

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



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	Oznaczenie zacisków aparatów	69
061	Barwy żył i oznaczanie przewodów	70
062	Oznaczenia typów przewodów i kabli	71
063	Czytanie schematu rozdzielnic	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	Przełącznik pomocniczy	88
079	Przełącznik czasowy i jego funkcje	89
080	Przełącznik 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	Przełącznik 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 zwarciorowa 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	Eksplotacja 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 pomiarы 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, M Ω 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}	μ F pojemności kondensatora

ZAPAMIĘTAJ Zapamiętaj trójkąt Ohma: U na górze, I oraz R na dole. Zastaniając 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 wyznacysz 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: $P = 230 \times 5 = 1150$ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 równoległe 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.

ZAPAMIĘTAJ Przy równoległych odbiornikach zawsze liczyć 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 %

ZAPAMIĘTAJ 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 varach. 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 rozptywu prądów w sieci, analiza mostków pomiarowych, sprawdzanie bilansu w rozdzielnicy.

ZAPIS FORMALNY

$$\sum I = 0$$

prawo prądowe (węzeł)

$$\sum E = \sum (I \times R)$$

prawo napięciowe (oczko)

$$I_1 = I_2 + I_3$$

przykład węzła

$$U_{\Sigma} = U_1 + U_2$$

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 zero, 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

$$230 \text{ V} \rightarrow 325 \text{ V}$$

sieć jednofazowa

$$400 \text{ V} \rightarrow 566 \text{ V}$$

sieć trójfazowa

$$U_{sr} = 0,637 \times U_m$$

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 przemieniczny. 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

ZAPAMIĘTAJ 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 rozdzielniczy zakładowej.
- Kondensator rozruchowy i pracy w silniku jednofazowym.
- Filtracja tętnień po prostowniku w zasilaczu.
- Tłumienie zakłóceń w układach sterowania i przy stykach.

ZAPAMIĘTAJ 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 przebiegi 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 Przebiegi łączeniowe** przerwanie prądu w cewce wywołuje wysokie napięcie samoindukcji. Stąd iskrzenie styków i konieczność stosowania układów tłumiących.

WZORY

$$X_L = 2\pi fL$$

reaktancja ind. [Ω]

$$E = \frac{1}{2} \times L \times I^2$$

energia [J]

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

napięcie samoindukcji

$$L = L_1 + L_2$$

połączenie szeregowe

OCHRONA PRZED PRZEBIEGIEM 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 przebiegi, 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

$$X_L = 2\pi fL$$

indukcyjna [Ω]

$$X_C = 1/(2\pi fC)$$

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 φ** 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

$$Q = P \times \tan \varphi$$

moc bierna

$$I = P / (U \times \cos \varphi)$$

prąd 1-fazowy

WPŁYW NA PRĄD PRZY $P = 10 \text{ kW}$, $U = 400 \text{ V}$

cos φ	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

ZAPAMIĘTAJ 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 rozdzielniczy zasilającej grupę odbiorników o zbliżonym czasie pracy.
- 4 **Kompensacja centralna** bateria automatyczna w rozdzielniczy 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

$$Q_c = P \times (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

moc baterii [var]

$$\operatorname{tg} \varphi_1$$

stan przed kompensacją

$$\operatorname{tg} \varphi_2$$

stan docelowy

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

pojemność [F]

UWAGI WYKONAWCZE

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

ZAPAMIĘTAJ Kompensacja przy odbiorniku odciąża całą drogę zasilania. Kompensacja centralna odciąża tylko odcinek od rozdzielniczy 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

$$\text{Gwiazda: } I_l = I^f$$

prąd bez zmian

$$\text{Trójkąt: } I_l = \sqrt{3} \times I^f$$

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

$$\rho_{Cu} \approx 0,0178$$

$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$$\rho_{Al} \approx 0,0282$$

$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$$\gamma = 1 / \rho$$

przewodność

TYPOWE PRZEKROJE W INSTALACJACH NN

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

ZAPAMIĘTAJ 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: $0,0178 \times 30 / 2,5 = 0,214 \Omega$.
- Spadek napięcia: $2 \times 10 \times 0,214 = 4,3 \text{ V}$, 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

$$\alpha_{Cu} \approx 0,00393$$

1/K

$$\alpha_{Al} \approx 0,00403$$

1/K

$$\Delta T = t - 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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** zaczynać od najwyższego zakresu i schodzić 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarcia** wyznacza się z napięcia znamionowego i zmierzonej impedancji.
- 4 **Warunek skuteczności** prąd zwarcia 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 zwarcia

$$I_k \geq I_a$$

warunek skuteczności

$$U_0 = 230 \text{ V}$$

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

ZAPAMIĘTAJ 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 zadań 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

ZAPAMIĘTAJ 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

$$\Delta x = kl \% \times \text{zakres}$$

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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

- Wygrozdzenie 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 Drażki i kleszcze izolacyjne** umożliwiają manipulacje z bezpiecznej odległości przy urządzeniach średniego napięcia.

PRZYKŁADOWE OKRESY PRÓB

Sprzęt	Okres badania
Rękawice elektroizolacyjne	co 6 miesięcy
Drażki 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarcia 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 pograżonych 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 pograżenia 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 mm ²
Miejscowe połączenie wyrównawcze	2,5 mm ² chronione
Miejscowe bez ochrony mechanicznej	4 mm ²

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciovego 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 zwarciovego 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 zwarciovowy

$$I_k \geq I_a$$

musi być spełnione

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 uderów łączeniowych.
- RCBO łączy funkcję różnicowoprądową i nadprądową w jednym aparacie.
- Sprawdź, czy urządzenie zachowuje działanie przy zaniku napięcia sieci.

ZAPAMIĘTAJ 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 rozdzielnic.
- 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	druk, 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.
- Wygradzona 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

ZAPAMIĘTAJ 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 rozptywu 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

ZAPAMIĘTAJ 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 najbliższej 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

ZAPAMIĘTAJ 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 któregośkolwiek 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 rozdzielnic, 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 zwarciova umożliwiają weryfikację doboru.
- 5 Zastosowanie** dokumentacja rozdzielnic, uzgodnienia z operatorem sieci, analiza selektywności i obliczenia zwarciove.

JAK CZYTAĆ KROK PO KROKU

- Zaczynij 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 zwarciova
kWh	układ pomiarowy w polu

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 **Przełącznik 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	przełącznik, stycznik
S	łącznik sterowniczy
T	transformator

ZAPAMIĘTAJ Przełącznik 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 rozdzielnic i tras zasilających.
- Wymagany stopień ochrony w pomieszczeniach wilgotnych.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 Przekąźnik 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

ZAPAMIĘTAJ 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 żyłe 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

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

Czytanie schematu rozdzielnic

Rozdzielnica ma strukturę drzewa: jedno zasilanie i wiele odplywów. 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 odplywowych. Ich obciążalność musi odpowiadać prądowi zasilania.
- 3 **Pola odplywowe** każde z własnym zabezpieczeniem, opisem obwodu i przypisanym przekrojem kabla.
- 4 **Obwody pomocnicze** sterowanie, sygnalizacja, ogrzewanie i oświetlenie rozdzielnic, 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 odplywowego.
- Czy zdolność zwarciova aparatów odpowiada prądowi zwarcioowemu w miejscu zainstalowania.
- Czy zachowana jest selektywność względem zabezpieczenia nadrzędnego.
- Czy obwody gniazd objęte są ochroną różnicowoprądową.
- Czy opisy pól odpowiadają rzeczywistemu przeznaczeniu obwodów.

ZAPAMIĘTAJ Opis rozdzielnic 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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciovym 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciova** maksymalny prąd zwarciovy, 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

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

Tabela rysunkowa, legenda i skala

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

- 1 **Tabela 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

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

Od schematu do montażu

Przejsie 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 zwarc 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciova.
- 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

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

Przekąźnik pomocniczy

Przekąźnik 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 przekąźniki o stykach prowadzonych mechanicznie.

ZAPAMIĘTAJ Przekąźnik pomocniczy nie zastąpi stycznika w obwodzie silnika. Prąd rozruchowy zniszczy jego styki w krótkim czasie.

Przełącznik czasowy i jego funkcje

Przełącznik 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 przełącznika dobiera się do czasu rozruchu maszyny. Zbyt wczesne przełączenie powoduje skok prądu.

Przekaznik termiczny

Przekaznik 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 Przekaznik termiczny nie chroni przed zwarciami. Zabezpieczenie zwarciovne 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 utrzymanym przycisku: przerwa w styku podtrzymującym.
- Stycznik nie załącza się w ogóle: sprawdź kolejno styki rozwiernie w torze.
- Stycznik nie wyłącza się przyciskiem stop: sklejone styki albo zwarcie w obwodzie podtrzymania.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

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

Rozruch bezpośredni silnika

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

- 1 Zasada** stycznik podaje pełne napięcie sieci na silnik. Układ zawiera zabezpieczenie zwarciovie 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 zwarciovie.
- Stycznik główny w kategorii AC-3.
- Przekaznik 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

ZAPAMIĘTAJ 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 przełącznik 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.
- Przełącznik 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

$U / f = \text{const}$
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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciove, przeciążeniowe i funkcję łączeniową. Upraszcza układ i skraca czas montażu.

- 1 **Wyzwalacz elektromagnetyczny** reaguje bezzwłocznie na prąd zwarciovy, 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 zwarcu.
- 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ W obwodach bezpieczeństwa stosuje się wyłącznie styki rozwiernie 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 zapyłonym.

- 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

ZAPAMIĘTAJ 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 tworzywa.
- 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 odbłaskowe. 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 przekąźnikowych 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.

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

Przełącznik bezpieczeństwa

Przełącznik 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 rozwiernie 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 rozwiernie 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 zwarciove** dobierane do prądu zwarciove w miejscu zainstalowania oraz do prądu rozruchowego silnika.
- 2 **Stycznik** dobierany według kategorii AC-3 dla napędu klatkowego, z uwzględnieniem częstości łączy.
- 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 zwarcu.

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.
- Przekaznik termiczny z zakresem nastawy obejmującym 11 A.
- Zabezpieczenie zwarciove dobrane według tabeli koordynacji producenta.

ZAPAMIĘTAJ Koordynacja typu 2 oznacza, że po zwarcu aparat pozostaje zdalny 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

ZAPAMIĘTAJ 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

$$\eta = P_{me} / P_{el}$$

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

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 spalaniem w kilkadziesiąt sekund.

OBLICZENIA

$$n_s = 60f / p$$

prędkość synchroniczna

$$s = (n_s - n) / n_s$$

poślizg

$$s = 100 \% \times \dots$$

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

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 I_n
Falownik	zwykle poniżej 1,5 I_n
Rozrusznik rezystorowy	zależna od nastawy

ZAPAMIĘTAJ Zabezpieczenie zwarcia 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

$$\Phi = N_1 / N_2$$

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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarcia, 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 zwarciovych.
- 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 zwarciovowy

$$\Delta P_0$$

straty jałowe [W]

$$\Delta P_k$$

straty obciążeniowe [W]

INTERPRETACJA PRAKTYCZNA

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

ZAPAMIĘTAJ Napięcie zwarcia to jedyny parametr z tabliczki, który pozwala oszacować prąd zwarciovowy 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciovowy	wyższy	ograniczony

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarcie.

TYPOWE OZNACZENIA

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

ZAPAMIĘTAJ 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 NISPEŁNIENIA 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.

ZAPAMIĘTAJ 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	rozdziół 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 rozdzielnic 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 rozdzielnicie 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

ZAPAMIĘTAJ 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 wewnątrzowa: 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 odpyływowych. 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 rozdzielnic.

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

ZAPAMIĘTAJ 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 mm ²	B10
Gniazda pokoje	2,5 mm ²	B16
Gniazda kuchnia	2,5 mm ²	B16
Płyta indukcyjna	6 mm ²	B32
Pralka, zmywarka	2,5 mm ²	B16

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 mm ²	około 14 A
2,5 mm ²	około 19 A
4 mm ²	około 25 A
6 mm ²	około 32 A
10 mm ²	około 44 A

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarcim. 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 zwarciovym.
- 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.

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

Zdolność zwarciorowa i selektywność

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

- 1 Zdolność zwarciorowa** maksymalny prąd zwarciorowy, który aparat wyłączy bezpiecznie. Podawana w kiloamperach.
- 2 Prąd zwarciorowy 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 zwarciorowy jest największy blisko transformatora i maleje wraz z długością kabla.
- Zabezpieczenia w tablicach mieszkaniowych zwykle wymagają zdolności zwarciorowej 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

ZAPAMIĘTAJ Aparat o zbyt małej zdolności zwarciorowej 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 zwarciovych.

- 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 zwarciovego, 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 wyłączenia** znacznie wyższa niż typowych wyłączników nadprądowych, przy niższym koszcie.

PORÓWNANIE Z WYŁĄCZNIKIEM

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

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarcieziem

ZAPAMIĘTAJ 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.

- Typ 1** instalowany w złączu lub rozdzielnicy głównej obiektu z instalacją odgromową. Odprowadza prąd udarowy piorunowy.
- Typ 2** instalowany w rozdzielnicach pośrednich. Chroni przed przepięciami indukowanymi i łączeniowymi.
- Typ 3** instalowany przy wrażliwym odbiorniku. Ogranicza przepięcia resztkowe.
- Koordynacja** typy muszą współpracować, z zachowaniem wymaganej odległości lub dławika odsprężającego.
- 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 zwarciovego, wbudowanego lub zewnętrznego.
- Skuteczność zależy od jakości połączenia z szyną uziemiającą.
- Przed pomiarem rezystancji izolacji ograniczniki należy odłączyć.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 wyłączzonego 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 harmonicznym.
- 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

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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

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

ZAPAMIĘTAJ 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 częstota 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, zapyłone	do 1 roku	do 1 roku
Zagrożenie wybuchem	do 1 roku	do 1 roku
Na zewnątrz	do 1 roku	do 1 roku

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

Eksplatacja instalacji: obowiązki i dokumenty

Eksplatacja 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.

ZAPAMIĘTAJ 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.

ZAPAMIĘTAJ 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 zwarciovego, 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 zwarcu.
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 rozptywu 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.
Ogłędziny	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 zwarciovowy	prąd płynący w obwodzie w wyniku zwarcia, ograniczony impedancją pętli.
Przełącznik bezpieczeństwa	moduł nadzorujący obwody zatrzymania awaryjnego i osłon.
Przełącznik czasowy	aparat wprowadzający opóźnienie do obwodu sterowania.
Przełącznik 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 π 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 nieuziemiający.
Selektywność	wyłączanie wyłącznie zabezpieczenia najbliższego miejsca 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 uziemem 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 ϕ .
Wyłącznik nadprądowy	aparat chroniący przewód przed przeciążeniem i zwarciem.
Wyłącznik silnikowy	aparat łączący ochronę zwarciovą, przeciążeniową i funkcję łączeniową.
Wyzwalacz elektromagnetyczny	człon wyzwalający bezzwłocznie przy prądzie zwarciovym.
Wyzwalacz termiczny	człon wyzwalający ze zwłoką przy przeciążeniu.
Zdolność zwarciovą	największy prąd zwarciovym, 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.
Żyłą	pojedynczy tor przewodzący w przewodzie lub kablu wielożyłowym.

Fiszki - szybka powtórka

FISZKA 01

Podaj trzy postacie prawa Ohma.

$U = I \text{ razy } R$, $I = U \text{ przez } R$, $R = U \text{ przez } I$.

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 przyłączeniu 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 przemienne.

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 zwarciovego 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 miejsca 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 zdadne 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.

BONUS 01 - ELEKTROTECHNIKA WIZUALNA 2026



Kieszonkowe **fiszki** z elektrotechniki

Pięćdziesiąt kart do wycięcia. Pytanie z jednej strony, pełna odpowiedź z drugiej.

50 FISZEK W 6 KATEGORIACH TEMATYCZNYCH
FORMAT DO WYCIĘCIA I DRUKU DWUSTRONNEGO
TABELA TRZECH POWTÓREK W ODSTĘPACH
PODSTAWY - BHP - SCHEMATY
STEROWANIE - MASZYNY - INSTALACJE

EDYCJA 2026

Jak przygotować fiszki

Ten zestaw został zaprojektowany do wydruku dwustronnego i wycięcia. Każda karta ma z jednej strony pytanie z krótką wskazówką, a z drugiej pełną odpowiedź wraz z kontekstem, który tłumaczy, dlaczego odpowiedź brzmi właśnie tak.

Druk

Strony z kartami występują parami: najpierw przód ośmiu kart, potem ich tył. Układ kolumn na stronie tylnej jest lustrzany, dzięki czemu po obróceniu arkusza odpowiedź trafia dokładnie na odwrót właściwego pytania.

- Wybierz druk dwustronny z obrotem wzdłuż dłuższej krawędzi.
- Wyłącz opcję dopasowania do strony i drukuj w skali 100 procent.
- Zalecany papier o gramaturze co najmniej 160 gramów, dzięki czemu pytanie nie prześwituje.
- Wydrukuj najpierw jedną parę stron próbnie i sprawdź, czy odpowiedzi trafiły na właściwe karty.

Cięcie

Karty wyznaczono liniami przerywanymi. Po wycięciu każda ma wymiary około 86 na 52 milimetry, czyli mieści się w kieszeni koszuli i w standardowym etui na karty.

- Tnij po linii przerywanej, najlepiej nożem introligatorskim przy linijce.
- Jeśli używasz gilotyny, tnij najpierw wszystkie linie pionowe, potem poziome.
- Rogi możesz zaokrąglić, co wyraźnie przedłuży żywotność kart.

Jeśli nie chcesz wycinać

Materiał działa również jako zwykły plik do przeglądania. Otwórz widok dwóch stron obok siebie i załóż prawą kolumnę, albo przewijaj strony pojedynczo: pytanie zawsze poprzedza odpowiedź.

Jak się uczyć z fiszek

Fiszki działają dzięki dwóm mechanizmom: aktywnemu przypominaniu i powtórkom rozłożonym w czasie. Samo czytanie odpowiedzi daje złudzenie znajomości materiału. Dopiero próba odtworzenia jej z pamięci pokazuje, co naprawdę umiesz.

Zasada trzech pudełek

Podziel karty na trzy grupy i przekładaj je w zależności od tego, jak odpowiadasz.

- Grupa 1: karty, których nie umiesz. Powtarzasz je codziennie.
- Grupa 2: karty, które umiesz z wahaniem. Powtarzasz co trzy dni.
- Grupa 3: karty opanowane. Powtarzasz raz w tygodniu.
- Poprawna odpowiedź przesuwa kartę o jedną grupę wyżej, błędna cofa ją do grupy pierwszej.

Jak odpowiadać

Przeczytaj pytanie i odpowiedz na głos albo zapisz odpowiedź, zanim odwrócisz kartę. Wskazówka na dole pytania jest pomocą, po którą sięgasz dopiero wtedy, gdy nie potrafisz ruszyć z miejsca.

Po odwróceniu karty porównaj swoją odpowiedź z pełną treścią. Liczy się nie tylko sam wynik, ale i uzasadnienie, bo to ono pozwala rozwiązać zadanie, którego wcześniej nie widziałeś.

Odstępy powtórek

Najskuteczniejszy jest schemat rosnących odstępów: powtórka pierwszego dnia, następnie po trzech dniach i po tygodniu. Tabela na końcu tego materiału służy do odnotowania trzech rund.

Fiszki według kategorii

Każda karta należy do jednej z sześciu kategorii odpowiadających pakietom materiału głównego. Jeżeli chcesz powtórzyć wybrany obszar, wytnij tylko karty z tej grupy.

Kategoria	Liczba	Numery fiszek	Strony
Podstawy	10	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	4, 6
Bezpieczeństwo	10	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	6, 8
Schematy	5	21, 22, 23, 24, 25	8, 10
Sterowanie	10	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35	10, 12
Maszyny	7	36, 37, 38, 39, 40, 41, 42	12, 14
Instalacje	8	43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50	14, 16

PODSTAWY

01

Podaj trzy postacie prawa Ohma.

Trójkąt: U na górze, I oraz R na dole.

PODSTAWY

02

Jakie napięcie szczytowe odpowiada wartości skutecznej 230 V?

Mnożnik to pierwiastek z dwóch.

PODSTAWY

03

Co mówią dwa prawa Kirchhoffa?

Jedno dotyczy węzła, drugie oczka.

PODSTAWY

04

Jak liczy się rezystancję zastępczą przy połączeniu równoległym?

Dla dwóch rezystorów: iloczyn przez sumę.

PODSTAWY

05

Jaka jest zależność między napięciem fazowym a międzyfazowym?

Współczynnik to pierwiastek z trzech.

PODSTAWY

06

Czym różnią się moc czynna, bierna i pozorna?

Trzy jednostki: W, var, VA.

PODSTAWY

07

Jak obliczyć prędkość synchroniczną silnika przy 50 Hz?

PODSTAWY

08

Jak liczy się spadek napięcia w obwodzie jednofazowym?

ODPOWIEDŹ

02

Około **325 V**, bo $230 \times 1,414$. Napięcie międzyszczytowe wynosi około 650 V. Izolację i elementy elektroniczne dobiera się do wartości szczytowej, a obciążalność liczy się z wartości skutecznej.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

01

$U = I \times R$, $I = U / R$, $R = U / I$. Prawo dotyczy elementów liniowych o stałej rezystancji. Dioda, żarówka żarowa i łuk elektryczny są nieliniowe, więc nie stosuje się do nich wprost.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

04

Odwrotność sumy odwrotności: **$1/R = 1/R1 + 1/R2$** . Dla dwóch elementów wygodniejszy jest wzór $R = R1 \times R2 / (R1 + R2)$. Wynik jest zawsze mniejszy od najmniejszej rezystancji składowej.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

03

Prądowe: suma prądów wpływających do węzła równa się sumie wypływających.
Napięciowe: w oczku zamkniętym suma sił elektromotorycznych równa się sumie spadków napięć.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

06

Czynna (W) wykonuje pracę i jest rozliczana licznikiem. **Bierna (var)** krąży między źródłem a odbiornikiem indukcyjnym. **Pozorna (VA)** to ich suma geometryczna i według niej dobiera się transformator oraz przewód.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

05

Międzyfazowe jest większe o **pierwiastek z trzech**: $230 \text{ V} \times 1,732$ daje 400 V. Napięcie fazowe mierzy się między fazą a przewodem neutralnym, międzyfazowe między dwiema fazami.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

08

Delta $U = 2 \times I \times R$, gdzie $R = \rho \times l / S$. Mnożnik dwa wynika z tego, że prąd pokonuje trasę w obie strony. Dopuszcza się zwykle 3 procent dla oświetlenia i 5 procent dla obwodów odbiorczych.

ODPOWIEDŹ

07

$n = 60 \times f / p$, gdzie p to liczba par biegunów. Dla 2 biegunów daje 3000 obr/min, dla 4 biegunów 1500, dla 6 biegunów 1000, dla 8 biegunów 750 obr/min.

PODSTAWY

09

Co to jest poślizg silnika indukcyjnego?

Bez niego nie powstaje moment.

PODSTAWY

10

Co opisuje współczynnik mocy i dlaczego niska wartość kosztuje?

Cosinus kąta między napięciem a prądem.

BEZPIECZEŃSTWO

11

Wymień pięć zasad bezpiecznej pracy w kolejności.

Zaczyna się od wyłączenia, kończy na oznaczeniu.

BEZPIECZEŃSTWO

12

Od czego zależą skutki porażenia prądem?

Trzy czynniki, nie samo napięcie.

BEZPIECZEŃSTWO

13

Czym różnią się SELV, PELV i FELV?

Chodzi o separację i uziemienie.

BEZPIECZEŃSTWO

14

Dlaczego w układzie TN-C nie wolno stosować RCD?

Zastanów się, którędy wraca prąd roboczy.

BEZPIECZEŃSTWO

15

Który typ RCD wybrać do ładowarki pojazdu elektrycznego?

BEZPIECZEŃSTWO

16

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

ODPOWIEDŹ

10

To stosunek mocy czynnej do pozornej: **$\cos \phi = P / S$** . Przy niskiej wartości ta sama moc czynna wymaga większego prądu, co zwiększa straty w przewodach, obciąża transformator i generuje opłaty za energię bierną.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

09

Względna różnica między prędkością pola wirującego a prędkością wirnika: **$s = (n_s - n) / n_s$** . Znamionowo wynosi 2 do 6 procent. Przy zatrzymanym wirniku równa się jedności, a prąd osiąga wartość maksymalną.

PODSTAWY

ODPOWIEDŹ

12

Od **wartości prądu, czasu przepływu i drogi przez ciało**. Najgroźniejsze są drogi ręka-ręka i ręka-stopy, bo prąd przechodzi przez klatkę piersiową. Powyżej 50 mA pojawia się ryzyko migotania komór.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

11

1. Wyłącz ze wszystkich stron. 2. Zabezpiecz przed załączeniem. 3. Sprawdź brak napięcia. 4. Uziem i zewrzyj (powyżej 1 kV). 5. Oznacz i osłoń. **Kolejność jest wiążąca** i nie wolno jej zmieniać.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

14

Bo prąd roboczy wraca przewodem **PEN**, objętym przekładnikiem sumującym. Suma prądów nigdy nie byłaby zerowa albo wyłącznik nie wykryłby upływu. RCD stosuje się dopiero za punktem rozdziału PEN na N i PE.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

13

SELV: pełna separacja, obwód nieuziemiony. **PELV**: pełna separacja, jeden punkt uziemiony. **FELV**: brak pełnej separacji, dlatego wymaga takich środków ochrony jak obwód zasilający.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

16

0,4 sekundy dla obwodów odbiorczych oraz 5 sekund dla obwodów rozdzielczych. W układzie TT wartości są ostrzejsze: 0,2 sekundy i 1 sekunda.

ODPOWIEDŹ

15

Typ B, bo jako jedyny wykrywa gładkie prądy różnicowe stałe. Dopuszczalny jest też typ A w połączeniu z układem detekcji prądu stałego 6 mA, jeśli producent stacji tak przewiduje.

BEZPIECZEŃSTWO

17

Jakie napięcie dotykowe jest dopuszczalne długotrwale?

Dwie wartości, zależnie od warunków.

BEZPIECZEŃSTWO

18

Co oznacza klasa ochronności II i jaki ma to skutek montażowy?

Symbol to podwójny kwadrat.

BEZPIECZEŃSTWO

19

Jak zachować się w pobliżu przewodu leżącego na ziemi?

Chodzi o napięcie krokowe.

BEZPIECZEŃSTWO

20

Jakim środkiem gasić pożar urządzenia pod napięciem?

Woda w strumieniu zwartym odpada.

SCHEMATY

21

Czym różni się schemat jednokreskowy od rozwiniętego?

Jeden pokazuje strukturę, drugi logikę.

SCHEMATY

22

Jakie barwy mają żyły PE, N oraz przewody fazowe?

Jedna barwa jest całkowicie zastrzeżona.

SCHEMATY

23

Co oznaczają zaciski 13-14, 21-22 oraz A1-A2?

SCHEMATY

24

Jak odczytać zapis 230/400 V na tabliczce silnika?

ODPOWIEDŹ

18

Izolacja **podwójna lub wzmocniona**, bez zacisku ochronnego. Przewodu PE nie wolno doprowadzać do obudowy, bo naruszyłoby to koncepcję ochrony. Przy pomiarach sprawdza się rezystancję izolacji, a nie ciągłość PE.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

17

50 V prądu przemiennego w warunkach normalnych i **25 V** w warunkach zwiększonego zagrożenia, na przykład w miejscach wilgotnych. Dla prądu stałego odpowiednio 120 V i 60 V.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

20

Gaśnicą proszkową albo z **dwutlenkiem węgla**. CO₂ nie pozostawia osadu, więc jest lepszy przy elektronice. Zawsze sprawdź na etykiecie dopuszczalne napięcie i minimalną odległość gaszenia.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

19

Zachować odległość co najmniej kilkunastu metrów i oddalać się **małymi krokami stopa przy stopie** albo skokami ze złączonymi nogami. Nie wolno biec, bo duży rozstaw stóp zwiększa napięcie krokowe.

BEZPIECZEŃSTWO

ODPOWIEDŹ

22

PE żółto-zielona, **N** niebieska, fazy: **L1 brązowa, L2 czarna, L3 szara**. Barwa żółto-zielona jest zastrzeżona wyłącznie dla funkcji ochronnej i nigdy nie może być przewodem czynnym.

SCHEMATY

ODPOWIEDŹ

21

Jednokreskowy upraszcza układ trójfazowy do jednej linii i pokazuje strukturę zasilania. **Rozwinięty** rysuje każdy przewód osobno, z podziałem na obwód główny i sterowania. Do diagnostyki służy rozwinięty.

SCHEMATY

ODPOWIEDŹ

24

Uzwojenie jest przystosowane do **230 V w trójkącie** i **400 V w gwieździe**. W sieci 400 V taki silnik łączy się w gwiazdę. Połączenie w trójkąt oznaczałoby przeciążenie uzwojeń napięciem i natychmiastowe uszkodzenie.

ODPOWIEDŹ

23

13-14 to styk pomocniczy zwierny, **21-22** styk pomocniczy rozwierny, **A1-A2** to cewka aparatu. Końcówki 3-4 zawsze oznaczają zwierny, a 1-2 rozwierny, niezależnie od producenta.

SCHEMATY

25

Co przedstawia schemat elektryczny: stan pracy czy spoczynku?

Bez napięcia i bez wciśniętych przycisków.

STEROWANIE

26

Jak działa układ z samopodtrzymaniem?

Styk pomocniczy równolegle do startu.

STEROWANIE

27

Jak łączyć przyciski start i stop przy sterowaniu z wielu miejsc?

Załączające i wyłączające inaczej.

STEROWANIE

28

O ile rozruch gwiazda-trójkąt zmniejsza prąd i moment?

Obie wielkości zmieniają się tak samo.

STEROWANIE

29

Dlaczego przy rewersji stosuje się dwie blokady?

Jedna z nich działa nawet po awarii.

STEROWANIE

30

Przed czym chroni przekaźnik termiczny, a przed czym nie?

Odwzorowuje nagrzewanie uzwojeń.

STEROWANIE

31

Jaka zasada obowiązuje przy regulacji falownikiem poniżej częstotliwości znamionowej?

STEROWANIE

32

Czym różni się logika PNP od NPN w czujnikach?

ODPOWIEDŹ

26

Styk zwierny stycznika (13-14) łączy się **równolegle do przycisku start**. Po zwolnieniu przycisku obwód cewki pozostaje zamknięty przez ten styk. Przycisk stop, termik i wyłącznik awaryjny włącza się szeregowo.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

25

Zawsze **stan spoczynkowy**: bez napięcia, bez wciśniętych przycisków i bez zadziałania czujników. Dlatego styk zwierny rysuje się jako otwarty, a rozwierny jako zamknięty.

SCHEMATY

ODPOWIEDŹ

28

Obie spadają do około **jednej trzeciej** wartości z rozruchu bezpośredniego. Dlatego metoda nadaje się tylko do napędów startujących bez obciążenia lub z małym momentem oporowym.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

27

Przyciski **start równolegle** (funkcja LUB), przyciski **stop szeregowo** (funkcja I). Zamiana tego układu sprawia, że pojedynczy przycisk stop przestaje działać, gdy pozostałe są zwolnione.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

30

Chroni przed **przeciążeniem**, reagując ze zwłoką zależną od krotności prądu. **Nie chroni przed zwarcie** — zabezpieczenie zwarcie musi być osobne (bezpiecznik albo wyłącznik). Nastawa według prądu silnika z tabliczki.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

29

Elektryczna (styk NC w torze cewki przeciwnej) zabezpiecza logikę sterowania. **Mechaniczna** działa nawet przy sklejonych stykach lub błędnym połączeniu. Jednoczesne załączenie oznaczałoby zwarcie międzyfazowe.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

32

PNP podaje na wejście plus zasilania (standard w Europie), **NPN** zwiiera wejście do minusa. Pomyłka nie uszkadza sterownika, ale wejście nigdy nie zmienia stanu. To częsta przyczyna problemów przy uruchomieniu.

ODPOWIEDŹ

31

Stosunek **U/f pozostaje stały**, dzięki czemu strumień magnetyczny i moment nie maleją. Powyżej częstotliwości znamionowej napięcie już nie rośnie, więc moment spada i silnik pracuje ze stałą mocą.

STEROWANIE

33

Jakie styki stosuje się w obwodach bezpieczeństwa?

.....

Sklejenie nie może zablokować funkcji.

STEROWANIE

34

Czy zatrzymanie awaryjne można zrealizować programowo w PLC?

.....

Sterownik jedynie informuje.

STEROWANIE

35

Kiedy stycznik brzęczy i co to oznacza?

.....

Problem leży w obwodzie magnetycznym.

MASZYNY

36

Jak zmienić kierunek obrotów silnika trójfazowego?

.....

Wystarczy jedna prosta czynność.

MASZYNY

37

Ile wynosi prąd rozruchowy silnika klatkowego?

.....

Wielokrotność prądu znamionowego.

MASZYNY

38

Do czego prowadzi praca silnika na dwóch fazach?

.....

Najczęstsza przyczyna spalenia uzwojeń.

MASZYNY

39

Co oznacza grupa połączeń Dyn5?

MASZYNY

40

Jakie warunki muszą spełniać transformatory pracujące równolegle?

ODPOWIEDŹ

34

Nie. Obwód zatrzymania awaryjnego musi działać sprzętowo, niezależnie od programu, zwykle przez przekaźnik bezpieczeństwa z kontrolą sprzężenia zwrotnego. Sterownik może jedynie sygnalizować stan.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

33

Wyłącznie **styki rozwiernie prowadzone przymusowo**, które otwierają się nawet przy sklejeniu. Zasada bezpieczna: przerwa w przewodzie ma powodować zatrzymanie, a nie utratę funkcji ochronnej.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

36

Zamienić miejscami **dwa dowolne przewody fazowe**. Zamianę wykonuj na zaciskach silnika, a nie w rozdzielnicy, bo tam zmieniłbyś kierunek wszystkich napędów zasilanych z danego pola.

MASZyny

ODPOWIEDŹ

35

Najczęściej **zanieczyszczona powierzchnia styku rdzenia**, uszkodzona zwora zwarciova albo obniżone napięcie na cewce. Objaw wymaga reakcji, bo nagrzewa cewkę i skraca żywotność aparatu.

STEROWANIE

ODPOWIEDŹ

38

Do **przeciążenia pozostałych uzwojeń i ich spalenia**. Silnik buczy i nie rusza albo traci moc pod obciążeniem. Dlatego stosuje się przekaźniki termiczne z mechanizmem różnicowym reagującym na asymetrię prądów.

MASZyny

ODPOWIEDŹ

37

Typowo **5 do 8 razy prąd znamionowy**, bo przy zatrzymanym wirniku silnik zachowuje się jak transformator w stanie zwarcia. Zabezpieczenie zwarciove musi ten prąd przepuścić bez zadziałania.

MASZyny

ODPOWIEDŹ

40

Zgodna grupa połączeń, równe przekładnie i zbliżone napięcie zwarcia. Niespełnienie powoduje prąd wyrównawczy, który obciąża uzwojenia bez wykonywania użytecznej pracy.

ODPOWIEDŹ

39

D trójkąt po stronie górnej, **y** gwiazda po dolnej, **n** wyprowadzony punkt neutralny, **5** przesunięcie 150 stopni (5×30). To najczęstsza grupa w stacjach SN/nn.

MASZYNY

41

Czego nigdy nie wolno zrobić z przekładnikiem prądowym?

Dotyczy obwodu wtórnego.

MASZYNY

42

Czym różnią się straty jałowe od obciążeniowych w transformatorze?

Jedne zależą od obciążenia, drugie nie.

INSTALACJE

43

Co chroni wyłącznik nadprądowy: przewód czy odbiornik?

Odpowiedź zmienia sposób doboru.

INSTALACJE

44

Jaka charakterystyka wyłącznika do gniazd, a jaka do silników?

Różnica to krotność wyzwolenia magnetycznego.

INSTALACJE

45

Jaki przekrój i zabezpieczenie dla typowego obwodu gniazd?

Najczęstsza para w instalacji mieszkaniowej.

INSTALACJE

46

Co potwierdza pomiar impedancji pętli zwarcia?

Dotyczy ochrony przy uszkodzeniu.

INSTALACJE

47

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

INSTALACJE

48

Gdzie instaluje się ograniczniki przepięć typu 1, 2 i 3?

ODPOWIEDŹ

42

Jałowe (w rdzeniu) występują od chwili podania napięcia i są praktycznie stałe. **Obciążeniowe** (w miedzi) rosną z kwadratem prądu. Sprawność maksymalna występuje tam, gdzie oba rodzaje się zrównują.

MASZYNY

ODPOWIEDŹ

41

Rozewrzeć obwodu wtórnego podczas przepływu prądu pierwotnego. Powstaje wtedy napięcie zagrażające życiu i niszczące izolację. Przed odłączeniem przyrządu zaciski wtórne należy zewrzeć.

MASZYNY

ODPOWIEDŹ

44

B (3 do 5 In) do obwodów gniazd i oświetlenia, **C** (5 do 10 In) do odbiorników z prądem rozruchowym, **D** (10 do 20 In) do transformatorów i spawarek. Zmiana B na C wymaga sprawdzenia pętli zwarcia.

INSTALACJE

ODPOWIEDŹ

43

Przewód. Prąd znamionowy dobiera się do obciążalności przewodu, nie do mocy odbiornika. Dlatego zwiększanie prądu wyłącznika w reakcji na wyłączenia jest błędem: obciążalność przewodu się nie zmienia.

INSTALACJE

ODPOWIEDŹ

46

Skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania. Z impedancji wylicza się prąd zwarciovowy ($I_k = U_0 / Z_s$), który musi przekroczyć prąd zadziałania zabezpieczenia w czasie wymaganym normą.

INSTALACJE

ODPOWIEDŹ

45

Przewód miedziany **2,5 mm²** i wyłącznik **B16**. Obwody oświetleniowe: 1,5 mm² i B10. Płyta indukcyjna: 6 mm² i B32. Zawsze weryfikuj warunki ułożenia i długość trasy.

INSTALACJE

ODPOWIEDŹ

48

Typ 1 w złączu lub rozdzielnicy głównej obiektu z instalacją odgromową, **typ 2** w rozdzielnicach pośrednich, **typ 3** przy wrażliwym odbiorniku. Skuteczność zależy od krótkich przewodów i dobrego uziemienia.

ODPOWIEDŹ

47

1 megaom przy napięciu probierczym **500 V DC**. Dla obwodów SELV i PELV: 0,5 megaoma przy 250 V DC. Po pomiarze obwód trzeba rozładować, bo pojemność kabla utrzymuje napięcie.

INSTALACJE

49

Dlaczego strona stałoprądowa instalacji PV jest szczególnie groźna?

Dwie niezależne przyczyny.

INSTALACJE

50

Jaka jest kolejność prób odbiorczych instalacji?

Zaczyna się od ciągłości, kończy na RCD.

ODPOWIEDŹ

50

1. Ciągłość PE i połączeń wyrównawczych. 2. Rezystancja izolacji. 3. Biegunowość i kolejność faz. 4. Impedancja pętli zwarcia i rezystancja uziemienia. 5. Próba RCD i sprawdzenie działania. **Kolejność chroni instalację i mierzącego.**

INSTALACJE

ODPOWIEDŹ

49

Moduły **wytwarzają napięcie zawsze, gdy pada na nie światło** i nie da się ich wyłączyć. Dodatkowo **łuk stałoprądowy nie gaśnie samoczynnie**, bo prąd nie przechodzi przez zero. Wyłączenie falownika nie usuwa napięcia z modułów.

INSTALACJE

Tabela trzech powtórek

Zaznacz kratkę, gdy odtworzysz odpowiedź bez zaglądania. Rundę I wykonaj tego samego dnia, rundę II po trzech dniach, rundę III po tygodniu.

Nr	Kategoria	Pytanie	I	II	III
01	Podstawy	Podaj trzy postacie prawa Ohma.	☐	☐	☐
02	Podstawy	Jakie napięcie szczytowe odpowiada wartości skuteczn...	☐	☐	☐
03	Podstawy	Co mówią dwa prawa Kirchhoffa?	☐	☐	☐
04	Podstawy	Jak liczy się rezystancję zastępczą przy połączeniu ...	☐	☐	☐
05	Podstawy	Jaka jest zależność między napięciem fazowym a międz...	☐	☐	☐
06	Podstawy	Czym różnią się moc czynna, bierna i pozorna?	☐	☐	☐
07	Podstawy	Jak obliczyć prędkość synchroniczną silnika przy 50 ...	☐	☐	☐
08	Podstawy	Jak liczy się spadek napięcia w obwodzie jednofazowy...	☐	☐	☐
09	Podstawy	Co to jest poślizg silnika indukcyjnego?	☐	☐	☐
10	Podstawy	Co opisuje współczynnik mocy i dlaczego niska wartoś...	☐	☐	☐
11	Bezpieczeństwo	Wymień pięć zasad bezpiecznej pracy w kolejności.	☐	☐	☐
12	Bezpieczeństwo	Od czego zależą skutki porażenia prądem?	☐	☐	☐
13	Bezpieczeństwo	Czym różnią się SELV, PELV i FELV?	☐	☐	☐
14	Bezpieczeństwo	Dlaczego w układzie TN-C nie wolno stosować RCD?	☐	☐	☐
15	Bezpieczeństwo	Który typ RCD wybrać do ładowarki pojazdu elektryczn...	☐	☐	☐
16	Bezpieczeństwo	Jaki jest maksymalny czas wyłączenia dla obwodu 230 ...	☐	☐	☐
17	Bezpieczeństwo	Jakie napięcie dotykowe jest dopuszczalne długotrwał...	☐	☐	☐
18	Bezpieczeństwo	Co oznacza klasa ochronności II i jaki ma to skutek ...	☐	☐	☐

Tabela trzech powtórek (ciąg dalszy)

Nr	Kategoria	Pytanie	I	II	III
19	Bezpieczeństwo	Jak zachować się w pobliżu przewodu leżącego na ziem...	☐	☐	☐
20	Bezpieczeństwo	Jakim środkiem gasić pożar urządzenia pod napięciem?	☐	☐	☐
21	Schematy	Czym różni się schemat jednokreskowy od rozwiniętego...	☐	☐	☐
22	Schematy	Jakie barwy mają żyły PE, N oraz przewody fazowe?	☐	☐	☐
23	Schematy	Co oznaczają zaciski 13-14, 21-22 oraz A1-A2?	☐	☐	☐
24	Schematy	Jak odczytać zapis 230/400 V na tabliczce silnika?	☐	☐	☐
25	Schematy	Co przedstawia schemat elektryczny: stan pracy czy s...	☐	☐	☐
26	Sterowanie	Jak działa układ z samopodtrzymaniem?	☐	☐	☐
27	Sterowanie	Jak łączyć przyciski start i stop przy sterowaniu z ...	☐	☐	☐
28	Sterowanie	O ile rozruch gwiazda-trójkąt zmniejsza prąd i momen...	☐	☐	☐
29	Sterowanie	Dlaczego przy rewersji stosuje się dwie blokady?	☐	☐	☐
30	Sterowanie	Przed czym chroni przekaźnik termiczny, a przed czym...	☐	☐	☐
31	Sterowanie	Jaka zasada obowiązuje przy regulacji falownikiem po...	☐	☐	☐
32	Sterowanie	Czym różni się logika PNP od NPN w czujnikach?	☐	☐	☐
33	Sterowanie	Jakie styki stosuje się w obwodach bezpieczeństwa?	☐	☐	☐
34	Sterowanie	Czy zatrzymanie awaryjne można zrealizować programow...	☐	☐	☐
35	Sterowanie	Kiedy stycznik brzęczy i co to oznacza?	☐	☐	☐
36	Maszyny	Jak zmienić kierunek obrotów silnika trójfazowego?	☐	☐	☐

Tabela trzech powtórek (ciąg dalszy)

Nr	Kategoria	Pytanie	I	II	III
37	Maszyny	Ile wynosi prąd rozruchowy silnika klatkowego?	☐	☐	☐
38	Maszyny	Do czego prowadzi praca silnika na dwóch fazach?	☐	☐	☐
39	Maszyny	Co oznacza grupa połączeń Dyn5?	☐	☐	☐
40	Maszyny	Jakie warunki muszą spełniać transformatory pracując...	☐	☐	☐
41	Maszyny	Czego nigdy nie wolno zrobić z przekładnikiem prądow...	☐	☐	☐
42	Maszyny	Czym różnią się straty jałowe od obciążeniowych w tr...	☐	☐	☐
43	Instalacje	Co chroni wyłącznik nadprądowy: przewód czy odbiorni...	☐	☐	☐
44	Instalacje	Jaka charakterystyka wyłącznika do gniazd, a jaka do...	☐	☐	☐
45	Instalacje	Jaki przekrój i zabezpieczenie dla typowego obwodu g...	☐	☐	☐
46	Instalacje	Co potwierdza pomiar impedancji pętli zwarcia?	☐	☐	☐
47	Instalacje	Jaka jest minimalna rezystancja izolacji dla obwodu ...	☐	☐	☐
48	Instalacje	Gdzie instaluje się ograniczniki przepięć typu 1, 2 ...	☐	☐	☐
49	Instalacje	Dlaczego strona stałoprądowa instalacji PV jest szcz...	☐	☐	☐
50	Instalacje	Jaka jest kolejność prób odbiorczych instalacji?	☐	☐	☐

BONUS 02 - ELEKTROTECHNIKA WIZUALNA 2026



Słownik **terminów** z elektrotechniki

Ponad sto sześćdziesiąt haseł wyjaśniających pojęcia spotykane
w dokumentacji technicznej, na schematach i w protokołach
pomiarowych.

165 HASEŁ W UKŁADZIE ALFABETYCZNYM
SKRÓTY I AKRONIMY BRANŻOWE
WIELKOŚCI, SYMBOLE I JEDNOSTKI
OZNACZENIA LITEROWE APARATÓW I ZACISKÓW
BARWY ŻYŁ I ELEMENTÓW STEROWNICZYCH

EDYCJA 2026

Jak korzystać ze słownika

Ten słownik powstał z myślą o sytuacji, w której trzymasz w ręku dokumentację, protokół albo kartę katalogową i natrafiasz na termin, którego znaczenia nie jesteś pewien. Hasła ułożono alfabetycznie, a definicje sformułowano tak, aby odpowiadały na pytanie o praktyczne znaczenie pojęcia, a nie tylko na pytanie o formalną definicję.

Układ hasła

Każde hasło składa się z terminu i zwięzłego wyjaśnienia. Tam, gdzie było to istotne, dopisano konsekwencję praktyczną: jaką wartość przyjmuje dana wielkość, co z niej wynika przy doborze aparatury albo jaki błąd popełnia się najczęściej.

Litery z polskimi znakami diakrytycznymi zgrupowano razem z literami podstawowymi, więc hasła zaczynające się na Ś znajdziesz pod literą S, a na Ź pod literą Z. Wyjątkiem jest Ł, która ma własną sekcję.

Część tabelaryczna

Za częścią alfabetyczną umieszczono zestawienia, do których najczęściej sięga się podczas czytania schematów i pomiarów.

- Skróty i akronimy branżowe, od AC po WLZ.
- Wielkości elektryczne wraz z symbolami i jednostkami.
- Oznaczenia literowe aparatów stosowane na schematach.
- Klucz numeracji zacisków aparatów łączeniowych.
- Barwy żył oraz barwy przycisków i lampek sygnalizacyjnych.

Zastrzeżenie

Definicje mają charakter edukacyjny i porządkujący. Podane wartości liczbowe są wartościami typowymi. Przy projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji obowiązuje treść aktualnych norm, przepisów oraz dokumentacji producenta.

Słownik terminów

A

Amper	Jednostka natężenia prądu elektrycznego (A). Odpowiada przepływowi ładunku jednego kulomba w ciągu sekundy.
Amperomierz	Przyrząd do pomiaru prądu, włączany szeregowo w obwód. Ma bardzo małą rezystancję wewnętrzną, aby nie zmieniać warunków pracy obwodu.
Asymetria obciążenia	Nierównomierne rozłożenie mocy między fazami układu trójfazowego. Powoduje przepływ prądu w przewodzie neutralnym i różnice napięć fazowych.
Autotransformator	Transformator z jednym uzwojeniem i odczepem, wspólnym dla obu stron. Mniejszy i tańszy od dwuuzwojeniowego, ale nie zapewnia separacji galwanicznej.

B

Bateria kondensatorów	Zespół kondensatorów wytwarzający moc bierną pojemnościową w celu poprawy współczynnika mocy. W wykonaniu automatycznym stopnie załącza sterownik.
Bezpiecznik topikowy	Aparat przerywający obwód przez stopienie wkładki. Ma bardzo wysoką zdolność wyłączania i skutecznie ogranicza szczyt prądu zwarciovego.
Bimetal	Element z dwóch metali o różnej rozszerzalności cieplnej. Odkształca się pod wpływem nagrzewania i stanowi podstawę wyzwalaczy termicznych.
Blokada wzajemna	Układ uniemożliwiający jednoczesne załączenie dwóch styczników, na przykład w obwodzie rewersyjnym. Realizowana elektrycznie i mechanicznie.
Bocznik pomiarowy	Rezystor o małej i dokładnie znanej wartości, włączany szeregowo w obwód. Spadek napięcia na nim jest proporcjonalny do mierzonego prądu.

C

Cewka indukcyjna	Element gromadzący energię w polu magnetycznym. Przeciwstawia się zmianom prądu, a jej reaktancja rośnie wraz z częstotliwością.
Cęgi prądowe	Przyrząd mierzący prąd bez przerywania obwodu, przez pomiar pola magnetycznego wokół przewodu. W wersji upływowej wykrywa prądy rzędu miliamperów.
Charakterystyka B, C, D	Oznaczenie zakresu krotności prądu, przy której wyłącznik nadprądowy wyzwała się bezzwłocznie: B od 3 do 5, C od 5 do 10, D od 10 do 20 prądu znamionowego.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Ciągłość przewodu	Brak przerwy w torze przewodzącym. Sprawdzana pomiarem przy odbiorze instalacji, przede wszystkim dla przewodów ochronnych.
Cos fi	Współczynnik mocy, czyli cosinus kąta przesunięcia fazowego między napięciem a prądem. Równy stosunkowi mocy czynnej do pozornej.
Częstotliwość	Liczba pełnych cykli przebiegu przemennego w ciągu sekundy, w hercach. W polskiej sieci wynosi 50 Hz.
Czujnik indukcyjny	Bezstykowy czujnik zbliżeniowy wykrywający wyłącznie obiekty metalowe. Zbliżenie metalu tłumi drgania oscylatora i przełącza wyjście.
Czujnik pojemnościowy	Bezstykowy czujnik reagujący na zmianę pojemności. Wykrywa także tworzywa, ciecze i materiały sypkie, również przez cienką ściankę.

D

Dielektryk	Materiał izolacyjny rozdzielający okładziny kondensatora. Jego rodzaj i grubość decydują o pojemności oraz o napięciu dopuszczalnym.
Dławik	Cewka włączana w obwód w celu ograniczenia prądu, tłumienia wyższych harmonicznych albo odstrojenia baterii kondensatorów od rezonansu.
Dokumentacja powykonawcza	Komplet dokumentów opisujących instalację w stanie faktycznie wykonanym: zaktualizowane schematy, zestawienia, protokoły badań i instrukcje.
DOL	Rozruch bezpośredni silnika, przy pełnym napięciu sieci. Najprostszy układ, obciążony jednak prądem rozruchowym rzędu 5 do 8 prądu znamionowego.
Droga przepływu prądu	Trasa, jaką prąd pokonuje przez ciało człowieka podczas porażenia. Najgroźniejsze są drogi ręka-ręka i ręka-stopy, przechodzące przez klatkę piersiową.
Duty cycle	Współczynnik wypełnienia cyklu pracy, podawany w opisie rodzajów pracy S3 i dalszych. Określa, jaką część cyklu maszyna pracuje pod obciążeniem.
Dzielnik napięcia	Układ dwóch rezystorów szeregowych, z którego zdejmuje się część napięcia wejściowego. Obciążenie wyjścia zmienia proporcje podziału.
Dzielnik prądu	Układ rezystorów równoległych, w którym prąd rozdziela się odwrotnie proporcjonalnie do rezystancji gałęzi.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

E

Elektroliza	Rozkład substancji pod wpływem prądu stałego. W elektrotechnice istotna jako przyczyna korozji uziorów i konstrukcji metalowych.
Enkoder	Przetwornik przekształcający obrót lub położenie na sygnał elektryczny. Podstawa sprzężenia zwrotnego w serwonapędach.

F

Falownik	Przekształtnik zmieniający napięcie stałe na przemienne o regulowanej częstotliwości i wartości. Umożliwia płynną regulację prędkości silnika.
FELV	Obwód niskiego napięcia bez pełnej separacji od obwodu zasilającego. Wymaga takich samych środków ochrony jak obwód, z którym jest zasilany.
Fiszka bezpieczeństwa	Potoczna nazwa instrukcji stanowiskowej w formie skróconej, wywieszanej przy urządzeniu.

G

Grupa połączeń	Oznaczenie sposobu połączenia uzwojeń transformatora i przesunięcia fazowego między stronami, na przykład Dyn5. Warunek pracy równoległej.
Gwiazda	Sposób połączenia uzwojeń trójfazowych, w którym ich końce łączy się w punkcie zerowym. Na uzwojeniu występuje napięcie fazowe.

H

Harmoniczne	Składowe przebiegu o częstotliwościach będących wielokrotnością podstawowej. Generowane przez odbiorniki nieliniowe, obciążają przewód neutralny.
Histereza magnetyczna	Opóźnienie zmian namagnesowania względem zmian pola. Jedno z dwóch głównych źródeł strat w rdzeniu transformatora i silnika.

I

IE1 do IE5	Klasy sprawności silników elektrycznych. Wyższa liczba oznacza mniejsze straty przy tej samej mocy na wale.
-------------------	---

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Impedancja	Całkowity opór obwodu prądu przemiennego, obejmujący rezystancję i reaktancję. Wyznaczana geometrycznie jako pierwiastek z sumy ich kwadratów.
Impedancja pętli zwarcia	Impedancja całej drogi prądu zwarciovego: źródło, przewód fazowy, miejsce zwarcia i droga powrotna. Decyduje o skuteczności wyłączenia.
Instalacja odgromowa	Układ zwodów, przewodów odprowadzających i uziomu, przechwytyjący wyładowanie atmosferyczne i odprowadzający jego prąd do ziemi.
IP	Kod stopnia ochrony obudowy. Pierwsza cyfra opisuje ochronę przed ciałami stałymi, druga przed wodą, na przykład IP44 lub IP65.
IT (układ sieci)	Układ, w którym źródło jest izolowane od ziemi lub uziemione przez dużą impedancję. Pierwsze doziemienie jest sygnalizowane, a nie wyłączane.
Izolacja podstawowa	Izolacja części czynnych zapewniająca ochronę w warunkach normalnych. Stanowi pierwszą warstwę ochrony przeciwporażeniowej.
Izolacja wzmocniona	Izolacja o właściwościach ochronnych równoważnych izolacji podwójnej. Podstawa urządzeń II klasy ochronności.

J

Jednoczesność	Współczynnik uwzględniający, że nie wszystkie odbiorniki pracują naraz. Stosowany przy obliczaniu mocy szczytowej instalacji.
----------------------	---

K

Kategoria pomiarowa	Klasyfikacja przyrządu (CAT II, III, IV) określająca, w obwodach o jakiej energii zwarcioviej wolno go bezpiecznie stosować.
Kategoria użytkowania	Oznaczenie warunków łączenia aparatu: AC-1 obciążenie rezystancyjne, AC-3 silniki klatkowe, AC-4 praca impulsowa i rewersyjna.
Kirchhoffa prawa	Dwie zasady bilansu: suma prądów w węźle wynosi zero, a w oczku zamkniętym suma sił elektromotorycznych równa się sumie spadków napięć.
Klasa dokładności	Parametr przyrządu określający maksymalny błąd, odniesiony do zakresu pomiarowego, a nie do wskazania.
Klasa ochronności	Sposób realizacji ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniu: I z zaciskiem ochronnym, II z izolacją wzmocnioną, III zasilana napięciem bardzo niskim.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Kompensacja mocy biernej	Wytwarzanie mocy biernej pojemnościowej w pobliżu odbiorników indukcyjnych. Obniża prąd, straty i opłaty za energię bierną.
Komutator	Zespół przełączający kierunek prądu w uzwojeniu wirnika maszyny prądu stałego. Współpracuje ze szczotkami i wymaga okresowej obsługi.
Kondensator	Element gromadzący energię w polu elektrycznym między okładzinami. Dla prądu stałego stanowi przerwę, dla przemiennego ma reaktancję malejącą z częstotliwością.
Koordynacja zabezpieczeń	Dobór zestawu aparatów gwarantujący określone zachowanie przy zwarcu. Typ 2 oznacza, że aparaty pozostają zdolne do dalszej pracy.
Krańcówka	Wyłącznik uruchamiany mechanicznie przez element ruchomy maszyny. W obwodach bezpieczeństwa musi mieć styki prowadzone przymusowo.

L

Licznik energii	Przyrząd rozliczeniowy mierzący energię czynną, a w wykonaniach przemysłowych także bierną. Plombowany przez operatora sieci.
LOTO	Procedura blokady i oznaczenia miejsca pracy. Każdy pracownik zakłada własną kłódkę, a zasilanie wraca dopiero po zdjęciu wszystkich.

Ł

Łuk elektryczny	Wyładowanie w powietrzu o temperaturze rzędu tysięcy stopni. Źródło oparzeń, fali ciśnienia i odprysków metalu, także bez kontaktu z częścią czynną.
------------------------	--

M

Magazyn energii	Zespół ogniw z układem zarządzania baterią, gromadzący energię i oddający ją w godzinach większego zapotrzebowania lub przy zaniku sieci.
Megaomierz	Przyrząd do pomiaru rezystancji izolacji, podający wysokie napięcie stałe (najczęściej 500 V) i mierzący bardzo mały prąd upływu.
Migotanie komór	Najgroźniejszy skutek porażenia prądem: zaburzenie pracy serca prowadzące do zatrzymania krążenia. Ryzyko rośnie powyżej około 50 mA.
Moc bierna	Moc krążąca między źródłem a odbiornikiem indukcyjnym, w warach. Nie wykonuje pracy, ale obciąża przewody i transformator.
Moc czynna	Moc zamieniana na pracę użyteczną lub ciepło, w watach. To ją rozlicza licznik energii.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Moc pozorna	Geometryczna suma mocy czynnej i biernej, w woltoamperach. Według niej dobiera się transformator i przekrój przewodu.
Moc umowna	Wartość mocy uzgodniona z operatorem sieci, stanowiąca podstawę opłat stałych. Jej przekroczenie jest odrębnie rozliczane.
Moment krytyczny	Największy moment obrotowy, jaki silnik indukcyjny może wytworzyć. Jego przekroczenie powoduje gwałtowne zatrzymanie wirnika.
Moment rozruchowy	Moment wytwarzany przez silnik w chwili startu. Decyduje o zdolności do ruszenia pod obciążeniem i o wyborze metody rozruchu.
Multimetr	Przyrząd łączący funkcje woltomierza, amperomierza i omomierza. Sposób podłączenia zależy od mierzonej wielkości.

N

Napięcie dotykowe	Napięcie między dostępną częścią przewodzącą a punktem gruntu, na którym stoi człowiek. Dopuszczalne długotrwale: 50 V AC, w warunkach wilgotnych 25 V.
Napięcie krokowe	Różnica potencjałów między stopami rozstawionymi na odległość kroku w polu rozptywu prądu w gruncie.
Napięcie międzyfazowe	Napięcie mierzone między dwiema fazami. W sieci niskiego napięcia wynosi 400 V, czyli pierwiastek z trzech razy napięcie fazowe.
Napięcie zwarcia	Napięcie potrzebne do wymuszenia prądu znamionowego w zwartym transformatorze, podawane w procentach. Decyduje o prądzie zwarciovym.
Neutralny (N)	Przewód roboczy połączony z punktem neutralnym źródła, oznaczany barwą niebieską. Umożliwia zasilanie odbiorników jednofazowych.

O

Odbiór instalacji	Procedura zamykająca wykonawstwo: oględziny, komplet prób, dokumentacja powykonawcza i protokół przekazania użytkownikowi.
Oględziny	Sprawdzenie instalacji bez użycia przyrządów, poprzedzające próby pomiarowe. Obejmuje zgodność z projektem, oznaczenia i jakość połączeń.
Ogranicznik przepięć	Aparat odprowadzający energię przepięcia do ziemi. Dzieli się na typy 1, 2 i 3 w zależności od miejsca zainstalowania.
Okres	Czas trwania jednego pełnego cyklu przebiegu prądu przemiennego. Dla 50 Hz wynosi 20 milisekund.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Om	Jednostka rezystancji, oznaczana grecką literą omega. Odpowiada rezystancji, na której napięcie jednego wolta wymusza prąd jednego ampera.
Oporność bierna	Inna nazwa reaktancji, czyli oporu wnoszonego przez cewkę lub kondensator w obwodzie prądu przemiennego.
Oświetlenie awaryjne	Instalacja zapewniająca bezpieczne opuszczenie budynku po zaniku zasilania podstawowego. Wymaga okresowych testów czasu autonomii.
P	
PE	Przewód ochronny, oznaczany barwą żółto-zieloną. Barwa jest zastrzeżona wyłącznie dla tej funkcji i nigdy nie może pełnić roli przewodu czynnego.
PELV	Obwód bardzo niskiego napięcia z pełną separacją od zasilania, ale z jednym punktem uziemionym.
PEN	Przewód pełniący jednocześnie funkcję ochronną i neutralną, stosowany wyłącznie w układzie TN-C. Za punktem rozdziału nie wolno go odtwarzać.
PLC	Sterownik programowalny realizujący logikę sterowania maszyną. Program wykonywany jest cyklicznie, a wejścia i wyjścia mogą pracować w logice PNP lub NPN.
Polecenie pisemne	Forma organizacyjna wymagana dla prac szczególnie niebezpiecznych, w tym prac pod napięciem i w pobliżu napięcia powyżej 1 kV.
Połączenia wyrównawcze	Połączenia sprowadzające dostępne części przewodzące do jednego potencjału, dzięki czemu przy uszkodzeniu nie powstaje groźne napięcie dotykowe.
Poślizg	Względna różnica prędkości pola wirującego i wirnika silnika indukcyjnego. Warunek powstania momentu, znamionowo 2 do 6 procent.
PPN	Prace pod napięciem, wykonywane wyłącznie według zatwierdzonej technologii, dedykowanym sprzętem i przez osoby przeszkolone.
Prądnica synchroniczna	Maszyna zamieniająca energię mechaniczną na elektryczną. Częstotliwość zależy od prędkości obrotowej i liczby par biegunów.
Prąd rozruchowy	Prąd pobierany przez silnik w chwili załączenia, zwykle 5 do 8 razy większy od znamionowego. Zabezpieczenie zwarciovowe musi go przepuścić.
Prąd upływu	Prąd uciekający z obwodu do ziemi przez niedoskonałą izolację. Sumujący się upływ wielu odbiorników bywa przyczyną zbędnych zadziałań RCD.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Prąd znamionowy różnicowy	Wartość prądu upływu, przy której RCD musi zadziałać. Do ochrony ludzi stosuje się 30 mA, do ochrony przeciwpożarowej 100 do 300 mA.
Prąd zwarciov	Prąd płynący w obwodzie w wyniku zwarcia, ograniczony impedancją pętli. Jego wartość decyduje o wymaganej zdolności zwarciov aparatów.
Przełącznik bezpieczeństwa	Moduł nadzorujący obwody zatrzymania awaryjnego i osłon. Kontroluje własne styki oraz elementy wykonawcze przez pętlę sprzężenia zwrotnego.
Przełącznik czasowy	Aparat wprowadzający opóźnienie do obwodu sterowania. Podstawowe funkcje to opóźnione zadziałanie, opóźniony powrót, impuls i praca cykliczna.
Przełącznik termiczny	Zabezpieczenie chroniące silnik przed przeciążeniem. Reaguje ze zwłoką zależną od krotności prądu, ale nie chroni przed zwarciev.
Przekładnia transformatora	Stosunek liczby zwojów lub napięć uzwojenia pierwotnego i wtórnego. Prądy zmieniają się w odwrotnej proporcji.
Przekładnik napięciowy	Transformator pomiarowy obniżający napięcie do wartości znormalizowanej, zwykle 100 V. Jego obwodu wtórnego nie wolno zewrzeć.
Przekładnik prądowy	Transformator pomiarowy obniżający prąd do wartości znormalizowanej, zwykle 5 A lub 1 A. Jego obwodu wtórnego nie wolno rozewrzeć pod obciążeniem.
Przebieżenie	Chwilowy wzrost napięcia powyżej wartości dopuszczalnej, pochodzenia atmosferycznego lub łączeniowego.
Pulsacja	Prędkość kątowa wektora wirującego, równa iloczynowi dwóch π i częstotliwości. Występuje we wzorach na reaktancję.

R

RCBO	Aparat łączący w jednej obudowie funkcję różnicowoprądową i nadprądową. Chroni jednocześnie przed upływem, przeciążeniem i zwarciev.
RCD	Wyłącznik różnicowoprądowy, reagujący na różnicę prądów wpływających i wypływających z obwodu. Typy AC, A, F i B różnią się wykrywanym kształtem prądu.
Reaktancja	Opór wnoszony do obwodu prądu przemiennego przez cewkę lub kondensator. Indukcyjna rośnie z częstotliwością, pojemnościowa maleje.
Rewersja	Zmiana kierunku obrotów silnika trójfazowego przez zamianę dwóch faz. Wymaga blokady wzajemnej między stycznikami.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Rezonans	Stan, w którym reaktancja indukcyjna równa się pojemnościowej. W instalacjach z baterią kondensatorów i harmonicznymi grozi przetężeniami.
Rezystancja	Miara przeciwstawiania się przepływowi prądu, w omach. Zależy od materiału, długości i przekroju przewodu oraz od temperatury.
Rezystancja izolacji	Rezystancja między częściami czynnymi a ochronnymi, badana wysokim napięciem stałym. Dla obwodów 230/400 V wymagany jest co najmniej 1 megaom.
Rezystywność	Opór właściwy materiału. Dla miedzi około 0,0178, dla aluminium około 0,0282 oma razy milimetr kwadratowy na metr.
Rozdzielnica	Zespół aparatury rozdzielającej i zabezpieczającej obwody instalacji, w obudowie o określonym stopniu ochrony.
Rozłącznik	Łącznik zdolny do wyłączania prądów roboczych, ale bez zdolności wyłączania prądów zwarciovych. Często łączony z podstawami bezpiecznikowymi.

S

Samopodtrzymanie	Układ, w którym styk pomocniczy stycznika połączony równolegle do przycisku start utrzymuje zasilanie cewki po jego zwolnieniu.
Selektywność	Właściwość układu zabezpieczeń, w którym przy zwarcu wyłącza się wyłącznie aparat najbliższy miejscu uszkodzenia.
SELV	Obwód bardzo niskiego napięcia, całkowicie odseparowany od obwodu zasilającego i nieuziemiony.
Silnik kłatkowy	Najpopularniejszy silnik indukcyjny, o wirniku z prętów zwartych pierścieniami. Nie ma szczotek ani komutatora, więc jest mało awaryjny.
Silnik pierścieniowy	Silnik indukcyjny z uzwojeniem wirnika wyprowadzonym na pierścienie ślizgowe. Umożliwia rozruch rezystorowy o dużym momencie.
Silnik synchroniczny	Maszyna, której wirnik obraca się dokładnie z prędkością pola wirującego. Pozwala regulować pobór lub oddawanie mocy biernej.
Softstart	Układ łagodnego rozruchu, płynnie zwiększający wartość skuteczną napięcia zasilania silnika za pomocą tyrystorów.
Spadek napięcia	Różnica napięć na początku i na końcu przewodu, wywołana jego rezystancją. Dopuszcza się zwykle 3 procent dla oświetlenia i 5 procent dla odbiorników.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Sprawność	Stosunek mocy oddanej do pobranej. Dla silników klasyfikowana w klasach od IE1 do IE5, dla transformatorów rozdzielczych przekracza 98 procent.
SPZ	Automatyka samoczynnego ponownego załączenia po krótkiej przerwie. Usuwa zwarcia przemijające w liniach napowietrznych, blokowana na czas prac.
Stan jałowy	Praca transformatora z rozwartym uzwojeniem wtórnym. Pobierany prąd służy magnesowaniu rdzenia, a straty są niezależne od obciążenia.
Stan zwarcia	Próba, w której uzwojenie wtórne jest zwarte, a napięcie pierwotne obniżone tak, aby popłynął prąd znamionowy. Wyznacza napięcie zwarcia.
Stopień ochrony	Odporność obudowy na wnikanie ciał stałych i wody, opisana kodem IP. Obowiązuje wyłącznie przy prawidłowym montażu i zamkniętej obudowie.
Stycznik	Łącznik elektromagnetyczny przeznaczony do częstych operacji pod obciążeniem. Cewka na zaciskach A1 i A2, styki główne w torze prądowym.
Styk prowadzony przymusowo	Styk o konstrukcji gwarantującej otwarcie zestyku rozwiernego nawet przy sklejeniu. Wymagany w obwodach bezpieczeństwa.
Styk rozwierny (NC)	Styk zamknięty w stanie spoczynku, otwierający się po zadziałaniu aparatu. Oznaczany końcówkami 1-2 lub 11-12.
Styk zwierny (NO)	Styk otwarty w stanie spoczynku, zamykający się po zadziałaniu aparatu. Oznaczany końcówkami 3-4 lub 13-14.
SZR	Automatyka samoczynnego załączenia rezerwy, przełączająca zasilanie na drugie źródło. Wymaga blokady uniemożliwiającej pracę równoległą.
Środki ochrony indywidualnej	Sprzęt chroniący pracownika: rękawice elektroizolacyjne, hełm z osłoną twarzy, odzież trudnopalna, obuwie i dywaniki izolacyjne.

T

Tabliczka znamionowa	Trwałe oznaczenie urządzenia z parametrami niezbędnymi do podłączenia i doboru zabezpieczeń: napięcia, prądy, moc, sprawność, stopień ochrony.
Termowizja	Metoda diagnostyczna oparta na obrazowaniu rozkładu temperatury. Wykrywa poluzowane połączenia i przeciążone obwody przed wystąpieniem awarii.
THD	Współczynnik całkowitego odkształcenia przebiegu przez wyższe harmoniczne. Podstawowy wskaźnik jakości energii elektrycznej.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

TN-C	Układ sieci ze wspólnym przewodem ochronno-neutralnym PEN na całej długości. Nie dopuszcza stosowania wyłączników różnicowoprądowych.
TN-C-S	Układ mieszany, w którym przewód PEN rozdziela się na PE i N w wyznaczonym, uziemionym punkcie. Za punktem rozdziálu ponowne łączenie jest zabronione.
TN-S	Układ sieci z rozdzielonym przewodem ochronnym i neutralnym na całej długości instalacji. Standard w nowych instalacjach.
Transformator	Urządzenie przenoszące energię między obwodami przez zmienne pole magnetyczne, zmieniające napięcie i prąd przy zachowaniu mocy pozornej.
Trójkąt mocy	Graficzne przedstawienie zależności między mocą czynną, bierną i pozorną, w którym pozorna jest przeciwprostokątną.
Trójkąt (połączenie)	Sposób połączenia uzwojeń, w którym koniec jednego łączy się z początkiem następnego. Na uzwojeniu występuje pełne napięcie międzyfazowe.
True RMS	Metoda pomiaru wartości skutecznej poprawna także dla przebiegów odkształconych. Miernik zwykły zakłada idealną sinusoidę.
TT (układ sieci)	Układ z uziemionym źródłem i niezależnym uziomem lokalnym po stronie odbiorcy. Ochronę przy uszkodzeniu realizuje praktycznie zawsze RCD.

U

Układ sieci	Oznaczenie literowe opisujące uziemienie źródła i sposób połączenia części przewodzących odbiornika: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT albo IT.
Uprawnienia D	Kwalifikacje na stanowisku dozoru, obejmujące kierowanie czynnościami, nadzór i wydawanie poleceń.
Uprawnienia E	Kwalifikacje na stanowisku eksploatacji, uprawniające do obsługi, konserwacji, remontów, montażu i pomiarów.
Uziom	Element metalowy w gruncie odprowadzający prąd do ziemi. Wykonywany jako pionowy, poziomy albo fundamentowy.
Uziom fundamentowy	Uziom wykonany w fundamencie budynku na etapie budowy. Trwały, o małej rezystancji i niewrażliwy na przesuszenie gruntu.

W

Wartość skuteczna	Wartość prądu przemiennego równoważna cieplnie prądowi stałemu. Napięcie 230 V w sieci jest właśnie wartością skuteczną.
--------------------------	--

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Wartość szczytowa	Maksymalna chwilowa wartość przebiegu. Dla sinusoidy większa od skutecznej o pierwiastek z dwóch, czyli 325 V przy 230 V.
Warystor	Element o rezystancji gwałtownie malejącej wraz ze wzrostem napięcia. Podstawa wielu ograniczników przepięć i układów tłumiących.
Wkładka topikowa	Wymienny element bezpiecznika, który topi się pod wpływem prądu. Charakterystyka gG chroni przed przeciążeniem i zwarcie, aM tylko przed zwarcie.
WLZ	Wewnętrzna linia zasilająca, czyli odcinek instalacji od złącza lub układu pomiarowego do rozdzielnic głównej albo tablic odbiorczych.
Wolt	Jednostka napięcia elektrycznego (V). Odpowiada różnicy potencjałów, przy której przeniesienie ładunku jednego kulomba wymaga pracy jednego dżula.
Woltomierz	Przyrząd do pomiaru napięcia, włączany równolegle do badanego elementu. Ma bardzo dużą rezystancję wewnętrzną.
Współczynnik mocy	Stosunek mocy czynnej do pozornej, oznaczany jako cosinus ϕ . Niska wartość zwiększa prąd, straty i opłaty za energię bierną.
Wybieg swobodny	Zatrzymanie napędu po odłączeniu zasilania, wyłącznie siłami tarcia. Najprostsza, ale najdłuższa metoda hamowania.
Wyłącznik nadprądowy	Aparat chroniący przewód przed przeciążeniem i zwarcie, wyposażony w wyzwalacz termiczny i elektromagnetyczny.
Wyłącznik silnikowy	Aparat łączący ochronę zwarciovą, przeciążeniową i funkcję łączeniową. Z blokadą kłódkową pełni też rolę odłącznika serwisowego.
Wyzwalacz elektromagnetyczny	Człon zabezpieczenia wyzwalający bezzwłocznie przy prądzie zwarciovym. Jego krotność wyznacza charakterystykę B, C albo D.
Wyzwalacz termiczny	Człon zabezpieczenia wyzwalający ze zwłoką przy przeciążeniu, odwzorowujący nagrzewanie chronionego obiektu.

Z

Zacisk probierczy	Złącze umożliwiające rozłączenie uziomu na czas pomiaru jego rezystancji, bez ingerencji w instalację.
Zapad napięcia	Krótkotrwałe obniżenie napięcia w sieci, najczęściej wywołane rozruchem dużego silnika albo zwarcie w sąsiednim obwodzie.

Słownik terminów (ciąg dalszy)

Zatrzymanie awaryjne	Funkcja bezpieczeństwa realizowana sprzętowo, niezależnie od sterownika. Kategoria 0 to natychmiastowe odłączenie, kategoria 1 hamowanie i odłączenie.
Zdolność zwarciova	Największy prąd zwarciovy, który aparat wyłączy bez zniszczenia. Podawana w kiloamperach i porównywana z prądem zwarciowym w miejscu montażu.
Złącze kablowe	Punkt przyłączenia instalacji obiektu do sieci operatora, zawierający zabezpieczenie przedlicznikowe. Wyznacza granicę własności.
Zwarcie	Połączenie o bardzo małej impedancji między punktami o różnych potencjałach, powodujące gwałtowny wzrost prądu.
Zwarcie doziemne	Połączenie części czynnej z ziemią albo z uziemioną częścią przewodzącą. Podstawowy przypadek uszkodzenia w ochronie przeciwporażeniowej.
Żyło	Pojedynczy tor przewodzący w przewodzie lub kablu wielożyłowym. Oznaczana barwą odpowiadającą jej funkcji w obwodzie.

Skróty i akronimy

Skróty spotykane w dokumentacji technicznej, na schematach i w protokołach z pomiarów.

Skrót	Rozwinięcie
AC	Prąd przemienny (ang. alternating current)
AED	Automatyczny defibrylator zewnętrzny
BHP	Bezpieczeństwo i higiena pracy
CAT II, III, IV	Kategoria pomiarowa przyrządu
DC	Prąd stały (ang. direct current)
DOL	Rozruch bezpośredni silnika
E-STOP	Wyłącznik zatrzymania awaryjnego
EV	Pojazd elektryczny
FELV	Obwód niskiego napięcia bez separacji
IC	Kod sposobu chłodzenia maszyny
IE1 do IE5	Klasa sprawności silnika
IM	Kod położenia montażowego maszyny
IP	Stopień ochrony obudowy
IT	Układ sieci z izolowanym punktem neutralnym
LAD	Język drabinkowy programowania sterowników
LOTO	Blokada i oznaczenie miejsca pracy
MCB	Wyłącznik nadprądowy nadmiarowy
MCCB	Wyłącznik kompaktowy
N	Przewód neutralny
nn	Niskie napięcie, do 1 kV
NN	Najwyższe napięcia, 220 i 400 kV

Skróty i akronimy (ciąg dalszy)

Skrót	Rozwinięcie
NPN, PNP	Logika wyjścia czujnika lub wejścia sterownika
PE	Przewód ochronny
PELV	Obwód bardzo niskiego napięcia z uziemieniem
PEN	Przewód ochronno-neutralny
PLC	Sterownik programowalny
PPN	Prace pod napięciem
PV	Instalacja fotowoltaiczna
RCBO	Wyłącznik różnicowoprądowy z członem nadprądowym
RCD	Wyłącznik różnicowoprądowy
RMS	Wartość skuteczna
S1 do S9	Rodzaje pracy maszyny elektrycznej
SELV	Obwód bardzo niskiego napięcia z separacją
SN	Średnie napięcie, zwykle 15 lub 20 kV
SPZ	Samoczynne ponowne załączenie
SZR	Samoczynne załączenie rezerwy
THD	Współczynnik odkształcenia harmonicznymi
TN, TT	Układy sieci z uziemionym punktem neutralnym
VFD	Napęd o zmiennej częstotliwości, falownik
WLZ	Wewnętrzna linia zasilająca
WN	Wysokie napięcie, zwykle 110 kV

Wielkości, symbole i jednostki

Podstawowe wielkości elektryczne wraz z przyjętymi symbolami i jednostkami układu SI.

Wielkość	Symbol	Jednostka	Skrót	Znaczenie
Napięcie	U	wolt	V	różnica potencjałów
Prąd	I	amper	A	natężenie przepływu ładunku
Rezystancja	R	om	Ω	opór dla prądu stałego
Reaktancja	X	om	Ω	opór cewki lub kondensatora
Impedancja	Z	om	Ω	opór całkowity w obwodzie AC
Moc czynna	P	wat	W	moc wykonująca pracę
Moc bierna	Q	war	var	moc krążąca w obwodzie
Moc pozorna	S	woltoamper	VA	suma geometryczna P i Q
Energia	W	watogodzina	Wh	moc razy czas
Ładunek	Q	kulomb	C	prąd razy czas
Pojemność	C	farad	F	zdolność gromadzenia ładunku
Indukcyjność	L	henr	H	zdolność gromadzenia energii pola
Częstotliwość	f	herc	Hz	liczba cykli na sekundę
Strumień magnetyczny	Φ	weber	Wb	miara pola magnetycznego
Indukcja magnetyczna	B	tesla	T	gęstość strumienia
Rezystywność	ρ	om na metr	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	opór właściwy materiału
Moment obrotowy	M	niutonometr	N·m	moment na wale maszyny

Oznaczenia literowe aparatów

Litera określa rodzaj aparatu, a cyfra jego kolejny numer. To samo oznaczenie musi występować na schemacie, na aparacie i w zestawieniu materiałów.

Litera	Rodzaj aparatu	Przykłady
B	Czujnik, przetwornik	czujnik indukcyjny, przetwornik ciśnienia
C	Kondensator	kondensator kompensacyjny, rozruchowy
F	Zabezpieczenie	bezpiecznik, wyłącznik nadprądowy, termik
G	Źródło, generator	prądnica, zasilacz, akumulator
H	Sygnalizacja	lampka, brzęczyk, kolumna świetlna
K	Przełącznik, stycznik	stycznik główny, przełącznik czasowy
L	Cewka, dławik	dławik odstrojający, cewka indukcyjna
M	Silnik	silnik klatkowy, serwonapęd
Q	Łącznik obwodu głównego	wyłącznik główny, rozłącznik
R	Rezystor	rezystor hamujący, grzejny
S	Łącznik sterowniczy	przycisk, przełącznik, krańcówka
T	Transformator	transformator sterowniczy, separacyjny
U	Przekształtnik	falownik, prostownik, softstart
V	Element półprzewodnikowy	dioda, tyrystor, tranzystor
X	Złącze, listwa	listwa zaciskowa, gniazdo, wtyk
Y	Element wykonawczy	zawór elektromagnetyczny, hamulec

Klucz numeracji zacisków

Ostatnia cyfra numeru zacisku mówi o funkcji styku, a pierwsza o jego kolejnym numerze w aparacie. Klucz jest wspólny dla różnych producentów.

Zaciski	Funkcja	Uwagi
1-2, 11-12	Styk rozwierny (NC)	otwiera się po zadziałaniu aparatu
3-4, 13-14	Styk zwierny (NO)	zamyka się po zadziałaniu aparatu
5-6	Rozwierny zwłoczny	z opóźnieniem czasowym
7-8	Zwierny zwłoczny	z opóźnieniem czasowym
A1-A2	Cewka aparatu	napięcie sterownicze
95-96	Termik, styk rozwierny	wyłącza obwód sterowania
97-98	Termik, styk zwierny	sygnalizacja zadziałania
1L1-2T1	Tor główny stycznika	wejście i wyjście fazy
U1, V1, W1	Początki uzwojeń silnika	strona zasilania
U2, V2, W2	Końce uzwojeń silnika	mostki gwiazda lub trójkąt

Barwy żył i elementów sterowniczych

Barwa żółto-zielona jest zastrzeżona wyłącznie dla przewodu ochronnego. Barwy czerwonej nie wolno używać do funkcji uruchamiających.

Barwa	Funkcja	Znaczenie
Żółto-zielona	PE	przewód ochronny, barwa zastrzeżona wyłącznie dla tej funkcji
Niebieska	N	przewód neutralny
Żółto-zielona z oznacznikiem N	PEN	wyłącznie w układzie TN-C
Brązowa	L1	przewód fazowy pierwszy
Czarna	L2	przewód fazowy drugi
Szara	L3	przewód fazowy trzeci
Czerwona	przycisk stop	zatrzymanie, wyłączenie, sygnalizacja awarii
Zielona	przycisk start	uruchomienie, stan pracy normalnej
Żółta	sygnalizacja	ostrzeżenie, stan wymagający uwagi