Kolejność zgodna** L1, L2, L3 w kolejności naturalnej. Wskaźnik kolejności faz pokazuje kierunek prawy.
3. **Wskaźnik kolejności faz** przyrząd pozwalający ustalić kolejność bez uruchamiania maszyny.
4. **Ryzyko przy pompach** praca w odwrotnym kierunku może uszkodzić wirnik, uszczelnienia lub przenoszony materiał.
5. **Ryzyko przy dźwignicach** odwrócony kierunek przy podnoszeniu jest bezpośrednim zagrożeniem dla obsługi.

PROCEDURA SPRAWDZENIA

- Odłącz sprzęgło albo upewnij się, że krótki obrót w złą stronę nie spowoduje szkody.
- Sprawdź kolejność faz na zasilaniu wskaźnikiem.
- Uruchom silnik na krótką chwilę i obserwuj kierunek wirowania wentylatora.
- W razie potrzeby zamień dwie fazy na zaciskach silnika, nie w rozdzielnicy.
- Po zmianie ponownie sprawdź kierunek i zaznacz go strzałką na kadłubie.

ZAPAMIETAJ Zamiana faz w rozdzielnicy zmienia kierunek wszystkich napędów zasilanych z danego pola. Korektę wykonuj zawsze przy konkretnej maszynie.

Prąd rozruchowy silnika

W chwili załączenia silnik pobiera prąd wielokrotnie większy od znamionowego. Ma to skutki dla doboru zabezpieczeń i dla jakości napięcia w sieci.

1. **Przyczyna** przy zatrzymanym wirniku silnik zachowuje się jak transformator w stanie zwarcia. Impedancja jest minimalna.
2. **Krotność** typowo od 5 do 8 razy prąd znamionowy, dla silników wysokosprawnych nawet więcej.
3. **Czas trwania** zależy od momentu bezwładności napędu. Od ułamka sekundy do kilkunastu sekund przy dużych masach wirujących.
4. **Skutki w sieci** zapad napięcia widoczny jako przygaśnięcie oświetlenia i możliwe zakłócenia pracy innych odbiorników.
5. **Skutki cieplne** częste rozruchy nagrzewają uzwojenia. Liczba rozruchów na godzinę jest parametrem katalogowym.

METODY OGRANICZANIA

Metoda	Redukcja prądu
Gwiazda-trójkąt	do około 1/3
Softstart	regulowana, 2 do 4 In
Falownik	zwykle poniżej 1,5 In
Rozrusznik rezystorowy	zależna od nastawy

ZAPAMIETAJ Zabezpieczenie zwarciowe napędu musi przepuścić prąd rozruchowy. Dlatego stosuje się charakterystyki zwłoczne albo wkładki gG o odpowiednim prądzie.

Sprawność i klasy IE

Sprawność mówi, jaka część mocy pobranej z sieci trafia na wał. Klasy IE porządkują silniki według sprawności i są podstawą wymagań prawnych.

1. **Straty w uzwojeniach** wydzielane w rezystancji miedzi, rosną z kwadratem prądu obciążenia.
2. **Straty w rdzeniu** histereza i prądy wirowe w blachach magnetycznych, praktycznie niezależne od obciążenia.
3. **Straty mechaniczne** tarcie w łożyskach i opory wentylacji.
4. **Klasy sprawności** od IE1 do IE5. Wyższa klasa oznacza mniejsze straty przy tej samej mocy.
5. **Sprawność a obciążenie** maksimum występuje przy obciążeniu bliskim znamionowemu. Silnik przewymiarowany pracuje nieefektywnie.

KLASY SPRAWNOŚCI

Klasa	Poziom
IE1	standardowa
IE2	wysoka
IE3	premium
IE4	super premium
IE5	ultra premium

WNIOSKI EKSPLOATACYJNE

- Silnik obciążony poniżej połowy mocy znamionowej ma obniżoną sprawność i gorszy współczynnik mocy.
- Koszt energii w całym okresie eksploatacji wielokrotnie przewyższa cenę zakupu silnika.
- Przy wymianie warto zweryfikować rzeczywiste zapotrzebowanie mocy, a nie kopiować dane starej maszyny.

ZAPAMIETAJ Silniki wysokosprawnych klas mają nieco wyższy prąd rozruchowy. Przy wymianie sprawdź, czy istniejące zabezpieczenia nadal są dobrane poprawnie.

Rodzaje pracy silnika S1 do S9

Oznaczenie rodzaju pracy opisuje cykl obciążenia maszyny. Ten sam silnik przy pracy dorywczej może oddać większą moc niż przy pracy ciągłej.

1. **S1, praca ciągła** obciążenie stałe przez czas wystarczający do ustalenia temperatury. Podstawowy rodzaj pracy.
2. **S2, praca dorywcza** obciążenie przez określony czas, po którym maszyna stygnie do temperatury otoczenia.
3. **S3, praca przerywana** cykle obciążenia i przerw bez rozruchu, opisywane współczynnikiem obciążenia.
4. **S4 i S5** praca przerywana z rozruchem oraz z hamowaniem elektrycznym, uwzględniająca ich wpływ cieplny.
5. **S6 do S9** praca ciągła z obciążeniem przerywanym oraz cykle o zmiennej prędkości i obciążeniu.

NAJCZĘŚCIEJ SPOTYKANE

Oznaczenie	Charakter pracy
S1	ciągła, ustalona temperatura
S2 30 min	dorywcza, 30 minut pracy
S3 40 %	przerywana, 40 % czasu cyklu
S4	przerywana z rozruchami

ZAPAMIETAJ Silnik oznaczony S2 lub S3 nie może pracować w sposób ciągły z mocą znamionową. Przekroczenie cyklu prowadzi do przegrzania uzwojeń.

Chłodzenie i sposób montażu maszyny

Kody IC i IM opisują sposób chłodzenia oraz położenie montażowe silnika. Oba parametry wpływają na dobór i na warunki eksploatacji.

1. **Chłodzenie własne** wentylator osadzony na wale. Wydajność maleje wraz ze spadkiem prędkości obrotowej.
2. **Chłodzenie obce** wentylator z niezależnym silnikiem. Konieczne przy pracy z falownikiem w niskim zakresie prędkości.
3. **Chłodzenie powierzchniowe** ciepło odprowadzane przez żebra kadłuba. Wymaga utrzymania ich w czystości.
4. **Kod IM** opisuje położenie montażowe: na łapach, kołnierzowe, pionowe wałem w dół lub w górę.
5. **Skutki dla łożysk** montaż pionowy wymaga łożysk przenoszących obciążenie osiowe i innego układu smarowania.

TYPOWE OZNACZENIA

Kod	Znaczenie
IC411	chłodzenie własne powierzchniowe
IC416	chłodzenie obce, wentylator zewnętrzny
IM B3	montaż na łapach
IM B5	montaż kołnierzowy
IM B35	łapy i kołnierz

ZAPAMIETAJ Warstwa pyłu na żebrach kadłuba działa jak izolacja cieplna. Regularne czyszczenie silnika jest tanim sposobem przedłużenia jego żywotności.

Silnik synchroniczny

Wirnik silnika synchronicznego obraca się dokładnie z prędkością pola wirującego. Maszyna ta może dodatkowo regulować moc bierną pobieraną z sieci.

1. **Zasada** wirnik wzbudzony prądem stałym lub magnesami trwałymi zostaje wciągnięty w synchronizm z polem stojana.
2. **Brak poślizgu** prędkość obrotowa jest stała i niezależna od obciążenia, aż do momentu wypadnięcia z synchronizmu.
3. **Rozruch** maszyna nie rusza samoczynnie. Stosuje się uzwojenie rozruchowe albo rozruch falownikowy.
4. **Regulacja mocy biernej** zmiana prądu wzbudzenia pozwala pobierać lub oddawać moc bierną do sieci.
5. **Zastosowanie** duże napędy o stałej prędkości, sprężarki, młyny, a także kompensatory synchroniczne.

PORÓWNANIE Z SILNIKIEM INDUKCYJNYM

Cecha	Indukcyjny	Synchroniczny
Prędkość	zależna od obciążenia	stała
Rozruch	samoczynny	wymaga układu
Moc bierna	pobiera	reguluje
Konstrukcja	prosta	złożona

ZAPAMIETAJ Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi osiągają najwyższe klasy sprawności. Wymagają jednak zasilania z falownika dopasowanego do tego typu maszyny.

Silnik prądu stałego

Maszyna prądu stałego pozwala na płynną regulację prędkości w bardzo szerokim zakresie. Ceną jest obecność komutatora i szczotek wymagających obsługi.

1. **Budowa** stojan wytwarza pole magnetyczne, wirnik z uzwojeniem twornika zasilany przez komutator i szczotki.
2. **Regulacja prędkości** zmiana napięcia twornika zmienia prędkość, osłabienie pola pozwala pracować powyżej prędkości znamionowej.
3. **Wzbudzenie bocznikowe** stała prędkość przy zmiennym obciążeniu. Typowe dla napędów obrabiarek.
4. **Wzbudzenie szeregowe** bardzo duży moment rozruchowy. Stosowane w trakcji i rozrusznikach.
5. **Obsługa** kontrola zużycia szczotek, stanu komutatora i czystości wnętrza maszyny.

ZALEŻNOŚCI

$U = E + I \times R_a$
równanie napięciowe

$E = c \times \Phi \times n$
siła elektromotoryczna

$M = c \times \Phi \times I_a$
moment obrotowy

$n \approx (U - I \times R_a) / (c\Phi)$
prędkość

ZAPAMIETAJ Silnik szeregowy pozbawiony obciążenia może rozbiegać się do prędkości niszczącej. Nigdy nie uruchamiaj go bez sprzęgniętego napędu.

Silnik krokowy i serwonapęd

Tam, gdzie liczy się dokładne pozycjonowanie, stosuje się napędy sterowane impulsowo. Różnią się one sposobem kontroli położenia.

1. **Silnik krokowy** obraca się o stały kąt na każdy impuls sterujący. Pracuje zwykle bez sprzężenia zwrotnego.
2. **Utrata kroków** przy przeciążeniu silnik krokowy gubi pozycję, a układ sterowania tego nie wykrywa.
3. **Serwonapęd** silnik z enkoderem i regulatorem. Położenie jest stale kontrolowane i korygowane.
4. **Moment a prędkość** silnik krokowy traci moment przy wyższych prędkościach, serwonapęd utrzymuje go w szerokim zakresie.
5. **Dobór** krokowy do prostych i tanich aplikacji, serwo do dynamicznych i odpowiedzialnych ruchów.

PORÓWNANIE

Cecha	Krokowy	Serwo
Sprzężenie zwrotne	zwykle brak	enkoder
Kontrola błędu	brak	ciągła
Dynamika	ograniczona	wysoka
Koszt	niski	wyższy

ZAPAMIETAJ Silnik krokowy trzymający pozycję pobiera pełny prąd także w spoczynku. Przy długim postoju wymaga to uwzględnienia w bilansie cieplnym.

Prądnica synchroniczna

Prądnica zamienia energię mechaniczną na elektryczną. Jest podstawowym źródłem energii w elektrowniach i w agregatach prądotwórczych.

1. **Zasada działania** wirnik wzbudzony prądem stałym wiruje, indukując w uzwojeniach stojana napięcia trójfazowe.
2. **Częstotliwość** zależy od prędkości obrotowej i liczby par biegunów. Musi być utrzymana precyzyjnie.
3. **Regulacja napięcia** realizowana przez zmianę prądu wzbudzenia za pomocą regulatora automatycznego.
4. **Synchronizacja z siecią** wymaga zgodności napięcia, częstotliwości, kolejności faz i kąta fazowego.
5. **Agregat prądotwórczy** prądnica sprzężona z silnikiem spalinowym, z układem automatycznego załączania rezerwy.

WARUNKI SYNCHRONIZACJI

- Równość napięć skutecznych generatora i sieci.
- Równość częstotliwości, z minimalną różnicą poślizgową.
- Zgodna kolejność faz.
- Zgodność kąta fazowego w chwili załączenia łącznika.

BEZPIECZEŃSTWO PRZY AGREGATACH

- Układ SZR musi uniemożliwiać jednoczesne zasilanie z sieci i z agregatu.
- Praca wyspowa wymaga własnego uziemienia punktu neutralnego zgodnie z projektem.
- Brak blokady przełączania grozi podaniem napięcia do wyłączonej sieci i zagrożeniem dla ekip serwisowych.

ZAPAMIETAJ Blokada między zasilaniem sieciowym a agregatem to element ochrony życia. Podanie napięcia zwrotnego do sieci zagraża osobom pracującym przy linii.

Transformator: zasada działania

Transformator przenosi energię między obwodami przez pole magnetyczne, zmieniając napięcie i prąd. Jest podstawą systemu przesyłu energii.

1. **Uzwojenie pierwotne** zasilane napięciem przemiennym, wytwarza zmienny strumień magnetyczny w rdzeniu.
2. **Rdzeń** pakiet blach elektrotechnicznych prowadzący strumień i ograniczający prądy wirowe.
3. **Uzwojenie wtórne** w nim zmienny strumień indukuje napięcie proporcjonalne do liczby zwojów.
4. **Warunek działania** transformator działa wyłącznie przy zmiennym strumieniu. W obwodzie prądu stałego nie przenosi energii.
5. **Separacja galwaniczna** brak połączenia elektrycznego między obwodami. To podstawa transformatorów bezpieczeństwa.

ZALEŻNOŚCI PODSTAWOWE

$U_1/U_2 = N_1/N_2$
przekładnia napięciowa

$I_1/I_2 = N_2/N_1$
przekładnia prądowa

$S_1 \approx S_2$
moc pozorna zachowana

$\vartheta = N_1 / N_2$
przekładnia zwojowa

DLACZEGO PRZESYŁAMY NA WYSOKIM NAPIĘCIU

- Ta sama moc przy wyższym napięciu oznacza mniejszy prąd.
- Straty w linii rosną z kwadratem prądu, więc ich ograniczenie jest znaczące.
- Mniejszy prąd pozwala zastosować przewody o mniejszym przekroju.

ZAPAMIETAJ Podanie napięcia stałego na uzwojenie transformatora powoduje przepływ prądu ograniczonego wyłącznie rezystancją miedzi. Skutkiem jest natychmiastowe spalenie uzwojenia.

Przekładnia i dobór transformatora

Dobór transformatora opiera się na mocy pozornej, napięciach i charakterze obciążenia. Przewymiarowanie i niedowymiarowanie są równie kosztowne.

1. **Moc znamionowa** podawana w kilowoltoamperach, bo transformator obciąża prąd, a nie tylko moc czynna.
2. **Zapotrzebowanie mocy** wyznaczane z sumy mocy odbiorników z uwzględnieniem współczynnika jednoczesności.
3. **Rezerwa** typowo przewiduje się zapas na rozbudowę, ale zbyt duża jednostka pracuje z niską sprawnością.
4. **Straty jałowe** występują zawsze, gdy transformator jest pod napięciem, niezależnie od obciążenia.
5. **Straty obciążeniowe** rosną z kwadratem prądu. Optimum sprawności występuje zwykle przy obciążeniu częściowym.

OBLICZENIA

$S = \sqrt{3} \times U \times I$

moc pozorna 3-fazowa

$I_2 = S / (\sqrt{3} \times U_2)$

prąd strony dolnej

$S_i = \Sigma P / \cos\varphi \times k_j$

moc szacowana

$\eta = P_2 / (P_2 + \Delta P)$

sprawność

TYPOSZEREG MOCY STACJI SN/NN

Moc	Orientacyjny prąd 0,4 kV
250 kVA	około 360 A
400 kVA	około 580 A
630 kVA	około 910 A
1000 kVA	około 1440 A

ZAPAMIETAJ Transformator pracujący stale przy obciążeniu poniżej 30 procent generuje głównie straty jałowe. To bezpośredni koszt ponoszony przez cały okres eksploatacji.

Stan jałowy i stan zwarcia transformatora

Dwie próby, jałowa i zwarciowa, pozwalają wyznaczyć wszystkie parametry transformatora. Są standardowym elementem badań fabrycznych i eksploatacyjnych.

1. **Stan jałowy** uzwojenie wtórne rozwarte. Prąd pobierany służy głównie magnesowaniu rdzenia.
2. **Straty jałowe** wynikają z histerezy i prądów wirowych w rdzeniu. Zależą od napięcia, nie od obciążenia.
3. **Stan zwarcia** uzwojenie wtórne zwarte, napięcie pierwotne obniżone tak, aby popłynął prąd znamionowy.
4. **Napięcie zwarcia** wyrażone w procentach napięcia znamionowego. Kluczowy parametr dla obliczeń zwarciowych.
5. **Straty obciążeniowe** wyznaczane z próby zwarcia, odpowiadają stratom w miedzi przy prądzie znamionowym.

WYKORZYSTANIE WYNIKÓW

$u_k = U_k / U_n \times 100\ \%$
napięcie zwarcia

$I_k = I_n / u_k \times 100$
prąd zwarciowy

ΔP_0
straty jałowe [W]

ΔP_k
straty obciążeniowe [W]

INTERPRETACJA PRAKTYCZNA

- Małe napięcie zwarcia oznacza duży prąd zwarciowy i konieczność aparatury o wysokiej zdolności zwarciowej.
- Duże napięcie zwarcia ogranicza prąd zwarciowy, ale zwiększa spadek napięcia przy obciążeniu.
- Typowe wartości dla transformatorów rozdzielczych mieszczą się w przedziale 4 do 6 procent.

ZAPAMIETAJ Napięcie zwarcia to jedyny parametr z tabliczki, który pozwala oszacować prąd zwarciowy po stronie niskiego napięcia. Bez niego dobór aparatury jest niemożliwy.

Straty i sprawność transformatora

Transformator nie ma części ruchomych, ale i tak traci energię. Rozróżnienie strat stałych i zmiennych pozwala ocenić koszty eksploatacji.

1. **Straty w rdzeniu** stałe, występują od chwili podania napięcia. Nazywane też stratami jałowymi lub w żelazie.
2. **Straty w uzwojeniach** zmienne, proporcjonalne do kwadratu prądu obciążenia. Nazywane stratami w miedzi.
3. **Sprawność maksymalna** występuje przy obciążeniu, dla którego straty zmienne zrównują się ze stałymi.
4. **Typowe wartości** sprawność transformatorów rozdzielczych przekracza 98 procent przy obciążeniu znamionowym.
5. **Koszt strat** przy pracy całorocznej nawet niewielka moc strat przekłada się na znaczące kwoty.

OBLICZENIA

$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k \times \beta^2$
straty całkowite

$\beta = S / S_n$
stopień obciążenia

$\eta = P_2/(P_2+\Delta P)$
sprawność

$\beta_{opt} = \sqrt{(\Delta P_0/\Delta P_k)}$
obciążenie optymalne

ZAPAMIETAJ Wyłączenie nieobciążonego transformatora eliminuje straty jałowe. W stacjach z kilkoma jednostkami warto rozważyć pracę tylko jednej przy małym zapotrzebowaniu.

Grupy połączeń transformatora

Grupa połączeń opisuje sposób połączenia uzwojeń i przesunięcie fazowe między stronami. Decyduje o możliwości pracy równoległej i o rozkładzie obciążenia.

1. **Litera duża** sposób połączenia uzwojenia górnego napięcia: D oznacza trójkąt, Y gwiazdę.
2. **Litera mała** sposób połączenia uzwojenia dolnego napięcia, z literą n przy wyprowadzonym punkcie neutralnym.
3. **Cyfra** przesunięcie fazowe wyrażone w godzinach zegara, gdzie każda godzina to 30 stopni.
4. **Dyn5** trójkąt po stronie górnej, gwiazda z neutralnym po dolnej, przesunięcie 150 stopni. Najczęstsza w stacjach SN/nn.
5. **Znaczenie neutralnego** wyprowadzony punkt neutralny umożliwia zasilanie odbiorników jednofazowych i realizację układu TN.

TYPOWE GRUPY

Grupa	Zastosowanie
Dyn5	stacje rozdzielcze SN/nn
Dyn11	odpowiednik z innym przesunięciem
Yzn5	małe transformatory rozdzielcze
Yy0	transformatory blokowe, bez przesunięcia

ZAPAMIETAJ Transformatory o różnych grupach połączeń nie mogą pracować równolegle. Przesunięcie fazowe wywołałoby prąd wyrównawczy niszczący uzwojenia.

Stacja transformatorowa słupowa

Stacja słupowa jest najprostszym rozwiązaniem zasilania obszarów o małym zapotrzebowaniu. Transformator umieszczony jest bezpośrednio na konstrukcji słupa.

1. **Zakres mocy** typowo od kilkudziesięciu do kilkuset kilowoltoamperów. Ograniczony nośnością konstrukcji.
2. **Strona górna** przyłącze z linii napowietrznej SN, z odłącznikiem i ogranicznikami przepięć.
3. **Zabezpieczenie** bezpieczniki mocy po stronie górnej, chroniące transformator i linię.
4. **Strona dolna** rozdzielnica niskiego napięcia u podstawy słupa, z zabezpieczeniami obwodów odbiorczych.
5. **Uziemienie** uziom ochronny i roboczy wykonany u podstawy konstrukcji, z zaciskiem probierczym.

ZALETY I OGRANICZENIA

- Niski koszt budowy i brak potrzeby wydzielania terenu.
- Prosta konstrukcja i szybki montaż.
- Ograniczona moc i mniejsza odporność na warunki atmosferyczne.
- Utrudniona obsługa, wymagająca pracy na wysokości.

ZAPAMIETAJ Wszystkie czynności przy stacji słupowej wykonuje służba energetyczna. Nawet strona niskiego napięcia pozostaje w granicy własności operatora.

Transformator olejowy a suchy

Wybór między transformatorem olejowym a suchym zależy od miejsca instalacji, wymagań przeciwpożarowych i warunków obsługi.

1. **Transformator olejowy** uzwojenia zanurzone w oleju, który izoluje i odprowadza ciepło. Wyższa sprawność chłodzenia.
2. **Transformator suchy** uzwojenia zalane żywicą lub chłodzone powietrzem. Brak cieczy palnej.
3. **Wymagania pożarowe** transformator olejowy wewnątrz budynku wymaga misy olejowej i wydzielonego pomieszczenia.
4. **Obsługa** olej wymaga okresowych badań, kontroli poziomu i szczelności. Transformator suchy wymaga głównie czyszczenia.
5. **Warunki środowiskowe** transformator suchy jest wrażliwszy na zapylenie i wilgoć, olejowy lepiej znosi trudne warunki zewnętrzne.

PORÓWNANIE

Cecha	Olejowy	Suchy
Chłodzenie	olej	powietrze
Ryzyko pożarowe	wyższe	niskie
Lokalizacja	zewnątrz, wydzielone	wewnątrz budynku
Obsługa	badania oleju	czyszczenie
Koszt	niższy	wyższy

ZAPAMIETAJ Kod chłodzenia ONAN oznacza olej i powietrze w obiegu naturalnym. Litery F i D w kodzie wskazują wymuszony obieg czynnika.

Autotransformator

Autotransformator ma jedno uzwojenie z odczepem, wspólne dla obu stron. Jest mniejszy i tańszy, ale nie zapewnia separacji galwanicznej.

1. **Budowa** część uzwojenia jest wspólna dla obwodu pierwotnego i wtórnego. Energia przenosi się częściowo galwanicznie.
2. **Zaleta** przy małej różnicy napięć potrzebna moc uzwojenia jest znacznie mniejsza niż w transformatorze dwuuzwojeniowym.
3. **Wada** brak separacji galwanicznej. Uszkodzenie izolacji przenosi napięcie strony górnej na dolną.
4. **Zastosowanie** dopasowanie poziomów napięć w sieciach, rozruch silników, regulacja napięcia w laboratorium.
5. **Ograniczenie** nie wolno stosować tam, gdzie separacja jest wymagana ze względów ochrony przeciwporażeniowej.

PORÓWNANIE

Cecha	Autotransformator	Dwuuzwojeniowy
Separacja	brak	pełna
Wymiary	mniejsze	większe
Koszt	niższy	wyższy
Prąd zwarciowy	wyższy	ograniczony

ZAPAMIETAJ Do zasilania obwodów SELV i PELV wolno stosować wyłącznie transformatory z pełną separacją. Autotransformator nie spełnia tego wymagania.

Przekładniki prądowe i napięciowe

Przekładniki obniżają wartości prądu i napięcia do poziomu bezpiecznego dla przyrządów. Umożliwiają pomiar i zabezpieczanie obwodów wysokoprądowych.

1. **Przekładnik prądowy** uzwojenie pierwotne włączone szeregowo w obwód. Strona wtórna daje znormalizowany prąd, zwykle 5 A lub 1 A.
2. **Przekładnik napięciowy** włączony równolegle, obniża napięcie do wartości znormalizowanej, zwykle 100 V.
3. **Klasa dokładności** określa maksymalny błąd. Do rozliczeń stosuje się klasy dokładniejsze niż do zabezpieczeń.
4. **Moc znamionowa** obciążenie strony wtórnej musi mieścić się w zakresie podanym przez producenta.
5. **Bezpieczeństwo** obwód wtórny przekładnika prądowego musi być zawsze zamknięty. Rozwarcie powoduje bardzo wysokie napięcie.

ZASADY EKSPLOATACJI

- Nigdy nie rozwieraj obwodu wtórnego przekładnika prądowego pod obciążeniem.
- Przed odłączeniem przyrządu zewrzyj zaciski wtórne przekładnika.
- Obwód wtórny musi być uziemiony w jednym punkcie.
- Nie zwieraj obwodu wtórnego przekładnika napięciowego, bo to równoznaczne ze zwarciem.

TYPOWE OZNACZENIA

Zapis	Znaczenie
200/5 A	przekładnia prądowa
kl. 0,5	klasa dokładności pomiarowej
5P10	klasa zabezpieczeniowa
15 VA	moc znamionowa

ZAPAMIETAJ Rozwarty przekładnik prądowy pod obciążeniem generuje napięcie zagrażające życiu i niszczące izolację. To jedna z najgroźniejszych pomyłek w pomiarach.

Praca równoległa transformatorów

Dwa transformatory połączone równolegle zwiększają dostępną moc i niezawodność zasilania. Wymaga to jednak spełnienia ściśle określonych warunków.

1. **Zgodna grupa połączeń** różne przesunięcie fazowe powoduje przepływ prądu wyrównawczego niszczącego uzwojenia.
2. **Równe przekładnie** różnica napięć wtórnych wywołuje prąd krążący nawet bez obciążenia.
3. **Zbliżone napięcie zwarcia** decyduje o rozdziale obciążenia. Jednostka o mniejszym napięciu zwarcia przejmuje większą część mocy.
4. **Zgodna kolejność faz** warunek konieczny, sprawdzany przed pierwszym załączeniem.
5. **Stosunek mocy** zaleca się, aby moce jednostek nie różniły się bardziej niż w stosunku jeden do trzech.

KORZYŚCI Z PRACY RÓWNOLEGŁEJ

- Możliwość wyłączenia jednej jednostki na czas przeglądu bez przerwy w zasilaniu.
- Elastyczne dopasowanie liczby pracujących jednostek do zapotrzebowania.
- Ograniczenie strat jałowych przez wyłączanie nadmiarowych transformatorów.

SKUTKI NIESPEŁNIENIA WARUNKÓW

- Prąd wyrównawczy obciąża uzwojenia bez wykonywania użytecznej pracy.
- Nierównomierny rozdział obciążenia prowadzi do przeciążenia jednej jednostki.
- Zabezpieczenia mogą zadziałać mimo braku rzeczywistego obciążenia odbiorczego.

ZAPAMIETAJ Przed pierwszym zrównolegleniem sprawdza się napięcie między odpowiadającymi sobie zaciskami obu transformatorów. Powinno być bliskie zeru.

Diagnostyka maszyn elektrycznych

Wczesne wykrycie nieprawidłowości pozwala zaplanować remont zamiast reagować na awarię. Podstawą są proste pomiary wykonywane regularnie.

1. **Pomiar temperatury** kamera termowizyjna lub czujniki wbudowane. Wzrost temperatury wskazuje przeciążenie albo pogorszone chłodzenie.
2. **Analiza drgań** wzrost poziomu drgań sygnalizuje zużycie łożysk, niewyważenie albo niewyosiowanie.
3. **Rezystancja izolacji** systematyczny spadek wartości w kolejnych pomiarach zapowiada uszkodzenie uzwojenia.
4. **Pomiar prądów fazowych** asymetria prądów wskazuje na zwarcie zwojowe, zanik fazy albo problem w zasilaniu.
5. **Kontrola wizualna** stan wentylatora, czystość żeber, szczelność dławnic, stan sprzęgła i posadowienia.

OBJAW I KIERUNEK DIAGNOSTYKI

Objaw	Sprawdź
Wzrost temperatury	obciążenie, chłodzenie, napięcie
Hałas i drgania	łożyska, wyosiowanie, wyważenie
Asymetria prądów	zasilanie, uzwojenia, styki
Spadek rezystancji izolacji	wilgoć, starzenie izolacji

ZASADY EKSPLOATACJI ZAPOBIEGAWCZEJ

- Prowadź kartę maszyny z wynikami kolejnych pomiarów, aby obserwować trend.
- Porównuj wyniki z wartościami wyjściowymi z chwili uruchomienia, nie tylko z normą.
- Planuj smarowanie łożysk zgodnie z zaleceniami producenta, bez nadmiaru smaru.

ZAPAMIETAJ Pojedynczy pomiar mówi niewiele. Wartość diagnostyczną ma dopiero porównanie serii wyników w czasie, pokazujące kierunek zmian.

PAKIET VI

Instalacje, zabezpieczenia i elektroenergetyka

Struktura systemu elektroenergetycznego, zasilanie budynków, dobór przewodów i zabezpieczeń, instalacje PV oraz badania okresowe.

Mapy 126 – 150

Struktura systemu elektroenergetycznego

Energia pokonuje drogę od wytwórcy do odbiornika przez kilka poziomów napięć. Każdy z nich pełni inną funkcję i podlega innym zasadom eksploatacji.

1. **Wytwarzanie** elektrownie konwencjonalne i odnawialne, generujące energię zwykle przy napięciu kilkunastu kilowoltów.
2. **Przesył** linie najwyższych napięć łączące elektrownie z węzłami sieci. Ograniczają straty na dużych odległościach.
3. **Rozdział** sieci wysokiego i średniego napięcia doprowadzające energię do rejonów i zakładów.
4. **Dystrybucja** sieć niskiego napięcia zasilająca odbiorców końcowych.
5. **Stacje transformatorowe** węzły łączące poziomy napięć, wyposażone w aparaturę łączeniową i zabezpieczeniową.

POZIOMY NAPIĘĆ

Poziom	Napięcie	Funkcja
nn	230/400 V	odbiorcy końcowi
SN	15, 20 kV	rozdział lokalny
WN	110 kV	zasilanie rejonów
NN	220, 400 kV	przesył krajowy

KTO ZA CO ODPOWIADA

- Operator systemu przesyłowego zarządza siecią najwyższych napięć.
- Operator systemu dystrybucyjnego odpowiada za sieci WN, SN i nn do złącza odbiorcy.
- Odbiorca odpowiada za instalację za układem pomiarowym.
- Granica własności jest określona w umowie o świadczenie usług dystrybucji.

ZAPAMIETAJ Granica własności wyznacza granicę odpowiedzialności. Przed każdą pracą ustal, po której jej stronie znajduje się urządzenie.

Zasilanie budynku: złącze i WLZ

Droga energii wewnątrz obiektu zaczyna się od złącza, a kończy w tablicach odbiorczych. Każdy element ma określoną funkcję i wymagania.

1. **Złącze kablowe** punkt przyłączenia instalacji do sieci operatora. Zawiera zabezpieczenie przedlicznikowe.
2. **Układ pomiarowy** licznik energii wraz z zabezpieczeniem, plombowany przez operatora.
3. **Wewnętrzna linia zasilająca** odcinek od złącza lub licznika do rozdzielnicy głównej albo tablic mieszkaniowych.
4. **Rozdzielnica główna** rozdziela energię na obwody i zawiera zabezpieczenia oraz ograniczniki przepięć.
5. **Punkt rozdziału PEN** w układzie TN-C-S wykonywany w złączu lub rozdzielnicy głównej, z uziemieniem.

WYMAGANIA DLA WLZ

- Przekrój dobrany do mocy przyłączeniowej i dopuszczalnego spadku napięcia.
- Trasa prowadzona w sposób zabezpieczony przed uszkodzeniem mechanicznym.
- W budynkach wielorodzinnych wymagana odporność ogniowa tras w drogach ewakuacyjnych.
- Oznaczenie żył i dostęp do połączeń w wydzielonych szachtach.

TYPOWE MOCE PRZYŁĄCZENIOWE

Obiekt	Zabezpieczenie	Moc
Mieszkanie	B16 1-faz.	około 3,5 kW
Dom jednorodzinny	B25 3-faz.	około 17 kW
Dom z pompą ciepła	B32 3-faz.	około 22 kW
Mały warsztat	B40 3-faz.	około 27 kW

ZAPAMIETAJ Za układem pomiarowym instalacja należy do odbiorcy. Wszelkie prace przed licznikiem wymagają zgłoszenia i udziału operatora.

Stacja transformatorowa SN/nn

Stacja obniża napięcie średnie do wartości użytkowej. Jej wyposażenie zapewnia łączenie, zabezpieczanie i pomiar energii.

1. **Rozdzielnica SN** pola liniowe i transformatorowe z rozłącznikami, uziemnikami i zabezpieczeniami.
2. **Transformator** jednostka o mocy dobranej do obszaru zasilania, z zabezpieczeniem po obu stronach.
3. **Rozdzielnica nn** szyny zbiorcze i pola odpływowe z rozłącznikami bezpiecznikowymi listwowymi.
4. **Układ uziemień** uziom ochronny i roboczy, połączenia wyrównawcze konstrukcji i obudów.
5. **Wyposażenie dodatkowe** oświetlenie, wentylacja, sprzęt ochronny, tablice ostrzegawcze i instrukcja eksploatacji.

RODZAJE STACJI

- Stacja słupowa: mała moc, zasilanie terenów wiejskich i pojedynczych obiektów.
- Stacja wnętrzowa: umieszczona w budynku lub kontenerze, większe moce.
- Stacja kontenerowa: prefabrykowana, szybka w montażu, popularna w zabudowie miejskiej.
- Stacja abonencka: własność odbiorcy, zasilająca zakład o dużym zapotrzebowaniu.

ZAPAMIETAJ Dostęp do części średniego napięcia mają wyłącznie osoby z odpowiednimi uprawnieniami i na podstawie polecenia. Nawet przy wyłączonym transformatorze pola liniowe pozostają pod napięciem.

Rozdzielnica niskiego napięcia

Rozdzielnica jest węzłem instalacji: przyjmuje zasilanie, rozdziela je na obwody i zabezpiecza każdy z nich. Jej budowa musi zapewniać bezpieczeństwo obsługi.

1. **Obudowa** zapewnia wymagany stopień ochrony, wytrzymałość mechaniczną i ochronę przed dotknięciem części czynnych.
2. **Szyny zbiorcze** rozprowadzają prąd do pól odpływowych. Dobierane do obciążalności i wytrzymałości zwarciowej.
3. **Aparatura** rozłącznik główny, zabezpieczenia obwodów, ograniczniki przepięć, aparatura pomiarowa.
4. **Przedziały** rozdzielenie funkcjonalne ułatwia obsługę i ogranicza skutki zwarcia wewnętrznego.
5. **Opisy i dokumentacja** trwałe oznaczenia obwodów oraz schemat umieszczony wewnątrz rozdzielnicy.

KONTROLA STANU ROZDZIELNICY

- Sprawdzenie dokręcenia połączeń, które luzują się wskutek cykli cieplnych.
- Kontrola termowizyjna pod obciążeniem, wykrywająca miejsca o podwyższonej rezystancji.
- Ocena czystości i szczelności obudowy oraz stanu uszczelek.
- Weryfikacja aktualności opisów i schematu wobec stanu faktycznego.

CZĘSTE NIEPRAWIDŁOWOŚCI

Obserwacja	Znaczenie
Przebarwiona izolacja	przegrzewanie połączenia
Zapach spalenizny	uszkodzenie aparatu lub przewodu
Brak opisów	ryzyko błędnego wyłączenia
Zaślepki zdjęte	utrata stopnia ochrony

ZAPAMIETAJ Luźne połączenie grzeje się i pogłębia uszkodzenie w sposób lawinowy. Okresowe dokręcanie połączeń jest jedną z najskuteczniejszych czynności zapobiegawczych.

Tablica rozdzielcza w mieszkaniu

Tablica mieszkaniowa dzieli instalację na obwody i zapewnia ochronę przeciwporażeniową oraz przeciwpożarową. Jej układ powinien być czytelny dla użytkownika.

1. **Rozłącznik główny** umożliwia odłączenie całej instalacji mieszkania jednym ruchem.
2. **Wyłącznik różnicowoprądowy** obejmuje obwody gniazd i pomieszczeń wilgotnych, o prądzie różnicowym 30 mA.
3. **Wyłączniki nadprądowe** osobne dla obwodów oświetleniowych, gniazd, kuchni i urządzeń o dużej mocy.
4. **Ogranicznik przepięć** chroni odbiorniki przed skutkami przepięć atmosferycznych i łączeniowych.
5. **Rezerwa montażowa** wolne miejsce na przyszłe obwody, zalecane około 20 procent szerokości tablicy.

PRZYKŁADOWY PODZIAŁ OBWODÓW

Obwód	Przekrój	Zabezpieczenie
Oświetlenie	1,5 mm²	B10
Gniazda pokoje	2,5 mm²	B16
Gniazda kuchnia	2,5 mm²	B16
Płyta indukcyjna	6 mm²	B32
Pralka, zmywarka	2,5 mm²	B16

ZAPAMIETAJ Dzielenie instalacji na więcej obwodów podnosi komfort i ułatwia diagnostykę. Awaria jednego odbiornika nie pozbawia wtedy zasilania całego mieszkania.

Obwody gniazd i oświetlenia

Podział na obwody wynika z rodzaju odbiorników i z przewidywanego obciążenia. Poprawny podział ogranicza skutki awarii i ułatwia eksploatację.

1. **Obwód oświetleniowy** mały pobór mocy, przewód 1,5 mm2, zabezpieczenie o mniejszym prądzie.
2. **Obwód gniazd ogólnych** przewód 2,5 mm2, zabezpieczenie 16 A, ograniczona liczba punktów odbiorczych.
3. **Obwód dedykowany** dla urządzeń o dużej mocy lub wrażliwych, na przykład kotła, pompy ciepła, serwera.
4. **Liczba punktów** przyjmuje się ograniczoną liczbę gniazd na obwód, aby uniknąć przeciążenia.
5. **Rozdział stref** osobne obwody dla pomieszczeń wilgotnych i dla instalacji zewnętrznych.

ZASADY PRAKTYCZNE

- Nie łącz oświetlenia i gniazd w jednym obwodzie, aby awaria nie pozbawiała światła.
- Urządzenia o mocy powyżej około 2 kW zasilaj obwodem dedykowanym.
- W kuchni przewiduj kilka obwodów gniazd ze względu na kumulację odbiorników.
- Instalacje zewnętrzne i garażowe zabezpiecz osobnym wyłącznikiem różnicowoprądowym.

ZAPAMIETAJ Zabezpieczenie chroni przewód, a nie odbiornik. Dlatego prąd wyłącznika musi być dobrany do obciążalności przewodu w danym obwodzie.

Dobór przewodu i obciążalność

Dobór przekroju to weryfikacja kilku warunków jednocześnie. Decyduje ten, który okaże się najbardziej wymagający.

1. **Obciążalność długotrwała** maksymalny prąd, przy którym temperatura żyły nie przekracza wartości dopuszczalnej.
2. **Warunki ułożenia** sposób montażu, liczba obwodów w wiązce i temperatura otoczenia zmieniają obciążalność.
3. **Współczynniki poprawkowe** obniżają obciążalność bazową. Mnoży się je przez siebie.
4. **Spadek napięcia** przy długich trasach to on decyduje o przekroju, a nie obciążalność cieplna.
5. **Warunek zabezpieczenia** prąd zabezpieczenia musi być nie większy od obciążalności przewodu.

WARUNKI DOBORU

$I^b \leq I_n \leq I_2$
koordynacja z zabezpieczeniem

$I_2 = I_{20} \times k_t \times k_x$
obciążalność skorygowana

$\Delta U \leq \Delta U_{max}$
warunek spadku napięcia

$I_k \geq I_a$
warunek wyłączenia

ORIENTACYJNA OBCIĄŻALNOŚĆ, MIEDŹ, W RURZE

Przekrój	Prąd dopuszczalny
1,5 mm²	około 14 A
2,5 mm²	około 19 A
4 mm²	około 25 A
6 mm²	około 32 A
10 mm²	około 44 A

ZAPAMIETAJ Wartości z tabel katalogowych obowiązują dla ściśle określonych warunków. Ułożenie w izolacji cieplnej albo w wiązce może obniżyć je nawet o połowę.

Wyłącznik nadprądowy i charakterystyki

Wyłącznik nadprądowy chroni przewód przed przeciążeniem i zwarciem. Charakterystyka określa, jak szybko zadziała przy danej krotności prądu.

1. **Wyzwalacz termiczny** bimetal reagujący na przeciążenie z opóźnieniem zależnym od krotności prądu.
2. **Wyzwalacz elektromagnetyczny** cewka wyzwalająca bezzwłocznie przy prądzie zwarciowym.
3. **Charakterystyka B** wyzwolenie magnetyczne przy 3 do 5 razy prąd znamionowy. Obwody odbiorcze w budynkach.
4. **Charakterystyka C** wyzwolenie przy 5 do 10 razy prąd znamionowy. Odbiorniki z prądem rozruchowym.
5. **Charakterystyka D** wyzwolenie przy 10 do 20 razy prąd znamionowy. Transformatory i silniki o dużym udarze.

DOBÓR CHARAKTERYSTYKI

Typ	Krotność	Zastosowanie
B	3 do 5	gniazda, oświetlenie
C	5 do 10	silniki, LED, zasilacze
D	10 do 20	transformatory, spawarki

UWAGI DOBOROWE

- Charakterystyka C ułatwia start odbiorników z udarem, ale wymaga mniejszej impedancji pętli zwarcia.
- Zamiana B na C bez sprawdzenia pętli zwarcia może naruszyć warunek samoczynnego wyłączenia.
- Nowoczesne oprawy LED mają duży prąd załączeniowy, co bywa przyczyną wyzwalania wyłączników typu B.

ZAPAMIETAJ Zwiększanie prądu zabezpieczenia w reakcji na wyłączenia jest błędem. Zabezpieczenie chroni przewód, którego obciążalność się nie zmienia.

Zdolność zwarciowa i selektywność

Aparat musi wyłączyć prąd zwarciowy bez zniszczenia, a przy tym zadziałać przed zabezpieczeniem nadrzędnym. To dwa niezależne wymagania.

1. **Zdolność zwarciowa** maksymalny prąd zwarciowy, który aparat wyłączy bezpiecznie. Podawana w kiloamperach.
2. **Prąd zwarciowy w miejscu montażu** zależy od mocy transformatora, jego napięcia zwarcia i impedancji drogi zasilania.
3. **Selektywność** przy zwarciu zadziałać powinno wyłącznie zabezpieczenie najbliższe miejscu uszkodzenia.
4. **Selektywność prądowa** uzyskiwana przez odpowiednią różnicę prądów znamionowych aparatów w kaskadzie.
5. **Selektywność czasowa** aparat nadrzędny działa ze zwłoką, dając pierwszeństwo zabezpieczeniu podrzędnemu.

ZASADY PRAKTYCZNE

- Prąd zwarciowy jest największy blisko transformatora i maleje wraz z długością kabla.
- Zabezpieczenia w tablicach mieszkaniowych zwykle wymagają zdolności zwarciowej rzędu 6 kA.
- W rozdzielnicach głównych dużych obiektów potrzebne bywają aparaty o zdolności 25 kA i wyższej.
- Producenci publikują tabele selektywności dla par swoich aparatów.

SKUTKI BRAKU SELEKTYWNOŚCI

Sytuacja	Skutek
Zwarcie w jednym obwodzie	wyłączenie całego obiektu
Awaria pojedynczego odbiornika	utrata zasilania krytycznego
Trudna lokalizacja	wydłużony czas usunięcia usterki

ZAPAMIETAJ Aparat o zbyt małej zdolności zwarciowej może nie wyłączyć zwarcia i ulec zniszczeniu. To zagrożenie pożarowe, a nie tylko utrata funkcji.

Bezpiecznik topikowy

Bezpiecznik przerywa obwód przez stopienie wkładki topikowej. Mimo prostoty pozostaje niezastąpiony przy dużych prądach zwarciowych.

1. **Zasada działania** topik nagrzewa się prądem i topi, a łuk gaśnie w wypełniaczu kwarcowym.
2. **Ograniczanie prądu** wkładka przerywa obwód przed osiągnięciem szczytu prądu zwarciowego, ograniczając skutki cieplne i dynamiczne.
3. **Charakterystyka gG** uniwersalna, chroni przed przeciążeniem i zwarciem. Stosowana w obwodach ogólnych.
4. **Charakterystyka aM** chroni wyłącznie przed zwarciem. Stosowana w obwodach silnikowych z osobnym zabezpieczeniem przeciążeniowym.
5. **Zdolność wyłączania** znacznie wyższa niż typowych wyłączników nadprądowych, przy niższym koszcie.

PORÓWNANIE Z WYŁĄCZNIKIEM

Cecha	Bezpiecznik	Wyłącznik
Po zadziałaniu	wymiana wkładki	ponowne załączenie
Zdolność zwarciowa	bardzo wysoka	ograniczona
Ograniczanie prądu	bardzo dobre	zależne od typu
Koszt	niski	wyższy

ZAPAMIETAJ Wkładkę zawsze wymienia się na taką samą pod względem prądu i charakterystyki. Wstawienie wkładki o wyższym prądzie pozbawia obwód ochrony.

Wyłącznik kompaktowy i powietrzny

Przy większych prądach stosuje się wyłączniki kompaktowe i powietrzne. Oferują one nastawy wyzwalaczy i rozbudowaną diagnostykę.

1. **Wyłącznik kompaktowy** obudowa izolacyjna, prądy od kilkudziesięciu do około tysiąca sześciuset amperów.
2. **Wyłącznik powietrzny** konstrukcja otwarta, największe prądy, stosowany w polach zasilających dużych rozdzielnic.
3. **Wyzwalacz termomagnetyczny** prostszy, o ograniczonych możliwościach regulacji.
4. **Wyzwalacz elektroniczny** niezależne nastawy przeciążenia, zwłoki zwarciowej i wyzwolenia bezzwłocznego.
5. **Funkcje dodatkowe** pomiar parametrów, komunikacja, sygnalizacja stanu i przyczyny zadziałania.

NASTAWY WYZWALACZA ELEKTRONICZNEGO

Nastawa	Funkcja
L	ochrona przeciążeniowa, zwłoka długa
S	ochrona zwarciowa zwłoczna
I	ochrona zwarciowa bezzwłoczna
G	ochrona przed zwarciem doziemnym

ZAPAMIETAJ Nastawy wyzwalaczy w rozdzielnicy głównej wynikają z obliczeń selektywności. Zmiana pojedynczej nastawy bez analizy całego układu może pozbawić instalację selektywności.

Ograniczniki przepięć

Ograniczniki odprowadzają energię przepięcia do ziemi, chroniąc izolację i odbiorniki. Ich typ zależy od miejsca zainstalowania w instalacji.

1. **Typ 1** instalowany w złączu lub rozdzielnicy głównej obiektu z instalacją odgromową. Odprowadza prąd udarowy piorunowy.
2. **Typ 2** instalowany w rozdzielnicach pośrednich. Chroni przed przepięciami indukowanymi i łączeniowymi.
3. **Typ 3** instalowany przy wrażliwym odbiorniku. Ogranicza przepięcia resztkowe.
4. **Koordynacja** typy muszą współpracować, z zachowaniem wymaganej odległości lub dławika odsprzęgającego.
5. **Kontrola stanu** wskaźnik na module informuje o jego zużyciu. Moduł zużyty należy wymienić.

DOBÓR MIEJSCA

Typ	Miejsce	Chroni przed
1	złącze, RG	prądem piorunowym
2	rozdzielnice	przepięciami indukowanymi
3	przy odbiorniku	przepięciami resztkowymi

ZASADY MONTAŻU

- Przewody przyłączeniowe ogranicznika powinny być jak najkrótsze.
- Ogranicznik wymaga zabezpieczenia zwarciowego, wbudowanego lub zewnętrznego.
- Skuteczność zależy od jakości połączenia z szyną uziemiającą.
- Przed pomiarem rezystancji izolacji ograniczniki należy odłączyć.

ZAPAMIETAJ Ogranicznik przepięć bez poprawnie wykonanego uziemienia nie działa. Energia przepięcia musi mieć drogę odpływu o małej impedancji.

Instalacja odgromowa

Instalacja odgromowa przechwytuje wyładowanie atmosferyczne i odprowadza jego prąd do ziemi, chroniąc konstrukcję budynku i jego wyposażenie.

1. **Zwody** elementy przechwytujące wyładowanie, w postaci siatki, prętów lub przewodów na dachu.
2. **Przewody odprowadzające** prowadzą prąd piorunowy od zwodów do uziomu, rozmieszczone równomiernie wokół budynku.
3. **Uziom** odprowadza prąd do gruntu. Najczęściej otokowy lub fundamentowy.
4. **Złącza kontrolne** umożliwiają rozłączenie i pomiar rezystancji poszczególnych odprowadzeń.
5. **Odstęp izolacyjny** wymagana odległość między instalacją odgromową a instalacjami wewnętrznymi, zapobiegająca przeskokom.

WYMAGANIA EKSPLOATACYJNE

- Okresowe oględziny stanu połączeń i mocowań, zwłaszcza po silnych burzach.
- Pomiar rezystancji uziemienia w złączach kontrolnych.
- Kontrola korozji połączeń, szczególnie w miejscach styku różnych metali.
- Aktualizacja dokumentacji po każdej modernizacji dachu.

ZAPAMIETAJ Instalacja odgromowa i ograniczniki przepięć to elementy jednego systemu ochrony. Sama instalacja odgromowa nie chroni urządzeń elektronicznych wewnątrz budynku.

Oświetlenie awaryjne i ewakuacyjne

Oświetlenie awaryjne zapewnia bezpieczne opuszczenie budynku po zaniku zasilania podstawowego. Podlega odrębnym wymaganiom i regularnym badaniom.

1. **Oświetlenie ewakuacyjne** wyznacza drogi wyjścia i oświetla je do poziomu umożliwiającego bezpieczne poruszanie się.
2. **Podświetlane znaki** wskazują kierunek ewakuacji i lokalizację wyjść. Muszą być widoczne z wymaganej odległości.
3. **Oświetlenie strefy otwartej** zapobiega panice w dużych pomieszczeniach bez wyznaczonych dróg.
4. **Zasilanie** z wbudowanego akumulatora w oprawie albo z centralnej baterii.
5. **Czas działania** wymagany czas podtrzymania wynika z przeznaczenia obiektu, typowo co najmniej jedna godzina.

BADANIA OKRESOWE

- Test krótkotrwały sprawdzający załączenie opraw po zaniku zasilania.
- Test pełnego czasu autonomii, potwierdzający stan akumulatorów.
- Kontrola natężenia oświetlenia na drogach ewakuacyjnych.
- Prowadzenie dziennika z wynikami badań i wymianami elementów.

ZAPAMIETAJ Akumulatory w oprawach zużywają się niezależnie od liczby zadziałań. Ich stan sprawdza się wyłącznie testem pełnego czasu autonomii.

Instalacja fotowoltaiczna

Instalacja PV zamienia energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Strona stałoprądowa wymaga szczególnej uwagi ze względu na specyfikę zagrożeń.

1. **Moduły i łańcuchy** moduły łączone szeregowo tworzą łańcuch o napięciu będącym sumą napięć modułów.
2. **Falownik** przekształca napięcie stałe na przemienne zsynchronizowane z siecią.
3. **Rozdzielnica DC** zawiera rozłącznik, zabezpieczenia łańcuchów i ograniczniki przepięć.
4. **Rozdzielnica AC** zabezpieczenie nadprądowe, ochrona różnicowoprądowa i punkt przyłączenia do instalacji.
5. **Zabezpieczenie sieciowe** falownik odłącza się przy zaniku napięcia sieci, aby nie zasilać wyłączonego odcinka.

ZAGROŻENIA PO STRONIE DC

- Moduły wytwarzają napięcie zawsze, gdy pada na nie światło. Nie da się ich wyłączyć.
- Łuk stałoprądowy nie gaśnie samoczynnie, co zwiększa ryzyko pożaru.
- Napięcie łańcucha może przekraczać kilkaset woltów, także przy zachmurzeniu.
- Prace wymagają narzędzi i sprzętu przeznaczonego do obwodów prądu stałego.

UWAGI INSTALACYJNE

- Ochrona różnicowoprądowa po stronie AC wymaga wyłącznika typu B, chyba że falownik ma separację.
- Złącza po stronie DC muszą pochodzić od jednego producenta i być poprawnie zaciśnięte.
- Trasy DC prowadzi się tak, aby ograniczyć pętle indukcyjne narażone na przepięcia.

ZAPAMIETAJ Wyłączenie falownika nie usuwa napięcia z modułów i przewodów DC. Przy pracach zawsze traktuj stronę stałoprądową jako będącą pod napięciem.

Magazyn energii i praca wyspowa

Magazyn energii pozwala zużyć wyprodukowaną energię później oraz podtrzymać zasilanie po zaniku sieci. Wymaga to jednak odpowiedniej konfiguracji instalacji.

1. **Ogniwa i moduły** połączone szeregowo i równolegle, nadzorowane przez układ zarządzania baterią.
2. **Układ BMS** kontroluje napięcia ogniw, temperaturę i prąd, odłączając baterię w warunkach niebezpiecznych.
3. **Praca sieciowa** magazyn ładuje się nadwyżką produkcji i oddaje energię w godzinach większego zapotrzebowania.
4. **Praca wyspowa** po zaniku sieci instalacja zasila wydzielone obwody rezerwowane.
5. **Rozdział obwodów** obwody podtrzymywane wydziela się w osobnej rozdzielnicy, z automatyką przełączającą.

WYMAGANIA BEZPIECZEŃSTWA

- Wydzielenie obwodów wyspowych z blokadą uniemożliwiającą zasilanie sieci operatora.
- Ustalony punkt uziemienia dla pracy wyspowej, zgodny z projektem.
- Wentylacja i kontrola temperatury pomieszczenia magazynu.
- Odłącznik serwisowy i wyraźne oznakowanie obecności źródła energii.

ZAPAMIETAJ Instalacja z magazynem energii ma więcej niż jedno źródło zasilania. Przed pracą odłącz i sprawdź brak napięcia po każdej stronie osobno.

Ładowarki pojazdów elektrycznych

Ładowanie pojazdu to obciążenie o dużej mocy i długim czasie pracy. Wymaga dedykowanego obwodu i specyficznych zabezpieczeń.

1. **Tryb ładowania** od prostego gniazda domowego po dedykowane stacje z komunikacją z pojazdem.
2. **Ładowanie prądem przemiennym** prostownik znajduje się w pojeździe. Moc ograniczona przez ładowarkę pokładową.
3. **Ładowanie prądem stałym** prostownik w stacji, moce znacznie wyższe, stosowane w ładowarkach szybkich.
4. **Obwód dedykowany** osobny przewód i zabezpieczenie, dobrane do mocy i długiego czasu pracy pod pełnym obciążeniem.
5. **Zarządzanie mocą** układ ograniczający prąd ładowania w zależności od bieżącego obciążenia instalacji.

WYMAGANIA INSTALACYJNE

- Ochrona różnicowoprądowa typu B albo typu A z detekcją prądu stałego 6 mA.
- Zabezpieczenie nadprądowe dobrane do prądu znamionowego stacji.
- Uwzględnienie ciągłego obciążenia przy doborze przekroju przewodu.
- Sprawdzenie mocy przyłączeniowej obiektu przed montażem.

ZAPAMIETAJ Ładowanie z gniazda ogólnego przez wiele godzin przeciąża instalację nieprzystosowaną do pracy ciągłej. Zawsze wykonuj obwód dedykowany.

Kompensacja mocy biernej w zakładzie

W zakładzie przemysłowym moc bierna generuje realne koszty. Kompensacja obniża prąd, straty i opłaty za energię bierną.

1. **Źródła mocy biernej** silniki indukcyjne, transformatory, dławiki, oświetlenie wyładowcze.
2. **Bateria automatyczna** sterownik załącza stopnie kondensatorów w zależności od bieżącego zapotrzebowania.
3. **Pomiar** przekładnik prądowy w miejscu reprezentatywnym dla całego zakładu, zwykle w polu zasilającym.
4. **Baterie odstrojone** z dławikami, stosowane przy dużej zawartości harmonicznych.
5. **Kontrola pracy** przeglądy stopni, kontrola styczników i pojemności, pomiar temperatury baterii.

OBJAWY PROBLEMÓW

- Rozliczenia za moc bierną mimo zainstalowanej baterii: uszkodzone stopnie albo zły pomiar.
- Przegrzewanie się kondensatorów: harmoniczne albo przekroczone napięcie robocze.
- Częste łączenia styczników: zbyt małe stopnie albo źle nastawiona strefa nieczułości.
- Charakter pojemnościowy poza godzinami pracy: brak wyłączania baterii przy małym obciążeniu.

ZAPAMIETAJ Kondensatory zużywają się i tracą pojemność. Bateria bez okresowych pomiarów po kilku latach może kompensować znacznie mniej, niż wskazuje jej tabliczka.

Jakość energii i harmoniczne

Odbiorniki nieliniowe odkształcają przebieg prądu, wprowadzając do sieci wyższe harmoniczne. Powodują one straty, przegrzewanie i zakłócenia pracy urządzeń.

1. **Źródła harmonicznych** zasilacze impulsowe, falowniki, prostowniki, oświetlenie LED, spawarki.
2. **Trzecia harmoniczna** w układzie trójfazowym sumuje się w przewodzie neutralnym zamiast się znosić.
3. **Skutki** przegrzewanie przewodu neutralnego i transformatorów, błędne wskazania przyrządów, zakłócenia sterowania.
4. **Pomiar** analizator jakości energii wyznacza współczynnik odkształcenia i udział poszczególnych harmonicznych.
5. **Ograniczanie** dławiki, filtry pasywne i aktywne, prostowniki wielopulsowe, rozdział obwodów zakłócających.

PARAMETRY JAKOŚCI ENERGII

Parametr	Znaczenie
THD	całkowite odkształcenie przebiegu
Zapady napięcia	krótkotrwałe obniżenia wartości
Asymetria	nierówność napięć fazowych
Migotanie	wahania powodujące pulsowanie światła

ZAPAMIETAJ Przy dużym udziale trzeciej harmonicznej przewód neutralny może być obciążony bardziej niż fazowe. W takich instalacjach stosuje się neutralny o zwiększonym przekroju.

Układ pomiarowy i taryfy

Sposób rozliczenia energii zależy od grupy taryfowej i od zainstalowanego układu pomiarowego. Dobór taryfy wpływa bezpośrednio na koszty.

1. **Pomiar bezpośredni** licznik włączony bezpośrednio w obwód, stosowany przy mniejszych prądach.
2. **Pomiar półpośredni** licznik zasilany przez przekładniki prądowe, przy większych prądach.
3. **Pomiar pośredni** przekładniki prądowe i napięciowe, stosowany po stronie średniego napięcia.
4. **Taryfy jednostrefowe** jedna cena energii niezależnie od pory doby.
5. **Taryfy wielostrefowe** różne ceny w wyznaczonych godzinach, opłacalne przy przesuwalnym zużyciu.

ELEMENTY RACHUNKU

- Opłata za energię czynną, zależna od zużycia.
- Opłaty dystrybucyjne zmienne, naliczane od zużytej energii.
- Opłaty stałe, zależne od mocy umownej i grupy taryfowej.
- Opłaty za przekroczenie mocy umownej i za moc bierną w grupach przemysłowych.

ZAPAMIETAJ Moc umowna zbyt niska powoduje kosztowne przekroczenia, a zbyt wysoka oznacza stałe opłaty za niewykorzystaną rezerwę. Warto ją weryfikować na podstawie rzeczywistych pomiarów.

Linie napowietrzne i kablowe

Energię można przesyłać liniami napowietrznymi albo kablowymi. Wybór wpływa na koszt, niezawodność i sposób prowadzenia eksploatacji.

1. **Linia napowietrzna** przewody na słupach z izolatorami. Tania w budowie, łatwa w lokalizacji uszkodzeń.
2. **Wrażliwość na warunki** wiatr, oblodzenie i drzewa są główną przyczyną awarii linii napowietrznych.
3. **Linia kablowa** kable układane w ziemi. Odporna na warunki atmosferyczne, droższa i trudniejsza w naprawie.
4. **Lokalizacja uszkodzeń** w liniach kablowych wymaga specjalistycznych metod odbiciowych i udarowych.
5. **Przewody izolowane** rozwiązanie pośrednie, ograniczające skutki kontaktu z gałęziami.

PORÓWNANIE

Cecha	Napowietrzna	Kablowa
Koszt budowy	niższy	wyższy
Awaryjność	wyższa	niższa
Czas naprawy	krótki	długi
Zajętość terenu	pas linii	trasa w gruncie

ZAPAMIETAJ Przewód zerwany i leżący na ziemi może pozostawać pod napięciem. Zachowaj bezpieczną odległość i niezwłocznie powiadom pogotowie energetyczne.

Zabezpieczenia w sieci średniego napięcia

W sieci SN stosuje się zabezpieczenia reagujące na zwarcia i doziemienia. Ich nastawy muszą zapewniać selektywność w całej sieci.

1. **Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne** reaguje na przetężenia z opóźnieniem dobranym do selektywności.
2. **Zabezpieczenie bezzwłoczne** działa natychmiast przy zwarciach o dużym prądzie, blisko miejsca zainstalowania.
3. **Zabezpieczenie ziemnozwarciowe** wykrywa zwarcia doziemne, których prąd bywa znacznie mniejszy od zwarć międzyfazowych.
4. **Automatyka SPZ** samoczynne ponowne załączenie po krótkiej przerwie, usuwające zwarcia przemijające.
5. **Automatyka SZR** samoczynne załączenie rezerwy, przełączające zasilanie na drugie źródło.

DLACZEGO SPZ MA SENS

- Większość zwarć w liniach napowietrznych ma charakter przemijający.
- Krótka przerwa gasi łuk i pozwala przywrócić zasilanie bez wyjazdu ekipy.
- Przy zwarciu trwałym zabezpieczenie wyłącza linię na stałe po nieudanej próbie.
- W obwodach z pracami eksploatacyjnymi automatykę SPZ się blokuje.

ZAPAMIETAJ Przed rozpoczęciem prac przy linii automatyka SPZ musi zostać zablokowana. Bez tego linia może zostać ponownie załączona w trakcie pracy.

Badania okresowe instalacji

Instalacja podlega badaniom nie tylko przy odbiorze, ale również cyklicznie w trakcie eksploatacji. Ich zakres i częstość zależą od warunków środowiskowych.

1. **Cel badań** wykrycie degradacji izolacji, poluzowanych połączeń i zmian wprowadzonych bez dokumentacji.
2. **Zakres** co do zasady taki sam jak przy odbiorze, uzupełniony o oględziny stanu technicznego.
3. **Częstość** krótsza w środowiskach trudnych, dłuższa w pomieszczeniach suchych o małym zagrożeniu.
4. **Ocena skuteczności ochrony** obejmuje ciągłość PE, impedancję pętli, działanie RCD i rezystancję uziemienia.
5. **Dokumentacja** protokół z wynikami, oceną i wskazaniem stwierdzonych nieprawidłowości.

ORIENTACYJNA CZĘSTOŚĆ

Warunki	Ocena stanu	Ochrona przeciwporażeniowa
Pomieszczenia suche	do 5 lat	do 5 lat
Wilgotne, zapylone	do 1 roku	do 1 roku
Zagrożenie wybuchem	do 1 roku	do 1 roku
Na zewnątrz	do 1 roku	do 1 roku

ZAPAMIETAJ Badania okresowe mają sens tylko wtedy, gdy stwierdzone nieprawidłowości zostają usunięte. Sam protokół nie poprawia stanu instalacji.

Eksploatacja instalacji: obowiązki i dokumenty

Eksploatacja to nie tylko naprawy, ale również planowe czynności i prowadzenie dokumentacji. Uporządkowany system ogranicza liczbę awarii.

1. **Instrukcja eksploatacji** opisuje zakres czynności, częstość przeglądów i postępowanie w sytuacjach awaryjnych.
2. **Książka obiektu** rejestr przeglądów, badań, napraw i modernizacji instalacji.
3. **Wykaz urządzeń** spis aparatów z parametrami, datami uruchomienia i terminami badań.
4. **Kwalifikacje personelu** aktualne świadectwa kwalifikacyjne osób wykonujących czynności eksploatacyjne.
5. **Analiza zdarzeń** rejestrowanie awarii i zdarzeń potencjalnie wypadkowych oraz wyciąganie z nich wniosków.

CZYNNOŚCI PLANOWE

- Oględziny rozdzielnic i tras kablowych.
- Kontrola termowizyjna połączeń pod obciążeniem.
- Testy wyłączników różnicowoprądowych.
- Sprawdzenie oświetlenia awaryjnego i układów rezerwowego zasilania.
- Weryfikacja aktualności schematów i opisów obwodów.

ZAPAMIETAJ Najtańsza awaria to ta, do której nie doszło. Planowe przeglądy kosztują ułamek tego, co nieplanowany postój produkcji.

Odbiór instalacji i przekazanie do użytku

Odbiór zamyka proces wykonawczy i przenosi odpowiedzialność na użytkownika. Wymaga kompletu badań, dokumentów i sprawdzenia zgodności z projektem.

1. **Sprawdzenie zgodności** porównanie wykonanej instalacji z projektem i udokumentowanie odstępstw.
2. **Komplet badań** oględziny oraz próby odbiorcze z protokołami i jednoznaczną oceną.
3. **Dokumentacja powykonawcza** zaktualizowane schematy, zestawienia, deklaracje zgodności i instrukcje.
4. **Szkolenie użytkownika** przekazanie zasad obsługi, lokalizacji wyłączników i postępowania w razie awarii.
5. **Protokół odbioru** podpisany przez wykonawcę i odbierającego, z wykazem przekazanych dokumentów.

LISTA KONTROLNA ODBIORU

- Czy wszystkie obwody są opisane zgodnie ze schematem.
- Czy wykonano i udokumentowano komplet prób odbiorczych.
- Czy zabezpieczenia są dobrane do przekrojów i potwierdzone pomiarem pętli zwarcia.
- Czy przekazano dokumentację powykonawczą i instrukcje urządzeń.
- Czy użytkownik wie, jak odłączyć zasilanie w sytuacji awaryjnej.

ZAPAMIETAJ Odbiór bez kompletu protokołów jest odbiorem pozornym. Dokumenty są jedynym dowodem, że instalacja spełniała wymagania w chwili przekazania.

DODATKI

Słownik terminów i fiszki powtórkowe

Ponad sto haseł wyjaśniających pojęcia używane w dokumentacji technicznej oraz zestaw pytań do szybkiej powtórki całego materiału.

Bonus 01 i Bonus 02

Słownik terminów z elektrotechniki

Amper	jednostka natężenia prądu elektrycznego, oznaczana literą A.
Amperomierz	przyrząd do pomiaru prądu, włączany szeregowo w obwód.
Asymetria	nierównomierny rozkład napięć lub prądów między fazami układu trójfazowego.
Autotransformator	transformator z jednym uzwojeniem i odczepem, bez separacji galwanicznej.
Bateria kondensatorów	zespół kondensatorów służący do kompensacji mocy biernej.
Bezpiecznik topikowy	aparat przerywający obwód przez stopienie wkładki pod wpływem prądu.
Bimetal	element z dwóch metali o różnej rozszerzalności, odkształcający się pod wpływem ciepła.
Bocznik	rezystor o małej i znanej wartości, służący do pomiaru prądu.
Charakterystyka B, C, D	zakres krotności prądu, przy którym wyłącznik wyzwala się bezzwłocznie.
Ciągłość przewodu	brak przerwy w torze przewodzącym, potwierdzany pomiarem.
Cewka	element gromadzący energię w polu magnetycznym, przeciwstawiający się zmianom prądu.
Cęgi prądowe	przyrząd mierzący prąd bez przerywania obwodu, przez pomiar pola magnetycznego.
Częstotliwość	liczba pełnych cykli przebiegu przemiennego w ciągu sekundy, w hercach.
Dielektryk	materiał izolacyjny rozdzielający okładziny kondensatora.
Dławik	cewka ograniczająca prąd lub tłumiąca wyższe harmoniczne.
Dzielnik napięcia	układ rezystorów szeregowych dający na wyjściu część napięcia wejściowego.
Enkoder	przetwornik przekształcający położenie lub obrót na sygnał elektryczny.
Falownik	przekształtnik zmieniający napięcie stałe na przemienne o regulowanej częstotliwości.
FELV	obwód niskiego napięcia bez pełnej separacji, wymagający dodatkowych środków ochrony.
Grupa połączeń	oznaczenie sposobu połączenia uzwojeń transformatora i przesunięcia fazowego.
Harmoniczne	składowe przebiegu o częstotliwościach będących wielokrotnością podstawowej.
Histereza	zjawisko opóźnienia zmian namagnesowania, źródło strat w rdzeniu.
Impedancja	całkowity opór obwodu prądu przemiennego, obejmujący rezystancję i reaktancję.
Impedancja pętli zwarcia	impedancja drogi prądu zwarciowego, decydująca o skuteczności wyłączenia.

Słownik terminów z elektrotechniki

IP	kod określający stopień ochrony obudowy przed ciałami stałymi i wodą.
Izolacja podstawowa	izolacja części czynnych zapewniająca ochronę w warunkach normalnych.
Izolacja wzmocniona	izolacja o właściwościach równoważnych izolacji podwójnej.
Kategoria pomiarowa	klasyfikacja przyrządu określająca, w jakich obwodach wolno go stosować.
Kategoria użytkowania	oznaczenie warunków łączenia aparatu, na przykład AC-1, AC-3, AC-4.
Kirchhoffa prawa	zasady bilansu prądów w węźle i napięć w oczku obwodu.
Klasa dokładności	parametr określający maksymalny błąd przyrządu odniesiony do zakresu.
Klasa ochronności	sposób realizacji ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniu, od I do III.
Kompensacja	wytwarzanie mocy biernej pojemnościowej w celu poprawy współczynnika mocy.
Komutator	zespół przełączający kierunek prądu w uzwojeniu wirnika maszyny prądu stałego.
Kondensator	element gromadzący ładunek w polu elektrycznym między okładzinami.
Koordynacja	dobór zestawu aparatów gwarantujący określone zachowanie przy zwarciu.
Krańcówka	wyłącznik uruchamiany mechanicznie przez element ruchomy maszyny.
Łuk elektryczny	wyładowanie w powietrzu o bardzo wysokiej temperaturze.
Megaomomierz	przyrząd do pomiaru rezystancji izolacji wysokim napięciem stałym.
Moc bierna	moc krążąca między źródłem a odbiornikiem, nie wykonująca pracy, w warach.
Moc czynna	moc zamieniana na pracę użyteczną lub ciepło, w watach.
Moc pozorna	geometryczna suma mocy czynnej i biernej, w woltoamperach.
Moc umowna	wartość mocy uzgodniona z operatorem, będąca podstawą opłat stałych.
Moment krytyczny	największy moment obrotowy, jaki silnik indukcyjny może wytworzyć.
Multimetr	przyrząd łączący funkcje woltomierza, amperomierza i omomierza.
Napięcie dotykowe	napięcie występujące między dostępną częścią przewodzącą a ziemią.
Napięcie krokowe	różnica potencjałów między stopami w polu rozpływu prądu w gruncie.
Napięcie zwarcia	napięcie potrzebne do wymuszenia prądu znamionowego w zwartym transformatorze.

Słownik terminów z elektrotechniki

Neutralny (N)	przewód roboczy połączony z punktem neutralnym źródła.
Ogranicznik przepięć	aparat odprowadzający energię przepięcia do ziemi.
Oględziny	sprawdzenie instalacji bez użycia przyrządów, poprzedzające próby pomiarowe.
Om	jednostka rezystancji, oznaczana grecką literą omega.
Okres	czas trwania jednego pełnego cyklu przebiegu przemiennego.
PE	przewód ochronny, oznaczany barwą żółto-zieloną.
PELV	obwód bardzo niskiego napięcia z separacją i jednym punktem uziemionym.
PEN	przewód pełniący jednocześnie funkcję ochronną i neutralną w układzie TN-C.
PLC	sterownik programowalny realizujący logikę sterowania maszyną.
Poślizg	względna różnica prędkości pola wirującego i wirnika silnika indukcyjnego.
Połączenia wyrównawcze	połączenia sprowadzające części przewodzące do jednego potencjału.
Prąd rozruchowy	prąd pobierany przez silnik w chwili załączenia, wielokrotnie większy od znamionowego.
Prąd upływu	prąd uciekający z obwodu do ziemi przez niedoskonałą izolację.
Prąd zwarciowy	prąd płynący w obwodzie w wyniku zwarcia, ograniczony impedancją pętli.
Przekaźnik bezpieczeństwa	moduł nadzorujący obwody zatrzymania awaryjnego i osłon.
Przekaźnik czasowy	aparat wprowadzający opóźnienie do obwodu sterowania.
Przekaźnik termiczny	zabezpieczenie chroniące silnik przed skutkami przeciążenia.
Przekładnia	stosunek liczby zwojów lub napięć uzwojeń transformatora.
Przekładnik	transformator pomiarowy obniżający prąd lub napięcie do wartości znormalizowanej.
Przepięcie	chwilowy wzrost napięcia powyżej wartości dopuszczalnej.
Pulsacja	prędkość kątowa wektora wirującego, równa iloczynowi dwóch pi i częstotliwości.
RCBO	aparat łączący funkcję różnicowoprądową i nadprądową.
RCD	wyłącznik różnicowoprądowy, reagujący na prąd upływu do ziemi.
Reaktancja	opór wnoszony do obwodu prądu przemiennego przez cewkę lub kondensator.

Słownik terminów z elektrotechniki

Rezystancja	miara przeciwstawiania się przepływowi prądu, w omach.
Rezystancja izolacji	rezystancja między częściami czynnymi a ochronnymi, badana wysokim napięciem stałym.
Rezystywność	opór właściwy materiału, decydujący o rezystancji przewodu.
Rezonans	stan, w którym reaktancja indukcyjna równa się pojemnościowej.
Rewersja	zmiana kierunku obrotów silnika przez zamianę dwóch faz.
Rozdzielnica	zespół aparatury rozdzielającej i zabezpieczającej obwody instalacji.
Rozłącznik	łącznik zdolny do wyłączania prądów roboczych, bez zdolności wyłączania zwarć.
Samopodtrzymanie	układ utrzymujący zasilanie cewki po zwolnieniu przycisku startu.
SELV	obwód bardzo niskiego napięcia, odseparowany i nieuziemiony.
Selektywność	wyłączanie wyłącznie zabezpieczenia najbliższego miejscu uszkodzenia.
Softstart	układ łagodnego rozruchu regulujący napięcie zasilania silnika.
Spadek napięcia	różnica napięć na początku i na końcu przewodu, wywołana jego rezystancją.
Sprawność	stosunek mocy oddanej do mocy pobranej przez urządzenie.
SPZ	automatyka samoczynnego ponownego załączenia po krótkiej przerwie.
Stycznik	łącznik elektromagnetyczny przeznaczony do częstych operacji pod obciążeniem.
Styk rozwierny	styk zamknięty w stanie spoczynku, otwierający się po zadziałaniu aparatu.
Styk zwierny	styk otwarty w stanie spoczynku, zamykający się po zadziałaniu aparatu.
SZR	automatyka samoczynnego załączenia rezerwowego źródła zasilania.
Termowizja	metoda diagnostyczna oparta na obrazowaniu rozkładu temperatury.
THD	współczynnik całkowitego odkształcenia przebiegu przez wyższe harmoniczne.
TN-C	układ sieci ze wspólnym przewodem ochronno-neutralnym PEN.
TN-S	układ sieci z rozdzielonym przewodem ochronnym i neutralnym.
TN-C-S	układ z przewodem PEN rozdzielanym na PE i N w wyznaczonym punkcie.
Transformator	urządzenie przenoszące energię między obwodami przez pole magnetyczne.

Słownik terminów z elektrotechniki

True RMS	metoda pomiaru wartości skutecznej poprawna także dla przebiegów odkształconych.
TT	układ sieci z niezależnym uziomem lokalnym po stronie odbiorcy.
Uziom	element metalowy w gruncie odprowadzający prąd do ziemi.
Wartość skuteczna	wartość prądu przemiennego równoważna cieplnie prądowi stałemu.
Wartość szczytowa	maksymalna chwilowa wartość przebiegu przemiennego.
Warystor	element o rezystancji malejącej wraz ze wzrostem napięcia, stosowany w ochronie przepięciowej.
Wolt	jednostka napięcia elektrycznego, oznaczana literą V.
Woltomierz	przyrząd do pomiaru napięcia, włączany równolegle do badanego elementu.
Współczynnik mocy	stosunek mocy czynnej do pozornej, oznaczany jako cosinus fi.
Wyłącznik nadprądowy	aparat chroniący przewód przed przeciążeniem i zwarciem.
Wyłącznik silnikowy	aparat łączący ochronę zwarciową, przeciążeniową i funkcję łączeniową.
Wyzwalacz elektromagnetyczny	człon wyzwalający bezzwłocznie przy prądzie zwarciowym.
Wyzwalacz termiczny	człon wyzwalający ze zwłoką przy przeciążeniu.
Zdolność zwarciowa	największy prąd zwarciowy, który aparat wyłączy bez zniszczenia.
Zwarcie	połączenie o bardzo małej impedancji między punktami o różnych potencjałach.
Zwarcie doziemne	połączenie części czynnej z ziemią lub z częścią przewodzącą uziemioną.
Żyła	pojedynczy tor przewodzący w przewodzie lub kablu wielożyłowym.

Fiszki – szybka powtórka

FISZKA 01

Podaj trzy postacie prawa Ohma.

U = I razy R, I = U przez R, R = U przez I.

FISZKA 02

Jakie napięcie szczytowe odpowiada wartości skutecznej 230 V?

Około 325 V, czyli 230 pomnożone przez pierwiastek z dwóch.

FISZKA 03

Co mówi pierwsze prawo Kirchhoffa?

Suma prądów wpływających do węzła równa się sumie prądów wypływających.

FISZKA 04

Jak zmienia się rezystancja zastępcza przy łączeniu równoległym?

Jest mniejsza od najmniejszej rezystancji składowej.

FISZKA 05

Jaka jest zależność między napięciem fazowym a międzyfazowym?

Międzyfazowe jest większe o pierwiastek z trzech, czyli 400 V wobec 230 V.

FISZKA 06

Co opisuje współczynnik mocy?

Stosunek mocy czynnej do pozornej, czyli cosinus kąta przesunięcia fazowego.

FISZKA 07

Jaka jest prędkość synchroniczna silnika czterobiegunowego przy 50 Hz?

1500 obrotów na minutę.

FISZKA 08

Jak oblicza się spadek napięcia w obwodzie jednofazowym?

Dwa razy prąd razy rezystancja żyły, bo prąd pokonuje trasę w obie strony.

FISZKA 09

Co to jest poślizg silnika indukcyjnego?

Względna różnica między prędkością pola wirującego a prędkością wirnika.

FISZKA 10

Do czego służy pomiar impedancji pętli zwarcia?

Do sprawdzenia skuteczności samoczynnego wyłączenia zasilania.

Fiszki – szybka powtórka

FISZKA 11

Jaka jest minimalna rezystancja izolacji dla obwodu 230/400 V?

1 megaom, przy napięciu probierczym 500 V prądu stałego.

FISZKA 12

Jakie napięcie probiercze stosuje się dla obwodów SELV i PELV?

250 V prądu stałego.

FISZKA 13

Jaki prąd różnicowy stosuje się do ochrony ludzi?

30 miliamperów.

FISZKA 14

Czym różni się RCD typu A od typu AC?

Typ A wykrywa dodatkowo prądy pulsujące stałe, typ AC tylko sinusoidalne przemienne.

FISZKA 15

Kiedy wymagany jest RCD typu B?

Przy ładowarkach pojazdów i falownikach, gdzie może wystąpić gładki prąd stały.

FISZKA 16

Wymień pięć zasad bezpiecznej pracy.

Wyłącz, zabezpiecz przed załączeniem, sprawdź brak napięcia, uziem i zewrzyj, oznacz i osłoń.

FISZKA 17

Dlaczego w układzie TN-C nie wolno stosować RCD?

Bo prąd powrotny płynie przewodem PEN, więc suma prądów nigdy nie będzie zerowa.

FISZKA 18

Co oznacza pierwsza litera w oznaczeniu układu sieci?

Sposób uziemienia punktu neutralnego źródła.

FISZKA 19

Jaki jest dopuszczalny czas wyłączenia dla obwodu 230 V w układzie TN?

0,4 sekundy.

FISZKA 20

Jakie napięcie dotykowe jest dopuszczalne długotrwale w warunkach normalnych?

50 V prądu przemiennego.

Fiszki – szybka powtórka

FISZKA 21

Co oznacza kod IP44?

Ochrona przed ciałami stałymi powyżej 1 mm oraz przed bryzgami wody.

FISZKA 22

Czym charakteryzuje się urządzenie klasy ochronności II?

Ma izolację podwójną lub wzmocnioną i nie ma zacisku ochronnego.

FISZKA 23

Jaką barwę ma przewód ochronny PE?

Żółto-zieloną, zastrzeżoną wyłącznie dla funkcji ochronnej.

FISZKA 24

Jakie barwy mają przewody fazowe?

Brązowa, czarna i szara.

FISZKA 25

Co oznaczają zaciski A1 i A2 na styczniku?

Wyprowadzenia cewki sterującej.

FISZKA 26

Jaką funkcję pełnią zaciski 95-96 przekaźnika termicznego?

To styk rozwierny wyłączający obwód sterowania po zadziałaniu.

FISZKA 27

Jak łączy się przyciski stop przy sterowaniu z wielu miejsc?

Szeregowo, aby naciśnięcie dowolnego przerwało obwód.

FISZKA 28

Jak łączy się przyciski start przy sterowaniu z wielu miejsc?

Równolegle, aby naciśnięcie dowolnego zamknęło obwód.

FISZKA 29

Do czego służy styk podtrzymujący w układzie z samopodtrzymaniem?

Utrzymuje zasilanie cewki po zwolnieniu przycisku startu.

FISZKA 30

O ile zmniejsza się prąd rozruchowy przy rozruchu gwiazda-trójkąt?

Do około jednej trzeciej wartości przy rozruchu bezpośrednim.

Fiszki – szybka powtórka

FISZKA 31

Jaka jest wada rozruchu gwiazda-trójkąt?

Moment rozruchowy również spada do około jednej trzeciej.

FISZKA 32

Jak zmienić kierunek obrotów silnika trójfazowego?

Zamienić miejscami dwa dowolne przewody fazowe.

FISZKA 33

Jaka zasada obowiązuje przy sterowaniu falownikiem poniżej częstotliwości znamionowej?

Stosunek napięcia do częstotliwości pozostaje stały.

FISZKA 34

Dlaczego przy rewersji stosuje się blokadę mechaniczną?

Bo blokada elektryczna nie chroni przed skutkami sklejenia styków.

FISZKA 35

Jak silnik 230/400 V łączy się w sieci 400 V?

W gwiazdę.

FISZKA 36

Co oznacza grupa połączeń Dyn5?

Trójkąt po stronie górnej, gwiazda z neutralnym po dolnej, przesunięcie 150 stopni.

FISZKA 37

Do czego służy napięcie zwarcia transformatora?

Do oszacowania prądu zwarciowego i rozdziału obciążenia przy pracy równoległej.

FISZKA 38

Czego nigdy nie wolno robić z przekładnikiem prądowym?

Rozwierać jego obwodu wtórnego podczas przepływu prądu pierwotnego.

FISZKA 39

Jakie warunki muszą spełniać transformatory pracujące równolegle?

Zgodna grupa połączeń, równe przekładnie i zbliżone napięcie zwarcia.

FISZKA 40

Czym różnią się straty jałowe od obciążeniowych?

Jałowe są stałe i występują od podania napięcia, obciążeniowe rosną z kwadratem prądu.

Fiszki – szybka powtórka

FISZKA 41

Jaka charakterystyka wyłącznika nadaje się do obwodów gniazd?

Charakterystyka B, z wyzwoleniem magnetycznym przy 3 do 5 razy prąd znamionowy.

FISZKA 42

Co chroni wyłącznik nadprądowy?

Przewód, a nie odbiornik. Dlatego prąd dobiera się do obciążalności przewodu.

FISZKA 43

Jaki przekrój i zabezpieczenie stosuje się typowo dla obwodu gniazd?

Przewód 2,5 mm2 i wyłącznik B16.

FISZKA 44

Na czym polega selektywność zabezpieczeń?

Na wyłączeniu wyłącznie zabezpieczenia najbliższego miejscu uszkodzenia.

FISZKA 45

Gdzie instaluje się ogranicznik przepięć typu 1?

W złączu lub rozdzielnicy głównej obiektu z instalacją odgromową.

FISZKA 46

Dlaczego strona stałoprądowa instalacji PV jest groźna?

Moduły wytwarzają napięcie zawsze przy świetle, a łuk stałoprądowy nie gaśnie samoczynnie.

FISZKA 47

Jak zachować się w pobliżu przewodu leżącego na ziemi?

Oddalać się małymi krokami stopa przy stopie i nie zbliżać się do miejsca.

FISZKA 48

Do czego prowadzi praca silnika na dwóch fazach?

Do przeciążenia i spalenia uzwojeń, dlatego stosuje się zabezpieczenia od asymetrii.

FISZKA 49

Jaka jest kolejność prób odbiorczych instalacji?

Ciągłość PE, rezystancja izolacji, biegunowość, pętla zwarcia i uziemienie, próba RCD.

FISZKA 50

Co oznacza koordynacja typu 2 zestawu aparatów?

Po zwarciu aparaty pozostają zdatne do dalszej pracy.

Co dalej

Masz za sobą komplet 150 map obejmujących podstawy elektrotechniki, bezpieczeństwo pracy, dokumentację techniczną, układy sterowania, maszyny elektryczne oraz instalacje i zabezpieczenia.

Największy pożytek z tego materiału daje praca cykliczna. Wróć do pakietu, który sprawia najwięcej trudności, przejrzyj same pola ZAPAMIĘTAJ, a następnie sprawdź się na fiszkach. Powtórzenie po kilku dniach utrwala wiedzę skuteczniej niż jednorazowe czytanie.

Trzy nawyki, które warto wyrobić

Przed każdą pracą sprawdzaj dokumentację i porównuj ją ze stanem faktycznym. Rozbieżność jest informacją, a nie drobiazgiem.

Każdy pomiar zapisuj wraz z warunkami jego wykonania. Wartość diagnostyczna pojawia się dopiero przy porównaniu serii wyników.

Zanim wymienisz uszkodzony aparat, ustal przyczynę jego uszkodzenia. Bez tego awaria powróci.

Zastrzeżenie

Materiał ma charakter edukacyjny. Przy projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji stosuj aktualne normy, przepisy oraz dokumentację producenta. Prace przy urządzeniach elektrycznych mogą wykonywać wyłącznie osoby z odpowiednimi kwalifikacjami.