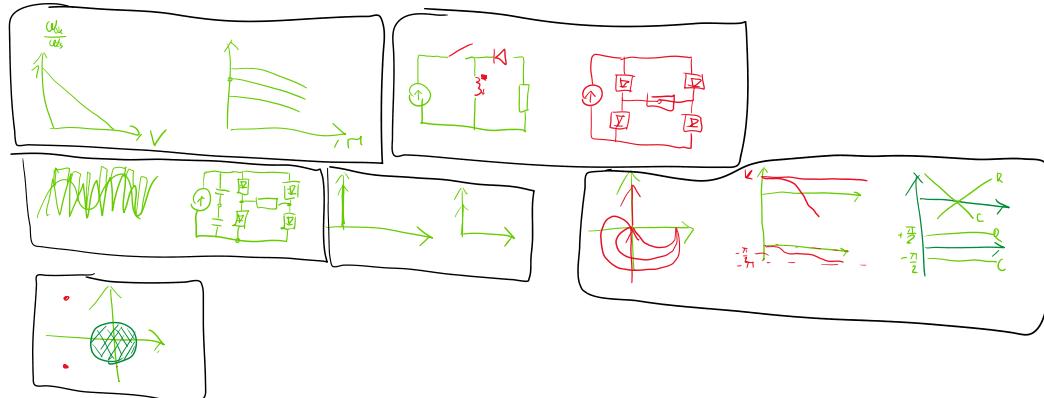
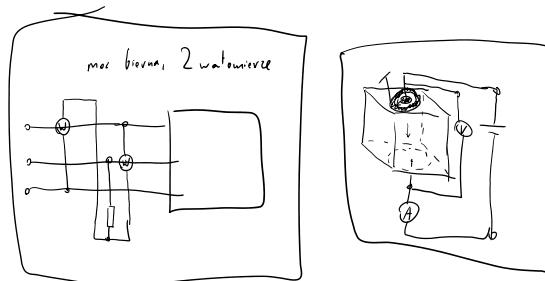




Zestaw zagadnień na indywidualny egzamin dyplomowy
Kierunek Elektrotechnika, moduł Elektrotechnika Przemysłowa - studia I stopnia
rozpoczynające się 01.10.2017 r.

- ✓ Analiza linijowych obwodów elektrycznych:
 - Obwody elektryczne podlegające i przemagnanego. Podstawowe prawa obwodów elektrycznych.
 - Matematyczna analiza obwodów elektrycznych. Metoda praw oczkowych, metoda potencjalna, wychodząca metodą Teoretyczną.
 - Rezonans w obwodach elektrycznych. Charakterystyki częstotliwościowe.
 - Stany przejściowe w obwodach elektrycznych. Metoda klasyczna i operatorka.
 - 2. Elementy i składy elektryczne
 - Diody i stabilizatory (zasada Zenera); charakterystyki i zastosowanie.
 - Transistor (zakres pracy), model, dłości elektronemmisjne, fototransistor, fotodiody, termotransistor.
 - Trapezysy: zasada działania, rodzaje oraz zastosowanie, podstawowe ujęcie i wzmocnianie trapezysowych, zastosowanie.
 - Współczynnik pojemnościowej wzmocniania idealnego i rzeczywistego, wybrane skody pracy wzmacniaczy operacyjnych (fazowe i nietrafne).
 - Elementy techniki cyfrowej: składy kombinacyjne i sekwencyjne, wybrane przykłady składowych opis i ich działań oraz zastosowań.
 - 3. Pomary wielkości obiegów
 - Elektromagnetyczny: rezystancja - magnetoindukcyjna; elektromagnetyczne i mechaniczne.
 - Indukcyjny: zasada działania i zastosowanie.
 - Pomary rezystancji i impedancji układów mokrych.
 - Pomary mocy czynnej i biernej dla obciążenia trifazowych.
 - Przedziałek prądów i napięć: jednostki prądu i napięcia.
 - ✓ Właściwości i zastosowanie materiałów i struktur materii
 - Przewodniczenie i rezystancja masy i stopek metali.
 - Przewodnictwo elektryczne, rezysto - termo - i magneto-elektryczne w poliprzewodnikach.
 - Promieniotwórczość i zjawisko polaryzacji w diodach laserowych.
 - Rezytywność skrojów i powierzchniowa dalałkowatych oraz ich pomary.
 - 4. Jedenka wysokich napięć:
 - Mechanizm rozwoju wyładowań elektrycznych w gazach.
 - Wybrane typy i zasada działania wyładowań okienek i okienek elektrycznych.
 - Wykampejkowanie zasady okienek elektrycznych.
 - Przepięcia i urządzenia ochrony przeciwpiorażkowej.
 - Użycie probówek wysokiego napięcia oraz pomary wysokich napięć.
 - 5. Masywny elektryczny:
 - Transformator: budowa, zasada działania, charakterystyka niewłaściwa, warunki pracy i zabezpieczenia.
 - Masywny asynchronousz: budowa, zasada działania, charakterystyki robocze.
 - Masywny synchroniczny: budowa, zasada działania, charakterystyki robocze.



7. Napięcie elektryczne

 - a) Wykres i zasada polaczania mechanicznego silnika napędzającego z maszyną roboczą za pomocą silnika rotacyjnego
 - b) Wysokość i czas trwania polaczania mechanicznego silnika napędzającego z maszyną roboczą
 - c) Metody regulacji prędkości obrotowej silników stałego
 - d) Stosowanie częstotliwościowej regulacji obrotowej silnika stałego (zawód, zasada, skutki)
 - e) Układ kosztów silnika napędzanego z maszyną roboczą (zasada regulacji prędkości obrotowej, struktura regulacji, charakterystyka regulacyjna i mechanizmy).

8. Elektroenergetyka

 - a) Przepływy stromowe – sklasyfikuj i zastosowaj
 - b) Wykresy i zadania zapisywania prądu stałego DC – sklasyfikuj i zastosuj
 - c) Filozofia mierzenia i analizowania parametrów mocy i energii – ATS (PWI) – ogólna zasada działań, uklady, podstawowe przejęte z zastosowań
 - d) Oddziaływanie przekształtników energoekonomicznych na czas sumpcji i uklady do poprawy efektywności energetycznej

9. Analiza i projektowanie nowej elektrowni silników spalinowych i gazowych

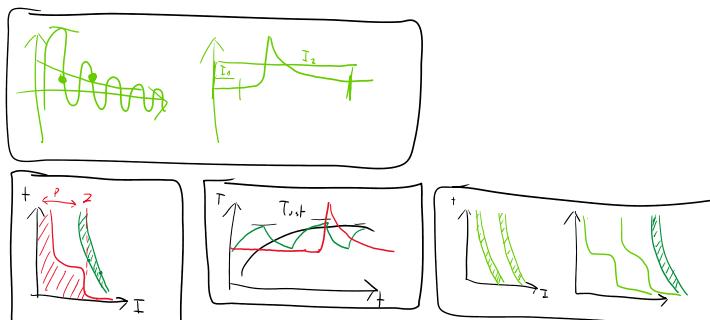
 - a) Odwołanie się do zasad i dodatków położonych obojętnie dynamicznych
 - b) Charakterystyki czynnościowe – dłoń, charakterystyki położeniowych członów dynamicznych, parametry charakterystyki
 - c) Wykresy i zadania zapisywania ukladów regułowania i automatyki
 - d) Stabilność: definicja, warunki stabilności i kryterium stabilności dla układów ciągzych oraz dyskretycznych

10. Zasady wykorzystywania energii elektrycznej w zdrojach konwencjonalnych oraz odnawialnych i wpływ elektroenergetyki na środowisko

 - a) Odkrywanie i nadużywanie zasobów energii pierwotnej, generatory 1- 2- 3-stopniowe w systemie energetycznym, wpływy elektroenergetyki na środowisko i rezerwacje
 - b) Proces technologiczny i obieg termodynamiczny elektrowni pionowej, sprawność netto i heats aktywnego parowozu
 - c) Wykresy i zadania zapisywania energii elektrycznej i ciepła w elektrociepłowniach, oszczędzanie energii chemicznej paliwa, powszechny technologiczny i obieg termodynamiczny elektroenergetyczny i technika konserwacji
 - d) Wykresy i zadania zapisywania metod wykorzystywania zasobów energii pierwotnej (energia spadku wód, wiatru i bezpośredniego promieniowania słonecznego), do wykorzystywania energii elektrycznej (zasilanie drzwiów przedwozów energii i sprawność konserwacji, udział w kraju w produkcji energii)
 - e) Wykorzystywanie energii konwencjonalnej na środowisko naturalne, sposoby ograniczania emisjonalno-energetyczne.

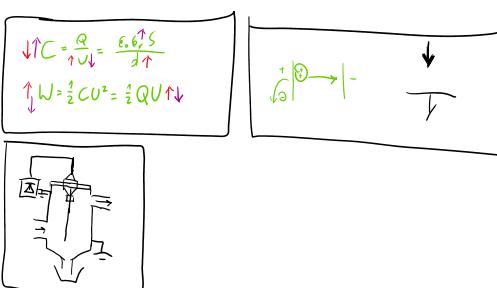
11. Analiza stanów systemów elektroenergetycznych

 - a) Modele zrostęce się napowietrznych i kątowych oraz transformatorów w analizie stanów ustalonych i zwarcie
 - b) Wykresy i zadania zapisywania ramek, rozwijania sygnałów, jednostek węzłowych, typów węzłów, metody sterowania
 - c) Spisy kolejne zapisać i rysować bieżąco w elektrowniach i stacjach transformatorowych
 - d) Wykresy i zadania zapisywania prądu zwartowym, prąd zwarcia połączonych, ujemny, wykresy zwarcia, zapisywanie części po zwarciu, nowe zwarcia, skumplewanie cyklistyczne w stacjach zwart niezwykłymi



12. Uzadzenia elektryczne:

 - a. Wariunki palenia i/ z gazownia liny elektrycznego prądu stałego oraz przemiennego
 - b. Sposoby gazowania liny elektrycznego wykorzystywane w konstrukcjach liniów niskiego i wysokiego napięcia.
 - c. Reduzje, szamoty budowy, charakterystyka czarno-płatkowe zabezpieczeń zwarciami i przeciągnięciem, w tym wyłączniki samozamykające.
 - d. Nagrzewanie się przewodów elektrycznych w warunkach roboczych i mocowanych do podłoża, zasady bezpieczeństwa i metod pracy z linią elektryczną w zakresie udzielonych w częściach I, II, III, IV i V przepisów o bezpieczeństwie.



- baktycznych, indukcyjnych, pojazdowych, mikrofalowych, promieniowych.
 - 10. Podstawy elektrotechniki alternacyjnej:
 - ✓ Zasada działania i parametry potoków elektromagnetycznych
 - ✓ Elektryzacja cieplna i cząstek
 - Methody rozpoznawania fal elektromagnetycznych
 - ✓ Zasada działania transformatora - metody ich pomiaru
 - ✓ Evidenciability - zasada działania, ich budowa i właściwości
 - 11. Jakość energii elektrycznej:
 - ✓ Parametry charakteryzujące jakość - moment pniausu i limity w proporcji do poziomu zasilania
 - ✓ EN 50160
 - Przyrzeczy wywierająca ziski konsumenckie w systemie energetycznym. Filtry hamulcowe
 - ✓ Współczynnik odjemności odbojków na zaburzenia występujące w sieci zasilającej. Spowodowany zwiększoną odpornością obrotników na zaburzenia
 - ✓ Pomiar energii wykorzystywanej do celów energetycznych przez odbojnik energii. Spowodowany zmniejszeniem masy energii elektrycznej
 - ✓ Budowa i znaczenie jakości energii elektrycznej.

1. Analiza liniowych obwodów

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:47

A. Obwody elektryczne prądu stałego i przemiennego.

Podstawowe prawa obwodów elektrycznych.

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:48

Obwód elektryczny

Obwód elektryczny tworzą elementy połączone ze sobą w taki sposób, że istnieje co najmniej jedna droga umożliwiająca przepływ prądu.

Oczkiem obwodu elektrycznego nazywamy zbiór połączonych ze sobą elementów tworzących drogę zamkniętą dla przepływu prądu, mającą tę właściwość, że po usunięciu któregokolwiek elementu ze zbioru pozostałe elementy nie tworzą drogi zamkniętej.

Elementem obwodu elektrycznego nazywamy część składową obwodu elektrycznego niepodzielną pod względem funkcjonalnym bez utraty swych właściwości charakterystycznych.

Podstawowymi elementami obwodów elektrycznych są elementy pasywne:

- **Rezystor** - dwójnik pasywny rozpraszający, w którym zachodzi proces zamiany energii elektrycznej na cieplną. Rezystor charakteryzuje jedną właściwość, czyli opór elektryczny.
- **Cewka** - dwójnik pasywny zachowawczy, zdolny do gromadzenia energii w polu magnetycznym. Przypisujemy mu jedną właściwość, czyli indukcyjność L wyrażoną stosunkiem strumienia skojarzonego z cewką do prądu płynącego przez cewkę.
- **Kondensator** - dwójnik pasywny zachowawczy, zdolny do gromadzenia energii w polu elektrycznym. Przypisuje mu się pojemność C , będącą wielkością wyrażoną stosunkiem ładunku q zgromadzonego na jednej z okładzin kondensatora do napięcia pomiędzy okładzinami.

Właściwości obwodów elektrycznych:

- **Liniowość obwodu** - obwód nazywamy liniowym, jeśli jest on utworzony z elementów liniowych. Obwód jest liniowy, jeśli spełnia warunki jednorodności i addytywności.
- **Jednorodność obwodu** - jeśli y jest odpowiedzią na dowolne wymuszenie u , to obwód jest jednorodny wtedy, gdy cy jest odpowiedzią na wymuszenie cu
- **Addytywność obwodu** - jeśli y_1 jest odpowiedzią na dowolne wymuszenie u_1 , a y_2 jest odpowiedzią na dowolne wymuszenie u_2 , to obwód jest addytywny wtedy, gdy $y_1 + y_2$ jest odpowiedzią na wymuszenie $u_1 + u_2$
- **Stacjonarność obwodu** - obwód stacjonarny ma następującą właściwość: jeśli $y(t)$ jest odpowiedzią na wymuszenie $u(t)$, to $y_h(t) = y(t - h)$ jest odpowiedzią na wymuszenie $u_h(t) = u(t - h)$;
- **Pasywność obwodu** - obwód złożony z elementów pasywnych liniowych jest zaliczany do obwodów pasywnych. Jeśli w skład obwodu wchodzi co najmniej jeden element aktywny (tranzystor, dioda tunelowa), to obwód nazywamy aktywnym.
- **Parametry skupione i rozłożone** - Jeżeli wszystkie wymiary realnego elementu fizycznego (rezystora, cewki, kondensatora) są pomijalnie małe w porównaniu z długością fali elektromagnetycznej, to element taki traktujemy jako element o parametrach skupionych. Obwód złożony z elementów o parametrach skupionych nazywamy obwodem o parametrach skupionych. Gdy zjawiska falowe nie mogą być pominięte, obwód nazywamy obwodem o parametrach rozłożonych.

Obwody prądu stałego i przemiennego

Obwód prądu stałego to obwód, w którym sygnały wytwarzane w elementach źródłowych są stałe w czasie. Sygnał stały w czasie jest szczególnym przypadkiem sygnału wykładniczego, zatem odpowiedź na wymuszenie stałe w stanie ustalonym jest stała. Odpowiedź w tych obwodach będzie zatem prąd stały lub napięcie stałe.

Obwód prądu przemennego to obwód, w którym przebieg sygnałów wytwarzanych w elementach

źródłowych ma kształt sinusoidalny zmienny. Do analizy obwodów prądu przemiennego stosuje się metody umożliwiające odwzorowanie przebiegów sygnałów sinusoidalnych, np. metodę symboliczną. Przy analizowaniu obwodów prądu sinusoidalnego często potrzebne jest wyznaczenie kątów przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem i prądem danego elementu, pomiędzy napięciami w różnych częściach obwodu, pomiędzy prądami płynącymi w różnych gałęziach itp.. Pomocne są wtedy wykresy wektorowe napięć i prądów.

Podstawowe prawa obwodów elektrycznych

Pierwsze prawo Kirchhoffa: przy dowolnym charakterze zmienności prądów, suma wartości chwilowych prądów przewodzenia w węźle obwodu elektrycznego jest równa zeru.

Drugie prawo Kirchhoffa: przy dowolnym charakterze zmienności napięć, suma wartości chwilowych napięć źródłowych występujących w oczku równa się sumie wartości chwilowych napięć odbiornikowych

Prawo Ohma: napięcie U mierzone na końcach przewodnika o oporności R podczas przepływu prądu I jest równe iloczynowi oporności i prądu $u = Ri$.

Źródło

1. Stanisław Bolkowski - *Teoria Obwodów Elektrycznych*
2. Roman Kurdziel - *Podstawy Elektrotechniki*

B. Metody rozwiązywania obwodów elektrycznych. Metoda prądów oczkowych, metoda potencjałów węzłowych, metoda Thevenina

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:48

Rozwiązywanie obwodu elektrycznego

Rozwiązyaniem obwodu elektrycznego określa się wyznaczenie wartości wszystkich prądów płynących w danym obwodzie lub wartości wszystkich napięć panujących w nim. Proces ten wymaga skorzystania z podstawowych praw i własności obwodów elektrycznych. Najczęściej do rozwiązywania obwodów stosuje się:

- metodę prądów oczkowych,
- metodę potencjałów węzłowych,
- metodę Thevenina.

Zależnie od typu obwodu, konieczne może być też zastosowanie:

- Metody składowych symetrycznych - dla niesymetrycznych trójfazowych obwodów prądu przemiennego
- Metody symbolicznej (liczb zespolonych) - dla obwodów prądu przemiennego w stanie ustalonym
- Metody operatorowej (transformaty Laplace'a) - dla obwodów z przebiegami odkształconymi (w stanie nieustalonym)

Metoda prądów oczkowych

Metoda prądów oczkowych polega na wyeliminowaniu równań prądowych i ograniczeniu się do równań napięciowych. W tej metodzie dobiera się poszczególne, niezależne oczka obwodów i wprowadza fikcyjne prądy oczkowe płynące przez wszystkie gałęzie rozpatrywanego oczka.

Układając równanie bilansu napięć oczka, należy uwzględnić spadki napięć od wszystkich prądów oczkowych płynących przez jego gałęzie. Prąd gałęziowy, czyli rzeczywisty prąd płynący przez daną gałąź, jest równy sumie algebraicznej prądów cyklicznych płynących przez gałąź.

Metoda potencjałów węzłowych

Metoda potencjałów węzłowych jest metodą analizy liniowych obwodów elektrycznych i wynika z praw Kirchhoffa. Polega na wprowadzeniu potencjałów węzłowych, czyli napięć między węzłem odniesienia a pozostałymi węzłami obwodu elektrycznego. Przyjęcie potencjałów węzłowych automatycznie powoduje spełnienie napięciowego prawa Kirchhoffa w obwodzie, zatem do ułożenia pozostają równania wynikające z prądowego prawa Kirchhoffa.

Metoda Thevenina

Metoda Thevenina opiera się na twierdzeniu o zastępczym źródle napięcia, czyli twierdzeniu Thevenina. Zgodnie z nim, dowolny aktywny obwód liniowy można od strony wybranych zacisków zastąpić obwodem równoważnym, złożonym z szeregowo połączonego jednego idealnego źródła napięcia, równego napięciu pomiędzy zaciskami w stanie jałowym, oraz jednej impedancji równej impedancji zastępczej obwodu pasywnego, widzianego od strony tych zacisków. Metoda ta pozwala na policzenie prądu w wybranej gałęzi obwodu przez uproszczenie pozostałe części tego obwodu.

Źródło

1. Stanisław Bolkowski - *Teoria Obwodów Elektrycznych*
2. Roman Kurdziel - *Podstawy Elektrotechniki*

C. Rezonans w obwodach elektrycznych. Charakterystyki częstotliwościowe

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:48

Obwodami rezonansowymi lub drgającymi są nazywane obwody elektryczne, w których występuje zjawisko zwane rezonansem. Rezonans jest to taki stan pracy obwodu elektrycznego pasywnego, przy którym reaktancja wypadkowa obwodu lub susceptancja wypadkowa jest równa zeru. Zatem, w stanie rezonansu napięcie i prąd na zaciskach rozpatrywanego obwodu są zgodne w fazie, argument impedancji lub admitancji zespolonej jest równy zeru. Obwód nie pobiera mocy biernej - występuje zjawisko kompensacji mocy. Moc bierna indukcyjna pobierana przez obwód jest równa mocy pojemnościowej. Ponieważ, jak wiadomo, znaki mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej są przeciwe, zatem w warunkach rezonansu całkowita moc bierna obwodu jest równa zeru.

Częstotliwość, przy której reaktancja wypadkowa lub susceptancja wypadkowa obwodu jest równa zeru, nazywana jest częstotliwością rezonansową. Obwód elektryczny osiąga stan rezonansu, jeśli częstotliwość doprowadzonego sygnału sinusoidalnego jest równa częstotliwości rezonansowej.

Rezonans napięć

Rezonans występujący w obwodzie, w którym elementy R, L, C są połączonymi szeregowo, nazywamy rezonansem napięć lub rezonansem szeregowym. Pulsacja, przy której występuje rezonans napięć jest pulsacją rezonansową obwodu i wynosi: $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

W stanie rezonansu napięć:

- Impedancia obwodu jest równa rezystancji, $X=0$
- Napięcie przyłożone do obwodu jest równe napięciu na rezystancji
- Suma geometryczna napięć na indukcyjności i na pojemności jest równa zeru
- Napięcie na indukcyjności jest co do modułu równe napięciu na pojemności
- Wobec $X=0$, prąd w obwodzie może osiągnąć bardzo dużą wartość, a w przypadku małej rezystancji źródło napięcia pracuje niemal w warunkach zwarcia.

Rezonans prądów

Rezonans występujący w obwodzie, w którym są połączone równolegle gałęzie R, L oraz R, C lub gałęzie R, L, C, nazywamy rezonansem prądów lub rezonansem równoległym. Pulsacja, przy której występuje rezonans prądów, jest pulsacją rezonansową obwodu i wynosi: $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

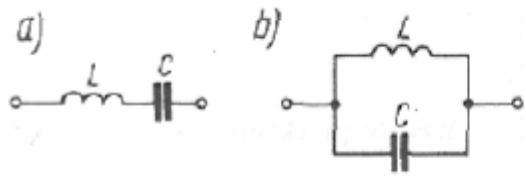
W stanie rezonansu napięć:

- Admitancja obwodu jest równa konduktancji, $B = 0$
- Prąd dopływający ze źródła jest równy prądowi płynącemu przez konduktancję
- Suma geometryczna prądów w gałęzi indukcyjnej i pojemnościowej jest równa zeru
- Prąd indukcyjny jest co do modułu równy prądowi pojemnościowemu
- Wobec $B = 0$, prąd całkowity ma bardzo małą wartość, a w przypadku bardzo małej konduktancji jest prawie równy zeru; źródło napięcia pracuje niemal w warunkach stanu jałowego.

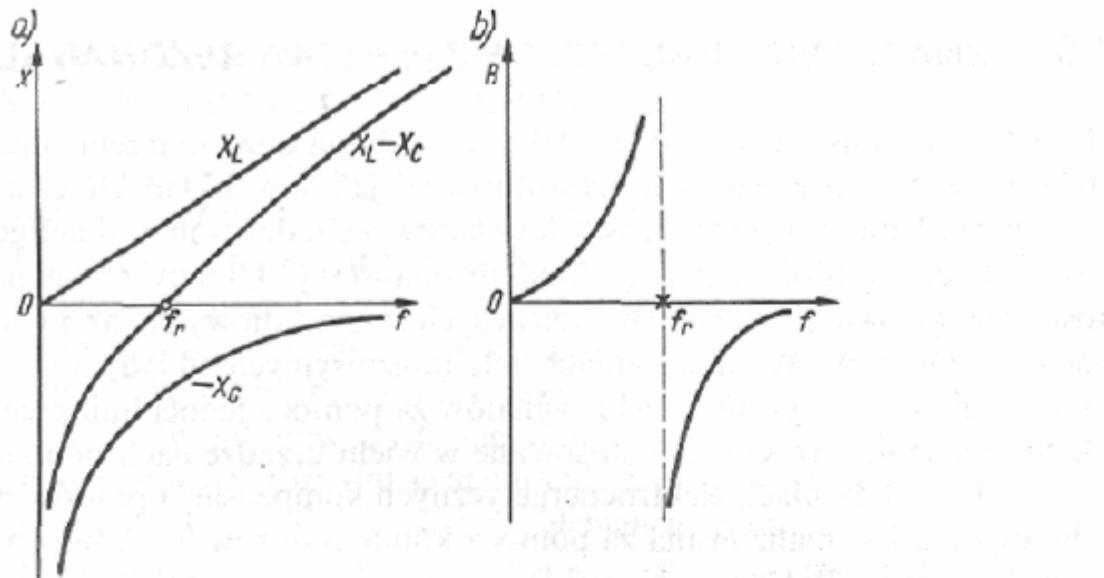
Rezonans może wystąpić również w obwodach szeregowo-równoległych.

Charakterystyki częstotliwościowe idealnych układów rezonansowych

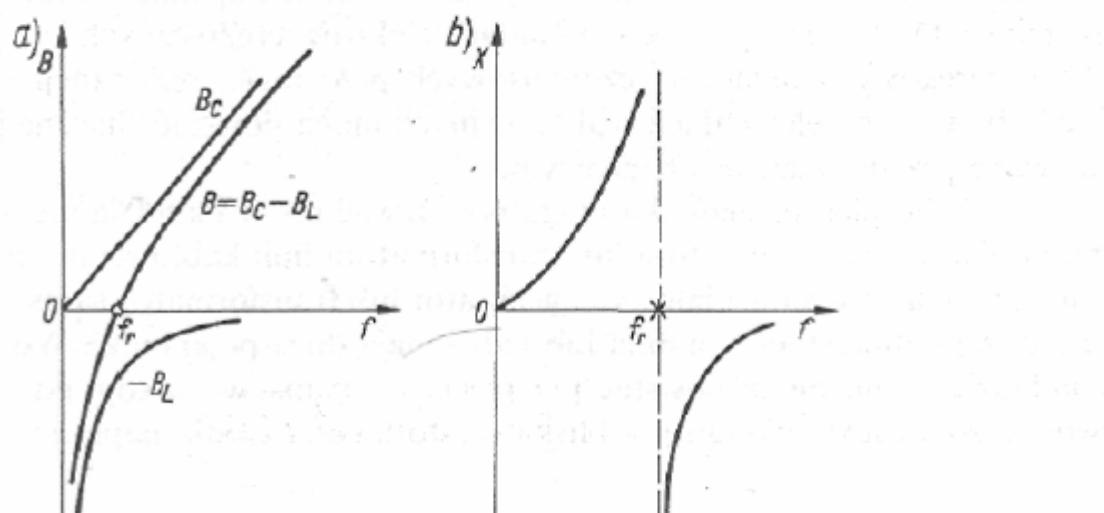
Charakterystyką częstotliwościową układu nazywamy zależność reaktancji lub susceptancji układu od częstotliwości.



Rys. 8.11. Schematy obwodów rezonansowych idealnych: a) obwód szeregowy; b) obwód równoległy



Rys. 8.12. Charakterystyki częstotliwościowe obwodu szeregowego pokazanego na rys. 8.11a: a) charakterystyki reaktancji; b) charakterystyki susceptancji



Rys. 8.13. Charakterystyki częstotliwościowe obwodu równoleglego pokazanego na rys. 8.11b: a) charakterystyki susceptancji; b) charakterystyki reaktancji

Źródła

1. Stanisław Bolkowski - *Teoria Obwodów Elektrycznych*

D. Stany przejściowe w obwodach elektrycznych. Metoda klasyczna i operatorowa

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:48

Stany przejściowe

Jeżeli w obwodzie wystąpią procesy łączeniowe, prowadząc do zmiany jego struktury lub do zmiany parametrów wymuszenia lub elementów obwodu, to następuje zmiana stanu obwodu z jednego stanu ustalonego do drugiego stanu ustalonego. Wspomniane zmiany struktury lub parametrów obwodu zachodzące w określonej chwili t_0 nazywamy komutacją.

Proces przejścia od jednego stanu ustalonego do drugiego stanu ustalonego nazywamy stanem nieustalonym (przejściowym).

W stanie nieustalonym zmienność napięć i prądów nie jest zgodna z charakterem wymuszeń działających w obwodzie.

Kluczowym momentem w analizie stanu nieustalonego jest określenie warunków początkowych, tj. wartości zmiennych (napięć i prądów oraz ewentualnie ich pochodnych) na elementach obwodu tuż po komutacji, co umownie oznacza się jako $t = t_{0+}$.

Jeśli w obwodzie znane są wartości i napięć w czasie $t=t_{0-}$ (czyli przed komutacją), to znana jest również m.in. Energia zmagazynowana w obwodzie w postaci energii pola elektrycznego i magnetycznego.

Prawa komutacji

Z elementami zachowawczymi, czyli elementami L i C, związane są tzw. Prawa komutacji wynikające z zasady zachowania energii - energia w polu elektrycznym elementu C i w polu magnetycznym elementu L nie może zmieniać się skokowo.

Energia w polu magnetycznym cewki zależy od strumienia magnetycznego skojarzonego z tą cewką. Wynika z tego zasada ciągłości w chwili komutacji strumienia skojarzonego z cewką o indukcyjności L. Wobec tego, że strumień skojarzony z cewką wyraża zależność $\Psi = Li$, zasada ciągłości strumienia magnetycznego jest równoznaczna z zasadą ciągłości prądu elektrycznego płynącego przez cewkę.
Stąd $\Psi(0^-) = \Psi(0^+) \rightarrow i_L(0^-) = i_L(0^+)$

Energia w polu elektrycznym kondensatora zależy od ładunku elektrycznego kondensatora. Wynika z tego zasada ciągłości ładunku elektrycznego q w chwili komutacji gałęzi z pojemnością. Wobec tego, że ładunek kondensatora wyraża zależność $q = Cu$, zasada ciągłości ładunku jest równoznaczna z zasadą ciągłości napięcia na zaciskach kondensatora. Stąd $q(0^-) = q(0^+) \rightarrow u_C(0^-) = u_C(0^+)$

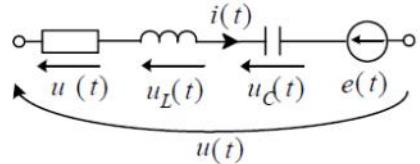
W przypadku idealnego elementu rezystancyjnego, odpowiedź jest proporcjonalna do wymuszenia. Wobec tego, zmienne wymuszenie powoduje natychmiastową zmianę odpowiedzi i przejście od jednego stanu ustalonego do drugiego stanu ustalonego jest natychmiastowe.

Istnieją obwody idealne, które nie spełniają praw komutacji. Są to obwody zawierające tzw. Węzły osobliwe lub oczka osobliwe. Wtedy wyznaczanie warunków początkowych na elementach L i C możliwe jest przy wykorzystaniu praw Kirchhoffa, uzupełnionych o zasadę zachowania ładunku w węźle lub zasadę zachowania strumienia w oczku.

Metoda klasyczna

Metoda klasyczna analizy stanu nieustalonego w obwodzie SLS bazuje na wykorzystaniu związków różniczkowo-całkowych na elementach obwodu oraz praw Kirchhoffa w zapisie sygnałowym (czasowym). Dla pojedynczej gałęzi zbudowanej z elementów RLC i źródła napięciowego II prawa

Kirchhoffa przyjmie postać:



$$u(t) = i(t)R + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t) dt + e(t)$$

Obwód rozgałęziony można opisać za pomocą układu równań Kirchhoffa.

W efekcie otrzymujemy układ praw Kirchhoffa, który jest układem równań różniczkowo-całkowych. Układ ten rozwiązuje się względem jednej wybranej zmiennej, tzn. wybranego prądu w gałęzi lub napięcia na elemencie. Ze względu na zachowawczość oraz definicyjne związki prądowo-napięciowe oparte na zależnościach różniczkowo-całkowych, przyjęto się rozwiązywać układ równań ze względu na wybrany prąd płynący przez cewkę lub napięcie na kondensatorze.

Po przekształceniach względem wybranej zmiennej, układ zostaje zredukowany do jednego równania opisującego daną zmienną, które ma charakter równania różniczkowego liniowego zwyczajnego o stałych współczynnikach, najczęściej niejednorodnego.

Metoda operatorowa

W przypadku obwodów wyższego rzędu, stosowanie metody klasycznej jest pracochłonne i czasochłonne. Wprowadzenie transformaty Laplace'a przenosi ciężar zapisu sygnału z dziedziny czasu do dziedziny zmiennej zespolonej s, która nosi nazwę operatora s.

Reprezentacja związków prądowo-napięciowych na elementach RLC skutkuje ich operatorowymi schematami zastępczymi. Transformacji Laplace'a można poddać cały obwód, z istniejącymi w nim sygnałami napięć i prądów oraz elementami i gałęziami. Schemat takiego obwodu nazywa się schematem operatorowym.

Zastosowanie transformacji Laplace'a w ujęciu prądów i napięć w obwodzie zachowuje w pełni najważniejsze prawa obwodowe, tj. I i II prawo Kirchhoffa. Transformacji podlegają nie tylko sygnały, lecz cały obwód łącznie z jego elementami. Prowadzi to do adaptacji znanych pojęć w znaczeniu operatorowym, np. impedancja czy admitancja operatorowa czy operatorowe prawo Ohma. Przetransformowanie całego obwodu pozwala mówić o schemacie operatorowym obwodu.

Do rozwiązywania napięć i prądów w schemacie operatorowym można wykorzystać wszystkie dostępne metody obwodowe. Stanowi to podstawię tzw. Metody operatorowej. Ostatecznie po rozwiązaniu obwodu metodą operatorową, szukane sygnały napięć czy prądów można odnaleźć jako transformatę odwrotną.

Źródła

1. Wykłady TO2 (slajdy)
2. Stanisław Bolkowski - *Teoria Obwodów*

2. Elementy i układy elektroniczne

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:50

A. Diody i stabilistory (diody Zenera): charakterystyki i zastosowanie

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:50

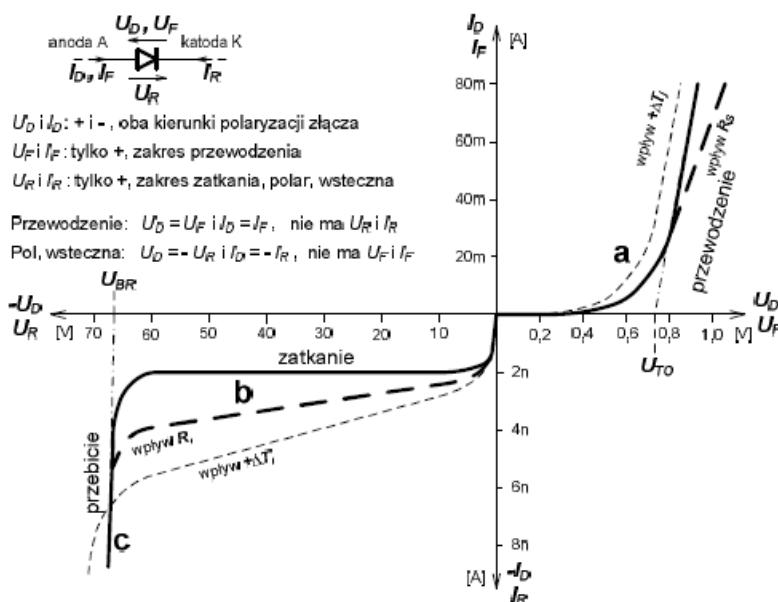
Diody

Dioda jest najprostszym, dwukoczkowym przyrządem półprzewodnikowym, o niesymetrycznej charakterystyce napięciowo-prądowej, czyli zależnej od kierunku przyłożenia napięcia do diody lub kierunku przepływu prądu przez nią.

Charakterystyka diody jest ponadto nieliniowa. Wynika to z konstrukcji stosującej złącze p-n (p - nośniki większościowe to dziury o ładunku elektrycznym dodatnim, n - nośniki większościowe to elektrony) dwóch obszarów półprzewodnika o różnym typie przewodnictwa lub złącza m-s (metal-półprzewodnik), by wykorzystać asymetrię diody.

Charakterystyki diody

W charakterystykach diody można wyróżnić trzy zakresy:



- a - **zakres przewodzenia** przy polaryzacji dodatniej, zwanej polaryzacją w kierunku przewodzenia; napięcie $U_F = U_D$ plusem do anody, dodatni prąd $I_F = I_D$ płynie przez diodę od anody do katody, rosnąc szybko - praktycznie wykładniczo ze wzrostem napięcia
- b - **zakres zatkania** przy polaryzacji ujemnej, zwanej polaryzacją wsteczną. Przez diodę płynie bardzo mały ujemny prąd, niewiele rosnąc z napięciem.
- c - **zakres przebicia** przy polaryzacji ujemnej; prąd rośnie lawinowo po przekroczeniu przez napięcie U_R progu przebicia U_{BR}

Wzrost temperatury złącza diody skutkuje maleniem spadku napięcia przewodzenia na diodzie przy stałym prądzie przewodzenia, wzrostem prądu wstecznego przy stałym napięciu wstecznym i wzrostem napięcia przebicia, jeżeli jest ono typu lawinowego lub maleniem napięcia przebicia jeśli jest ono typu Zenera.

Zastosowania diody

Diody stosuje się m.in. w:

- Prostownikach, detektorach, modulatorach
- Stabilizatorach parametrycznych

- Obwodach rezonansowych strojonych napięciowo
- Ogranicznikach, obwodach zabezpieczających
- Przetwornikach logarytmicznych i wykładniczych, mnożnikach,
- Sygnalizatorach i detektorach optycznych

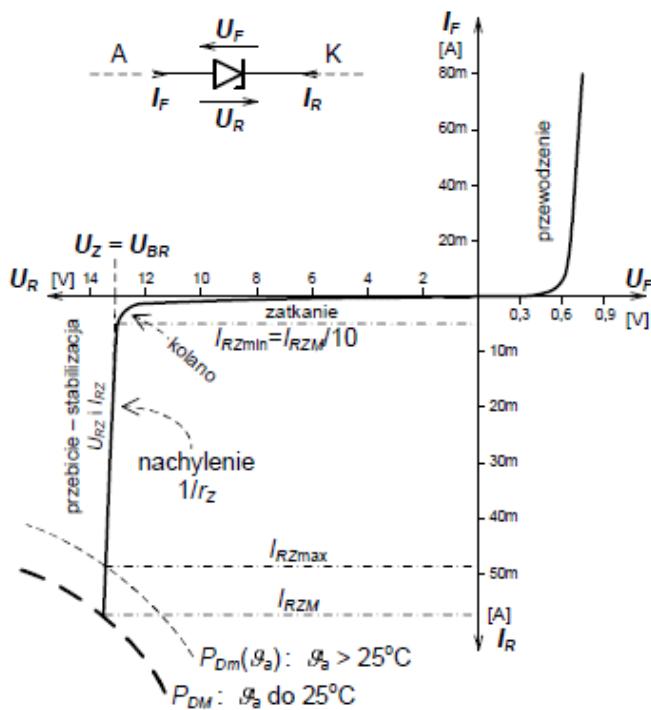
Stabilistory (diody Zenera)

Diody Zenera wykorzystuje się do stabilizacji napięcia. Pracują one w zakresie przebicia i znamionowa wartość napięcia przebicia U_{Zn} przy określonym prądzie wstecznym jest ich podstawowym parametrem, podawanym z określoną tolerancją. Czyste zjawisko Zenera występuje tylko w grupie diod o napięciu przebicia poniżej 5V, dla tego diody Zenera nazywane są też stabilistorami.

Dioda Zenera w gruncie rzeczy jest tą samą standardową diodą ze złączem PN, ale zaprojektowaną w taki sposób, by możliwe było uzyskanie niskiego, ściśle określonego napięcia przebicia wstecznego, co prowadzi do ograniczenia dowolnego napięcia wstecznego do niej przyłożonego. W normalnej diodzie prostowniczej można przyjąć, że napięcie wsteczne nie powoduje przepływu prądu. W diodzie Zenera, napięcie wsteczne przy określonej wartości powoduje przepływ prądu, co uniemożliwia dalszy wzrost napięcia.

Prąd diody Zenera przy pracy w zakresie przebicia musi być ograniczony do wartości wynikającej z granicznej wartości mocy diody. Minimalny prąd, przy którym można uznać że dioda się już stabilizuje, na lewo od kolana charakterystyki, to 10% granicznego prądu wyznaczonego z mocy maksymalnej diody.

Charakterystyka diody Zenera wygląda następująco:



Źródło

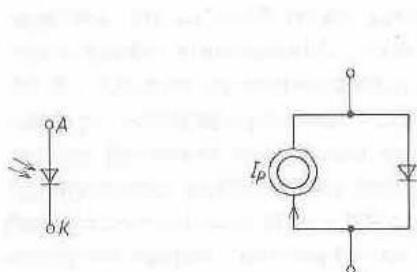
1. Piotr Madej - *Ćwiczenia Laboratoryjne z Podstaw Elektroniki*
2. Dioda Zenera – Co to jest i jakie ma zastosowanie? https://www.itselect.pl/inne/nauka/dioda-zenera-co-to-jest-i-jakie-ma-zastosowanie#Roznice_miedzy_dioda_Zenera_a_zwykla_dioda

B. Elementy optoelektroniczne: fotodiody, diody elektroluminescencyjne, fotorezystory, fototranzystory, transitory

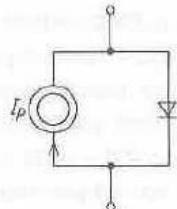
poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:50

Fotodiody

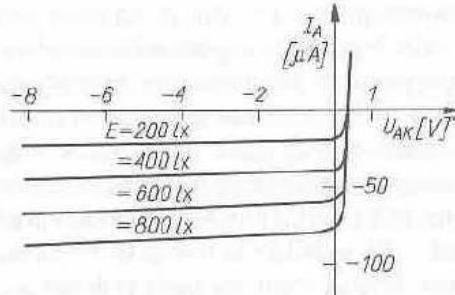
Charakterystyczną cechą fotodiody jest przepływ zwarciowego prądu wstecznego, który jest proporcjonalny do natężenia oświetlenia. Zjawisko to można wykorzystać do pomiarów fotometrycznych. Fotodiody wyposażone są do tego celu w szklane okna w obudowie. Poniżej przedstawiono schemat i charakterystykę fotodiody.



Rys. 6.5. Symbol graficzny fotodiody



Rys. 6.6. Schemat zastępczy fotodiody



Rys. 6.7. Charakterystyki fotodiody

Fotodiody nie wymagają zewnętrznego źródła napięcia. Po doprowadzeniu napięcia wstecznego prąd fotoelektryczny praktycznie nie ulega zmianie. Ze względu na mały prąd fotoelektryczny, fotodiody wymagają z reguły współpracy ze wzmacniaczem.

Diody elektroluminescencyjne

Diody elektroluminescencyjne są wykonywane z arsenku lub fosforku galu (czyli nie krzem czy german, jak standardowe półprzewodniki). Diody te emitują promieniowanie świetlne, gdy przepływa przez nie prąd przewodzenia. Zakres widmowy emitowanego strumienia świetlnego jest ostro ograniczony i zależy od zastosowanych materiałów wyjściowych. Już prądy rzędu kilku mA wystarczają do uzyskania wyraźnie widocznego świecenia, dlatego diody tego typu nadają się szczególnie do wykorzystania jako wskaźniki w układach półprzewodnikowych.

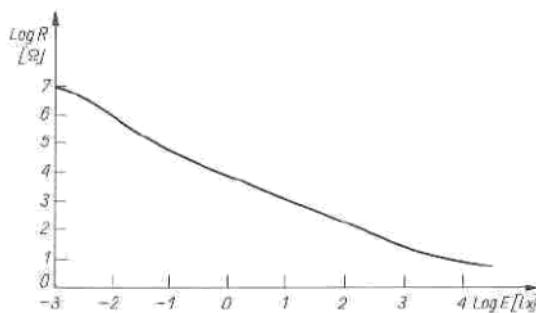


Fotorezystory

Fotorezystory to bezłączowe przyrządy półprzewodnikowe, których rezystancja zależy od natężenia oświetlenia. Symbol i charakterystykę fotorezystora przedstawiono poniżej:



Rys. 6.2. Symbol graficzny fotorezystora



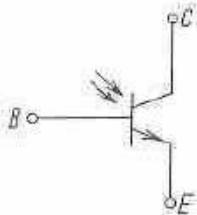
Rys. 6.3. Charakterystyka fotorezystora

Fotorezystor zachowuje się tak jak zwykły rezistor, tzn. wartość jego rezystancji nie zależy od wartości ani od kierunku doprowadzonego napięcia. Przy większych natężeniach oświetlenia rezystancja dąży do pewnej wartości minimalnej zwanej rezystancją jasną, a przy bardzo małych - zwiększa się i rośnie do wartości rezystancji ciemnej.

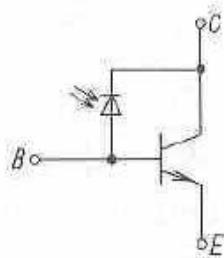
Fotorezystory cechują się bardzo dużą czułością, więc nadają się do pomiarów małych natężeń oświetlenia. Można je stosować również jako sterowane rezystancje oraz do bezpośredniego sterowania przekaźników.

Fototranzystry

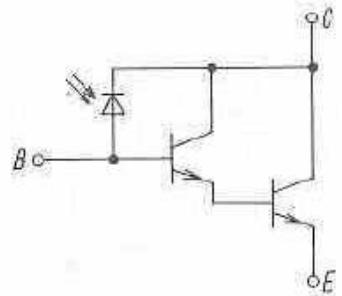
Fototranzystror jest tranzystorem, którego złącze kolektor-baza jest wykonane jako fotodiody. Prąd fotodiody wywołuje przepływ prądu bazy, a tym samym wzmacnionego prądu kolektora. Fototranzystry bez wyprowadzonego zacisku bazy nazywa się podwójnymi fotodiodami.



Rys. 6.11. Symbol graficzny fototranzystrora



Rys. 6.12. Schemat zastępczy fototranzystrora



Rys. 6.13. Schemat zastępczy fototranzystrora w układzie Darlingtona

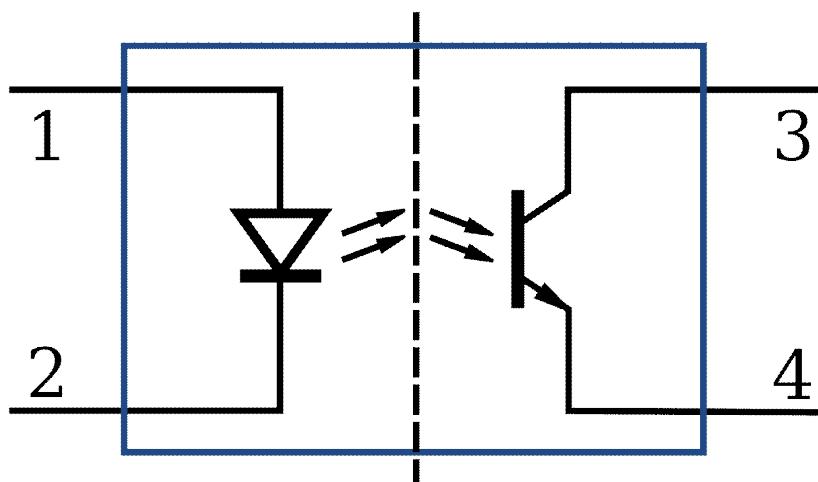
Czyli praktycznie są to tranzystory, które łączą się działaniem światła na fotodiode (i przez to prąd wsteczny łączy tranzystor).

Transoptory

Połączenie diody elektroluminescencyjnej z odbiornikiem fotoelektrycznym (np. fototranzystrorem) umożliwia przetwarzanie prądu wejściowego na prąd wyjściowy, który może przepływać przez element znajdujący się na dowolnym potencjale. Tego rodzaju transoptory są dostępne jako elementy umieszczone w typowych obudowach układów scalonych.

Najważniejszym parametrem transoptora jest jego współczynnik wzmacnienia prądowego K.

Typowy transoptor (optoizolator) składa się z co najmniej jednego fotoemitera i co najmniej jednego fotodetektora umieszczonych we wspólnej obudowie.



Źródło

1. Tietze, Schenk - *Układy Półprzewodnikowe*
2. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Transoptor>

C. Tranzystory: zasada działania, rodzaje oraz oznaczenia, podstawowe układy wzmacniaczy tranzystorowych, zastosowania

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:50

Tranzystory - zasada działania

Tranzystor jest elementem półprzewodnikowym o trzech elektrodach, który służy do przełączania lub wzmacniania sygnału. Rozróżnia się tranzystory krzemowe i germanowe. Każdy z nich może być typu pnp lub npn.

Tranzystor składa się z dwu przeciwnie połączonych diod, mających wspólną warstwę n lub p. Dołączona do tej warstwy elektroda nazywa się bazą B. Pozostałe dwie elektrody noszą nazwy emitera E i kolektora C.

Główną cechą tranzystora jest to, że prąd kolektora jest proporcjonalny do prądu bazy.

Zasada działania tranzystora bipolarnego polega na tym, że niewielki prąd płynący pomiędzy bazą a emiterem steruje większym prądem płynącym między kolektorem a emiterem.

Zasada działania tranzystora unipolarnego polega na tym, że bramka G jest elektrodą sterującą i można przy jej pomocy sterować rezystancję między drenem D i źródłem S. Napięciem sterującym jest napięcie U_{GS} .

Rodzaje tranzystorów

Tranzystory dzieli się na:

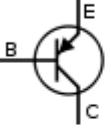
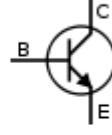
- **Bipolarne** - sterowane prądem bazy
 - PNP
 - NPN
- **Unipolarne** - sterowane napięciem bramki (polem elektrycznym)
 - **Złączowe JFET** - z połączoną galwanicznie bramką
 - MSFET,
 - PNFET,
 - **Z izolowaną bramką IGFET** - gdzie bramka tranzystora jest izolowana warstwą tlenku półprzewodnika;
 - MOSFET
 - TFT
- **Jednozłączowe**
Jednozłączowe tranzystory zawierają półprzewodnikowy element przełączający zawierający jedno złącze p-n i 3 elektrody;
- **IGBT**
IGBT to tranzystory bipolarne z izolowaną bramką, które łączą zalety tranzystorów polowych (łatwość sterowania) oraz bipolarnych (wysokie napięcie przebicia i szybkość przełączania).

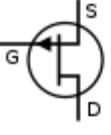
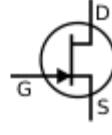
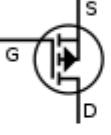
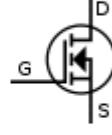
Tranzystory można dzielić ze względu na:

- Typy użytych półprzewodników
 - Bipolarne - pnp, npn
 - Unipolarne - z kanałem typu p lub typu n
- Materiał półprzewodnikowy
 - German
 - Krzem
 - Arsenek galu
 - Azotek galu
 - Węglik krzemu

- Parametry
 - Małej mocy, małej częstotliwości
 - Dużej mocy, małej częstotliwości
 - Małej mocy, wielkiej częstotliwości
 - Dużej mocy, wielkiej częstotliwości
 - Przełączające (impulsowe)

Oznaczenia tranzystorów

Symbole tranzystorów	
bipolarne	
	
typu pnp	typu npn

JFET	
	
MOSFET	
MOSFET	
	
	
z kanałem p	z kanałem n

Podstawowe układy wzmacniaczy tranzystorowych

Istnieją trzy podstawowe układy pracy tranzystora bipolarnego jako wzmacniacza. Zależnie od tego, czy emiter, kolektor lub baza mają stały potencjał, rozróżnia się:

- układy ze wspólnym emiterem
- Układy ze wspólnym kolektorem
- Układy ze wspólną bazą

W przypadku wykorzystania tranzystora polowego, wyróżnia się:

- Układ ze wspólnym źródłem
- Układ ze wspólnym drenem
- Układ ze wspólną bramką

Układy te stanowią podstawę wszystkich układów tranzystorowych.

Układ ze wspólnym emiterem WE

Wzmacniane napięcie sygnału wejściowego podawane jest pomiędzy bazę a emiterem tranzystora, natomiast sygnał po wzmacnieniu odbierany jest spomiędzy kolektora a emitera. Emiter jest więc wspólny dla sygnałów wejściowego i wyjściowego. Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera odwraca polaryzację sygnału podawanego na wejście. Wzmacniacze tego typu są najczęściej

wykorzystywany typem wzmacniaczy.

Układ ze wspólnym kolektorem WK

Wzmacniane napięcie sygnału wejściowego podawane jest pomiędzy bazę a kolektor tranzystora, natomiast sygnał po wzmacnieniu odbierany jest spomiędzy kolektora a emitera. Kolektor jest więc wspólny dla sygnałów wejściowego i wyjściowego. Wzmacniacz ze wspólnym kolektorem ma wzmacnienie napięciowe równe jeden, stąd nazwa **wtórnik emiterowy**. Brak wzmacnienia napięciowego to jedno, ale wtórnik emiterowe charakteryzuje się wysokim wzmacnieniem prądowym.

Układ ze wspólną bazą WB

Wzmacniane napięcie sygnału wejściowego podawane jest pomiędzy bazę a emiter tranzystora, natomiast sygnał po wzmacnieniu odbierany jest spomiędzy bazy i kolektora. Baza jest więc wspólna dla sygnałów wejściowego i wyjściowego. Układ ten ma wzmacnienie napięciowe większe od jedności i niską impedancję wejściową. Stosowany głównie tam, gdzie zachodzi potrzeba dopasowania do źródeł sygnału o małej impedancji wyjściowej, np. w przedwzmacniaczach do mikrofonów magnetoelektrycznych z ruchomą cewką.

Zastosowania tranzystorów

Tranzystory ze względu na właściwości wzmacniające znajdują bardzo szerokie zastosowanie. Są wykorzystywane do budowy wzmacniaczy różnego rodzaju: różnicowych, operacyjnych, mocy, selektywnych, szerokopasmowych. Stosuje się je także w układach elektronicznych takich jak źródła prądowe, lustra prądowe, stabilizatory, przesuwniuki napięcia, klucze elektroniczne, przerzutniki, generatory i wiele innych.

Z tranzystorów buduje się również bramki logiczne realizujące podstawowe funkcje boolowskie, co przyczyniło się do rozwoju techniki cyfrowej. Z tranzystorów zbudowane są różne rodzaje pamięci (RAM, ROM), a także układy scalone, mikroprocesory itd.

Źródło

1. Tietze, Schenk - *Układy Półprzewodnikowe*
2. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Tranzystor>
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Tranzystor_bipolarny
4. https://pl.wikipedia.org/wiki/Tranzystor_polowy
5. <https://pl.wikipedia.org/wiki/IGBT>
6. https://pl.wikipedia.org/wiki/Wzmacniacz_tranzystorowy
7. https://pl.wikipedia.org/wiki/Wsp%C3%B3lny_emiter
8. https://pl.wikipedia.org/wiki/Wsp%C3%B3lny_kolektor
9. https://pl.wikipedia.org/wiki/Wsp%C3%B3lna_baza

D. Wzmacniacz operacyjny: parametry wzmacniacza idealnego i rzeczywistego, wybrane układy pracy wzmacniaczy operacyjnych (liniowe i nieliniowe)

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:50

Wzmacniacz operacyjny

Wzmacniacz operacyjny to wzmacniacz prądu stałego o bardzo dużym wzmacnieniu. Jego nazwa wywodzi się od pierwotnego zastosowania do wykonywania operacji matematycznych w maszynach analogowych. Właściwości funkcjonalne wzmacniacza operacyjnego mogą być kształtowane przez odpowiedni dobór pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Z tego powodu jest to najbardziej uniwersalny układ analogowy o bardzo szerokich możliwościach zastosowań.

Wzmacniacz różnicowy ma dwa wejścia umożliwiające symetryczne (różnicowe) podawanie sygnału wejściowego i niesymetryczne wyjście. Wejścia dzieli się na odwracające i nieodwracające. Sygnał między wejściami wzmacniacza to sygnał różnicowy. Napięcie wyjściowe jest wprost proporcjonalne do amplitudy tego sygnału.

Idealny a rzeczywisty wzmacniacz operacyjny

Idealny wzmacniacz operacyjny charakteryzuje takie parametry, jak:

- Nieskończenie duże wzmacnienie przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego A
- Nieskończenie szerokie pasmo przenoszenia
- Zerowa rezystancja wyjściowa i nieskończenie duża rezystancja wejściowa przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego
 - Nieskończenie duża wejściowa impedancja - między wejściami różnicowymi oraz między każdym wejściem a masą
- Napięcie wyjściowe równe zeru przy zerowej wartości różnicowego napięcia wejściowego, czyli zerowe napięcie niezrównoważenia.
- Nieskończenie mały wejściowy prąd polaryzacji
- Nieskończone tłumienie sygnału sumacyjnego CMRR

W rzeczywistych układach parametry tego typu są nieosiągalne ze względu na ograniczenia konstrukcyjne. Niemniej jednak, parametry współczesnych wzmacniaczy operacyjnych mogą mieć wartości:

- Wzmocnienie z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego $A_0 = 10^4 \div 10^6 \text{ V/V}$
- Rezystancja wejściowa $R_i = 0,5 \div 10^4 \text{ M}\Omega$
- Rezystancja wyjściowa z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego $R_o = 50 \div 200 \Omega$
- Częstotliwość graniczna $f_1 = 1 \div 100 \text{ MHz}$

Wybrane układy pracy wzmacniaczy operacyjnych

Podstawowymi układami pracy wzmacniaczy operacyjnych są:

- **Wzmacniacz odejmujący**
- **Wzmacniacz sumujący** - za pomocą tego wzmacniacza można łatwo zrealizować operację matematyczną sumowania napięć.
- **Wzmacniacz całkujący** - zastosowanie kondensatora w obwodzie sprzężenia zwrotnego wzmacniacza odwracającego pozwala na uzyskanie wzmacniacza całkującego.
- **Wzmacniacz różniczkujący**
- Konwerter prąd-napięcie
- Przesuwnik fazy
- Prostownik idealny
- Konwerter ujemnoimpedancyjny
- Żyrator

Układy omawiane w ramach przedmiotu podstawy elektroniki

Liniowe przetworniki sygnału na wzmacniaczu operacyjnym:

- **Wzmacniacz nieodwracający** - układ, w którym sygnał jest doprowadzany do wejścia nieodwracającego, a do wejścia odwracającego dołączony jest dzielnik napięciowy obwodu sprzężenia zwrotnego. Napięcia wejściowe i wyjściowe we wzmacniaczu nieodwracającym są w tej samej fazie. W układzie tym nie da się uzyskać wzmacnienia mniejszego od 1.
- **Wtórnik napięciowy** - najprostszy układ wzmacniacza, w którym nie stosuje się praktycznie elementów biernych; do wejścia odwracającego podłączona jest pętla sprzężenia zwrotnego z wyjścia i nic więcej
- **Wzmacniacz odwracający** - układ, w którym wzmacniany sygnał jest doprowadzany do wejścia odwracającego, a wejście nieodwracające jest podłączone do masy układu. Napięcie wyjściowe tego układu jest w przeciwnie do napięcia wejściowego.
- **Wzmacniacz selektywny** - układ, w którym w pętli sprzężenia zwrotnego wokół wzmacniacza operacyjnego stosuje się czwórnik selektywny. Układ ten wyróżnia sygnały o częstotliwości określonej przez zastosowany czwórnik.
- **Przetwornik U/I** - układ ten zmienia wielkość napięcia na prąd. Układ ten jest z definicji wzmacniaczem mocy sygnału. Cechą charakterystyczną jest fakt, że obciążenie podłączane jest w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego.
- **Wzmacniacz różnicowy** - jest odmianą wzmacniacza napięciowego. Podstawowym zadaniem takiego układu jest wzmacnianie różnicy napięć między wejściami i brak reakcji na wspólny sygnał wejściowy. Miarą jakości wzmacniacza różnicowego jest CMRR, współczynnik tłumienia sygnału wspólnego. Układ oparty na WO oprócz samego WO ma cztery rezystory określające wzmacnienie różnicowe.

Nieliniowe przetworniki sygnału na WO:

- **Przetwornik logarytmujący** - przetwornik tego rodzaju stosowany jest do kompresji dynamiki wartości sygnału, np. z kilku dekad zmienności na jedną dekadę, oraz w układach wykonujących analogowo operacje uważane powszechnie za czysto numeryczne, jak np. mnożenie czy dzielenie. W układzie przetwornika oprócz WO stosowany jest też element półprzewodnikowy o wykładniczej zależności prądu od napięcia. Sygnał wejściowy prądu jest przetwarzany na napięcie wyjściowe.
- **Pomiarowy przetwornik AC-DC** - układ ten to inaczej prostownik, czyli układ dający na wyjściu wartość bezwzględną z przemienneego sygnału wejściowego. Wersja podstawowa tego układu składa się z dwóch stopni na wzmacniaczach operacyjnych - pierwszy stopień to układ nieliniowy, w którym wzmacniacz pracuje z dwiema diodami, a drugi to klasyczny liniowy sumator odwracający. Cały układ prostuje dwupołówkowo sygnał wejściowy.

Źródło

1. Piotr Madej - *Ćwiczenia Laboratoryjne z Podstaw Elektroniki*
2. Rusek - *Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach*
3. Czujniki i przetworniki - prezentacja z wykładu (Ziaja)
4. https://pl.wikipedia.org/wiki/Wzmacniacz_operacyjny#Wzmacniacz_rzeczywisty
5. <http://elektron.pol.lublin.pl/keo/dydaktyk/Ins/Cw07pdf.pdf>

E. Elementy techniki cyfrowej: układy kombinacyjne i sekwencyjne, wybrane przykłady układów, opis ich działania oraz zastosowania

poniedziałek, 4 stycznia 2021 08:51

Układy kombinacyjne

Układy cyfrowe wykonują operacje na sygnałach skwantowanych (nieciągłych), przede wszystkim binarnych (dwustanowych), zwanych zerem logicznym i jedynką logiczną lub "prawdą i fałszem". Układy cyfrowe są wykonywane jako scalone zestawy w jednej obudowie jednego do kilku egzemplarzy jednego typu układu - funktora lub bloku operacyjnego.

Cyfrowe układy kombinacyjne to taka grupa, w której określony zestaw stanów sygnałów wejściowych skutkuje zawsze jednoznacznie przyporządkowaną kombinacją stanów sygnałów wyjściowych, niezależnie od czasu i historii układu, tj. wcześniejszych sygnałów wejściowych - gdy układ jest sprawny. Do najprostszych układów tej grupy należą funktory logiczne, realizujące podstawowe operacje na dwustanowych sygnałach. Pozostałe układy kombinacyjne powstają przez połączenie tych podstawowych funktorów.

Podstawowymi opercjami logicznymi są:

- Negacja (NOT)
- Suma (OR)
- Iloczyn (AND)

W układach scalonych, stosuje się także:

- Zanegowaną sumę (NOR)
- Zanegowany iloczyn (NAND)
- Suma modulo 2 (EX-OR)

Bardzo proste układy kombinacyjne można budować z podstawowych funktorów, stosując zasady algebry Boole'a. Większe układy kombinacyjne zawierające dużo wejść i wyjść, powinny być na etapie projektowania minimalizowane.

Współczesne scalone układy cyfrowe są budowane z zastosowaniem tranzystorów, pracujących w nich dwustanowo: zatkanie albo pełne przewodzenie. Podstawowy podział technologii pochodzi od podziału tranzystorów na bipolarne i polowe. Są to odpowiednio TTL oraz CMOS.

Układy TTL LS utrzymują dobrą szybkość działania przy wyraźnie obniżonej mocy, ale podstawową technologią układów o bardzo dużym stopniu scalenia jest CMOS.

Wybrane przykłady układów, opis ich działania oraz zastosowania

Do funkcjonalnych bloków kombinacyjnych zalicza się:

- **Multiplekser** - układ służący do wyboru jednego z kilku sygnałów wejściowych i przekazaniu go na wyjście
- **Koder** - służy do przedstawiania informacji tylko jednego aktywnego wejścia na postać binarną
- **Sumator** - układ który wykonuje operacje dodawania dwóch liczb dwójkowych
- **Komparator** - układ służący do porównywania dwóch liczb binarnych albo dwóch poziomów napięć

Układy kombinacyjne często są stosowane do przeliczeń i przekodowywania liczb.

Układy sekwencyjne

Cyfrowe układy sekwencyjne nie działają tak jednoznacznie jak układy kombinacyjne. **W układzie**

sekwencyjnym reakcją wyjściową może być dodatkowo uzależniona od historii układu, czyli także od wcześniejszej kombinacji stanów na wejściach oraz wcześniejszego stanu na wyjściu. Dzieje się tak ze względu na zapętlenia sygnałów wstecz oraz bloki pamięci, stosowane w układach sekwencyjnych.

Wejścia w układzie sekwencyjnym dzielą się na trzy grupy: podstawowe wejścia danych, wejścia zerujące i ustawiające (ustalające początkowe warunki pracy układu), wejścia synchronizujące (określają moment otwarcia układu na przyjęcie danych oraz moment zmiany stanów na wyjściach układów).

Istotną cechą układów sekwencyjnych jest pamięć. Buduje się ją za pomocą elementarnych jednobitowych komórek pamiętających, zwanych przerzutnikami bistabilnymi.

Przykładami przerzutników bistabilnych mogą być:

- Przerzutnik RS zbudowany z dwóch bramek NOR
- Przerzutnik RS zbudowany z dwóch bramek NAND
- Przerzutnik D kluczowy
- Przerzutnik wyzwalany zboczem

Wybrane przykłady układów, opis ich działania oraz zastosowania

Ważną grupę układów sekwencyjnych stanowią liczniki. Licznikiem może być każdy układ, w którym w pewnym sensie istnieje jednoznaczne przyporządkowanie liczbie wprowadzonych impulsów stanu zmiennych wyjściowych. Można realizować liczniki synchroniczne, asynchroniczne i dwukierunkowe. Można także realizować liczniki stosując kod dwójkowo-dziesiętny BCD.

Oprócz zwykłych liczników, można także tworzyć liczniki nastawne (o programowanej pojemności), które dają sygnał wyjściowy w chwili osiągnięcia przez liczbę impulsów wejściowych uprzednio wybranej wartości. Sygnał wyjściowy można wykorzystać do wyzwalania określonego przebiegu.

Innymi układami sekwencyjnymi są rejesty przesuwające, czyli łańcuchy zbudowane z przerzutników, które umożliwiają przesuwanie informacji podanej na wejście o jeden przerzutnik w każdym taktie zegara. Po przejściu przez cały łańcuch informacja jest dostępna na wyjściu z opóźnieniem, ale w niezmienionej postaci.

Źródła:

1. Piotr Madej - *Ćwiczenia Laboratoryjne z Podstaw Elektroniki*
2. Tietze, Schenk - *Układy półprzewodnikowe*
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Uk%C5%82ad_kombinacyjny

3. Pomiary wielkości elektrycznych

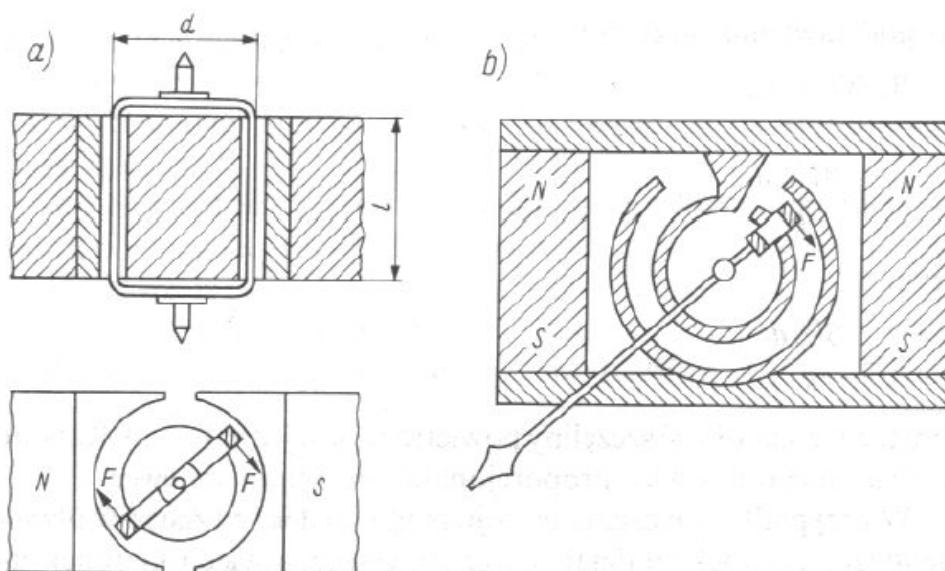
poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:30

A. Elektryczne przyrządy analogowe – magnetoelektryczne, elektromagnetyczne i elektrodynamiczne. Zasada działania i zastosowanie.

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

Przyrządy magnetoelektryczne

Mierniki magnetoelektryczne są to mierniki, w których odchylenie organu ruchomego jest wywołane działaniem pola magnetycznego magnesu trwałego na cewkę, przez którą płynie prąd. Ruchomy może być magnes trwały albo cewka z prądem. W pierwszym przypadku ustrój albo miernik jest nazywany magnetoelektrycznym o ruchomym magnesie, w drugim natomiast - magnetoelektrycznym o ruchomej cewce. Bardziej rozpowszechnione są mierniki magnetoelektryczne o ruchomej cewce.



Rys. 6.2. Schematy konstrukcji ustrojów magnetoelektrycznych o ruchomej cewce:
a) o kącie odchylenia do 90° ; b) o kącie odchylenia do 240°

Mierniki magnetoelektryczne są, jak wynika to z ich zasady działania, miernikami prądu stałego, ale przy zastosowaniu prostowników są też używane do pomiarów prądu przemiennego. Buduje się je jako amperomierze, woltomierze, laboratoryjne i techniczne, oraz jako galwanometry, omomierze, megaomomierze. Często są stosowane jako mierniki aparatowe.

Miernik magnetoelektryczny reaguje odchyleniem cewki tylko na prąd stały. Duża bezwładność organu ruchomego nie pozwoliłaby mu na nadążanie za zmieniającym kierunek co pół okresu momentem napędowym wytwarzanym przez prąd przemienny.

Mierniki magnetoelektryczne są naturalnymi amperomierzami prądu stałego. Ich obciążalność prądowa jest ograniczona do kilkuset miliamperów. Chcąc mierzyć większe prądy, trzeba stosować oporniki bocznikujące cewkę, zwane krótko bocznikami.

Magnetoelektryczny ustrój pomiarowy z szeregowołączonym opornikiem o małym współczynniku temperaturowym rezystancji umożliwia pomiar napięcia.

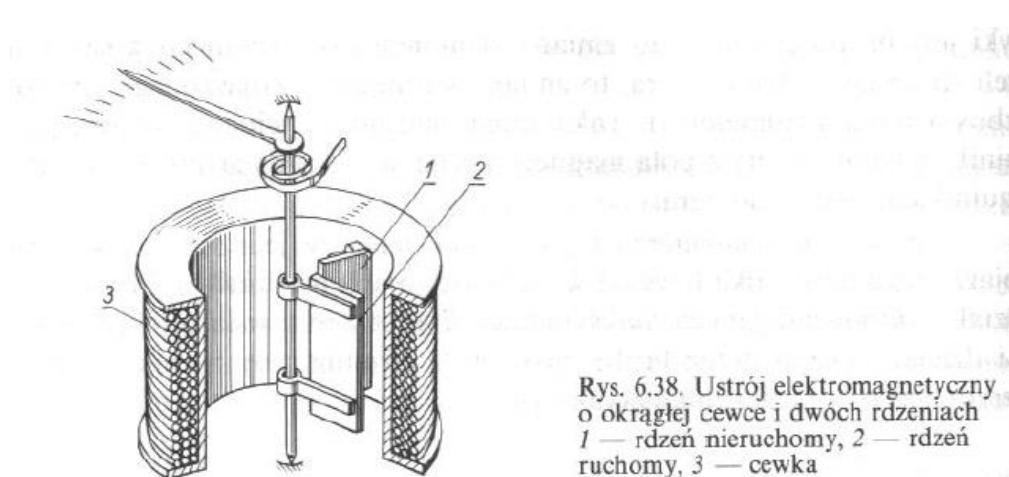
Oprócz tego, urządzenia magnetoelektryczne można stosować jako omomierze (w układzie szeregowym lub równoległym) oraz megaomomierze (logometry).

Dodatkowym rodzajem przyrządów magnetoelektrycznych są **mierniki magnetoelektryczne z przetwornikami**, nazywane czasem analogowymi miernikami elektronicznymi. Wykorzystuje się w nich najczęściej wzmacniacze prądu stałego, prostowniki, przetworniki mnożące i kwadratujące. Struktura przetwornika zależy od funkcji jaką powinien spełniać. Dzięki temu można budować woltomierze elektroniczne napięcia stałego, amperomierze elektroniczne prądu stałego, woltomierze i amperomierze elektroniczne prądu przemiennego (zawierają układ prostowniczy), a także multymetry analogowe i omomierze elektroniczne. Innymi są częstociomierze i fazomierze elektroniczne.

Galwanometry są także rodzajem urządzeń magnetoelektrycznych.

Przyrządy elektromagnetyczne

Zasada działania ustroju elektromagnetycznego polega na wzajemnym oddziaływaniu jednego lub kilku elementów ruchomych wykonanych z materiału ferromagnetycznego (rdzeni) i pola magnetycznego wytwarzanego przez jedną lub kilka cewek, w których płynie prąd mierzony lub prąd proporcjonalny do mierzonego napięcia. Obecnie najczęściej są budowane ustroje o okrągłej cewce i dwóch rdzeniach - ruchomym i nieruchomym.



Rys. 6.38. Ustrój elektromagnetyczny o okrągłej cewce i dwóch rdzeniach
1 — rdzeń nieruchomy, 2 — rdzeń ruchomy, 3 — cewka

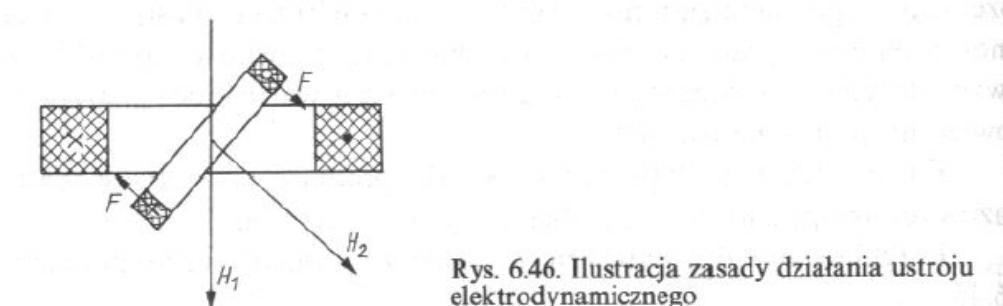
Mierniki elektromagnetyczne są przede wszystkim miernikami prądu przemiennego. Mogą mierzyć również prąd stały, ale mniej dokładnie i dlatego używa się ich do tego celu dużo rzadziej. Mierniki te buduje się głównie jako amperomierze i woltomierze, najczęściej mniej dokładne, ale proste, tanie i niezawodne mierniki tablicowe. Do mierników elektromagnetycznych można też zaliczyć niektóre konstrukcje fazomierzy i częstociomierzy analogowych.

Amperomierze elektromagnetyczne wykonywane są jako bezpośrednie, tzn. że cały prąd mierzony płynie przez cewkę ustroju. Ich zakres osiąga ok. 30 A. Ustrój pomiarowy woltomierza elektromagnetycznego różni się od ustroju amperomierza tylko liczbą zwojów cewki. Cewka woltomierza ma większą liczbę zwojów z cieńszego drutu, a w szeregu z niąłączony jest opornik szeregowy.

Oprócz tego, tworzy się ustroje elektromagnetyczne ilorazowe. Są stosowane jako fazomierze elektromagnetyczne.

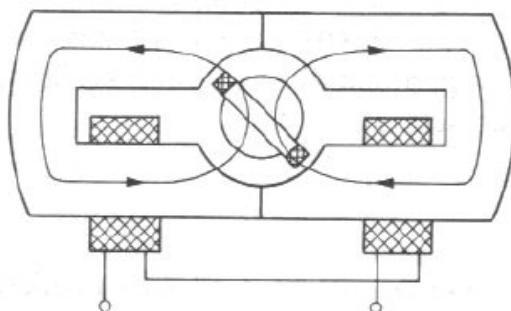
Przyrządy elektrodynamiczne

Działanie ustroju elektrodynamicznego jest oparte na wykorzystaniu sił występujących między cewkami, w których płyną prądy. W polu magnetycznym wytwarzonym przez prąd płynący w cewce nieruchomej znajduje się cewka ruchoma. Prąd do cewki ruchomej jest doprowadzony za pomocą dwu sprężyn spiralnych lub za pomocą taśm zawieszeniowych wytwarzających jednocześnie moment zwracający. Między bokami cewek występują siły wytwarzające moment napędowy. Moment ten obraca cewkę ruchomą tak, aby kierunki pól magnetycznych obu cewek były zgodne.



Rys. 6.46. Ilustracja zasady działania ustroju elektrodynamicznego

Wprowadzenie materiału ferromagnetycznego do obwodu magnetycznego ustroju elektrodynamicznego pozwala zwiększyć strumień magnetyczny cewki nieruchomej bez zwiększenia mocy pobieranej z obwodu kontrolowanego. Ustroje o takiej konstrukcji nazywane są ustrojami ferrodynamycznymi. Mają one większe momenty napędowe niż ustroje elektrodynamiczne i są od nich bardziej wytrzymałe mechanicznie.



Rys. 6.47. Ustrój ferrodynamiczny

Mierniki elektrodynamiczne, najdokładniejsze z mierników analogowych, zostały już właściwie wyparte przez jeszcze dokładniejsze mierniki cyfrowe, natomiast powszechnie stosowane są jeszcze watomierze ferrodynamyczne. Mierniki elektrodynamiczne charakteryzują się tym, że pracują z prawie taką samą, bardzo dużą dokładnością zarówno przy prądzie stałym, jak i zmiennym. Znane są amperomierze, woltomierze i watomierze laboratoryjne najwyższych klas.

Urządzeniami elektrodynamicznymi są przede wszystkim watomierze i waromierze. Różnią się one od siebie jedynie układem.

Źródło

1. Chwaleba, Poniński, Siedlecki - *Metrologia Elektryczna*
2. Czajewski - *Podstawy metrologii elektrycznej*

B. Pomiary rezystancji i impedancji układami mostkowymi

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

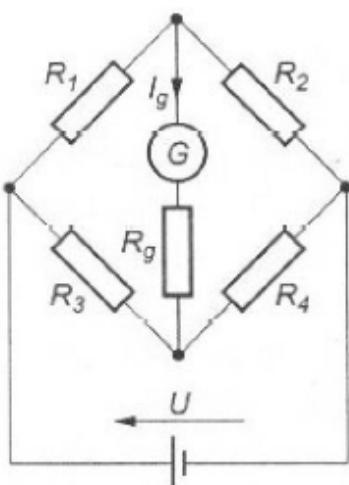
Mostki prądu stałego

Mostki rezystancyjne zasilane prądem stałym stanowią grupę narzędzi pomiarowych przeznaczonych do pomiaru rezystancji. Stosowane są dwie podstawowe odmiany - mostki czteroramienne (Wheatstone'a) oraz sześciornamienne (Thomsona).

Mostek Wheatstone'a

Mostek czteroramienny nazywany mostkiem Wheatstone'a lub mostkiem pojedynczym, umożliwia pomiar rezystancji przez porównanie z rezystancjami oporników dokładnie wywzorcowanych. Mostek Wheatstone'a służy na ogół do pomiaru rezystancji z zakresu od 1Ω do $1 M\Omega$.

Zasadniczym przeznaczeniem mostka Wheatstone'a jest pomiar rezystancji R_1 włączonej we wspólny układ z trzema opornikami o znanych wartościach rezystancji R_2 , R_3 i R_4 . Ten układ czteroramiennego mostka jest zasilany napięciem stałym U , dołączonym do jednej jego przekątnej. W drugą przekątną jest włączony tzw. Wskaźnik zera, np. czuły galwanometr magnetoelektryczny o rezystancji R_g .



Rys. 3.1. Układ mostka Wheatstone'a

Warunek równowagi mostka to $R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$. Po jego spełnieniu, galwanometr pokazuje zerowe odchylenie. Równoważenie może odbywać się przez zmianę rezystancji R_2 przy stałym stosunku R_3/R_4 lub przez zmianę R_3 przy stałym stosunku $\frac{R_2}{R_4}$, albo przez zmianę R_3/R_4 przy stałym R_2 .

Pomiary wykonywane mostkiem Wheatstone'a mogą być obarczone różnymi błędami. Do głównych przyczyn powstawania błędów pomiaru zalicza się: niedokładność wykonania oporników mostka, rezystancję połączeń i zestyków w przełącznikach, niedostateczną czułość mostka, wpływ czynników zewnętrznych na zmianę rezystancji mostka, działanie napięć termoelektrycznych.

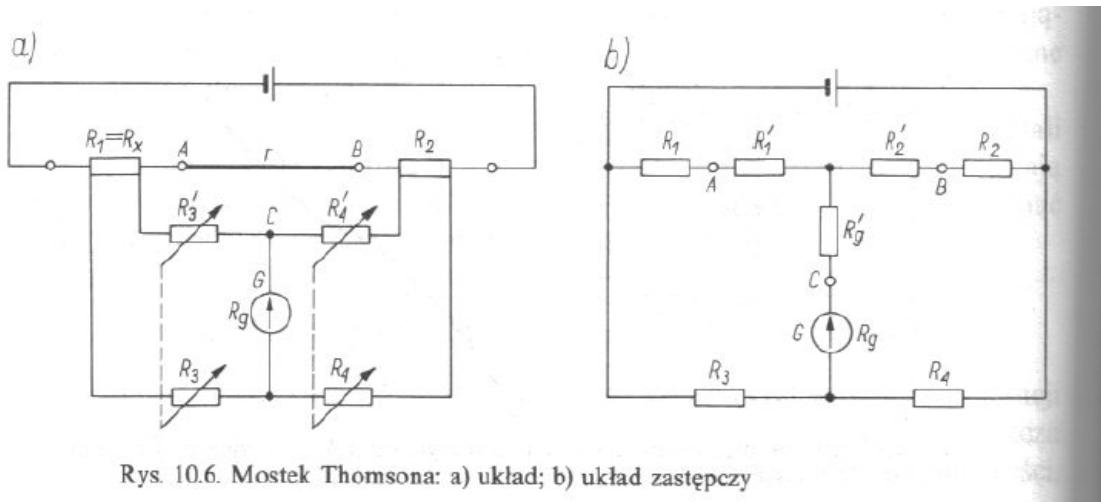
Wyróżnia się następujące rodzaje mostków Wheatstone'a:

- Techniczny mostek Wheatstone'a - przeznaczony do szybkich pomiarów rezystancji w warunkach warsztatowych. Nie zapewniają one dużej dokładności, są jednak łatwe w użyciu, małe, lekkie, przenośne, zawierają wbudowany galwanometr i wkładaną baterię zasilającą.
- Laboratoryjny mostek Wheatstone'a - przeznaczony do dokładnych pomiarów rezystancji. Osiągnięcie dużej dokładności pomiaru wymaga zachowania laboratoryjnych warunków pomiaru. Mostki laboratoryjne są budowane jako układy zrównoważone.
- Niezrównoważony mostek Wheatstone'a - stosowany do pomiaru rezystancji wówczas, gdy nie jest wymagana duża dokładność pomiaru, a zwłaszcza wtedy, kiedy rezystancja mierzona nieznacznie różni się od pewnej wartości, np. znamionowej. Zasada pomiaru mostkiem

niezrównoważonym polega na określeniu rezystancji mierzonej na podstawie wartości prądu lub napięcia nierównowagi mostka.

Mostek Thomsona

Modyfikacją mostka Wheatstone'a jest układ sześciioramienny nazywany mostkiem Thomsona. Przeznaczony do pomiaru małych rezystancji umożliwia eliminowanie wpływu rezystancji przewodów łączących, która może być wspólną dla mierzoną rezystancją R_x . Zakresy pomiarowe mostków Thomsona obejmują rezystancje $10^{-6} \Omega \div 10\Omega$.



Rys. 10.6. Mostek Thomsona: a) układ; b) układ zastępczy

Oprócz mostków laboratoryjnych Thomsona są także budowane mostki techniczne. Są to mostki przenośne, o kilku zakresach pomiaru, prostej konstrukcji, z wbudowanym galwanometrem. Spotyka się również laboratoryjne mostki kombinowane o przełączalnym układzie, w których przez proste przełączenie elementów uzyskuje się mostek Wheatstone'a lub Thomsona.

Błędy pomiaru mostkiem Thomsona zależą przede wszystkim od tolerancji wykonania oporników mostka i od błędu nieczułości.

Mostki prądu przemiennego

Mostki prądu przemiennego są przeznaczone do pomiarów parametrów elektrycznych cewek i kondensatorów, a także obwodów w których występują indukcyjności lub pojemności. Istnieje wiele odmian układów mostków prądu przemiennego, różniących się liczbą ramion, rodzajem włączonych elementów, przeznaczeniem, zakresem pomiaru itp..

Rozwiązywanie równania mostka prądu przemennego prowadzi do dwóch warunków równowagi. Przy postaci zespolonej otrzymuje się dwa równania, wynikające z przyrównywania osobno części rzeczywistych i osobno części urojonych. Przy postaci wykładniczej otrzymuje się równanie modułów i równanie kątów fazowych.

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \rightarrow Z_x = Z_2 \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$$

Jako wskaźniki równowagi, w mostkach prądu przemennego stosowane są tzw. Wskaźniki zera, najczęściej elektroniczne. Można też wykorzystać oscyloskop, dysponujący wzmacniaczem na wejściu.

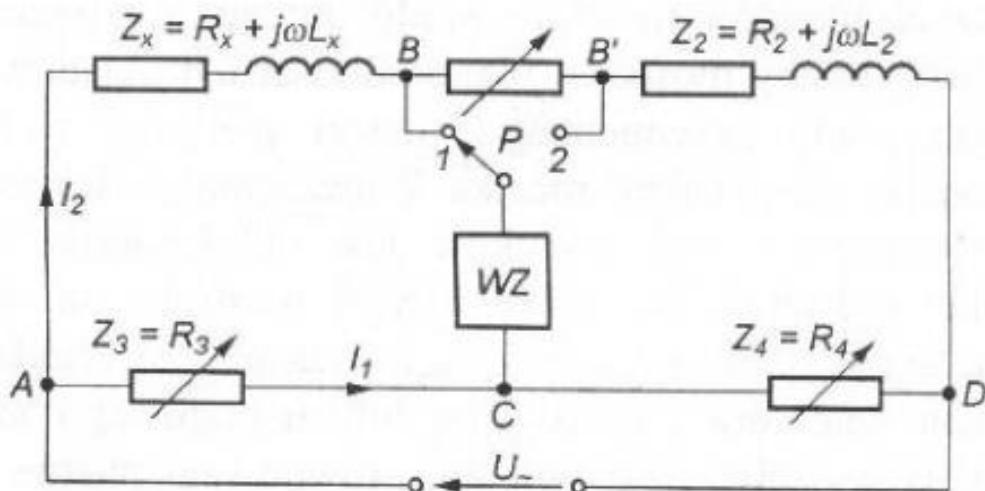
Mostek Maxwell'a

Mostek Maxwell'a służy do pomiaru indukcyjności cewek bez rdzenia ferromagnetycznego (indukcyjność cewek z rdzeniem nie jest stała) oraz ich rezystancji. Indukcyjność mierzoną Z_x porównuje się w mostku z indukcyjnością wzorcową Z_2 .

Do pomiarów indukcyjności stosuje się również tzw. Mostki Maxwell-Wiena, w których mierzoną

indukcyjność porównuje się z pojemnością kondensatora wzorcowego.

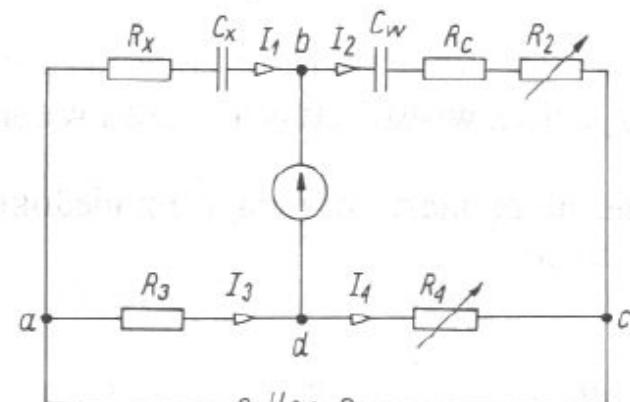
Mostki tego rodzaju stosuje się do pomiaru indukcyjności do 10 H z błędem 0,1%-0,2% w szerokim zakresie częstotliwości.



Rys. 3.11. Układ mostka Maxwell'a

Mostek Wiena

Mostek Wiena jest przeznaczony do pomiarów pojemności i kąta strat kondensatorów. Pojemność mierzona C_x porównuje się w mostku z pojemnością C_w kondensatora wzorcowego. Rezystancje R_x i R_c przedstawiają straty kondensatora badanego i wzorcowego. Równoważenie mostka dokonuje się kolejno opornikami R_4 i R_2 .

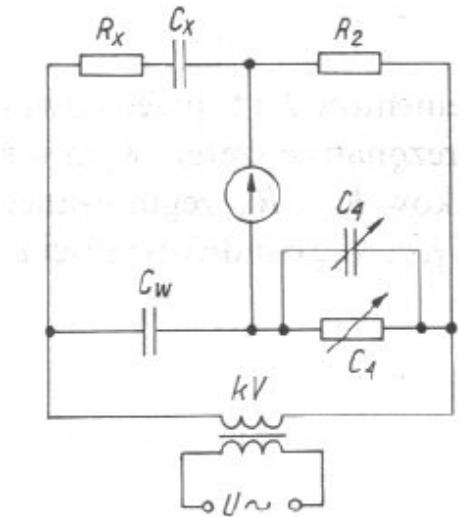


Rys. 10.11. Układ mostka Wiena

Mostek Scheringa

Mostek Scheringa jest przeznaczony do pomiaru pojemności i kąta strat przy zasilaniu układu pomiarowego wysokim napięciem. Badania dielektryków, np. kabli i izolatorów, wykonuje się przy znamionowym napięciu ich pracy. W układzie mostka Scheringa R_x i C_x są pojemnością i rezystancją strat badanego elementu, a C_w pojemnością wysokonapięciowym powietrznego kondensatora wzorcowego, praktycznie bezstratnego.

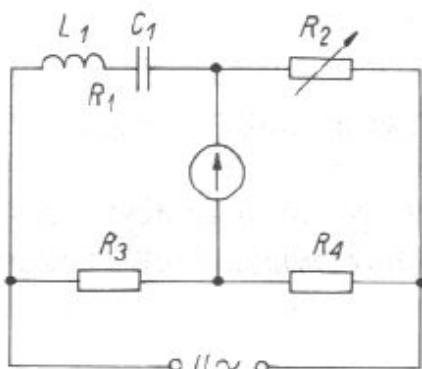
Równoważenie mostka dokonuje się przez regulację na przemian kondensatorem C_4 i opornikiem R_4 lub w innych rozwiązaniach kondensatorem C_4 i opornikiem R_2 .



Rys. 10.13. Układ mostka Scheringa

Mostek rezonansowy

Mostek rezonansowy ma szeregowy układ elementów L i C. Równowaga mostka występuje przy rezonansie szeregowym w ramieniu Z_1 . Zastosowanie mostka rezonansowego może być różne. Z warunków równowagi wynika, że można mierzyć pojemność C_1 przy znanych ω i L_1 lub mierzyć L_1 znając ω i C_1 . Mostek bywa również stosowany do pomiaru częstotliwości, gdy znane są wartości L_1 i C_1 .

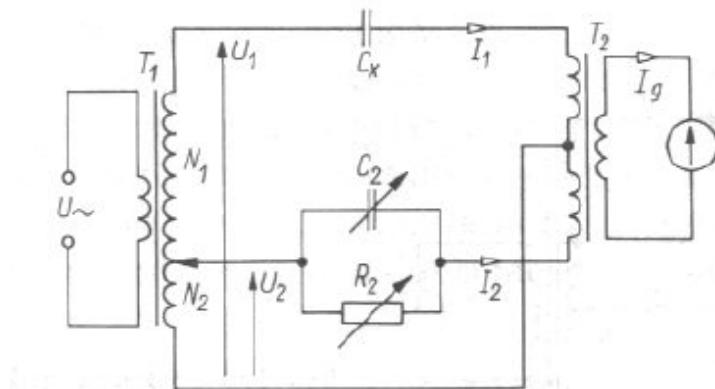


Rys. 10.14. Układ mostka rezonansowego

Mostki transformatorowe

Mostki transformatorowe budowane są w układach z jednym lub z dwoma transformatorami. Układy o dwóch transformatorach wykazują wiele zalet, dlatego też są częściej stosowane. Pomiar mostkiem polega na zrównaniu wartości prądów I_1 i I_2 w symetrycznych połowań uzwojenia transformatora różnicowego T_2 .

Mostki transformatorowe stosuje się do pomiarów parametrów zarówno kondensatorów, jak i cewek. Nowe konstrukcje mostków transformatorowych umożliwiają wykonywanie pomiarów z większą dokładnością niż inne mostki prądu przemiennego.

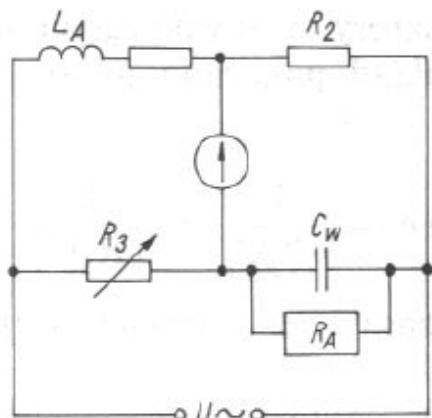


Rys. 10.15. Układ mostka transformatorowego równoważonego kondensatorem C_2 i opornikiem R_2

Mostki półautomatyczne RLC

Mostki półautomatyczne RLC są przeznaczone do pomiaru rezystancji, indukcyjności i pojemności oraz umożliwiają wyznaczenie dobrotliwości Q cewek i współczynnika stratności d kondensatorów, czyli tgδ. Do zrównoważenia mostka potrzebna jest regulacja wartości dwóch elementów. W mostkach półautomatycznych jedną wartość ustawia się ręcznie, druga natomiast zmienia się samoczynnie, czyli automatycznie.

Pomiar w tych mostkach oparte są o różne inne mostki (Wheatstone'a, Maxwella-Wiena).

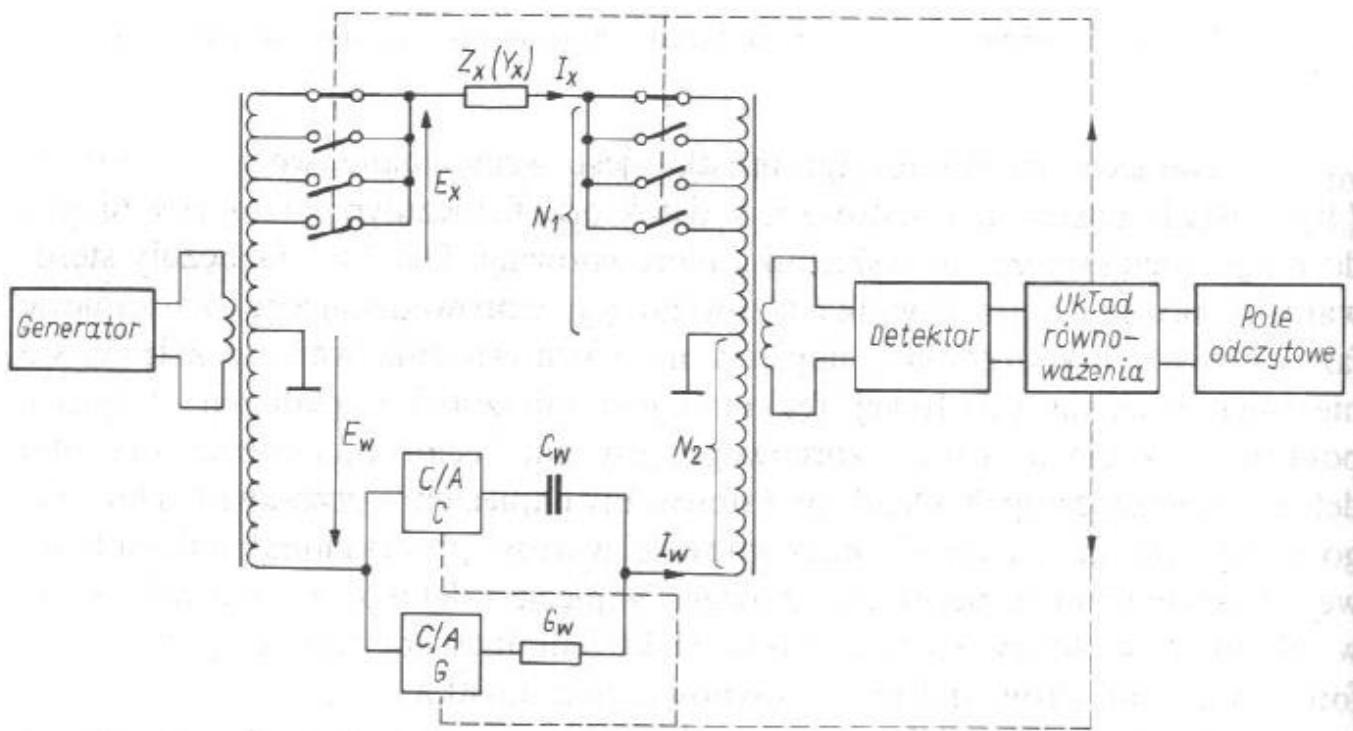


Rys. 10.18. Układ mostka do pomiaru indukcyjności z automatycznym równoważeniem rezystancji cewki

Mostki automatyczne RLC cyfrowe

Mostki cyfrowe prądu przemiennego, podobnie jak równoważone ręcznie, są stosowane do pomiarów indukcyjności, pojemności, kąta strat dielektrycznych i rezystancji. Algorytm automatycznego równoważenia mostka cyfrowego prądu przemiennego jest skomplikowany, ponieważ konieczne jest jednoczesne równoważenie dwóch składowych impedancji: reaktancyjnej i rezystancyjnej.

Najczęściej automatyzowane są mostki transformatorowe (różnicowe), ze względu na takie ich korzystne właściwości metrologiczne jak szeroki zakres pomiarowy i duża dokładność.



Rys. 10.22. Schemat funkcjonalny cyfrowego mostka prądu przemiennego

Źródło

1. Chwaleba, Poniński, Siedlecki - *Metrologia Elektryczna*
2. Czajewski - *Podstawy metrologii elektrycznej*

C. Pomiary mocy czynnej i biernej dla odbiorników trójfazowych

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

Pomiary mocy czynnej

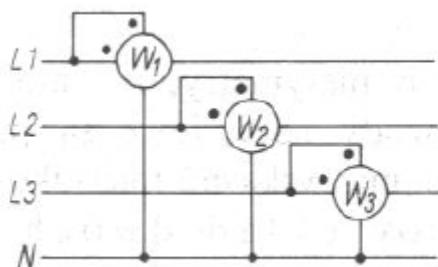
Zależnie od rodzaju obwodu trójfazowego i rodzaju odbiornika, rozróżnia się układy do pomiaru mocy w obwodach trój- lub czteroprzewodowych, obciążonych symetrycznie lub niesymetrycznie. Zasilanie sieci trójfazowych jest zwykle symetryczne, tzn. że moduły napięć fazowych są równe, a ich fazy przesunięte są o 120 stopni.

Układ czteroprzewodowy, obciążony niesymetrycznie

W obwodach trójfazowych czteroprzewodowych obciążonych dowolnie, stosuje się połączenie trzech watomierzy. Kropkami zaznaczono początki obwodów prądowych i napięciowych watomierzy. Całkowita moc obwodu jest równa sumie wskazań watomierzy

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Układ ten zapewnia poprawny pomiar niezależnie od rodzaju obciążenia i zasilania sieci.

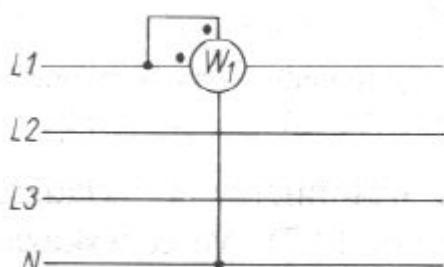


Rys. 13.17. Układ do pomiaru mocy w sieci czteroprzewodowej obciążonej niesymetrycznie

Układ czteroprzewodowy, obciążony symetrycznie

W sieci czteroprzewodowej obciążonej symetrycznie, gdy moc wszystkich faz jest jednakowa, wystarczy mierzyć moc jednej fazy, a wskazania pomnożyć przez 3, czyli:

$$P = 3P_1$$

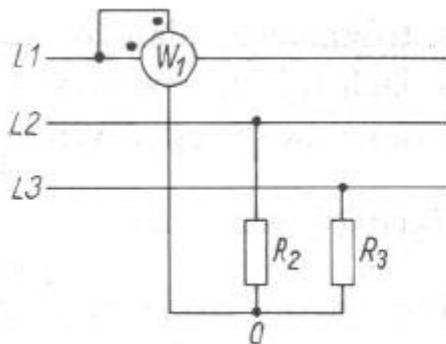


Rys. 13.18. Układ do pomiaru mocy w sieci czteroprzewodowej obciążonej symetrycznie

Układ trójprzewodowy, obciążony symetrycznie

W sieciach bez przewodu neutralnego, obciążonych symetrycznie, moc mierzy się jednym watometrem w układzie ze sztucznym punktem zerowym. Obwód napięciowy watomierza o rezystancji R_1 wraz z rezystancjami R_2 i R_3 równymi R_1 stanowi symetryczną gwiazdę, dzięki czemu watometr jest włączony na napięcie fazowe i prąd fazowy. Tak samo jak w poprzednim układzie, moc całkowita obwodu trójfazowego:

$$P = 3P_1$$

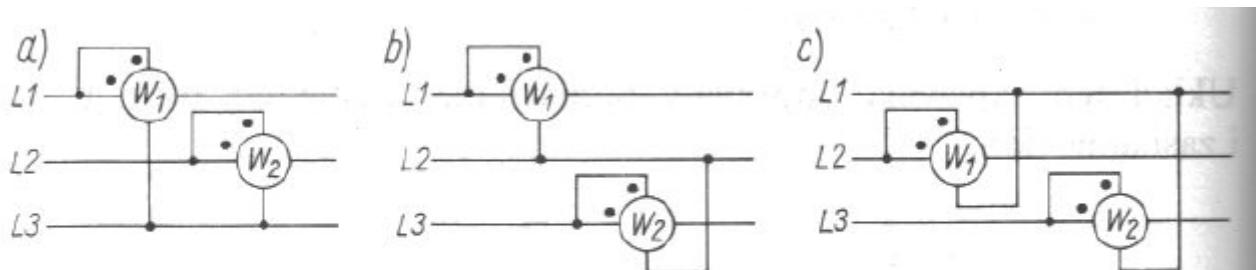


Rys. 13.19. Układ do pomiaru mocy w sieci trójprzewodowej obciążonej symetrycznie

Układ trójprzewodowy, obciążony niesymetrycznie

W sieciach trójfazowych obciążonych niesymetrycznie moc można mierzyć trzema watomierzami, których obwody napięciowe są połączone w gwiazdę; wtedy moc całkowita jest równa sumie wskazań mierników. W praktyce stosuje się tańszy i wygodniejszy układ dwóch watomierzy, tzw. Układ Arona. Umożliwia on poprawny pomiar mocy w sieci trójfazowej bez przewodu neutralnego przy symetrycznym napięciu zasilającym i przy dowolnym obciążeniu. Moc całkowita obwodu jest sumą wskazań obu watomierzy. Przedstawione poniżej trzy wersje układu różnią się jedynie zmienionym oznaczeniem faz przy niezmienionej kolejności faz.

Przy symetrycznym obciążeniu układ Arona może służyć do wyznaczania kąta fazowego obciążenia. W obwodach trójfazowych dla poprawnego pomiaru ważne jest przestrzeganie właściwego łączenia początków obwodów watomierzy i przekładników oraz zachowanie przyjętej kolejności faz.



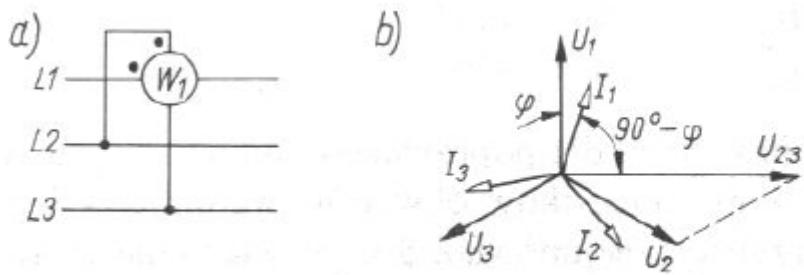
Rys. 13.20. Sposobyłączenia dwóch watomierzy do pomiaru mocy czynnej w układzie Arona

Pomiary mocy biernej

Moc bierna jest wielkością istotną z punktu widzenia prawidłowego wykorzystania mocy w sieciach elektroenergetycznych, z tego powodu mierzy się ją głównie w obwodach trójfazowych. Moc bierną określoną wzorem $Q = UI\sin\phi$ mierzy się w obwodach elektroenergetycznych jednofazowych waromierzem (watomierz z układem Hummla), włączanym tak samo jak watomierz.

Pomiar mocy biernej jednym watomierzem

W sieci trójfazowej i czteroprzewodowej symetryczne zasilanej i symetrycznie obciążonej, moc bierną można zmierzyć jednym watomierzem w układzie jak poniżej. Wskazanie watomierza należy pomnożyć przez $\sqrt{3}$ aby uzyskać moc bierną obwodu trójfazowego.

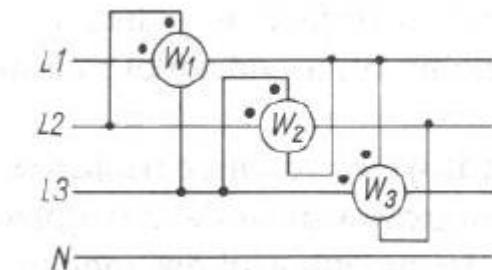


Rys. 13.23. Pomiar mocy biernej jednym watomierzem: a) układ; b) wykres wektorowy

Sieć czteroprzewodowa obciążona niesymetrycznie

W sieci czteroprzewodowej obciążonej niesymetrycznie moc bierną mierzy się trzema watomierzami połączonymi jak na rysunku poniżej. Wskazanie każdego z watomierzy jest $\sqrt{3}$ razy większe od mocy biernej danej fazy. Całą moc obwodu oblicza się jako:

$$Q = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}}$$

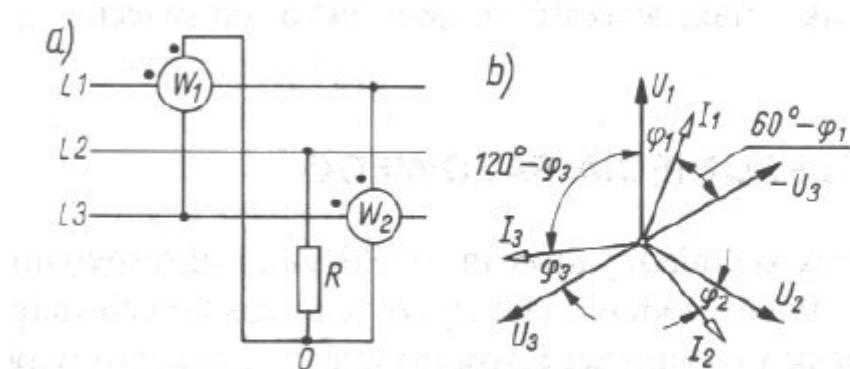


Rys. 13.24. Układ do pomiaru mocy biernej trzema watomierzami

Sieć trójprzewodowa obciążona niesymetrycznie

Podstawowym układem do pomiaru mocy biernej w sieciach trójprzewodowych obciążonych niesymetrycznie jest układ z dwoma watomierzami przedstawiony poniżej. Obwody napięciowe watomierzy tworzą wraz z opornikiem R symetryczną gwiazdę. Całkowitą moc bierną układu należy obliczać według zależności:

$$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2)$$



Rys. 13.25. Pomiar mocy biernej dwoma watomierzami: a) układ; b) wykres wektorowy

Inne metody pomiaru

Pomiary mocy czynnej i biernej w obwodach trójfazowych wymagają stosowania jednego, dwóch lub trzech watomierzy. Produkowane są watomierze i waromierze trójfazowe o dwóch lub trzech ustrojach w jednej obudowie, których momenty napędowe działają na wspólną oś, a podziałka miernika jest opisana w wartościach mocy trzech faz.

Oprócz waromierzy trójfazowych stosuje się również trójfazowe przetworniki mocy biernej przystosowane do pomiarów w obwodach trójprzewodowych albo czteroprzewodowych, podobne do przetworników mocy czynnej.

Źródło

1. Chwaleba, Poniński, Siedlecki - *Metrologia Elektryczna*

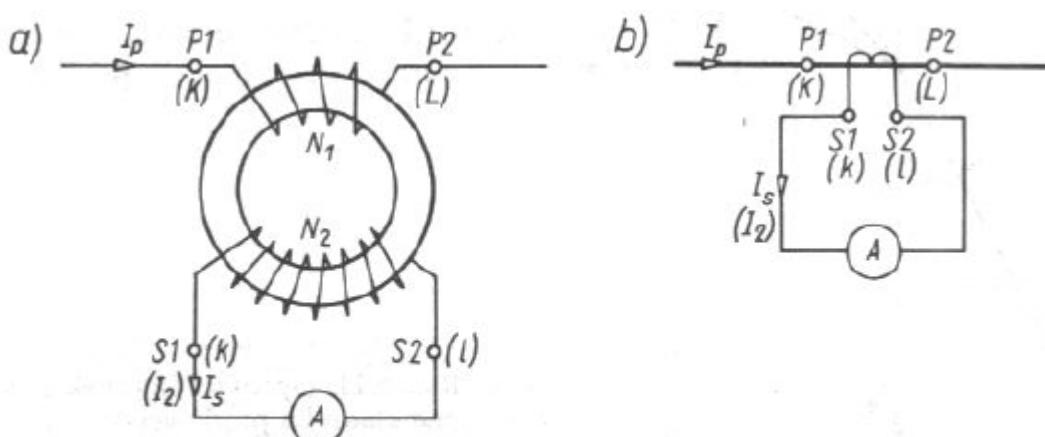
D. Przekładnik prądowy i napięciowy. Indukcyjny przetwornik prądu

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

Przekładniki, nazywane wcześniej transformatorami pomiarowymi, umożliwiają pomiar dużych wartości prądów i napięć miernikami o mniejszych zakresach pomiarowych. Ponadto umożliwiają odizolowanie mierników od obwodów wysokiego napięcia - co ma istotne znaczenie z punktu widzenia bezpiecznej obsługi. Ze względu na rodzaj wielkości przetwarzanej, rozróżnia się przekładniki prądowe i napięciowe.

Przekładnik prądowy

Przekładniki prądowe mają uzwojenie pierwotne i wtórne nawinięte na rdzeń ferromagnetyczny, wykonany z blach transformatorowych płaskich, lub zwijany z taśmy. Uzwojenia są starannie odizolowane od siebie. Izolacja chroni przed przebiciem wysokiego napięcia do uzwojenia wtórnego, które to napięcie może występować na przewodzie z mierzonym prądem.



Rys. 5.10. Przekładnik prądowy: a) zasada pracy; b) symbol graficzny¹⁾

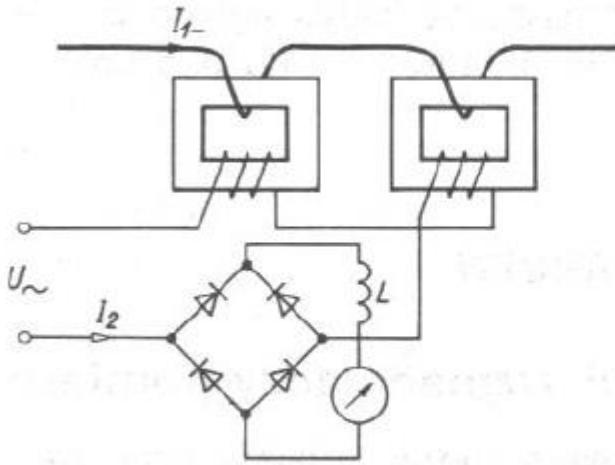
Przekładniki prądowe pracują w reżimie zbliżonym do stanu zwarcia transformatora. Stosunek liczby zwojów strony pierwotnej do strony wtórnej nosi nazwę przekładni zwojowej. Rzeczywista przekładnia prądowa zależy od wartości prądu pierwotnego oraz impedancji obciążenia. Przez dobór przekładni zwojowej można kompensować błąd prądowy przekładnika.

Przekładniki prądu stałego

Przekładniki prądu stałego, nazywane transduktorami, są stosowane do pomiarów prądów stałych o dużych wartościach, rzędu kilku kiloamperów. Przekładnik prądowy składa się z dwóch rdzeni, wykonanych z blach ferromagnetycznych o prostokątnej pętli histerezy. Na każdym rdzeniu są nawinięte uzwojenia pierwotne i wtórne.

Uzwojenia pierwotne prądu stałego są połączone szeregowo i mają po jednym lub kilka zwojów. Uzwojenia wtórne (o dużej liczbie zwojów), połączone szeregowo przeciwsobnie, są zasilane pomocniczym napięciem przemiennym (sinusoidalnym) o ustalonej amplitudzie. Impedancja uzwojenia prądu przemiennego zależy od indukcyjności. Warunkiem poprawnej pracy przekładnika transduktorowego jest takie wykonanie uzwojeń wtórnego, aby w obwodzie pierwotnym nie indukował się prąd przemienny. Zapewnia to pełna symetria obydwu połówek uzwojenia wtórnego - przy przeciwsobnym ich połączeniu.

Wykorzystując powyżej podaną zasadę, buduje się również przekładniki transduktorowe napięć stałych, które są stosowane do pomiarów wysokich napięć stałych.



Rys. 5.19. Zasada pracy przekładnika prądu stałego (transduktora)

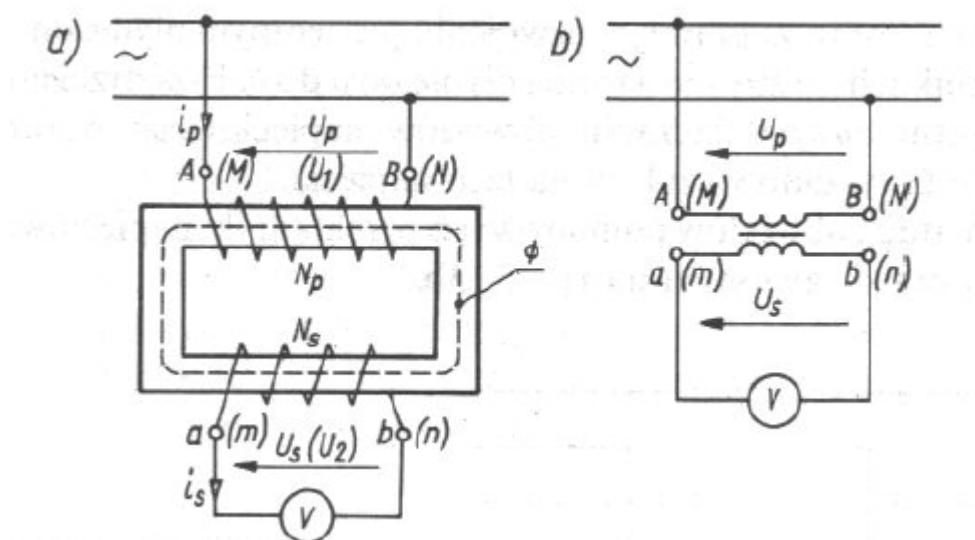
Przekładnik napięciowy

Przekładnik napięciowy jest pomiarowym transformatorem jednofazowym pracującym w warunkach zbliżonych do stanu jałowego. Umożliwia pomiary i kontrolę parametrów elektrycznych w sieci wysokiego napięcia przy stosowaniu aparatury niskiego napięcia, w warunkach pełnego bezpieczeństwa obsługi.

Do zacisków pierwotnych przekładnika doprowadza się napięcie pierwotne U_p , do zacisków wtórnych z napięciem U_s dołącza się przyrządy takie jak woltomierz, częstotliomierz, obwody napięciowe watomierza, licznika, fazomierza, przekaźnika itp. Odbiorniki obwodu wtórnego przekładnika napięciowego pobierają małe prądy, a ich wartość po stronie pierwotnej jest tego samego rzędu co prąd jałowy. W tych warunkach spadki napięć w uzwojeniach przekładników są małe tak, że można przyjąć przybliżoną równość stosunku napięć oraz liczby zwojów N_p i N_s uzwojeń pierwotnego i wtórnego.

$$\frac{U_p}{U_s} = N_p/N_s$$

Na podstawie napięcia wtórnego i znanej przekładni zwojowej można wyznaczyć wartość napięcia pierwotnego. W praktyce w celu określenia wartości U_p korzysta się nie z przekładni zwojowej, lecz ze znamionowej przekładni napięciowej. Izolacja między obydwooma uzwojeniami musi być wykonana z dostatecznym stopniem pewności przewidzianym dla urządzeń wysokonapięciowych. Błędy przekładnika napięciowego zależą od impedancji odbiorników dołączonych do obwodu wtórnego, stanowiących obciążenie.



Indukcyjny przetwornik prądu

W przetwornikach indukcyjnych występują dwa obwody elektryczne (uzwojenia pierwotne i wtórne), które są ze sobą sprzężone polem magnetycznym. W ich budowie można wyróżnić dwa charakterystyczne rodzaje sprzężeń - zwane "silnym" bądź "słabym". W pierwszym z nich - materiałem pośredniczącym jest ferromagnetyk, zaś w drugim - jest nim materiał niemagnetyczny (np.. Powietrze). Konsekwencją "słabego" sprzężenia magnetycznego jest m.in. Bardzo mała energia sygnału wyjściowego przetwornika, a stąd częsta konieczność jego wzmacniania.

Amperomierze i przetworniki cęgowe

Amperomierze cęgowe umożliwiają pomiary dużych prądów (do 2kA) bez konieczności przerywania obwodu z mierzonym prądem. Na przewód czy też szynę z prądem, które w tym przypadku stanowią uzwojenie pierwotne, nakłada się "cęgi" w postaci rozwieranego rdzenia ferromagnetycznego. Na rdzeniu znajduje się uzwojenie wtórne, w którym indukowane napięcie jest proporcjonalne do mierzonego prądu. Do jego pomiaru stosuje się odpowiednio przeskalowany woltomierz cyfrowy, stanowiący razem z cęgami przyrząd pomiarowy.

Obecnie produkowane amperomierze cęgowe wyposażane są w dodatkowe funkcje pomiarowe (np. z pomiarem napięcia i rezystancji), co czyni z nich multimetry cęgowe. Jeżeli są one też przydatne do pomiarów prądów odkształconych, to wyposażone są w przetworniki wartości skutecznej, o czym informuje napis "TRUE RMS".

W handlu znajdują się też przetworniki cęgowe (bez miernika), o wyjściowym sygnale napięciowym i z wykalibrowanymi wartościami czułości ($w \frac{mV}{A}$). Pozwalają one na zdalne pomiary prądów przy pomocy dołączanych do nich woltomierzy cyfrowych. Na uwagę zasługują też multimetry cęgowe wyposażone w przetwornik analogowo-cyfrowy i mikroprocesor. Proces cyfrowego przetwarzania sygnału pozwala wyznaczyć szereg parametrów mierzonego prądu, włącznie z analizą zawartości harmonicznych, która obrazowana jest wykresem na ekranie.

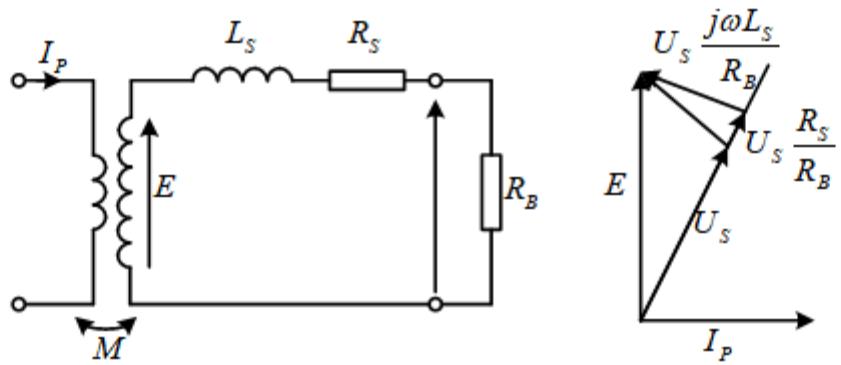
Multimetrami cęgowymi możliwe są też pomiary dużych prądów stałych. W ich rdzeniu magnetycznym (częgach) znajduje się niewielka szczelina z umieszczonym w niej przetwornikiem Halla. Jest to element półprzewodnikowy reagujący na pole magnetyczne (stałe i zmienne), generujący napięcie zwane napięciem Halla - o wartości proporcjonalnej do oddziaływanie na niego indukcji magnetycznej, a więc też do natężenia prądu w przewodniku obejmowanym częgami.

Cewka Rogowskiego

W przetwornikach indukcyjnych ze "słabym" sprzężeniem magnetycznym, przewodnik z mierzonym prądem otoczony jest cewką o uzwojeniu nawiniętym na niemagnetyczny karkas. Brak ferromagnetyka jest przyczyną małej energii pola magnetycznego wiążącego obwód pierwotny (jest nim przewodnik z prądem) z uzwojeniem wtórnym, a w związku z tym, napięcie wyjściowe przetwornika charakteryzuje się bardzo małą mocą.

Strukturę układową tych przetworników obrazuje się indukcyjnością wzajemną M występującą między przewodnikiem z prądem, a ułożoną wokół tego przewodnika wielozwojową cewką. Dla takiego obwodu prawo indukcji elektromagnetycznej wyraża proporcjonalność napięcia indukowanego w cewce, do pochodnej z przebiegu prądu w przewodniku.

Przetworniki indukcyjne, ze względu na galwaniczną izolację obwodu sygnałowego od obwodu prądowego, mogą być stosowane do przetwarzania prądu sieciowego. Aktualnie są produkowane i stosowane przetworniki indukcyjne w postaci cewki Rogowskiego nawiniętej na giętkim karkasie. Cewkę Rogowskiego o giętkim karkasie obejmuje się przewód, w którym przepływa przetwarzany prąd, bez przerywania jego obwodu. Długość cewki dla takiego rozwiązania jest duża w porównaniu ze średnicą jej przekroju poprzecznego.



Rys.2. Schemat zastępczy i wykres wskazowy cewki Rogowskiego;
 M – indukcyjność wzajemna między przewodem wiodącym prąd a cewką, L_S , R_S – indukcyjność i rezystancja cewki, R_B - rezystancja obciążenia

Źródło.

1. Chwaleba, Poniński, Siedlecki - *Metrologia Elektryczna*
2. Ćwiczenie 7 laboratorium z miernictwa elektrycznego 2.
3. Daniel Dusza, Józef Nowak - *Indukcyjny przetwornik prądu sieciowego ze zworami ferromagnetycznymi*

4. Właściwości elektryczne materiałów stałych

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:30

A. Przewodnictwo elektryczne metali i stopów metali

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

Jedną z głównych cech materiałów jest ich zdolność (lub jej brak) do przewodzenia prądu elektrycznego. Ze względu na tę własność materiały dzieli się na przewodniki, półprzewodniki i izolatory, nazywane również dielektrykami.

Prąd elektryczny jest skutkiem ruchu elektrycznie naładowanych cząstek, tzw. Nośników ładunku, pod wpływem działających na nie sił od zewnętrznego pola elektrycznego. Cząstki naładowane dodatnio przemieszczają się zgodnie z wektorem natężenia pola E, natomiast naładowane ujemnie w kierunku przeciwnym. Najprostszym nośnikiem ładunku jest elektron, którego ładunek ujemny wynosi $1,602 \cdot 10^{-19}$ C

Przewodnictwo elektryczne metali

Przewodniki, a więc materiały o znacznej konduktywności, są zwykle metalami, które charakteryzują się przewodnictwem elektronowym. Atomy metali uwięzione w węzłach siatki krystalicznej pozbawione są elektronów walencyjnych, które tworzą wspólne dla całego ciała zbiorowisko elektronów swobodnych, określane często mianem "gazu elektronowego". Dużą konduktywność metali tłumaczy się tym, że nie związane z atomami elektrony mogą się swobodnie poruszać w całej objętości materiału. Potwierdza to obserwacja, że już najmniejsze napięcie wywołuje przepływ prądu w przewodniku - muszą więc znajdować się w nim swobodne elektrony nawet w przypadku nieobecności pola elektrycznego, nie można bowiem przyjąć, że dopiero pojawiające się pole elektryczne odrywa elektrony od atomów.

Przewodnictwo elektryczne metali jest opisane elektronową teorią przewodnictwa oraz kwantową teorią ciała stałego i pasmową teorią przewodnictwa.

Elektronowa teoria przewodnictwa

Klasyczna teoria elektronowa przewodnictwa elektrycznego metali zakłada, że elektrony metalu zachowują się jak cząsteczki swego rodzaju klasycznego "gazu elektronowego", czyli przy braku pola elektrycznego można do nich stosować statystykę Maxwella-Boltzmanna.

Ruchy cieplne jonów tworzących węzły przestrzennej siatki krystalicznej mają charakter drgań wokół położen równowagi. Ruchy cieplne swobodnych elektronów natomiast, charakteryzujące się znacznymi prędkościami, są zupełnie chaotyczne.

Pod wpływem napięcia przyłożonego z zewnątrz do metalu powstaje w nim pole elektryczne, które zakłóca makswellowski rozkład prędkości elektronów. Na chaotyczny ruch cieplny nakłada się znacznie powolniejszy uporządkowany ruch elektronów, wywołany polem elektrycznym. Średnia prędkość uporządkowanego ruchu elektronów (**prędkość unoszenia**) jest proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego. Uporządkowany ruch elektronów pod wpływem pola elektrycznego o kierunku przeciwnym do wektora natężenia pola elektrycznego E tworzy **prąd elektryczny**.

Uporządkowany, jednokierunkowy ruch elektronów napotyka na swej drodze przeszkody w postaci zderzeń z jonami metalu, z których uformowana jest siatka krystaliczna. W każdym zderzeniu z jonom elektron traci swoją prędkość skierowaną i przekazuje mu pęd mv. Na elektron działają siła od pola elektrycznego oraz siła "tarcia" elektronu o jony siatki krystalicznej.

Współczynnik proporcjonalności między prędkością unoszenia a natężeniem pola elektrycznego E nazywany jest **ruchliwością elektronów**.

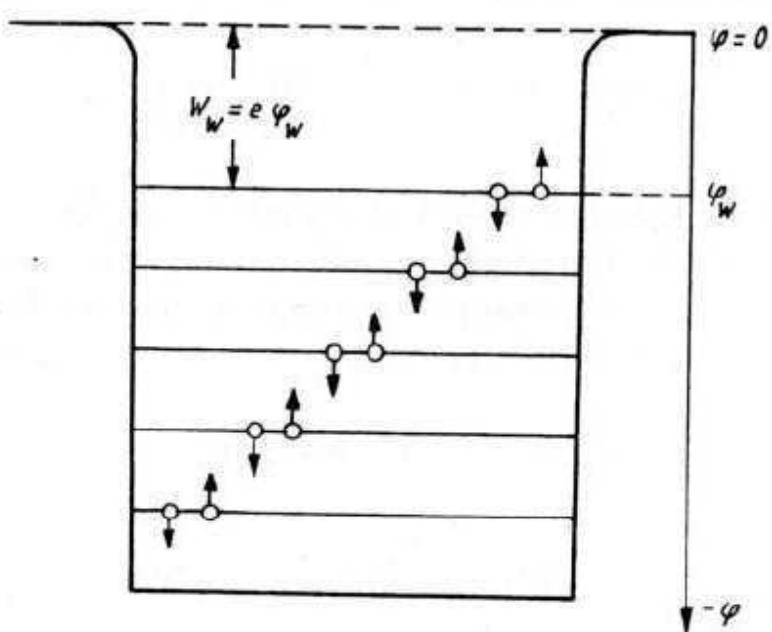
Prędkość ruchu termicznego elektronów jest wiele rzędów wielkości większa od prędkości unoszenia. Dopóki w przewodniku nie pojawi się pole elektryczne, elektrony poruszają się chaotycznie we wszystkich kierunkach. Gdy pojawia się pole elektryczne, elektrony zaczynają się powoli przemieszczać w kierunku przeciwnym do kierunku sił pola. Ten powolny, uporządkowany ruch elektronów (**dryf**) z prędkością unoszenia, wywołany polem elektrycznym, nie ma praktycznie

wpływ na ruch cieplny cząstek.

Wzrost temperatury metalu powiększa intensywność ruchów cieplnych, zarówno elektronów swobodnych, jak i jonów w siatce krystalicznej. Rośnie zatem, przy niezmiennym polu elektrycznym, liczba zderzeń elektronów swobodnych z jonami siatki krystalicznej w jednostce czasu. W wyniku tego rosną opory dla uporządkowanego przepływu elektronów wzdłuż przewodów, co jest równoważne wzrostowi rezystancji R metalu.

Kwantowa teoria ciała stałego

Elektrony swobodne w metalach tworzą gaz elektronowy i poruszają się tak jak gdyby jony dodatnie sieci krystalicznej nie stwarzały żadnego pola elektrycznego. Wówczas ruch elektronów opisać można za pomocą modelu "jamy potencjału". Model "jamy potencjału" wprowadza analogię między wnętrzem kryształu "wypełnionym" elektronami a naczyniem wypełnionym cieczą.



Rys. 2.8-1. Elektrony swobodne w metalu; model jamy potencjału

Jeśli przyjąć, że na zewnątrz metalu energia potencjalna elektronu równa się zeru, to wewnątrz metalu ma ona wartości ujemne o najmniejszej bezwzględnej wartości W_w . Wartość energii W_w jest wtedy pracą wyjścia elektronów z metalu. Energię tę należałoby dostarczyć do elektronów obsadzonych na najwyższych poziomach energetycznych, aby mogły one opuścić metal (pokonać "barierę potencjału"), analogicznie do energii parowania którą należy dostarczyć do cząsteczek cieczy, aby mogły one opuścić jej powierzchnię.

Elektrony w jamie potencjału mają skwantowane dyskretne wartości energii - mogą znajdować się, podobnie jak w atomie, jedynie na określonych poziomach energetycznych. Między położeniami poziomów energetycznych elektronów w metalach i poziomów energetycznych elektronów w izolowanych atomach występuje istotna różnica: w atomach różnica energii elektronów na dwóch sąsiednich poziomach jest znacznie większa niż w krysztale.

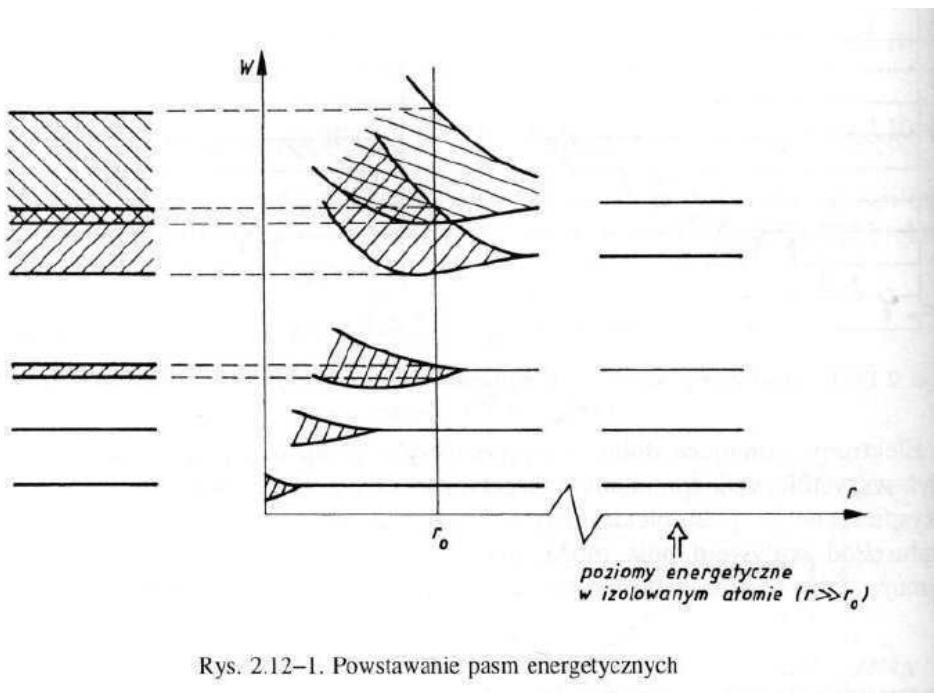
Wszystkie elektrony dążą do zajęcia możliwie najniższych poziomów energetycznych, jako najbardziej trwałych. Zasada Pauliego nakłada ograniczenia na liczbę elektronów, które mogą znajdować się w danym stanie. Zgodnie z zasadą Pauliego elektrony parami zajmują dozwolone poziomy energetyczne, zaczynając od najniższego. Górnny zajęty poziom energetyczny odgrywa ważną rolę w modelu kwantowym ciała stałego. Poziom ten nazywa się poziomem Fermiego.

Elektrony zajmujące dolne stany energetyczne nie mogą zmieniać swej energii, gdyż wszystkie sąsiednie stany energetyczne są już zajęte. Nie mogą więc one być przyspieszane w polu

elektrycznym, czyli nie mogą brać udziału w przepływie prądu. Pod wpływem pola mogą zmieniać swoją energię tylko te elektrony, które zajmują stany w przedziale rozmycia, tj. w pobliżu poziomu Fermiego.

Pasmowa teoria przewodnictwa

Fundamentem teorii pasmowej są zmiany, które zachodzą w dyskretnych poziomach energetycznych atomów, gdy te zbliżają się do siebie i tworzą sieć krystaliczną ciała stałego. W swobodnym atomie dozwolone wartości energii elektronów są rozzielone szerokimi obszarami energii zabronionych. Przy zbliżaniu się atomów do siebie, rosnące oddziaływania między nimi wpływają na poziomy energetyczne elektronów, prowadząc do ich rozszczepienia. Zamiast jednego poziomu energetycznego dla elektronów na określonej orbicie, jednokowego dla wszystkich N izolowanych atomów, w ciele stałym powstaje N blisko położonych, ale nie pokrywających się poziomów energetycznych.

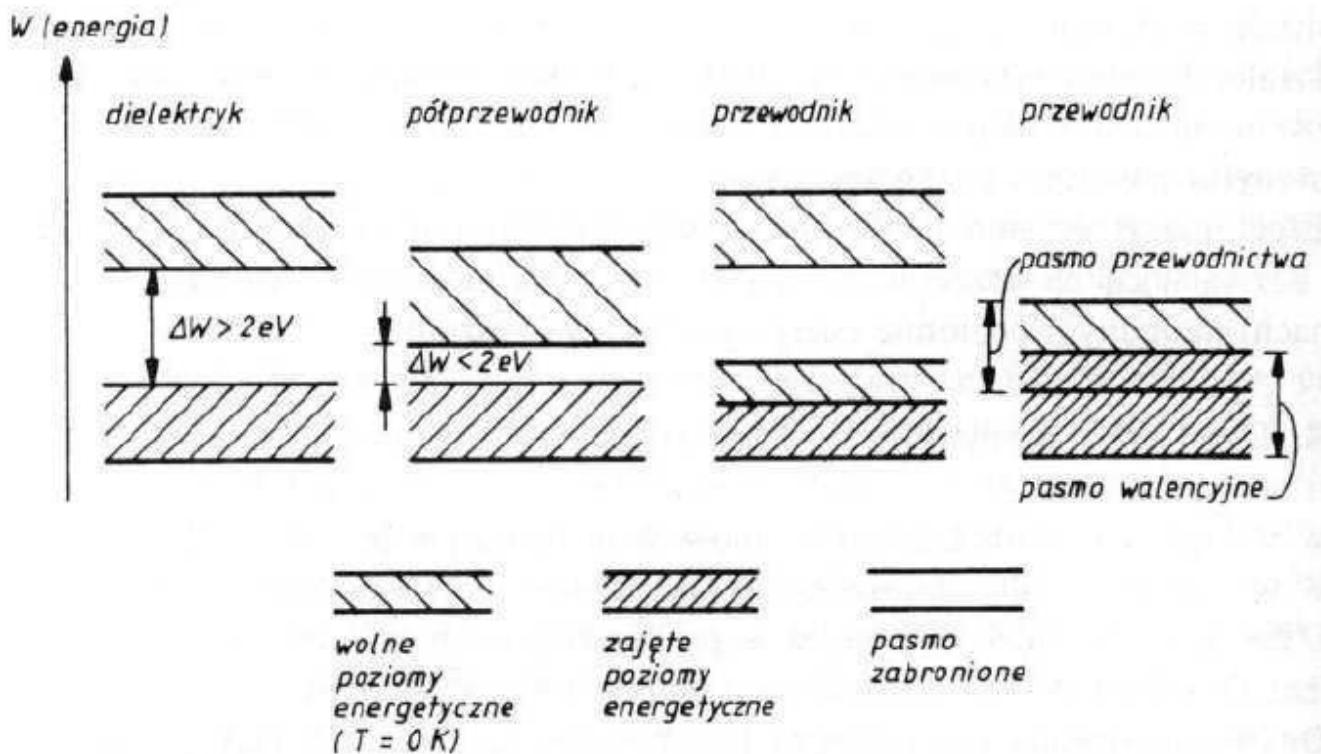


Rys. 2.12-1. Powstawanie pasm energetycznych

Strukturę krystaliczną metalu można traktować jako gigantyczną cząsteczkę, składającą się z wielkiej liczby atomów. Stany energetyczne elektronów wewnętrznych powłok tych atomów są praktycznie takie same jak w izolowanych atomach, natomiast zewnętrzne elektrony są skolektywizowane - należą do całego kryształu. Energia elektronów zewnętrznych może przybierać wartości mieszczące się w granicach obszarów zakreskowanych na rysunku powyżej, które nazywają się **dozwolonymi pasmami energetycznymi**. Efekt rozszczepiania poziomów energetycznych jest zgodny z zasadą Pauliego.

Dozwolone pasma energetyczne przedzielone są zabronionymi pasmami energetycznymi o szerokościach porównywalnych z szerokością pasm dozwolonych. Dozwolone pasma mogą być obsadzone elektronami całkowicie, częściowo lub być całkowicie puste. Elektrony mogą przechodzić z jednego pasma dozwolonego do drugiego, a także dokonywać przejścia z jednego poziomu energetycznego na drugi wewnątrz pasma. Do przeniesienia elektronu z dolnego pasma dozwolonego do najbliższego dozwolonego pasma górnego trzeba mu dostarczyć energię równą szerokości pasma zabronionego oddzielającego te dwa pasma.

Koniecznym warunkiem przewodnictwa elektrycznego jest obecność wolnych poziomów energetycznych, na które może się przenieść elektron po nabyciu dodatkowej energii od zewnętrznego pola elektrycznego. Warunek ten może być spełniony w dwóch sytuacjach: gdy pasmo walencyjne jest tylko częściowo obsadzone przez elektrony (staje się wtedy pasmem przewodzenia) oraz gdy występuje zazębianie się dwu sąsiednich pasm: zapełnionego walencyjnego i sąsiadującego z nim, pustego.



Rys. 2.15-1. Układ pasm energetycznych dla różnego typu materiałów

Przewodnictwo elektryczne stopów metali

Największą konduktywność mają metale w stanie chemicznie czystym. Wszelkie domieszki powodują zakłócenia regularnej budowy siatki krystalicznej metali, co z reguły zwiększa opory uporządkowanego ruchu elektronów swobodnych. W wielu przypadkach nawet znikome ilości domieszek prowadzą do znacznego obniżenia konduktywności metali.

Przewodność elektryczna stopów, podobnie jak temperaturowy współczynnik rezystywności, zależy w decydującym stopniu od ich charakteru. W przypadku stopów jednorodnych (tj. tworzących roztwory stałe) konduktywność stopu jest znacznie obniżona w stosunku do konduktywności metali składowych. W przypadku stopów niejednorodnych (tj. nie rozpuszczających się w sobie) konduktywność stopu jest proporcjonalna do procentowego udziału w nim poszczególnych składników.

Źródło

1. Cieliński - Materiałoznawstwo Elektrotechniczne

B. Przewodnictwo elektryczne, efekty termo- i magneto-elektryczne w półprzewodnikach

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

Półprzewodniki są ciałami stałymi o oporności właściwej większej niż metali, a mniejszej niż dielektryków. Cechą charakterystyczną półprzewodników jest silna zależność ich przewodności elektrycznej od czystości materiałów oraz warunków zewnętrznych takich jak temperatura, pole elektryczne czy promieniowanie.

Półprzewodniki samoistne mają w 0 K całkowicie wypełnione pasmo walencyjne i względnie wąską przerwę energetyczną między nim i pustym pasmem przewodnictwa.

Dziury elektronowe

W półprzewodniku samoistnym, po wzbudzeniu elektronu do pasma przewodnictwa pozostaje miejsce w wiązaniu kowalencyjnym, w którym brak jest elektronu, lub, korzystając z modelu pasmowego w pasmie walencyjnym jest stan, w którym brak elektronu. Miejsca w strukturze krystalicznej w których brak jest elektronu mogą się przemieszczać dzięki ruchowi elektronów wartościowości i zajmowaniu przez nie pustych miejsc. Ładunek elektryczny dziury jest co do wartości taki sam jak ładunek elektronu lecz o przeciwnym znaku. Kierunek przemieszczania się dziur w polu elektrycznym jest zatem, ze względu na znak ładunku, przeciwny do kierunku ruchu elektronów.

Przewodnictwo elektryczne w półprzewodnikach

Półprzewodniki samoistne

Nośnikami ładunków w półprzewodnikach samoistnych są elektrony i dziury elektronowe. Dla półprzewodników ruchliwość dziur jest zawsze znacznie mniejsza od ruchliwości elektronów. W półprzewodnikach samoistnych liczba elektronów w paśmie przewodnictwa jest równa liczbie dziur elektronowych w paśmie walencyjnym. W rzeczywistości wzbudzone do pasma przewodnictwa elektrony łączą się z dziurami elektronowymi, co powoduje rekombinację elektronów przewodnictwa i dziur elektronowych.

Nowe elektrony przewodnictwa i dziury elektronowe są jednak tworzone przez energię cieplną w sposób ciągły, wobec tego po ustaleniu się równowagi dla konkretnej temperatury, liczba elektronów w paśmie przewodnictwa i dziur elektronowych w paśmie walencyjnym jest statystycznie stała.

W półprzewodnikach samoistnych liczba elektronów przechodzących z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa rośnie wykładniczo ze wzrostem temperatury. W półprzewodnikach liczba nośników ładunków elektrycznych rośnie szybko wraz z temperaturą i spowodowany tym wzrost przewodności jest znacznie większy niż jej obniżenie, spowodowane zmniejszeniem od zależnej od temperatury ruchliwości, dlatego przewodność elektryczna półprzewodników samoistnych rośnie szybko ze wzrostem temperatury.

Półprzewodniki domieszkowe

Wprowadzanie innych pierwiastków do półprzewodnika jest nazywane domieszkowaniem. Domieszki w półprzewodnikach są w postaci rozpuszczonej. Wyróżnia się dwa typy półprzewodników domieszkowych: typu n i typu p. W typie n dominują ujemne nośniki ładunków, natomiast w typie p nośniki dodatnie. Właściwie wszystkie stosowane półprzewodniki to półprzewodniki domieszkowe. Obecność domieszek prowadzi do pojawienia się w strukturze elektronowej półprzewodników dodatkowych poziomów energetycznych. W półprzewodnikach szczególnie ważne są dwa rodzaje poziomów domieszkowych leżących w obrębie przerwy energetycznej: poziom donorowy w pobliżu pasma przewodnictwa i poziom akceptorowy w pobliżu pasma walencyjnego.

Ogólne

Czyste związki chemiczne są półprzewodnikami samoistnymi, natomiast przez domieszkowanie można je uczynić półprzewodnikami domieszkowymi. Generowanie par elektron-dziura ma miejsce również w półprzewodnikach domieszkowych jednak w nich głównymi nośnikami ładunków są elektrony w przypadku domieszki donorowej lub dziury elektronowe w przypadku domieszki akceptorowej. W przypadku półprzewodników domieszkowych decydujące o rodzaju przewodnictwa nośniki ładunku elektrycznego nazywa się nośnikami większościowymi. W półprzewodnikach typu n takimi nośnikami są elektrony, a w półprzewodnikach typu p dziury elektronowe.

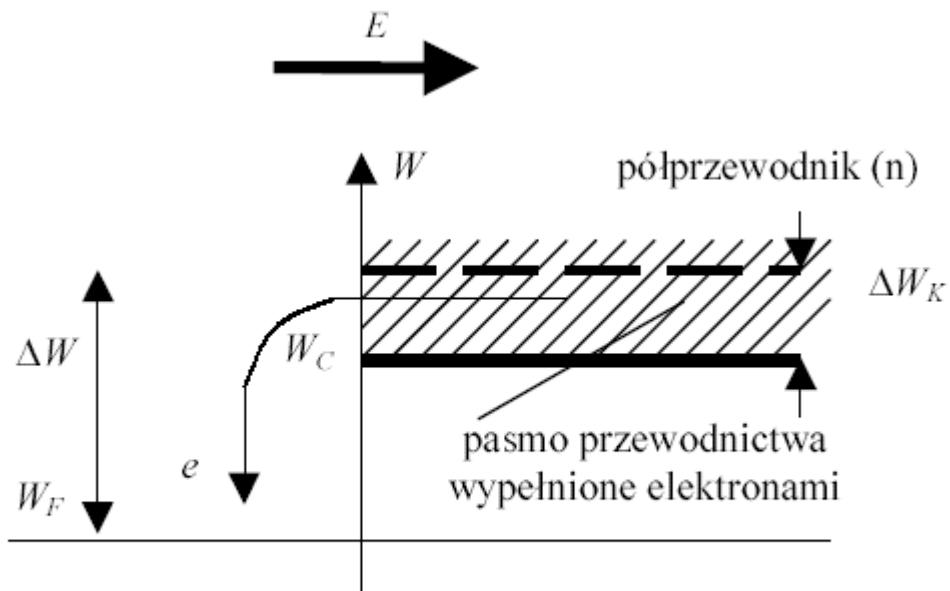
Efekt termoelektryczny w półprzewodnikach

Do zjawisk termoelektrycznych zalicza się trzy różne efekty: Peltiera, Seebecka i Thomsona. Wymienione zjawiska występują zarówno w metalach, jak i w materiałach półprzewodnikowych.

Zjawisko Peltiera

Temperatura spoin wykonanych z różnych metali zależy od kierunku prądu przepływającego przez te spoiny. W przypadku dwóch spoin, wykonanych z różnych materiałów przewodzących, podczas przepływu prądu stałego, jedna z nich ogrzewa się, druga zaś chłodzi. Efekt wydzielania ciepła jest niezależny od ciepła Joule'a-Lentza i ma inną naturę.

Mechanizm fizyczny prowadzący do zjawiska Peltiera można prześledzić na podstawie modelu:



Rys. 9.1. Uproszczony model złącza metal–półprzewodnik

Jeżeli do złącza przyłożymy pole elektryczne w zaznaczonym kierunku, to elektrony będą przechodziły z pasma przewodnictwa półprzewodnika do metalu, przy czym będą zmuszone w sąsiedztwie styku oddać zgromadzoną energię. Energia ta to ciepło Peltiera, wydzielające się w sąsiedztwie złącza podczas transportu przez nie ładunku równego jednemu elektorowi.

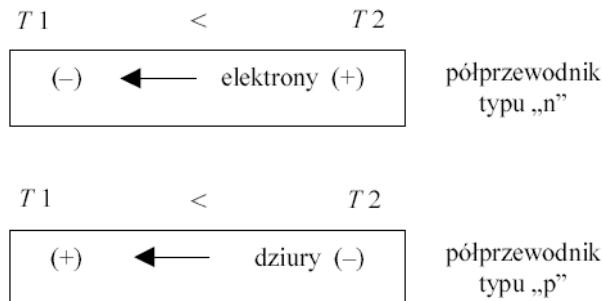
Jeżeli pole E skierować przeciwnie, to z metalu do półprzewodnika mogą przejść jedynie elektrony odpowiednio wysokiej energii kinetycznej- tzw. Gorące elektrony. Zubożenie obszaru przyległego do złącza w elektrony mające dużą energię prowadzi do zmniejszenia średniej energii elektronów w paśmie i w konsekwencji do obniżenia temperatury sieci, od której tę energię pobierają, dochodząc do równowagi termodynamicznej. Okolica złącza będzie się zatem ochładać.

Głównym zastosowaniem zjawiska Peltiera są tzw. pompy cieplne, stosowane zarówno do nagrzewania jak i do chłodzenia niewielkich obiektów. Pompy takie wykonane są z materiałów półprzewodnikowych, w których elektrony przechodzące przez złącze zmieniają znacznie energię potencjalną.

Zjawisko Seebecka

Powstawanie siły elektromotorycznej w obwodzie zawierającym dwie spoiny lub złącza wykonane przez połączenie dwóch różnych materiałów przewodzących, jeśli złącza te znajdują się w różnej temperaturze.

Analizę zjawiska Seebecka można przeprowadzić na podstawie modelu próbki półprzewodnika:



Rys. 9.2. Zjawisko Seebecka w próbkach półprzewodników o przewodnictwie elektronowym

Jeśli próbkę nagrzać nierównomiernie, to na skutek różnicy energii i koncentracji nośników ładunku, zacznie się ich ukierunkowany ruch. Jeśli końce próbki znajdują się w temperaturze $T_1 < T_2$, to na końcu próbki o większej temperaturze będzie występowała większa koncentracja nośników ładunku, będą one miały również większą energię. W efekcie wystąpi ich dyfuzja w kierunku zimniejszego końca. Przepływ prądu u dyfuzji prowadzi do pojawienia się rozkładu potencjału oraz wystąpienia prądu unoszenia.

Jeżeli nośnikami ładunku są elektryny (półprzewodnik typu "n"), to zimniejszy koniec próbki będzie miał w stosunku do cieplejszego potencjał ujemny. Dla półprzewodnika typu "p" - dodatni. Jest to prosty sposób określania typu przewodnictwa w materiałach półprzewodnikowych.

Zjawisko Seebecka największe zastosowanie znalazło w pomiarach temperatury za pomocą termopar.

Zjawisko Thomsona

Polega na wydzielaniu lub pochłanianiu ciepła, dodatkowego do ciepła Joule'a-Lentza, przy przepływie prądu stałego wzdłuż próbki z jednorodnego materiału (pół)przewodzącego w warunkach występowania na niej różnicy temperatur. Zjawisko Thomsona ma do chwili obecnej znaczenie tylko teoretyczne.

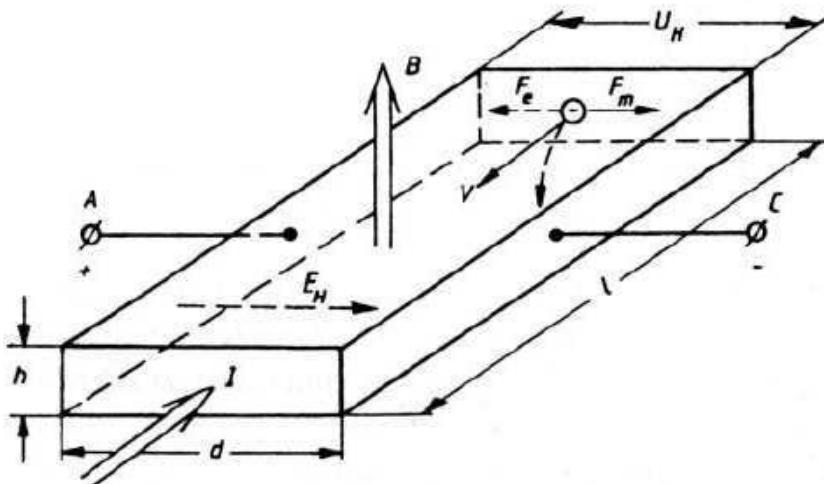
Efekty magnetoelektryczne

Materiał magnetoelektryczny zyskuje polaryzację elektryczną pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego (efekt magnetoelektryczny) i odwrotnie - zyskuje namagnesowanie pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego (odwrotny efekt magnetoelektryczny).

Zjawisko Halla

Zjawisko polegające na powstawaniu siły elektromotorycznej w wyniku odchylenia torów nośników ładunku elektrycznego w polu magnetycznym nazywa się zjawiskiem Halla.

Jeśli płytka półprzewodnika typu n, przewodzącą prąd stały o natężeniu I, umieści się w prostopadłym do niej polu magnetycznym o indukcji B, wówczas między zaciskami A i C pojawi się napięcie zwane napięciem Halla. Gdy płytka jest półprzewodnikiem typu p, nośnikami prądu są wtedy dodatnie dziury, a biegunowość zacisków A i C ulega odwróceniu.



Rys. 3.13-1. Zjawisko Halla

Zjawisko Halla występuje we wszystkich materiałach przewodzących prąd, jednak w metalach, z uwagi na duże wartości koncentracji elektronów n , jest ono znacznie mniejsze. Wystarczająco duże dla praktycznych zastosowań jest ono w półprzewodnikach domieszkowych.

Efekt Halla wykorzystuje się w Hallotronach. Hallotrony, zwane również czujnikami Halla, są elementami półprzewodnikowymi, służącymi przede wszystkim do pomiaru indukcji magnetycznej. Czujnik Halla stanowi cienką płytka. Przepuszczając prąd I z pomocniczego źródła prądu stałego przez płytke, mierzy się powstające napięcie Halla.

Oprócz pomiaru pól magnetycznych, czujników Halla używa się również do pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, jak również w układach realizujących różne operacje matematyczne i logiczne.

Źródło

1. Celiński - *Materiałoznawstwo Elektrotechniczne*
2. Blicharski - *Wstęp do inżynierii materiałowej*
3. Rutkowski - *Podstawy Inżynierii Materiałowej. Laboratorium.*
4. <http://www.ftj.agh.edu.pl/doc/pl/seminarium/pszczola.pdf>

C. Przenikalność elektryczna i zjawisko polaryzacji w dielektrykach

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

Przenikalność elektryczna

Przenikalność elektryczna względna określonego dielektryka, zwana często jego stałą elektryczną, jest liczbowo równa stosunkowi pojemności elektrycznej kondensatora z danym dielektrykiem do pojemności tego kondensatora po usunięciu dielektryka (tj. z dielektrykiem próżniowym).

Wartość przenikalności względnej zależy od stanu skupienia dielektryka, rodzaju polaryzacji, temperatury i częstotliwości zmiennego pola elektrycznego. Zależność przenikalności od temperatury jest zwykle niewielka dla gazów, natomiast może być znaczna dla dielektryków ciekłych i stałych, szczególnie dla tych o dipolowej budowie cząstek.

Przenikalność materiału jest wyrażona iloczynem przenikalności względnej oraz przenikalności elektrycznej próżni, czyli $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$

Zjawisko polaryzacji

Dielektrykami są ciała stałe, ciekłe i lotne, które w swojej strukturze - przy braku zewnętrznych bodźców jonizujących - nie zawierają ładunków swobodnych. Ładunki elektryczne przeciwnych znaków występujące w równych ilościach w poszczególnych atomach i cząsteczkach dielektryków są ze sobą bardzo silnie związane siłami wzajemnego przyciągania. Gdy na powyższe ładunki działają siły pola elektrycznego, więź między nimi nie zostaje zerwana, a jedynie doznają one nieznacznych, sprężystych przesunięć względem siebie.

W wyniku takiej uporządkowanej, sprężystej deformacji atomów i cząsteczek dielektryka, na jego powierzchni zwróconej do okładziny dodatniej kondensatora pojawia się warstwa ładunków ujemnych. Zjawisko to nazywa się polaryzacją dielektryka w polu elektrycznym.

Układ dwóch ładunków o przeciwnych znakach i równej wielkości q , oddalonych od siebie na odległość l , nazywa się dipolem elektrycznym. Moment elektryczny p takiego dipola ma wartość ql i skierowany jest od ładunku ujemnego do ładunku dodatniego.

Możliwe są trzy różne mechanizmy polaryzacji poszczególnych atomów i cząsteczek w polu elektrycznym:

- Polaryzacja elektronowa - pole elektryczne wywołuje względne przesunięcie dodatniego i ujemnego ładunku atomu. Atom uzyskuje w ten sposób indukowany elektryczny moment dipolowy
- Polaryzacja jonowa - pole wywołuje względne przesunięcie ujemnych i dodatnich jonów w cząsteczce. Indukowany jest wówczas dodatkowy moment dipolowy
- Polaryzacja dipolowa (polaryzacja orientacji) - jeśli w nieobecności pola istnieją w ośrodku stałe momenty dipolowe ustalone w różnych przypadkowych kierunkach, pole elektryczne powoduje ich obrót i uporządkowanie w kierunku pola.

Źródło

1. Cieśliński - Materiałoznawstwo Elektrotechniczne

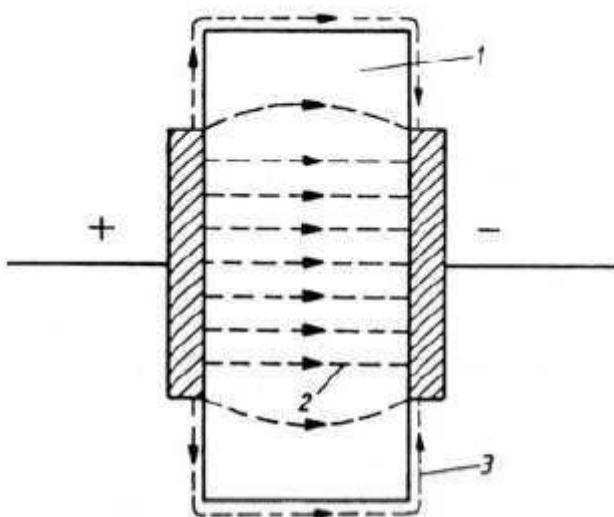
D. Rezystywność skrośna i powierzchniowa dielektryków oraz ich pomiary

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:31

W dielektryku, w którym nie ma swobodnych elektronów nie występuje przewodzenie elektronowe jak w metalach. Przewodzenie w materiałach izolacyjnych jest więc zawsze związane z ruchem jonów. Jest ono zależne od liczby jonów w jednostce objętości, ich ruchliwości oraz od struktury materiału. Wielkości te są z kolei zależne od warunków zewnętrznych, jak: natężenia pola elektrycznego, czynników dysocjujących (temperatura, woda, promieniowanie jonizujące), czasu oddziaływania pola elektrycznego, ilości i rodzaju zanieczyszczeń.

Powstawaniu ładunków elektrycznych pod wpływem czynników zewnętrznych towarzyszy ich zanikanie w wyniku rekombinacji, przy czym w warunkach ustalonych utrzymuje się równowaga między obu zjawiskami i ustala się określona koncentracja ładunków swobodnych w dielektryku.

Pod wpływem przyłożonego z zewnątrz napięcia, ładunki te tworzą bardzo niewielki prąd zwany prądem upływu. Przepływ tego prądu w przypadku dielektryków stałych odbywa się dwiema drogami: na wskroś dielektryka, tworząc prąd skrośny, płynący przez dielektryk oraz po powierzchni dielektryka, tworząc prąd powierzchniowy. Rozróżnia się więc dwa odrębne pojęcia: rezystywności skrośnej oraz rezystywności powierzchniowej.



Rys. 4.16–1. Drogi przepływu prądu przez dielektryk: 1 – dielektryk, 2 – prąd skrośny, 3 – prąd powierzchniowy

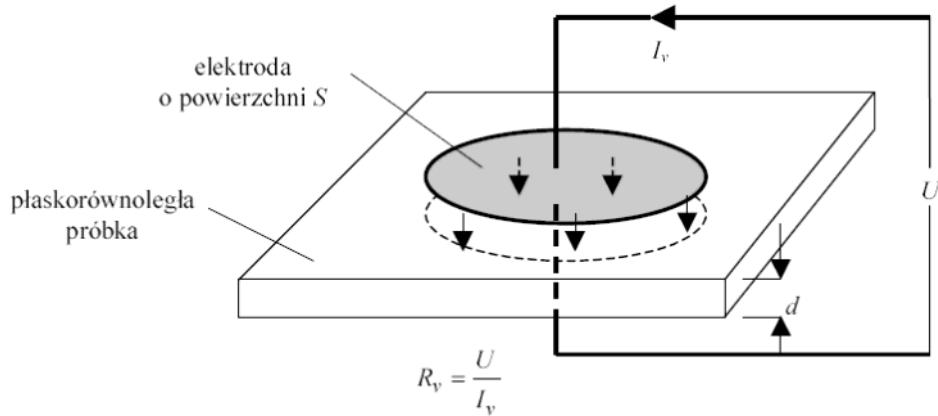
Zarówno rezystywność skrośna jak i powierzchniowa są wielkościami umownymi, kontrolowanymi po 1 minucie przepływu prądu. Umowność tego określenia wiąże się z czasowym przebiegiem mierzonego prądu, który to prąd może ustalić się dopiero po bardzo długim czasie.

Rezystywność skrośna

Rezystancja skrośna to stosunek napięcia prądu stałego U doprowadzonego do przeciwwległych powierzchni próbki materiału do natężenia prądu elektrycznego przepływającego na skróś próbki. Rezystywność skrośna to rezystancja skrośna odniesiona do wymiarów jednostkowych próbki.

Rezystywność skrośna maleje ze wzrostem temperatury w wyniku zwiększenia jonizacji. Zależy także silnie od stopnia zanieczyszczenia i zawiłgocenia. Zanieczyszczenia tworzą dodatkowe źródło

swobodnych jonów.

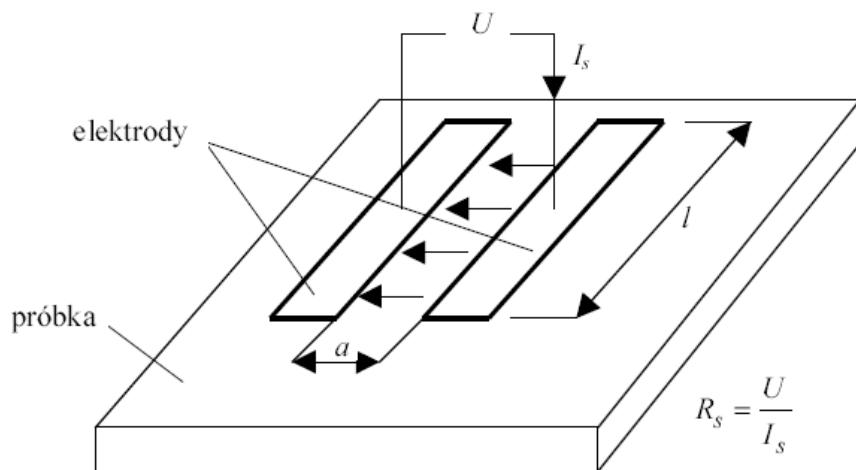


Rys. 1.1. Zasada pomiaru rezystancji skrośnej w układzie dwieletkodowym

Rezystywność powierzchniowa

Rezystancja powierzchniowa to stosunek napięcia prądu stałego U doprowadzonego do elektrod przylegających do jednej powierzchni próbki badanego materiału do natężenia prądu elektrycznego płynącego między tymi elektrodami. Rezystywność powierzchniowa to rezystancja powierzchniowa odniesiona do jednostkowych wymiarów próbki.

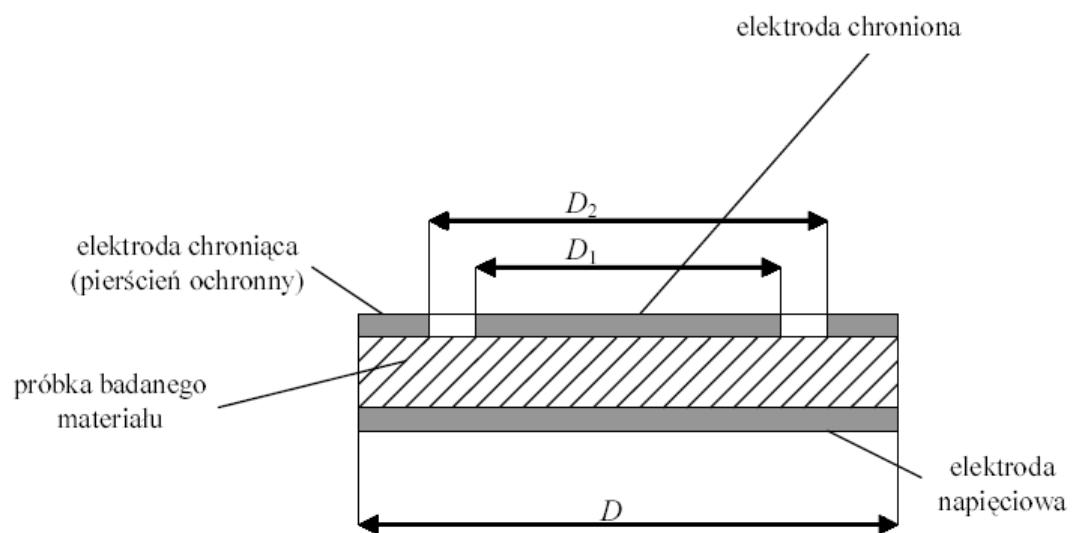
Rezystywność powierzchniowa, odnosząca się tylko do dielektryków stałych, zależy bardzo silnie od ich budowy oraz od stopnia zanieczyszczenia i zawilgocenia ich powierzchni. Największe wartości rezystywności powierzchniowej charakteryzują dielektryki, których powierzchnie nie ulegają zwilżaniu, a najmniejsze - dielektryki które rozpuszczają się częściowo w wodzie.



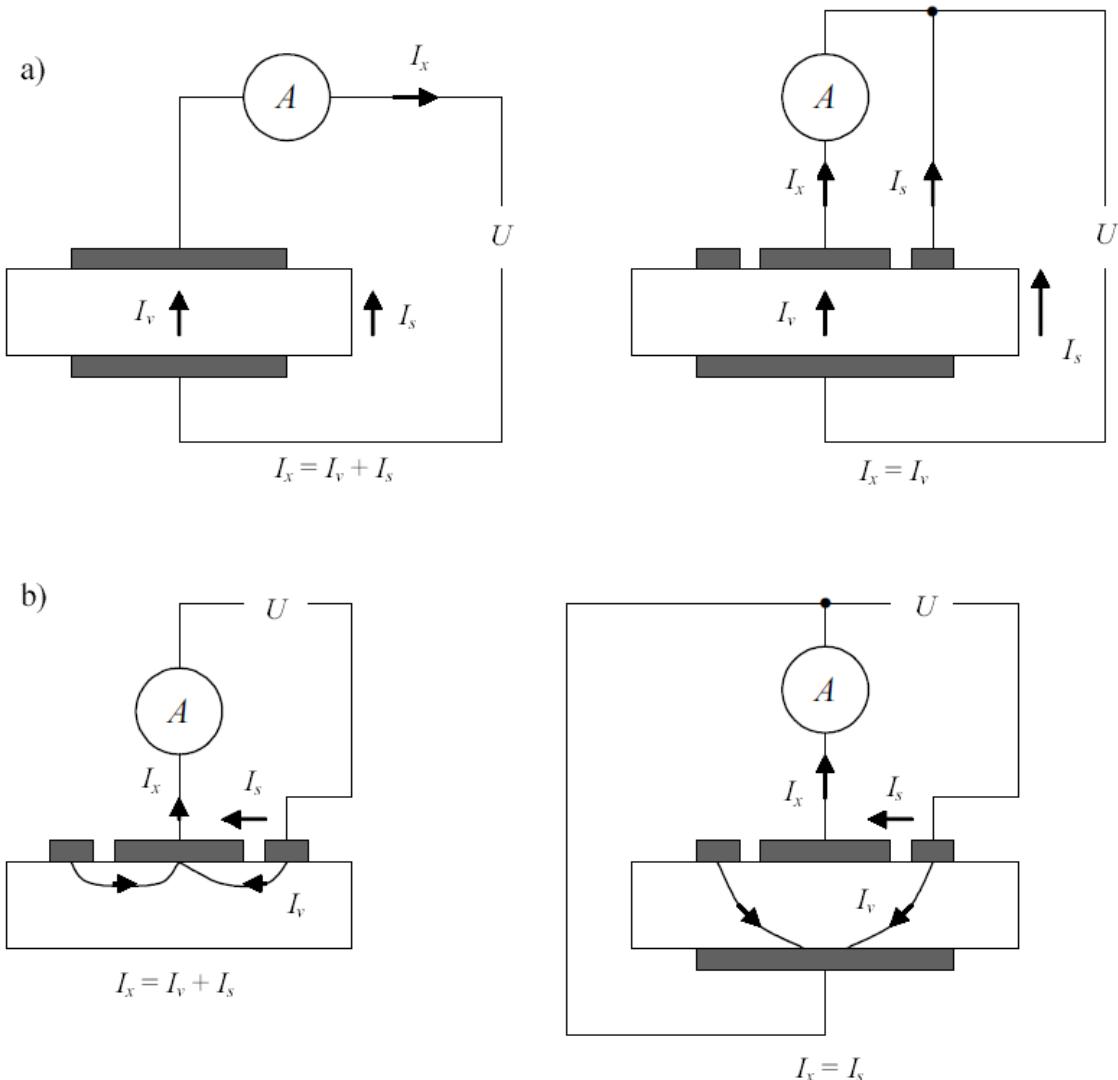
Rys. 1.2. Zasada pomiaru rezystancji powierzchniowej w układzie dwieletkodowym

Pomiary rezystywności skrośnej oraz powierzchniowej

Podczas dokładnych pomiarów rezystancji skrośnej stosuje się tzw. System trójelektrodowy, tzn. elektrody z pierścieniem ochronnym. System trójelektrodowy stosuje się zarówno do pomiaru rezystancji skrośnej jak i powierzchniowej. Zadaniem pierścienia ochronnego jest wyeliminowanie wpływu prądów powierzchniowych podczas pomiaru rezystancji skrośnej. W trakcie pomiaru rezystancji powierzchniowej role elektrod napięciowej i ochronnej się zamieniają.



Rys. 1.9. Przekrój przez próbkę z trzema koncentrycznymi elektrodami.
Nazwy poszczególnych elektrod podano dla przypadku pomiaru rezystancji skrośnej



Rys. 1.10. Pomiar rezystancji w układach dwu- i trójelektrodowym:
a – rezystancji skrośnej, b – rezystancji powierzchniowej

Źródło

1. Cieliński - *Materiałoznawstwo Elektrotechniczne*
2. Rutkowski - *Podstawy Inżynierii Materiałowej. Laboratorium.*

5. Technika wysokich napięć

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:30

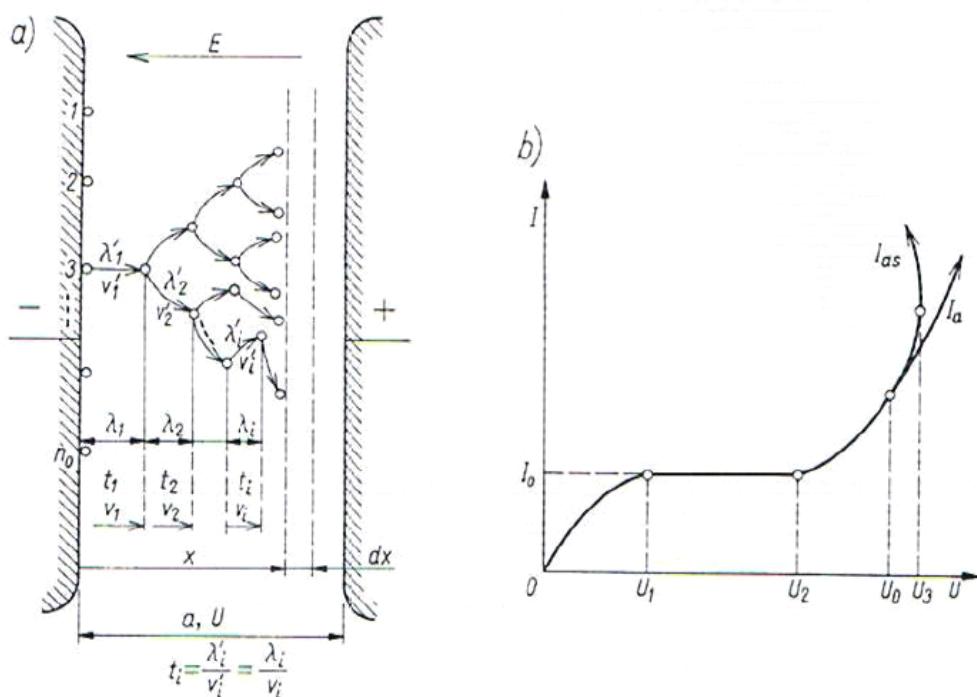
A. Mechanizmy rozwoju wyładowań elektrycznych w gazach

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Ogólne (dla wszystkich przypadków)

W normalnych warunkach atmosferycznych powietrze jest niemal idealnym dielektrykiem. Zawsze jednak występuje w nim niewielka liczba swobodnych ładunków, stanowiących wynik oddziaływania zewnętrznego promieniowania jonizującego i wewnętrznych procesów dejonizacyjnych.

Jeżeli ładunki swobodne znajdują się w polu elektrycznym, to następuje ich dryf w jego kierunku. Efektem tego jest przepływ prądu między elektrodami i wzrost energii kinetycznej dryfujących cząstek. Przy małych wartościach napięcia następuje odpływ ładunku z przestrzeni międzyelektrodowej do elektrody i zostaje osiągnięty stan nasycenia prądu I_o . Wzrost napięcia w zakresie nieprzekraczającym wartości U_2 , mimo przyspieszenia ruchu cząstek, nie prowadzi do wzrostu prądu ze względu na ustabilizowany proces jonizacyjny wywołany w dalszym ciągu tylko czynnikami zewnętrznymi. Przy napięciu U_2 , prędkość i energia kinetyczna cząstek mogą osiągać wartości krytyczne, a więc takie, przy których dochodzi do nieelastycznych (jonizujących) zderzeń cząsteczkami obojętnymi gazu.



Rys. 2.1. Lawina elektronowa w polu jednorodnym (a) i zależność prądu od napięcia (b)

Wystąpienie zderzeń jonizujących zapoczątkowuje wyładowanie lawinowe. Dzięki kolejnym zderzeniom nieelastycznym następuje gwałtowny wzrost liczby ładunku i natężenia prądu. Wyładowanie lawinowe w tej fazie jest wyładowaniem niesamodzielnym. Gdyby ustało oddziaływanie zewnętrznych jonizatorów, proces wyładowania zanikłby.

Dalszy rozwój wyładowania może przebiegać w różny sposób. Zależy to głównie od współczynnika niejednorodności pola, odstępu elektrod a i ciśnienia gazu p. Wpływ mają również takie czynniki jak: rodzaj gazu, zmiana napięcia w czasie, biegunowość napięcia w układzie o polu niejednorodnym itp.. Można wyróżnić trzy podstawowe mechanizmy rozwoju wyładowań:

- Mechanizm Townsenda, występujący przy małych ilościach iloczynu ap (100 - 1000 hPa*cm)
- Mechanizm kanałowy: strimerowy przy średnich wartościach iloczynu ap ($10^3 - 10^5$ hPa · cm)

cm) i strimerowo-liderowy przy dużych wartościach iloczynu ap (powyżej $10^5 \text{ hPa} \cdot \text{cm}$)

- Mechanizm próżniowy, występujący przy podciśnieniu na poziomie zbliżonym do próżni.

Wspólnym elementem, charakteryzującym początkową fazę wszystkich mechanizmów z wyjątkiem próżniowego, jest lawina elektronowa. Zostaje ona zapoczątkowana, gdy wzrost energii swobodnego elektronu na drodze swobodnej w kierunku pola, przekroczy wartość energii jonizacyjnej.

Przekroczenie pewnego poziomu napięcia (U_o) oznacza przejście od wyładowania niesamoistnego do wyładowania samoistnego, które może być wyładowaniem niezupełnym, obejmującym część przestrzeni międzyelektrodowej lub wyładowaniem zupełnym, doprowadzającym do zwarcia iskrowego elektrod.

Stopień, w jakim są uwzględnione i sposób w jaki są ujmowane zjawiska towarzyszące przejściu od wyładowania niesamoistnego do samoistnego pozwalają rozróżnić poszczególne mechanizmy. Chodzi tu przede wszystkim o wewnętrzne źródło swobodnych elektronów i o rolę ładunku przestrzennego.

Mechanizm Townsenda

Mechanizm Townsenda jest oparty na założeniu, że wewnętrznym źródłem swobodnych elektronów jest wyłącznie ich emisja z katody pod wpływem bombardowania jej przez jony dodatnie, powstające w procesie jonizacji zderzeniowej w lawinie, i że przy stosunkowo niewielkim odstępie elektrod ładunek przestrzenny jest zbyt mały, aby mógł w istotny sposób wpływać na rozkład pola.

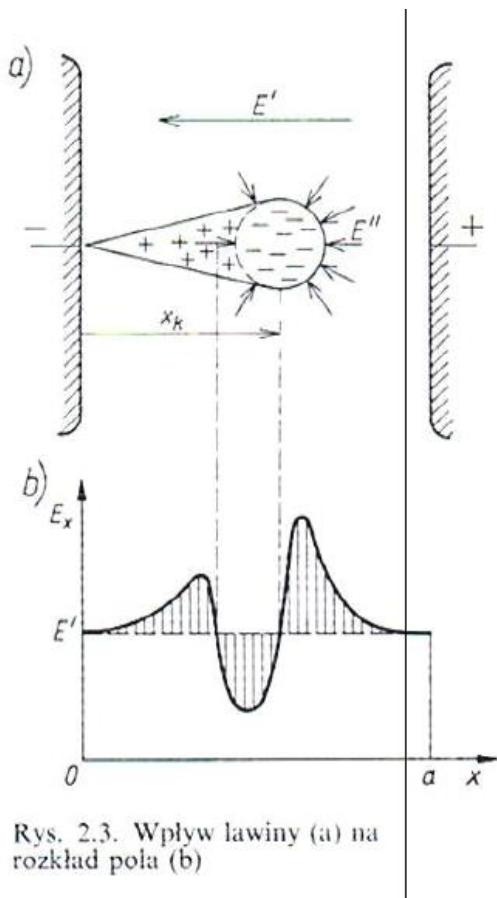
Aby rozpoczęło się wyładowanie samoistne, z katody musi być wybity przez jon dodatni co najmniej jeden elektron. Wyrazem tego jest nagły wzrost prądu I_{as} na rysunku 2.1 (powyżej).

Mechanizm kanałowy

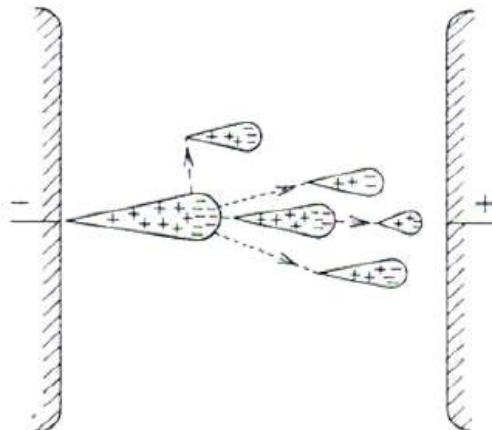
Mechanizm Strimerowy

Mechanizm kanałowy oparty jest na założeniu, że wewnętrznym źródłem swobodnych elektronów jest fotojonizacja wywołana przez procesy odwzbudzeniowe i rekombinacyjne zachodzące w lawinie, a odstęp między elektrodami jest wystarczający do wzrostu w lawinie ładunku przestrzennego do znaczącej wartości.

W postępującej lawinie następuje rozdział ładunku. Szybkie elektryny gromadzą się przy jej czole, a cięższe jony dodatnie pozostają w tyle. Wytwarzony w ten sposób ładunek przestrzenny jest źródłem natężenia pola E' , które nakłada się na pole pierwotne E i odkształca jego rozkład. Towarzyszące powstaniu ładunku przestrzennego procesy rekombinacyjne i odwzbudzające są źródłem energii wystraczającej nie tylko do zintensyfikowania jonizacji w samej lawinie, lecz także do zapoczątkowania fotojonizacji w jej otoczeniu. Pojawienie się fotojonizacji daje początek wyładowaniu samoistnemu. Wokół lawiny pierwotnej powstają lawiny wtórne.

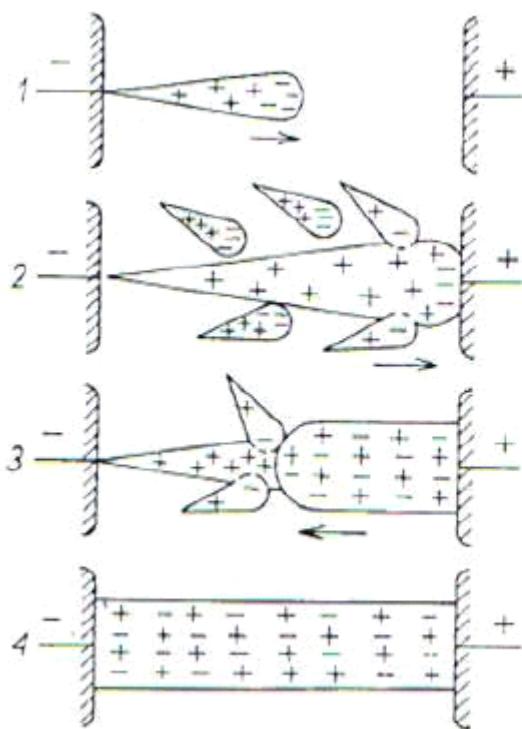


Rys. 2.3. Wpływ lawiny (a) na rozkład pola (b)



Rys. 2.4. Powstawanie lawin wtórnych pod wpływem fotojonizacji wywołanej przez lawinę pierwotną

Przy dostatecznie silnym polu wytwarzanym przez ładunek przestrzenny, lawiny wtórne są wciągane w obszar lawiny pierwotnej. Zwiększa się w niej liczba ładunków, a zderzenia sprężyste powodują wzrost temperatury. Powstają warunki sprzyjające przekształceniu się lawiny pierwotnej w kanał plazmowy zwany strimerem.

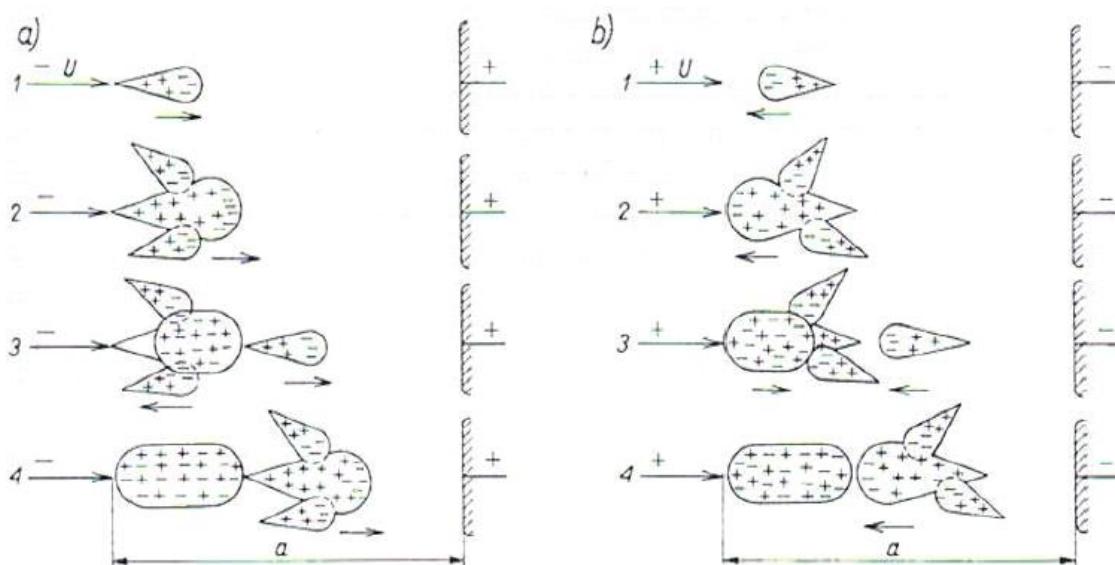


Rys. 2.5. Kolejne fazy (1, 2, 3, 4) wyładowania strimerowego

Osiągnięcie przez lawinę pierwotną krytycznej długości x_{cr} , a tym samym przekształcenie się jej w strimer jest możliwe, jeżeli odstęp międzyelektrodowy jest większy od x_{cr} lawiny.

Strimer może powstawać w pobliżu elektrody lub w przestrzeni międzyelektrodowej. W układzie o polu jednorodnym przy odstępie a , nieznacznie większym od x_{cr} , strimer rozwija się od anody po dotarciu do niej lawiny pierwotnej. W przypadku większych odstępów lub w przypadku dużych wartości natężenia pola pierwotnego strimer może powstawać przy czole lawiny pierwotnej o krytycznej długości, gdy zacznie się ona łączyć z rozwijającymi się przed nią lawinami wtórnymi. Łączenie się lawin w kanał plazmowy jest wyjaśnieniem znacznie krótszego czasu rozwoju wyładowania w mechanizmie kanałowym strimerowym niż Townsenda.

W polu niejednorodnym miejsce powstania i kierunek rozwoju lawiny zależą od biegunowości elektrody o mniejszym promieniu krzywizny, przy której rozpoczyna się wyładowanie lawinowe. Przy biegunowości ujemnej lawina rozwija się w kierunku malejącego natężenia pola i przy zbyt małej jego wartości zatrzymuje się. Dzięki procesom fotojonizacyjnym i silnemu własnemu polu przekształca się ona, od czoła wstecz, w przewodzący kanał strimera. Dojście czoła strimera do katody powoduje wzrost natężenia pola przy jego krańcu od strony anody. Powstaje tam nowa lawina i proces zaczyna się powtarzać. W związku z tym, że rozwój kanału plazmowego następuje od strony katody, nosi on nazwę mechanizmu katodowego



Rys. 2.6. Kolejne fazy (1, 2, 3, 4) rozwoju kanału plazmowego katodowego (a) i anodowego (b) w polu niejednorodnym

Przy dodatniej biegunowości elektrody o mniejszym promieniu krzywizny, lawina może się rozwijać w kierunku rosnącego natężenia pola. Aby mogło to nastąpić, musi ona powstać w dostatecznej odległości od elektrody, co wymaga większego natężenia pola przy powierzchni tej elektrody niż w przypadku jej biegunowości ujemnej. Po dojściu lawiny do anody tworzy się kanał strimera anodowego, tak samo jak w polu jednorodnym. Duży ładunek dodatni na końcu lawiny wzmacnia za nią pole. Powstaje tam nowa lawina, która rozwija się w kierunku anody równocześnie z rozwojem kanału w kierunku katody. Proces powstawania kolejnych lawin i rozwoju kanału jest ciągły, chyba że zostanie zahamowany wskutek zbyt małego pola pierwotnego przy katodzie.

Potrzebne od podtrzymania wyładowania strimerowego natężenie pola jest znacznie mniejsze od krytycznego i od potrzebnego do podtrzymania procesu jonizacji zderzeniowej. Dzięki temu uzyskuje się znaczne wzmacnianie pola przed czołem strimera.

Mechanizm strimerowo-liderowy

Połączenie elektrod przez kanał wyładowania strimerowego przekształca go w znacznie lepiej przewodzący kanał wyładowania głównego o temperaturze wyższej niż potrzebna do wywołania jonizacji termicznej. Przy dużych odstępach elektrodowych, gdy do zwarcia elektrod przez strimer jeszcze nie dochodzi, a wzrost liczby i prędkości ładunków powoduje przekroczenie temperatury jonizacji termicznej, następuje przekształcenie się kanału strimerowego w tzw. lider.

Przed czołem lidera występują w dalszym ciągu procesy lawinowo-strimerowe. Kanał lidera rozwija się skokowo. Strimer ostatniego skoku przekształca się bezpośrednio w wyładowania główne. Mechanizm kanałowy strimerowo-liderowy można uzyskać przy ciśnieniu atmosferycznym, jeżeli odstęp międzyelektrodowy osiąga wartość ok. 100cm. O rozwoju tego mechanizmu decydują wzajemnie oddziałujące na siebie liczne czynniki, przez co analityczne formułowanie kryteriów ilościowych staje się utrudnione.

Mechanizm próżniowy

Mechanizm próżniowy dotyczy przypadku, w którym odległość między cząsteczkami gazu otaczającego elektrody jest większa niż odstęp międzyelektrodowy i niemożliwy staje się rozwój lawiny elektrodowej. Warunkiem rozwoju wyładowania jest wtedy wystąpienie w przestrzeni przeelektrodowej zjonizowanych par metalu. W ich tworzeniu mogą mieć udział:

- Emisja polowa (termopolowa) elektronów
- Makrocząsteczkowe bombardowanie elektrod
- Międzyelektrodowa wymiana cząstek.

Emitowane z powierzchni katody elektrony są przyspieszane w bardzo silnym polu i z dużą energią uderzają w anodę, powodując jej rozgrzanie i lokalne odparowanie. Do wystąpienia wyładowania może doprowadzić albo parowanie anody, albo parowanie mikroostrza katody. Zależy od tego, które z tych zjawisk ma większą intensywność.

Źródło

1. Flisowski - *Technika Wysokich Napięć*

B. Wytrzymałość elektryczna dielektryków stałych i cieczy dielektrycznych

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Podwyższając napięcie przyłożone do okładzin kondensatora przedzielonych dielektrykiem osiąga się napięcie krytyczne zwane napięciem przebicia U_p , przy którym następuje przebicie elektryczne dielektryka w postaci iskry lub łuku. Natężenie pola elektrycznego E_p odpowiadające napięciu przebicia, nazywa się wytrzymałością dielektryka.

Przebicie dielektryka zachodzi w wyniku uzyskania przez nieliczne ładunki swobodne zawarte w dielektryku tak znacznej energii od pola elektrycznego, że w zderzeniach jonizują one inne atomy lub cząstki (jonizacja zderzeniowa).

Wytrzymałość elektryczna materiałów izolacyjnych zależy od wielu czynników, przede wszystkim zaś od:

- Kształtu elektrod
- Stanu zawiłgocenia izolacji
- Temperatury
- Grubości warstwy izolacji
- Rodzaju napięcia

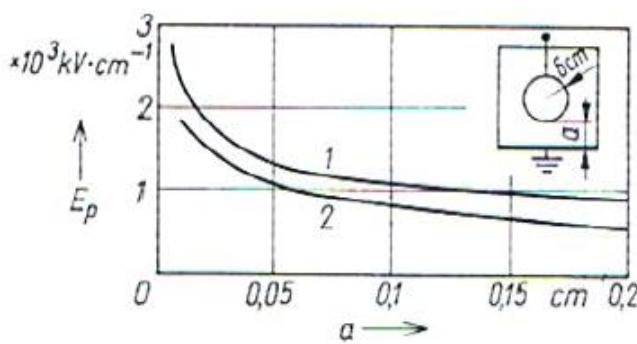
Wytrzymałość dielektryków stałych

Wytrzymałość dielektryków stałych, podobnie jak cieczy i gazów, jest określana za pomocą napięcia lub naprężenia przebicia. Przebicie dielektryka stałego oznacza jednak trwałą utratę właściwości izolacyjnych, a zatem jego zniszczenie.

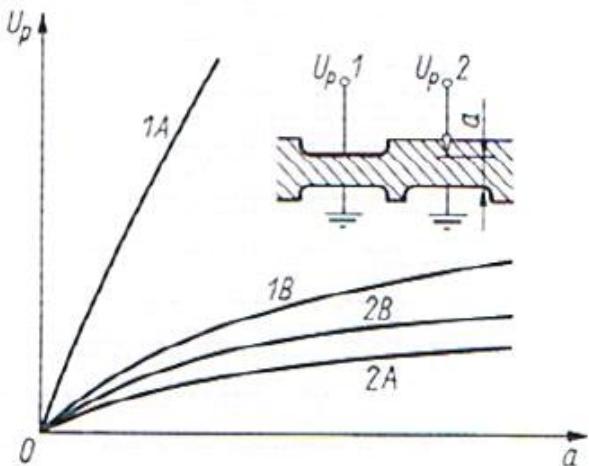
Określenie krytycznej wartości naprężenia jest utrudnione zarówno ze względu na wielką różnorodność dielektryków jak i ograniczoną powtarzalność warunków narażeniowych.

Wytrzymałość materiału określana na podstawie badań próbek, nie jest miarodajna do określenia wytrzymałości układu izolacyjnego. Wynikające z geometrycznego rozkładu naprężenia są silnie zakłócone nie tylko przez wewnętrzne czynniki strukturalne, ale również przez wiele czynników zewnętrznych, do których należą: rodzaj naprżeń (zmienne, stałe, impulsowe), czas oddziaływania naprżeń, wyładowania niezupełne (wewnętrzne i zewnętrzne), temperatura, ciśnienie i wilgoć.

Wyraźny wzrost prądu przy naprężeniach zbliżonych do krytycznych wiąże się z emisją ładunku z elektrody i z naruszeniem struktury dielektryka. W ocenie wytrzymałości elektrycznej rzeczywistych układów izolacyjnych podstawową rolę odgrywa zależność napięcia przebicia od czasu do przebicia. Obie te wielkości są wielkościami losowymi o dużym rozrzucie wartości i w związku z tym wymagają ujęcia statystycznego, opartego na próbach modelowych.



Rys. 2.42. Wytrzymałość elektryczna polietylenu (1) i żywicy epoksydowej (2) w funkcji grubości materiału a



Rys. 2.43. Porównanie charakterystyk wytrzymałościowych dielektryków o strukturze: jednorodnej (A) i niejednorodnej (B) w układzie o polu jednorodnym (1) i niejednorodnym (2)

Wyróżnia się trzy podstawowe mechanizmy przebicia w zależności od czasu oddziaływania naprężen:

Mechanizm elektryczny (przebicia istotnego)

Przebicie następuje w czasie krótszym niż 1s. Występuje wówczas, gdy dielektryk jest czysty i jednorodny, nie ma możliwości powstawania wyładowań zewnętrznych i są kontrolowane warunki środowiskowe, a więc gdy rozwój wyładowania zależy wyłącznie od właściwości materiału i temperatury. Wyładowanie to ma charakter elektronowy, a do jego wystąpienia jest niezbędne natężenie pola rzędu $10^3 \frac{kV}{cm}$ i obecność co najmniej jednego elektronu w pasmie przewodnictwa. Pole zewnętrzne musi zapewnić elektronowi energię niezbędną do przedostania się do tego pasma i dodatkowy przyrost energii niezbędny do osiągnięcia stanu jonizacji zderzeniowej.

Mechanizm cieplny

Występuje wówczas, gdy dielektryk rozgrzewa się pod wpływem prądów upływu i strat polaryzacyjnych, a więc gdy dostarczone do niego ciepło staje się większe niż ciepło oddane przez układ do otoczenia.

Mechanizm jonizacyjno-starzeniowy

Występuje wówczas, gdy wytrzymałość dielektryka maleje wskutek wyładowań niezupełnych (zewnętrznych i wewnętrznych) lub pod wpływem starzenia cieplnego i elektrochemicznego.

Wytrzymałość cieczy dielektrycznych

Spośród wielu dielektryków ciekłych największe znaczenie mają:

- **Oleje mineralne** - różnią się wytrzymałością elektryczną, stanem czystości, gęstością i lepkością; podlegają starzeniu i są palne
- **Dielektryki syntetyczne** - charakteryzują się dużą wartością przenikalności elektrycznej, mają dużą odporność termiczną
- **Oleje roślinne** - duża wartość przenikalności elektrycznej, duża wytrzymałość elektryczna przy napięciu udarowym
- **Gazy izolacyjne w stanie ciekłym** - charakteryzują się wytrzymałością elektryczną silnie zależną od ciśnienia
- **Woda** - mała wytrzymałość przy napięciu stałym, duża przy napięciu udarowym i wzrasta przy zwiększaniu odstępu międzyelektrodowego

Rozwój wyładowania w dielektryku ciekłym jest procesem bardzo złożonym i dotychczas niezbyt dokładnie rozpoznany. Wyodrębnia się następujące mechanizmy przebicia dielektryków:

- **Mechanizm elektronowy** - polega na takim samym rozwoju lawiny elektronowej, jak w przypadku dielektryka gazowego; źródłem elektronów jest emisja polowa

- **Mechanizm jonowy** - wskazuje na przewodnictwo jonowe, które w polu o małym natężeniu występuje wskutek dysocjacji zanieczyszczeń; wzrost prądu można tłumaczyć udziałem emisji elektronów z katody
- **Mechanizm gazowy** - gazy i pary mogą być rozpuszczone w cieczy lub tworzyć pęcherzyki; gaz rozpuszczony w cieczy ma niewielki wpływ na jej wytrzymałość elektryczną, natomiast w postaci pęcherzyka znacznie ją obniża
- **Mechanizm mostkowy** - wiąże się z obecnością w cieczy zanieczyszczeń takich jak włókna i cząsteczki materiałów stałych, które w polu elektrycznym polaryzują się
- **Mechanizm konwekcyjno-zaburzeniowy** - rozpatrywany w odniesieniu do cieczy czystej, w której nośniki ładunku pochodzą z powierzchni elektrody

Na wytrzymałość dielektryków ciekłych w układach izolacyjnych mają wpływ: czas oddziaływanego pola, biegunowość napięcia, współczynnik niejednorodności pola, odstęp międzyelektrodowy, powierzchnia i kształt elektrod, rodzaj i stopień zanieczyszczeń dielektryka oraz jego temperatura i ciśnienie. O jakości dielektryka decyduje jego rodzaj i stopień czystości.

Wobec wpływu wielu przypadkowych czynników na wytrzymałość dielektryków ciekłych, określenie jej w drodze obliczeniowej, nawet w przypadku układów o polu jednorodnym, może mieć charakter tylko orientacyjny.

Źródło

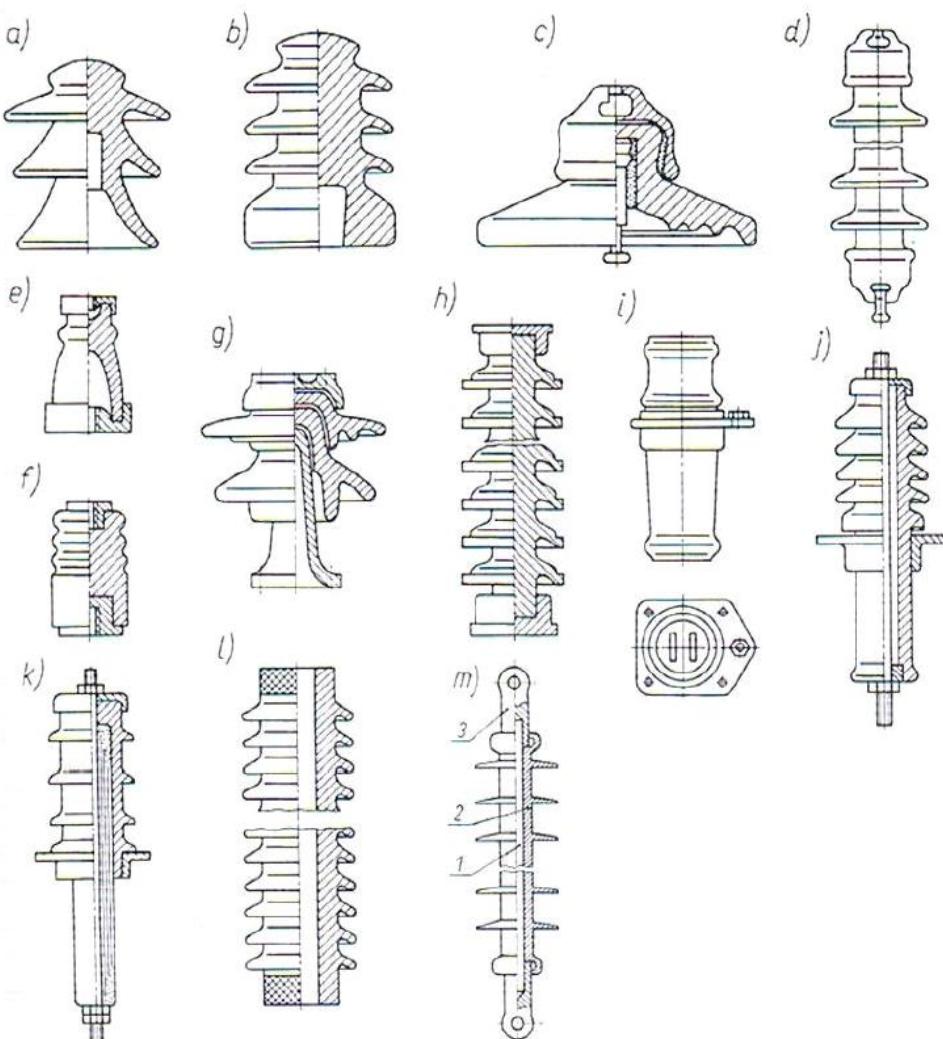
1. Flisowski - *Technika Wysokich Napięć*
2. Celiński - *Materiałoznawstwo elektrotechniczne*

C. Wysokonapięciowe izolatory elektroenergetyczne

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Izolator jest częścią układu izolacyjnego, służącą do mechanicznego umocowania i elektrycznego rozdzielenia elektrod przeznaczonych do pracy w ośrodku gazowym lub ciekłym. W praktyce są stosowane różne typy izolatorów, dostosowane do funkcji jaką mają spełnić oraz do warunków środowiskowych i konstrukcyjnych w miejscu ich zainstalowania.

Materiałami izolacyjnymi używanymi do produkcji izolatorów są: porcelana, szkło i tworzywo sztuczne. Izolator może być jednczęściowy lub złożony z elementów.



Rys. 1.25. Przykłady izolatorów: a) stojący deltowy; b) stojący pniowy; c) kolpakowy; d) wiszący pniowy; e) wsporczy z okuciami zewnętrznymi; f) wsporczy z okuciami wewnętrznymi; g) trzonowy; h) przeciwwzabrudzeniowy schodkowy; i) przepustowy szynowy; j) przepustowy sworzniowy (napowietrzno-wewnętrzny); k) przepustowy kondensatorowy (sterowany); l) osłonowy; m) kompozytowy
1 – rdzeń nośny; 2 – osłona z elastomeru; 3 – okucie

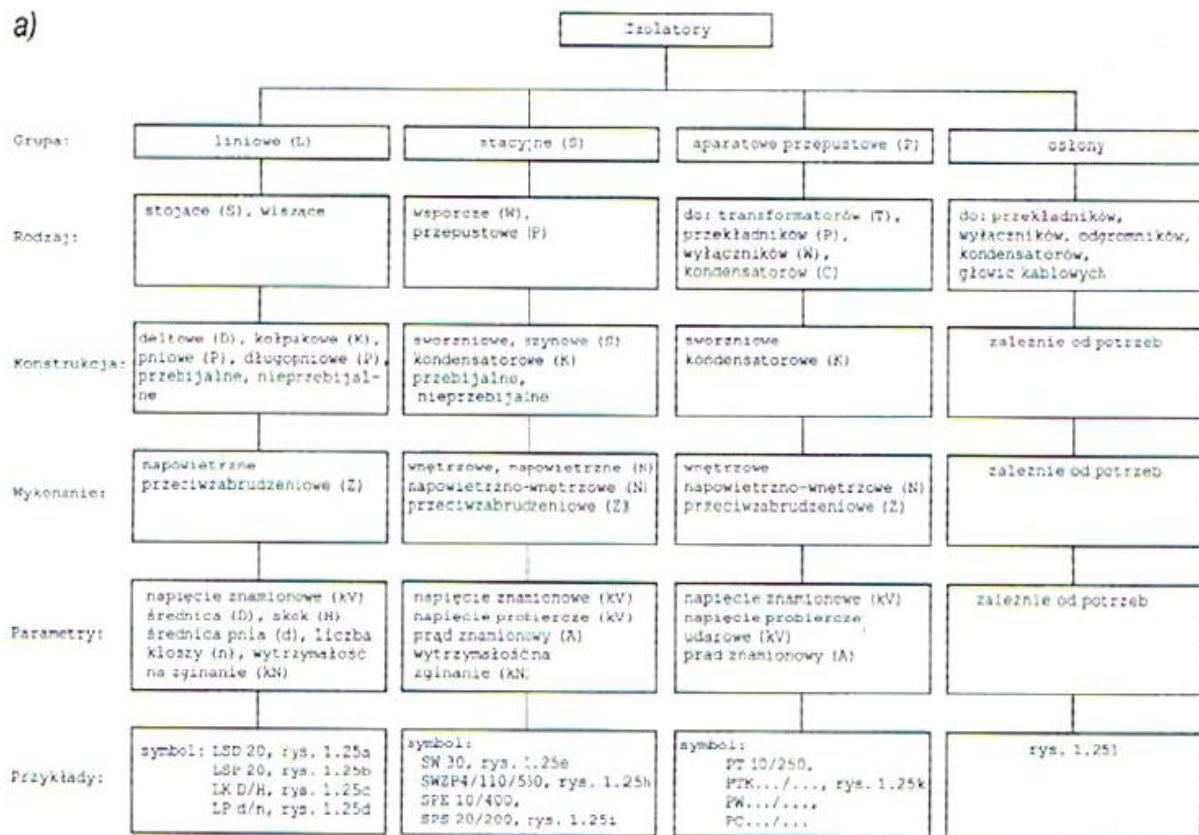
Podstawowe parametry charakteryzujące izolatory w elektroenergetyce to:

- Napięcie znamionowe
- Droga upływu
- Droga przeskoku
- Droga przebicia
- Napięcie probiercze i napięcie przeskoku
- Obciążenie probiercze
- Wytrzymałość mechaniczna

- Wytrzymałość elektromechaniczna

Wyróżnia się izolatory liniowe, stacyjne, aparatowe przepustowe oraz osłony.

a)



Najczęściej spotykane izolatory w elektroenergetyce to:

- **Izolatory liniowe stojące** - rodzaj izolatorów stosowanych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia i wysokiego napięcia oraz w rozdzielnikach napowietrznych jako wsporniki szyn i części odłączników oraz bezpieczników
- **Izolatory liniowe wiszące** - rodzaj izolatorów stosowanych w liniach elektroenergetycznych głównie wysokiego napięcia, przeznaczonych do pracy mechanicznej tylko na rozciąganie
 - Łąćuch izolatorowy - jeden lub więcej izolatorów wiszących połączonych szeregowo wraz z osprzętem
- **Izolatory wsporczy wewnętrzowe** - służą do mocowania szyn, styków w odłącznikach oraz bezpieczników; izolatory nieobciążone mechanicznie - istotne są przy nich siły elektrodynamiczne przy zwarciach
- **Izolatory wsporczy napowietrzne** - kiedyś realizowane podobnie jak izolatory łańcuchowe, obecnie tylko dla najwyższych napięć
- **Izolatory przepustowe** - służą do przeprowadzenia szyny pod napięciem przez ścianę uziemioną; po dwóch stronach ściany mogą występować jednakowe lub różne warunki

Koordynacja izolacji

Izolacja współpracujących ze sobą urządzeń o jednakowym napięciu znamionowym nie jest i nie powinna być jednakowo wytrzymała. Napięcie wytrzymywane podlega zróżnicowaniu w zależności od miejsca zainstalowania, wartości i roli urządzeń w układzie oraz zależności od możliwości regeneracyjnych izolacji po wystąpieniu wyładowania. Prawidłowe uszeregowanie poziomów wytrzymałości elektrycznej należy do zadań koordynacji izolacji. Jej celem jest zagwarantowanie wymaganego stopnia pewności pracy układu przy możliwie najniższych nakładach na wykonanie i ochronę jego izolacji.

Źródło

1. Flisowski - *Technika Wysokich Napięć*
2. https://pl.wikipedia.org/wiki/Izolatory_energetyczne

D. Przepięcia i urządzenia ochrony przepięciowej

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Przepięcia

Na napięcia robocze o podwyższonej wartości przy różnych zakłócenach mogą nakładać się krótkotrwałe przepięcia o przebiegu okresowym lub nieokresowym. Przepięcia mogą być powodowane różnymi przyczynami. Rozróżnia się przepięcia wewnętrzne (łączeniowe) oraz zewnętrzne wskutek wyładowań piorunowych.

Przepięcia wewnętrzne mogą być wywołane zwarciami niesymetrycznymi jedno- i dwufazowymi z ziemią oraz czynnościami łączeniowymi takimi jak wyłączanie nieobciążonych transformatorów i linii, wyłączanie transformatora z przyłączoną cewką kompensacyjną, załączanie nieobciążonych długich linii, a także zmianą obciążenia. Bardzo dużymi wartościami charakteryzują się tzw. przepięcia ferrorezonansowe.

Przepięcia zewnętrzne (atmosferyczne) mają charakter aperiodyczny o wartościach dochodzących do kilku tysięcy kilowoltów przy wyładowaniach piorunowych bezpośrednich oraz do 200-300kV przy wyładowaniach pobliskich (przepięcie indukowane). Przepięcia indukowane stanowią zagrożenie dla izolacji urządzeń średnich napięć, natomiast dla linii i urządzeń o napięciu 110kV i wyższym nie są w zasadzie niebezpieczne, ze względu na wytrzymałość ударową izolacji tych urządzeń większą niż spodziewane wartości przepięć.

W celu ograniczenia występowania przepięć powodujących uszkodzenia izolacji urządzeń i aparatów stosuje się ochronę od bezpośrednich uderzeń piorunów polegającą na wykonaniu specjalnych zwodów pionowych lub poziomych (przewodów odgromowych), a od przepięć indukowanych - na zainstalowaniu w określonych miejscach specjalnych urządzeń.

Izolacja urządzeń elektrycznych powinna charakteryzować się wytrzymałością elektryczną na przepięcia krótkotrwałe o częstotliwości sieciowej oraz udarowe nie niższą od napięć probierczych wytrzymywanych stosowanych w próbie wytrzymałości elektrycznej urządzeń.

Izolacja urządzeń elektrycznych i stosowane środki ochrony przeciwprzepięciowej powinny być tak dobrane i zwymiarowane, aby nie dochodziło do przebicia izolacji, a w przypadku jego wystąpienia dotyczyło tylko tych części izolacji równoległej, których przebicie nie powoduje trwałych uszkodzeń.

Ochrona przed bezpośredniimi wyładowaniami atmosferycznymi

Ochronę urządzeń i aparatów elektroenergetycznych stacji napowietrznych przed bezpośredniimi wyładowaniami atmosferycznymi wykonuje się za pomocą zwodów poziomych lub pionowych wolno stojących albo ustawionych na konstrukcjach wsporczych. Linie elektroenergetyczne na konstrukcjach stalowych powinny być chronione na całej długości przed bezpośredniimi uderzeniami piorunów jednym lub dwoma przewodami odgromowymi.

Urządzenia ochrony przepięciowej

Ważne urządzenia elektroenergetyczne takie jak transformatory, linie kablowe i inne powinny być chronione przed skutkami przepięć za pomocą ograniczników przepięć. W przypadku mniej ważnych urządzeń mogą być stosowane również iskierniki, odgromniki wydmuchowe lub jeszcze inne środki ochrony.

Iskierniki

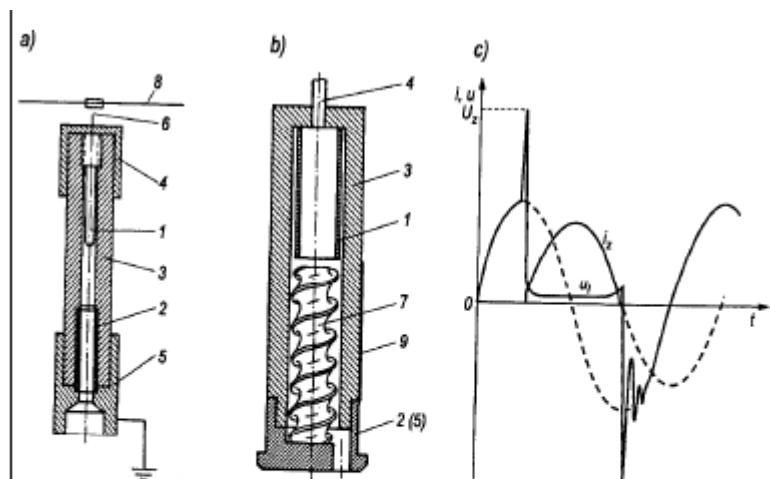
Iskierniki należą do najprostszych środków ochrony przeciwprzepięciowej. Ich działanie następuje w razie wystąpienia przepięć o wartościach większych niż wytrzymałość przerwy powietrznej iskiernika, co powoduje zwarcie obwodu z ziemią i spadek napięcia do zera. Po zadziałaniu nadal płynie prąd następny wywołany napięciem roboczym, który musi być przerwany przez odpowiedni wyłącznik, a więc powstaje przerwa w zasilaniu.

Obecnie iskierniki znajdują ograniczone zastosowanie jako aparaty ochrony przeciwprzepięciowej, głównie ze względu na niekorzystną charakterystykę zapłonową, odznaczającą się dużymi wartościami napięcia zapłonowego dla przepięć o bardzo dużych szybkościach narastania napięcia, rzędu wielu kilowoltów na mikrosekundę. Iskierniki znalazły natomiast powszechnie zastosowanie w liniach napowietrznych wysokiego napięcia jako elementy bocznikujące izolatory.

Odgromniki wydmuchowe

Podstawowym elementem odgromnika wydmuchowego jest iskiernik umieszczony w rurze z materiału gazującego. Pełni on funkcję szybkiego wyłącznika przerywającego skutecznie prąd następny, jaki płynie po zadziałaniu odgromnika przy napięciu roboczym. Gaszenie łuku następuje wskutek wydmuchu gazów wydzielających się pod wpływem łuku ze ścianek tulei wykonanej z materiału silnie gazującego, osłaniającej iskiernik.

Strumień wydmuchiwanych z dużą prędkością gazów chłodzi łuk i kolumnę połukową, co powoduje trwałe zgaszenie łuku wielkoprądowego. Instalując odgromniki wydmuchowe należy zachować dodatkową przerwę między linią pod napięciem a górną elektrodą iskiernika wewnętrznego - stosuje się do tego iskiernik zewnętrzny.



Rys. 10.19. Szkice wydmuchowych ograniczników przepięć (odgromników) o konstrukcji rurowej (a) i szczelinowo-śrubowej (b) oraz przebieg napięcia i prądu następnego w czasie działania odgromnika w sieci skutecznie uziemionej (c)

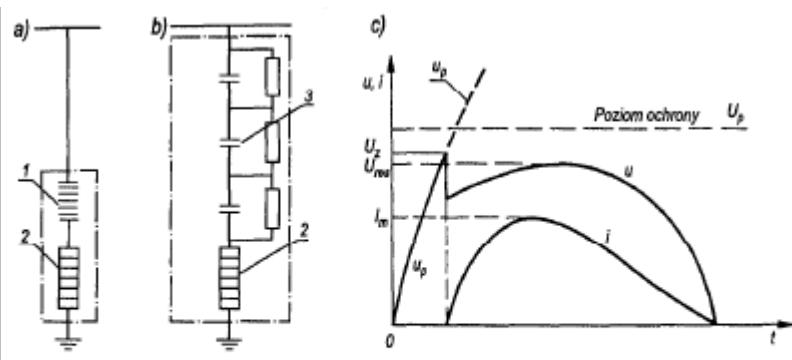
1, 2 – górna (1) i dolna (2) elektroda iskiernika wewnętrznego, 3 – rura z materiałem gazującym, 4 – górna elektroda iskiernika zewnętrznego, 5 – okucie uziemione (dolna elektroda zewnętrznego), 6 – przerwa powietrzna iskiernika zewnętrznego, 7 – wkładka śrubowa z materiałem gazującym, 8 – linia pod napięciem, 9 – ekran (pasek) metalowy sterujący, U_t – napięcie zapłonu, i_n – prąd następny, $i_{\text{ł}}$ – napięcie łuku, U_{z} – napięcie zapłonu

Pojawienie się fali przepięciowej o wartości większej niż napięcie zapłonu powoduje przebitie przerw obydwu iskierników i przepływ prądu wyładowczego. Następuje strome uciecie fali przepięciowej.

Odgromniki wydmuchowe wyróżniają się prostotą budowy i niskimi kosztami wytwarzania, ale również wadami takimi jak niekorzystna charakterystyka napięciowo-czasowa.

Zaworowe ograniczniki przepięć

Ogranicznik zaworowy jest zbudowany z iskierników oraz rezystorów o nieliniowej charakterystyce, przedstawiających niewielką rezystancję dla bardzo dużych prądów i dużą rezystancję dla niewielkich prądów. W przypadkach napięć wywołujących zadziałanie iskiernika występuje przepływ prądu wyładowczego o znacznej wartości. Rezystancja rezystorów jest wtedy niewielka, co powoduje że spadek napięcia na ograniczniku przepięć, równy praktycznie spadkowi napięcia na rezystancji uziemienia, jest stosunkowo niewielki. Napięcie łuku na iskierniku jest pomijalnie małe.

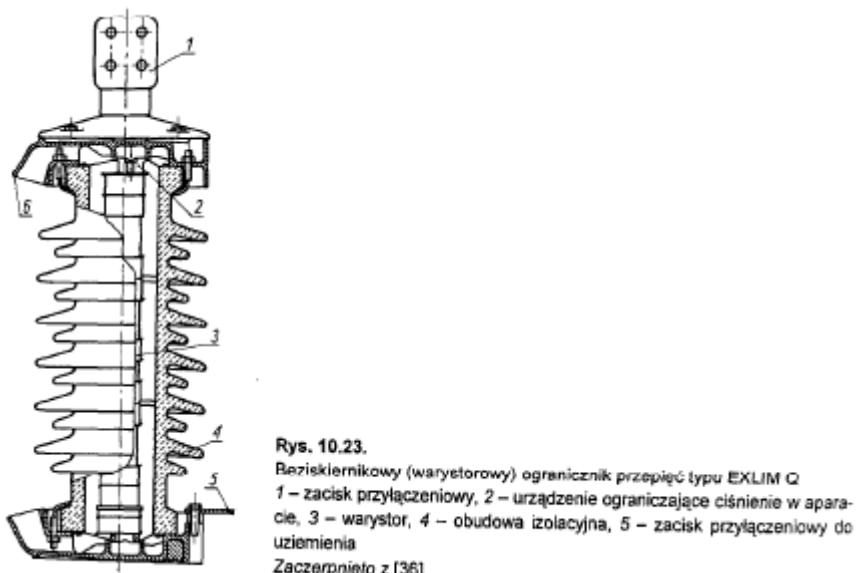


Rys. 10.20. Schematy iskierkowych ograniczników przepięć: bez sterowania (a), ze sterowaniem (b) oraz przebiegi napięcia u i prądu wyładowczego i w ograniczniku (c)
 1 – iskiernik wielokrotny, 2 – rezystory zmiennooporowe, 3 – iskierniki z rezystorami sterującymi,
 u_p – przebieg fali przepięciowej, U_z – napięcie zapłonu, U_{res} – napięcie obniżone,
 I_m – amplituda prądu wyładowczego

Spadek napięcia na rezystancji nieliniowej wywołyany przepływem prądu wyładowczego nosi nazwę napięcia obniżonego. Napięcie to, jak również napięcie zapłonu powinny być niższe od napięcia określającego poziom ochrony z zachowaniem pewnego marginesu bezpieczeństwa.

Odgromniki beziskiernikowe (warystorowe) - ograniczniki przepięć

Podstawowym elementem odgromników beziskiernikowych są warystory. Człyony warystowe umieszczone w hermetycznej, porcelanowej obudowie przyłącza się trwale między przewód roboczy a ziemię. Przy napięciach roboczych mają one bardzo dużą rezystancję, co powoduje że przez warystor przepływa stale prąd o niewielkiej wartości, rzędu mA , o charakterze głównie pojemnościowym.



Rys. 10.23.
 Beziskiernikowy (warystorowy) ogranicznik przepięć typu EXLIM Q
 1 – zacisk przyłączeniowy, 2 – urządzenie ograniczające ciśnienie w aparacie, 3 – warystor, 4 – obudowa izolacyjna, 5 – zacisk przyłączeniowy do uziemienia
 Zaczepnięto z [36]

W przypadkach przepięć rezystancja warystорów zmniejsza się bardzo gwałtownie, odprowadzając prąd wyładowczy o znacznej wartości do ziemi przy niewielkim spadku napięcia na warystorze. Po tym warystor w bardzo krótkim czasie odzyskuje pierwotną, bardzo dużą rezystancję i dzięki temu prąd następny praktycznie nie występuje.

Ograniczniki przepięć do ochron instalacji niskiego napięcia

Do celów ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych pracujących w układach instalacji elektrycznych niskiego napięcia są przeznaczone specjalne rozwiązania urządzeń do ograniczania przepięć, oznaczanych symbolem SPD. SPD jest definiowane jako urządzenie, które zawiera co najmniej jeden element nieliniowy, a wskutek odprowadzenia prądu piorunowego do ziemi redukuje falę przepięciową.

Zwody i przewody odgromowe

Zwodem jest nazywana góra część urządzenia piorunochronnego, przeznaczona do przejmowania na siebie trafień piorunowych. Zwody poziome i pionowe tworzą ochronę strefową. Zwód poziomy przebiegający nad przewodami linii elektroenergetycznej nosi nazwę przewodu odgromowego. Części metalowe wystające nad dach i występujące na jego powierzchni stanowią zwody naturalne

Przewody odprowadzające

Przewody odprowadzające to przewody łączące zwody z uziomami. Liczba przewodów odprowadzających jest dobierana w zależności od rodzaju zwodów i rozmiaru obiektu. Elementy metalowe przebiegające wzdłuż ścian obiektu, powinny być wykorzystywane jako naturalne przewody odprowadzające.

Uziemienia

Uziemienie jest celowo wykonanym połączeniem elektrycznym jakiegoś urządzenia lub jego części z ziemią. Rozróżnia się uziemienia:

- Ochronne - odnoszące się do części nie będących w normalnym stanie pod napięciem, stosowane w celu niedopuszczenia do wzrostu na nich napięcia do wartości grożącej porażeniem ludzi i zwierząt
- Robocze, odnoszące się do określonego punktu pracy obwodu elektrycznego, stosowane w celu zapewnienia prawidłowej pracy urządzenia
- Odgromowe - dot. Ochronników i urządzeń piorunochronnych, stosowane w celu bezpiecznego odprowadzenia prądu piorunowego do ziemi
- Pomocnicze - dotyczące niewymienionych wyżej przypadków, stosowane w celu przeprowadzania pomiaru lub wyrównania potencjału urządzeń i ziemi.

Uziemienie składa się z przewodów uziemiających, zacisków i uziomów.

Uziom jest przewodem lub przedmiotem przewodzącym umieszczonym w gruncie, bezpośrednio lub za pośrednictwem betonu, i zapewniającym z nim połączenie elektryczne.

Realizacja ochrony

Realizacja ochrony przed skutkami przepięć zewnętrznych indukowanych polega na ustaleniu miejsca zainstalowania ograniczników przepięć i doborze ich danych znamionowych. Dane te to przede wszystkim:

- Napięcie trwałej pracy ogranicznika
- Napięcie znamionowe ogranicznika
- Napięcie obniżone ogranicznika
- Znamionowy prąd wyładowczy
- Graniczny prąd wyładowczy
- Współczynnik zwarcia doziemnego

Źródło

1. Markiewicz - *Urządzenia elektroenergetyczne*
2. Flisowski - *Technika Wysokich Napięć*

E. Układy probiercze wysokiego napięcia oraz pomiary wysokich napięć

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

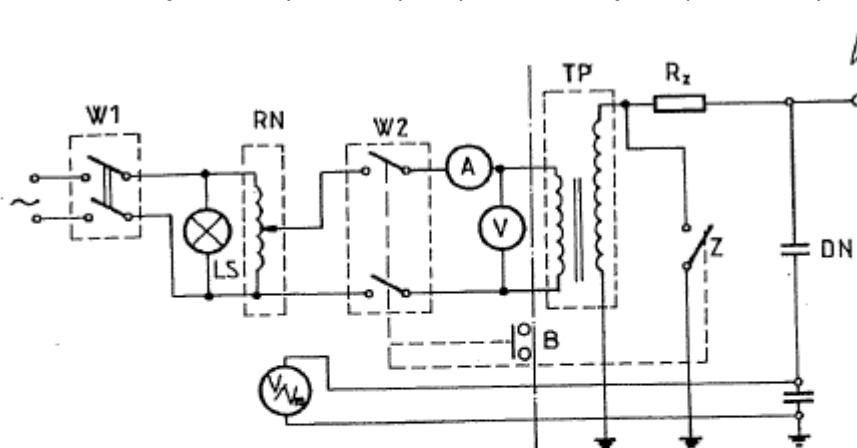
Układy probiercze

Wytwarzanie wysokiego napięcia przemiennego

Transformatory probiercze i regulatory napięcia stanowią główne elementy każdego układu probierczego. Zbudowanie funkcjonalnego układu jest jednak niemożliwe bez wielu urządzeń pomocniczych. Należą do nich:

- Aparatura sterująca (wyłączniki, styczniki)
- Urządzenia zabezpieczające (bezpieczniki, przekaźniki, wyłączniki krańcowe, zwieracze, oporniki ograniczające i tłumiące)
- Aparatura pomiarowa (mierniki napięcia i prądu w obwodzie zasilania transformatora, dzielnik napięcia, mierniki wartości skutecznej i szczytowej WN)
- Instalacja uziemiająca
- Przewody zasilające niskiego napięcia i przewody łączące po stronie probierczej

Na rysunku 1.15 przedstawiono schemat ideowy układu probierczego wysokiego napięcia z zaznaczeniem większości wymienionych uprzednio urządzeń pomocniczych i perfyeryjnych.



Rys. 1.15. Schemat ideowy układu probierczego wysokiego napięcia
małej mocy: W_1 – wyłącznik główny, W_2 – wyłącznik transformatora, R_N – regulator napięcia,
 TP – transformator probierczy, R_z – opornik zabezpieczający, Z – uziemiacz, B – styk blokady drzwi,
 DN – dzielnik napięcia, V/V_m – voltmierz wartości skutecznej i szczytowej,
 A – amperomierz, V – voltmierz, LS – lampa sygnalizacyjna

Wyłącznik główny jest łącznikiem dwubiegowym. Musi mieć widoczną przerwę między stykami w stanie wyłączonym, aby operator miał całkowitą pewność o braku napięcia w układzie probierczym. Wyłącznik W2 służy do szybkiego wyłączania układu probierczego w dowolnym momencie, w tym podczas zwarcia na obiekcie prób.

Elementy zabezpieczające w układzie probierczym można podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich stanowią przekaźniki nadmiarowo-prądowe, przekaźniki pomocnicze oraz wyłączniki krańcowe blokad mechanicznych. Oprócz nich występują urządzenia, które nie likwidują występujących przeciążeń lub stanów niebezpiecznych, ale im zapobiegają bądź ograniczają narażenie.

Każdy układ pomiarowy WN musi być wyposażony w urządzenia pomiarowe, które można podzielić na dwie grupy:

- Urządzenia pełniące rolę wskaźników umożliwiających operatorowi prawidłowe sterowanie układem
- Urządzenia służące do dokładnego nastawienia napięcia probierczego bądź do pomiaru

napięcia przeskoku lub napięcia przebicia obiektu badań.

Do pomocniczych wskaźników pomiarowych należą zainstalowane w pulpicie amperomierze i woltomierze w obwodzie regulacji napięcia. Urządzeniami umożliwiającymi pomiary napięcia po stronie WN układu probierczego są dzielnik napięcia bądź iskierniki kulowe.

Układ probierczy WN powinien być zasilany z sieci niskiego napięcia o takiej mocy, by obciążenie układu przez obiekty prób nie powodowało wyraźnych zmian napięcia zasilania układu probierczego.

Wytwarzanie wysokiego napięcia stałego

W laboratoriach wysokonapięciowych wysokie napięcie stałe wytwarzane jest zazwyczaj przez prostowanie wysokiego napięcia przemiennego z zastosowaniem kondensatorów wygładzających przebieg napięcia w czasie.

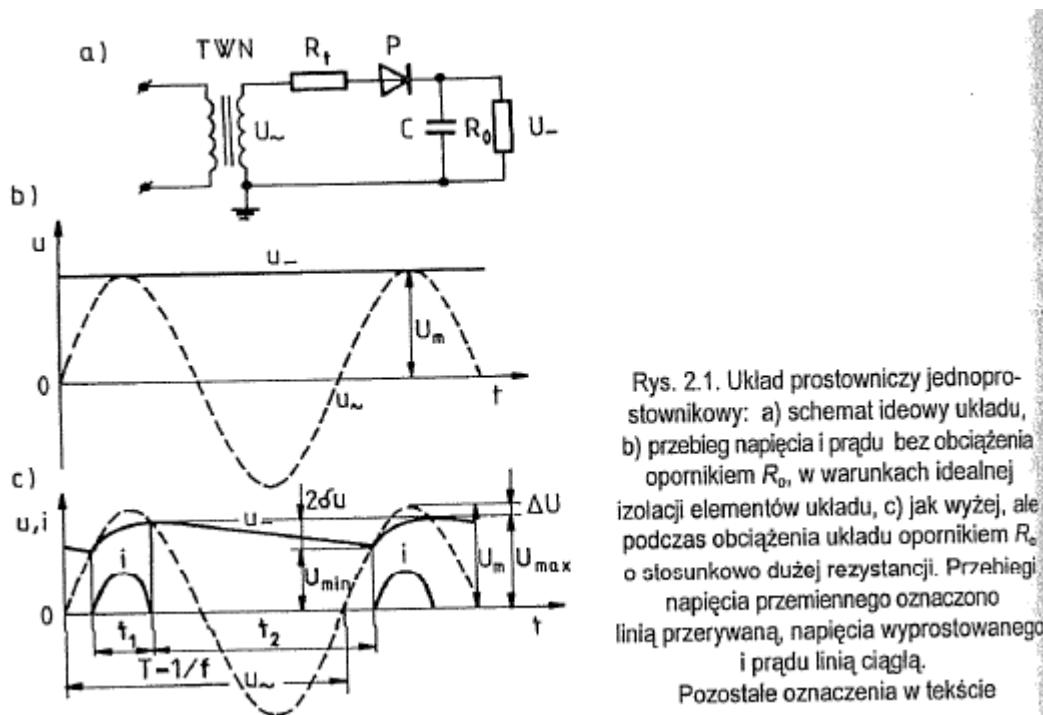
Układy prostownicze WN można podzielić na dwie grupy

- Jednostopniowe układy prostownicze, dla których stosunek wartości maksymalnej wyprostowanego napięcia do wartości maksymalnej zasilającego napięcia przemiennego wynosi najwyżej 2
- Wielostopniowe układy prostownicze, w których stosunek ten jest większy niż 2.

Podstawowymi elementami układu prostowniczego są: transformator zasilający wysokiego napięcia, prostowniki wysokonapięciowe i kondensatory wysokonapięciowe. Decydują one o parametrach otrzymywanej wysokiego napięcia stałego.

Jednostopniowe układy prostownicze

Najprostszym układem prostowniczym jest układ jednoprostownikowy o schemacie jak na rysunku poniżej. Bez obciążenia układu, napięcie wyprostowane jest równe wartości maksymalnej napięcia przemiennego

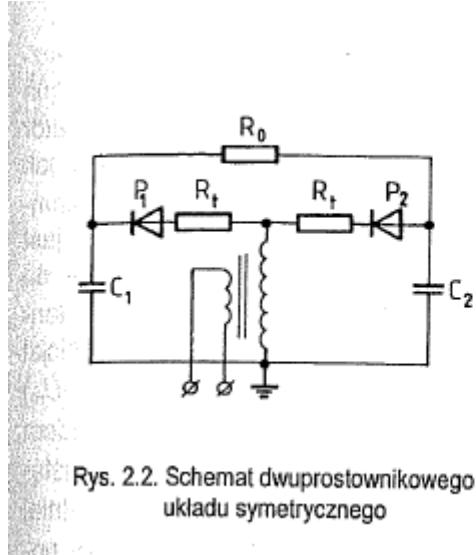


Rys. 2.1. Układ prostowniczy jednoprostownikowy: a) schemat ideowy układu, b) przebieg napięcia i prądu bez obciążenia opornikiem R_o , w warunkach idealnej izolacji elementów układu, c) jak wyżej, ale podczas obciążenia układu opornikiem R_o o stosunkowo dużej rezystancji. Przebiegi napięcia przemiennego oznaczono linią przerywaną, napięcia wyprostowanego i prądu linią ciągłą.
Pozostałe oznaczenia w tekście

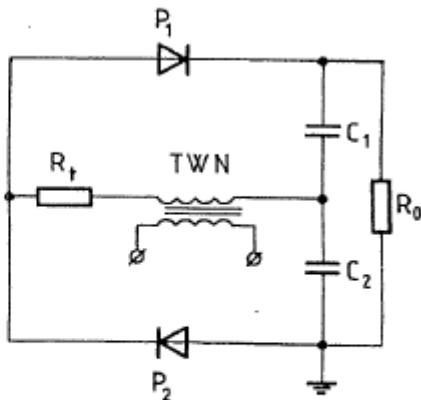
Dwuprostownikowy układ symetryczny jak poniżej jest po prostu podwójnym układem jednoprostownikowym, z tym że na każdym z kondensatorów występuje napięcie wyprostowane przeciwnej bieguności. Wartość tego napięcia jest dwukrotnie większa od maksymalnej wartości napięcia przemiennego.

Dwuprostownikowy układ niesymetryczny przedstawiono również poniżej. W tym układzie

wyprostowane napięcie również ma wartość $2U_m$. Różnica od symetrycznego układu polega na tym, że transformator zasilający musi być symetryczny (oba bieguny WN izolowane od ziemi na pełne napięcie).



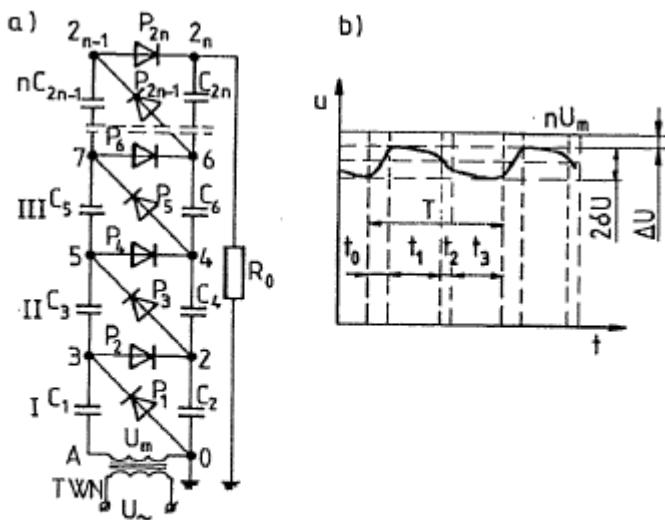
Rys. 2.2. Schemat dwuprostownikowego układu symetrycznego



Rys. 2.3. Schemat dwuprostownikowego układu niesymetrycznego z transformatorem symetrycznym

Wielostopniowe układy prostownicze

Wielostopniowe układy prostownicze (powielające), nazywane generatorami kaskadowymi napięcia stałego, powstają przez uwielokrotnienie dwuprostownikowego układu niesymetrycznego. Zaletą generatorów kaskadowych jest możliwość uzyskania bardzo dużych napięć przy stosunkowo niewielkim napięciu zasilania transformatora, przy niewielkim napięciu znamionowym kondensatorów oraz stosunkowo małym napięciu zwrotnym prostowników WN.

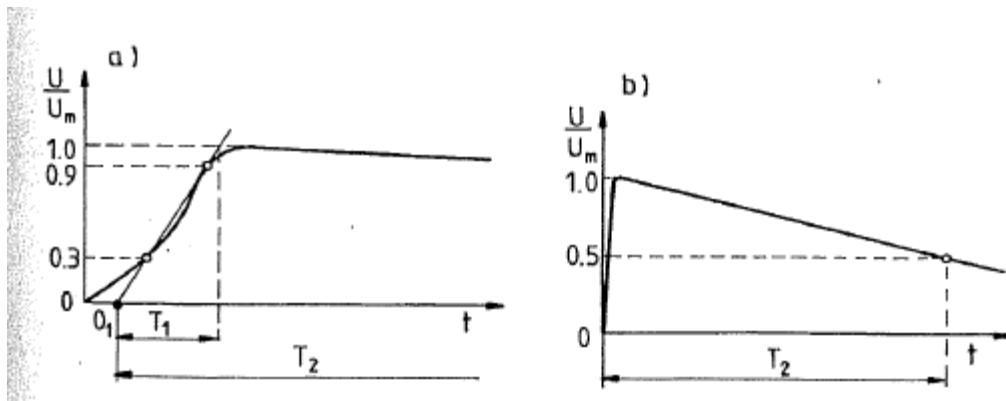


Rys. 2.5. Generator kaskadowy wysokiego napięcia stałego o liczbie stopni n :
a) schemat układu, b) przebieg napięcia na n -tym stopniu w stanie ustalonym.
Pozostałe oznaczenia w tekście

Wytwarzanie wysokiego napięcia udarowego

Rozróżnia się dwa rodzaje napięć udarowych:

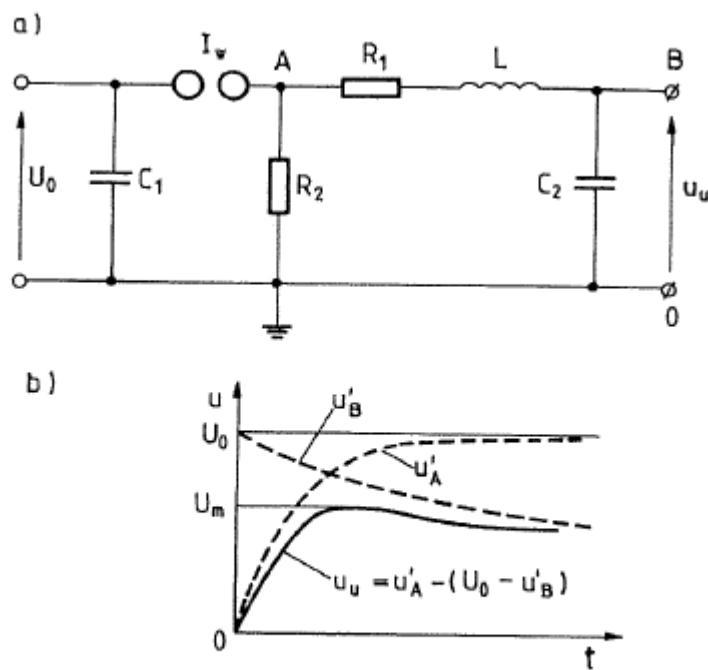
- Udarowe napięcie piorunowe - odwzorowuje narażenia izolacji pochodzące od wyładowań atmosferycznych
- Udarowe napięcia łączzeniowe - mają przebieg podobny do udarowego napięcia piorunowego, ale czas trwania czoła udaru i całkowity czas trwania udaru są dłuższe



Rys. 3.1. Udar napięciowy piorunowy pełny – sposoby określania parametrów:
a) czola, b) grzbietu

Generatory.udarów napięciowych piorunowych i łączeniowych

Metoda wytwarzania udarowego napięcia piorunowego i łączeniowego polega na nagłym rozładowaniu kondensatora w układzie przedstawionym poniżej.



Rys. 3.4. Zasada działania generatora udarowego napięciowego: a) schemat układu,
b) składowe przebiegi napięcia oraz przebieg wypadkowy napięcia udarowego u_u

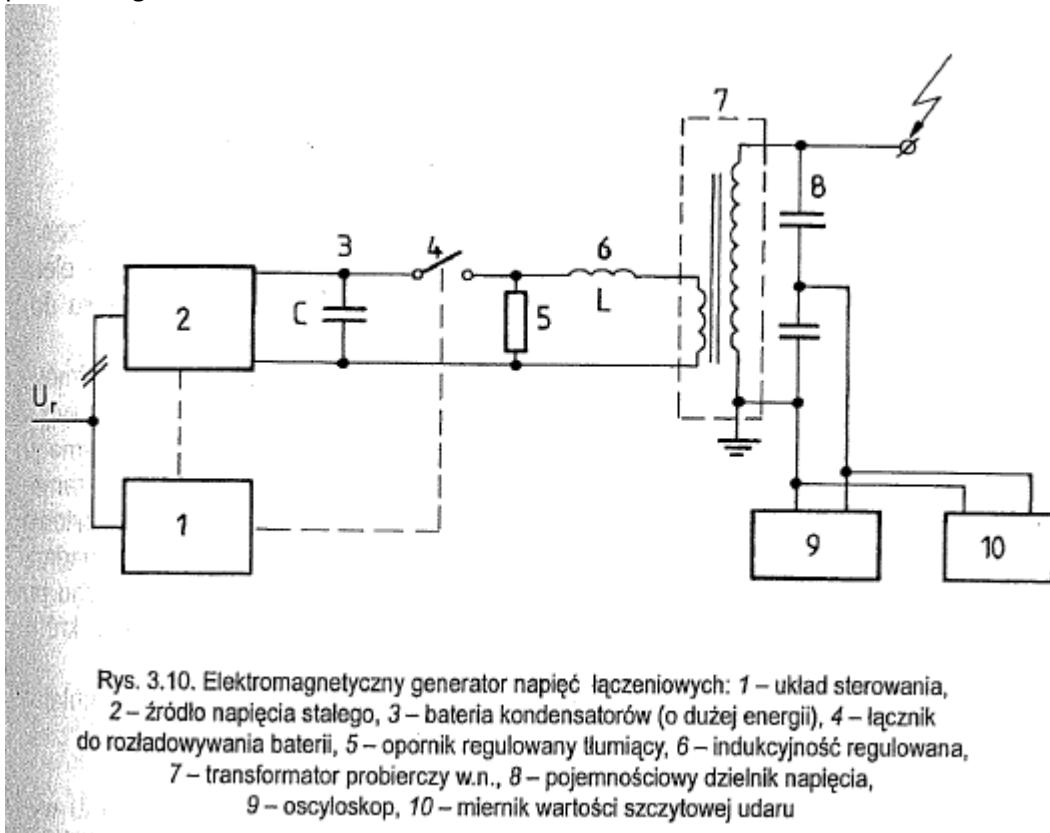
W generatorach udarowych można wyróżnić następujące podzespoły:

- Generator właściwy, stanowiący układ kondensatorów, oporników i iskierników włączających (zaplonowych)
- Zasilacz generatora, wytwarzający regulowane napięcie stałe do ładowania kondensatorów roboczych generatora
- Układ sterowania
- Układ pomiarowy
- Inne układy (zapewniające np.. Stabilizację napięcia wytwarzanego przez generator, automatyzację działania, wytwarzanie udarów uciętych itp.)

Elektromagnetyczne generatory napięć łączeniowych

Do wytwarzania napięć probierczych łączeniowych stosuje się również generatory elektromagnetyczne. Ich działanie polega na transformowaniu impulsu niskiego napięcia przez transformator probierczy WN. Pierwotny impuls napięciowy jest wytworzony metodą rozładowania kondensatora C przez układ opornika tłumiącego, cewki indukcyjnej i uzwojenia nn transformatora.

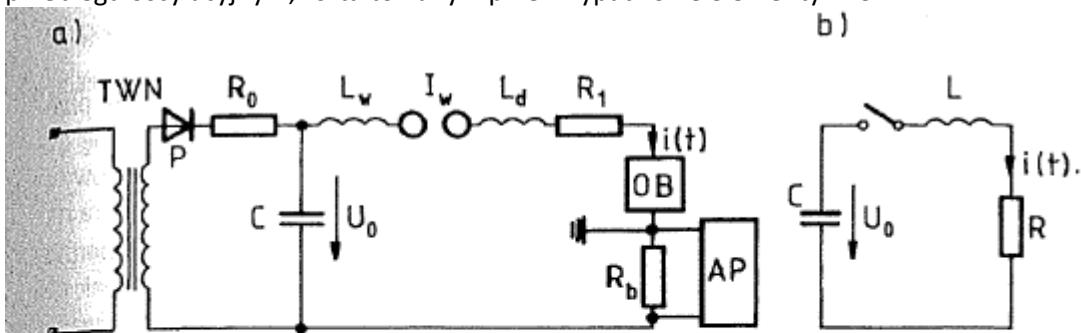
Ukształtowane w ten sposób napięcie jest transformowane na stronę WN transformatora probierczego.



Rys. 3.10. Elektromagnetyczny generator napięć łączeniowych: 1 – układ sterowania, 2 – źródło napięcia stałego, 3 – bateria kondensatorów (o dużej energii), 4 – łącznik do rozładowywania baterii, 5 – opornik regulowany tłumiący, 6 – indukcyjność regulowana, 7 – transformator probierczy w.n., 8 – pojemnościowy dzielnic napiecia, 9 – oscyloskop, 10 – miernik wartości szczytowej udaru

Generatory prądów udarowych

Układ elektryczny generatora prądów udarowych przedstawiono poniżej. Wynika z niego, że działanie generatora prądowego polega na rozładowaniu pojemności C przez wypadkową rezystancję R i indukcyjność L obwodu rozładowania. Rozładowanie następuje przy silnie tłumionym przebiegu oscylacyjnym, kształtuowanym przez wypadkowe elementy RLC.



Rys. 5.3. Generator prądów udarowych: a) schemat ideowy, b) schemat zastępczy.
Oznaczenia: **TWN** – transformator wysokiego napięcia, **P** – prostownik w.n.,
 R_0 – opornik ograniczający prąd, C – pojemność kondensatorów generatora, L_w – indukcyjność własna generatora, L_d , R_1 – indukcyjność i rezystancja do kształtuowania udaru, I_w – iskiernik włączający, **OB** – badany obiekt, R_b – bocznik do pomiaru prądu, **AP** – aparatura pomiarowa, L , R – wypadkowa indukcyjność i rezystancja obwodu rozładowania

Pomiary wysokich napięć

Iskiernikowe pomiary wysokich napięć

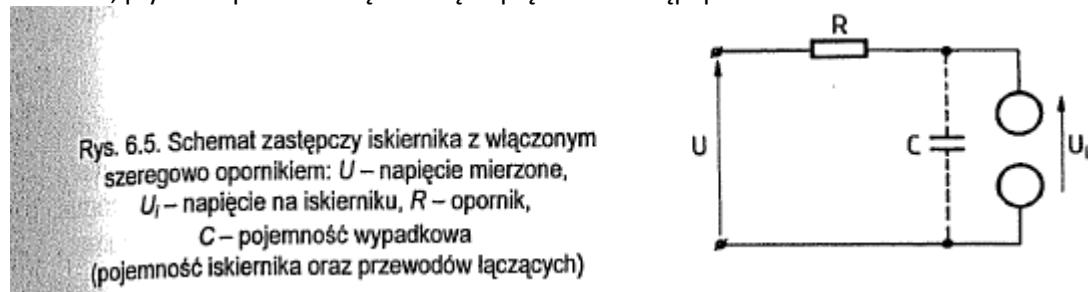
Wartość szczytową wysokiego napięcia można mierzyć w sposób bezpośredni metodą iskiernikową, wykorzystując znaną dla danego iskiernika zależność napięcia przebicia powietrza od odstępu elektrod. Iskiernik stosowany do pomiarów powinien spełniać wiele wymagań, z których najważniejsze to:

- Małe rozrzuty napięć przebicia
- Niezależność napięcia przebicia od rodzaju przyłożonego napięcia
- Zbliżona do prostoliniowej zależność napięcia przebicia od odstępu elektrod.

Ze względów praktycznych do pomiaru wartości szczytowej napięcia stosowane są powszechnie iskierniki kulowe.

Pomiary wysokich napięć przemiennych i stałych

Pomiar wysokiego napięcia przemiennego lub stałego iskiernikiem kulowym polega na wyznaczeniu granicznego odstępu kul, dla którego następuje przebicie. W tym celu, ustaliwszy najpierw wartość napięcia, zbliża się powoli elektrody aż do momentu, gdy wystąpi przeskok, lub też ustaliwszy odstęp elektrod, płynnie i powoli zwiększa się napięcie aż nastąpi przeskok.



Pomiary wysokich napięć udarowych

Zastosowanie iskiernika umożliwia bezpośrednie pomiary wartości szczytowej napięć udarowych. Pomiar polega na znalezieniu takiego odstępu elektrod, dla którego połowa z przyłożonej serii ударów o jednakowej wartości szczytowej spowoduje przeskok między kulami iskiernika.

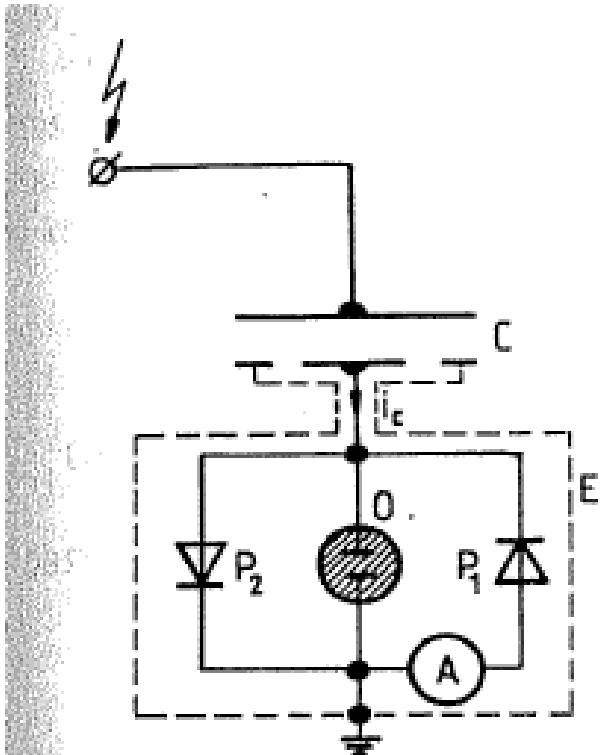
Wysokonapięciowe woltomierze elektrostatyczne

Do bezpośredniego pomiaru wartości skutecznej wysokiego napięcia stałego i przemiennego można stosować wysokonapięciowe woltomierze elektrostatyczne. Zasada ich działania polega na wykorzystaniu sił pola elektrycznego w naładowanym kondensatorze. W woltomierzu elektrostatycznym kondensator taki stanowi układ ruchomej i nieruchomej elektrody.

Metody prostownikowe pomiaru wartości szczytowej wysokiego napięcia przemiennego
Pomiar iskiernikowy jest pomiarem nieciągły i wymaga stanu zwarcia transformatora probierczego. Pomiar z wykorzystaniem przekładnika może zawierać wyższe harmoniczne. Dlatego do ciągłego pomiaru wartości szczytowej napięcia przemiennego stosuje się metody prostownikowe, z których najbardziej popularne i najdokładniejsze są:

Metoda prostownikowa z kondensatorem szeregowym

Zasada pomiaru polega na określaniu wartości średniej prądu pojemnościowego przepływającego w czasie półokresu przez kondensator wzorcowy C .

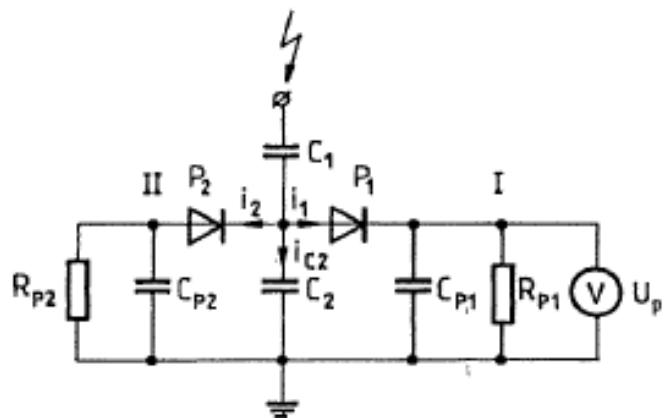


Rys. 8.1. Schemat układu prostownikowego
z kondensatorem szeregowym:

C – wysokonapięciowy kondensator wzorcowy,
 P_1, P_2 – prostowniki, A – magnetoelektryczny
 miernik prądu, O – ochronnik
 przepięciowy, E – ekran

Metoda miernika wartości szczytowej napięcia przemiennego

W układzie miernika wartości szczytowej wg. Rabusa, kondensatory tworzą pojemnościowy dzielnicę napięcia. W układzie tym trzeba dobrą odpowiednią stałą czasową obwodu pomiarowego R_{p1} , dla której miernik reaguje właściwie. Voltomierz elektrostatyczny mierzy wartość skuteczną napięcia U_p .



Rys. 8.4. Dwugałęziowy układ miernika wartości szczytowej napięcia przemiennego:

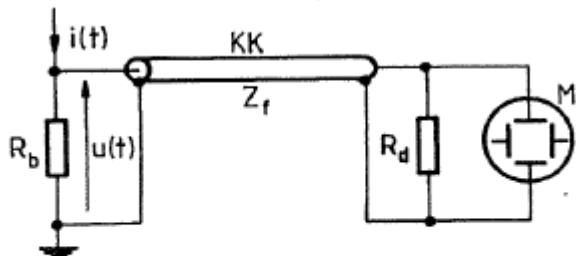
C_1, C_2 – kondensatory pojemnościowego dzielnika napięcia, P_1, P_2 – prostowniki,
 C_{p1}, C_{p2} – kondensatory pomiarowe, R_{p1}, R_{p2} – oporniki rozładowujące,
 V – woltomierz elektrostatyczny, I – gałąź pomiarowa, II – gałąź wyrównująca

Pomiary prądów udarowych

Bocznik prądów udarowych

Do pomiaru prądów udarowych stosuje się często boczniki wielkoprądowe. Bocznik taki jest opornikiem o małej rezystancji, włączonym w obwód rozładowania generatora prądowego.

Przepływający przez bocznik prąd udarowy wywołuje na nim spadek napięcia $u(t)$. Pomiarowy sygnał napięciowy $u(t)$ jest podawany na oscyloskop.

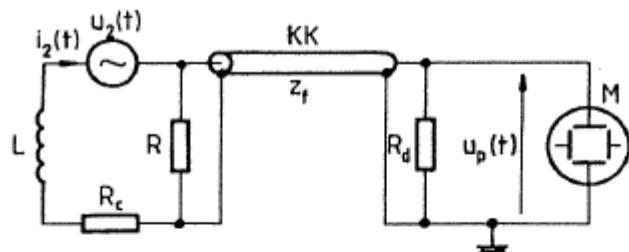


Rys. 11.1. Układ pomiarowy prądu udarowego : R_b – bocznik wielkoprądowy, KK – kabel koncentryczny, R_d – opornik dopasowujący, M – przyrząd pomiarowy

Cewka Rogowskiego

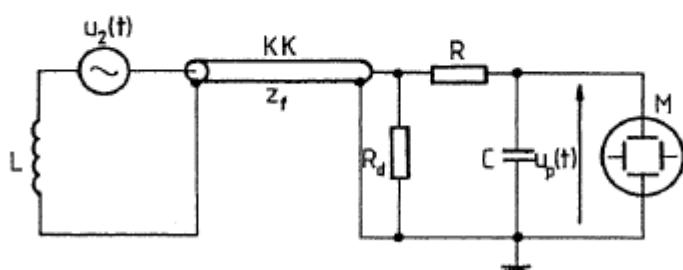
Pomiary prądów udarowych o bardzo dużych wartościach szczytowych (100kA i więcej) są bardzo trudne. Do pomiarów takich prądów stosuje się powietrzny transformator prądowy, zwany cewką Rogowskiego. Zaletą cewki Rogowskiego jest brak galwanicznego sprzężenia z obwodem rozładowania generatora, co ogranicza zakłócenia.

Pierwotny obwód cewki Rogowskiego stanowi pojedyncza szyna, przez którą przepływa prąd udarowy. Uzwojenie wtórne wykonane jest w postaci toroidu o dużej liczbie zwojów obejmującego szynę. W cewce indukuje się napięcie, pod wpływem którego w zamkniętym obwodzie wtórnym przepływa prąd.



Rys. 11.8. Układ pomiarowy, w którym w obwodzie $L-R$ następuje całkowanie sygnału elektrycznego $u_2(t)$ indukowanego w cewce Rogowskiego:

L – indukcyjność cewki, R – opornik pomiarowy, KK – kabel koncentryczny,
 R_d – opornik dopasowujący, M – przyrząd pomiarowy

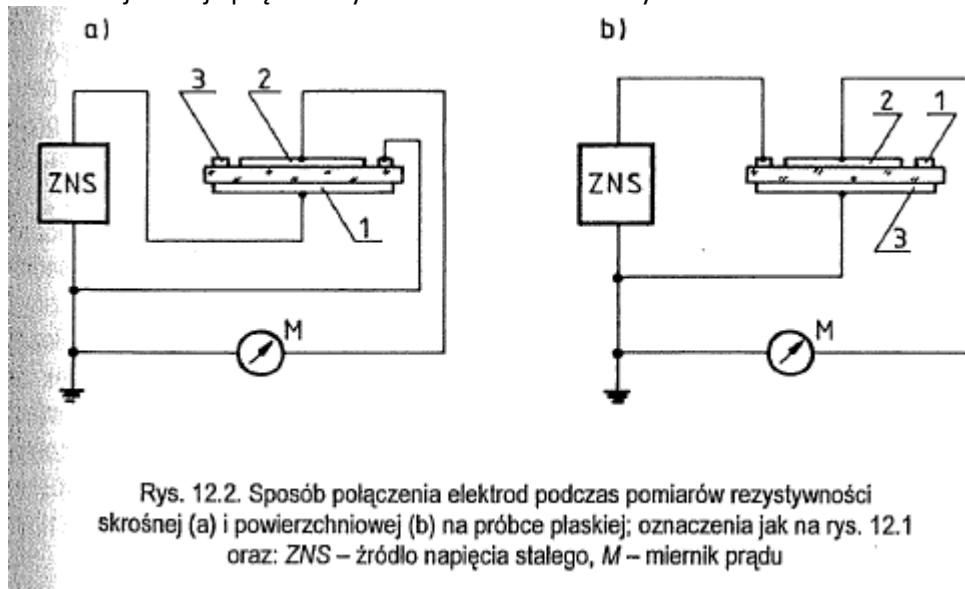


Rys. 11.9. Układ pomiarowy, w którym w obwodzie $R-C$ następuje całkowanie sygnału $u_2(t)$ indukowanego w cewce Rogowskiego: C – kondensator pomiarowy.

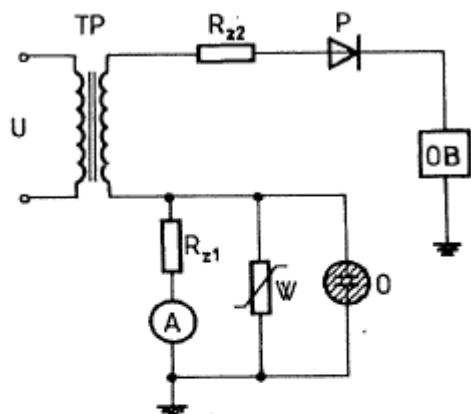
Pozostałe oznaczenia jak na rys. 11.8

Pomiary małych prądów przy wysokim napięciu

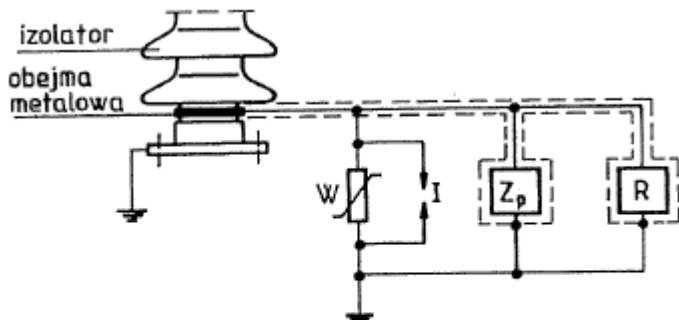
Pomiarystwo tego typu to między innymi pomiar rezystywności dielektryków, pomiar prądu upływu podczas prób napięciowych kabli czy badania diagnostyczne charakterystyk warystorów tlenkowych, a także rejestracja prądów wyładowań zabrudzeniowych.



Rys. 12.2. Sposób połączenia elektrod podczas pomiarów rezystywności skróstej (a) i powierzchniowej (b) na próbce płaskiej; oznaczenia jak na rys. 12.1 oraz: ZNS – źródło napięcia stałego, M – miernik prądu



Rys. 12.3. Schemat układu do pomiaru prądu upływu izolacji jednofazowego kabla podczas próby napięciowej: TP – transformator probierczy, P – prostownik wysokonapięciowy, A – miernik prądu, R_{z1} , R_{z2} – oporniki zabezpieczające, W – warystor ochronny, O – ochronnik gazowy

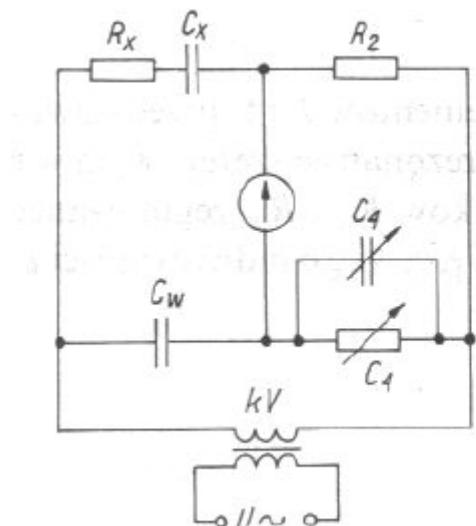


Rys. 12.4. Schemat ideowy układu do rejestracji prądu wyładowań zabrudzeniowych: Z_p – impedancja pomiarowa, R – rejestrator, W – warystor, I – izkiernik zabezpieczający

Mostek Scheringa

Mostek Scheringa jest przeznaczony do pomiaru pojemności i kąta strat przy zasilaniu układu pomiarowego wysokim napięciem. Badania dielektryków, np. kabli i izolatorów, wykonuje się przy znamionowym napięciu ich pracy. W układzie mostka Scheringa C_x i R_x są pojemnością i rezystancją strat badanego elementu, a C_w pojemnością wysokonapięciowego powietrznego kondensatora wzorcowego, praktycznie bezstratnego.

Równoważenie mostka dokonuje się przez regulację na przemian kondensatorem C_4 i opornikiem R_4 lub w innych rozwiązaniach kondensatorem C_4 i opornikiem R_2 .



Rys. 10.13. Układ mostka Scheringa

6. Maszyny elektryczne

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:30

A. Transformatory: budowa, zasada działania, charakterystyki ruchowe, warunki pracy równoległej

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Budowa

Transformator jest urządzeniem, które przetwarza energię elektryczną prądu przemiennego z jednego poziomu napięcia na inny poziom napięcia o tej samej częstotliwości. Transformator składa się z dwóch lub więcej uzwojeń nawiniętych na wspólny rdzeń z materiału ferromagnetycznego. Uzwojenia transformatora na ogół nie są ze sobą połączone. Jedyne połączenie pomiędzy nimi to wspólny strumień magnetyczny obecny w rdzeniu.

Jedno z uzwojeń transformatora jest połączone do źródła napięcia przemiennego, drugie podłączone jest do odbiorników. Uzwojenia te nazywane są uzwojeniem pierwotnym oraz uzwojeniem wtórnym.

Transformatory mogą być konstruowane jako jednofazowe lub wielofazowe. Rdzenie transformatorów wykonywane są z pakietów blach odizolowanych od siebie elektrycznie w celu zminimalizowania prądów wirowych.

Zasada działania transformatora

Podstawa działania transformatora może zostać wyprowadzona z prawa Faradaya, zgodnie z którym $e_{\text{ind}} = N \frac{d\Phi}{dt}$ gdzie Φ jest średnim strumieniem pojedynczego zwoju uzwojenia, a N liczbą wszystkich zwojów w danym uzwojeniu.



Po podłączeniu uzwojenia pierwotnego do źródła prądu przemiennego, uzwojenie to indukuje w rdzeniu transformatora strumień magnetyczny. Wytworzony strumień magnetyczny dociera do uzwojenia wtórnego (za wyjątkiem tzw. Strumienia rozproszenia). Zgodnie z prawem Faradaya, strumień w rdzeniu indukuje w uzwojeniu wtórnym napięcie o wartości $e_{\text{ind}} = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$.

Stosunek napięć uzwojenia pierwotnego oraz uzwojenia wtórnego wynika z proporcji liczby zwojów tych uzwojeń i nazywany jest przekładnią transformatora.

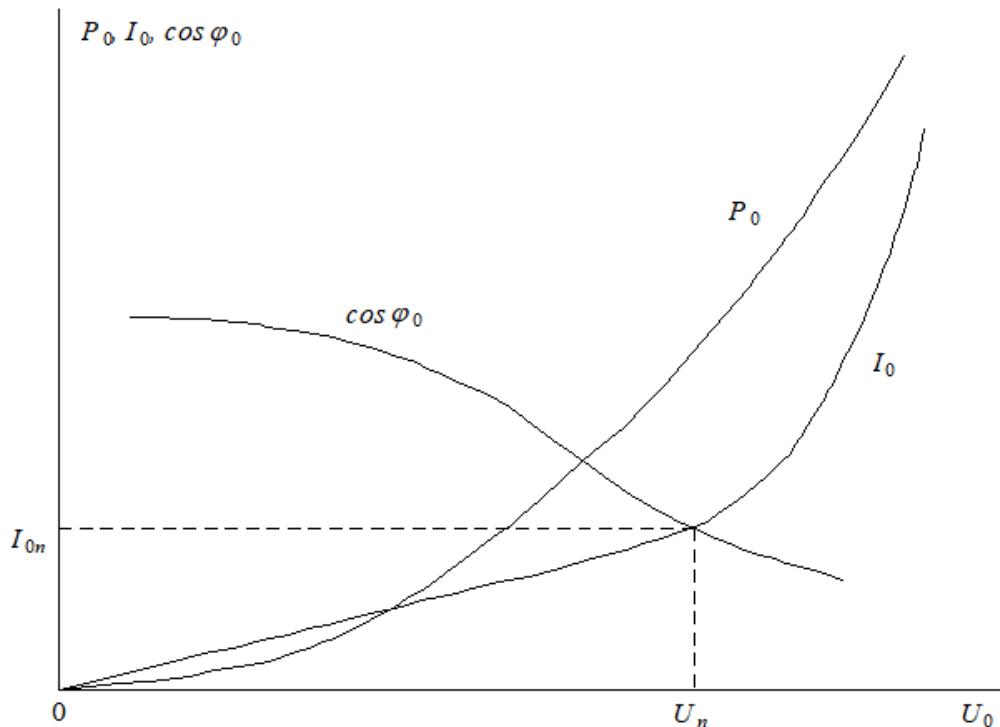
Stałe napięcie zasilające oraz stała ilość liczby zwojów uzwojenia pierwotnego wymaga stałego strumienia magnetycznego w rdzeniu transformatora. Stały strumień wynika z równości przepływów generowanych przez uzwojenia pierwotne i wtórne. Przepływ można wyrazić zależnością $\Theta = Ni$. Wynika z tego, że zmiana obciążenia transformatora i większy przepływ prądu w jednym uzwojeniu wymusza większy przepływ prądu w drugim uzwojeniu. Uwzględniając zjawisko histerezy, prąd ten może osiągać bardzo duże wartości (w pewnym momencie niewielki przyrost strumienia wymaga

dużego przyrostu wartości prądu), dlatego transformatorów nie powinno się przeciągać.

Charakterystyki ruchowe

Charakterystyki stanu jałowego

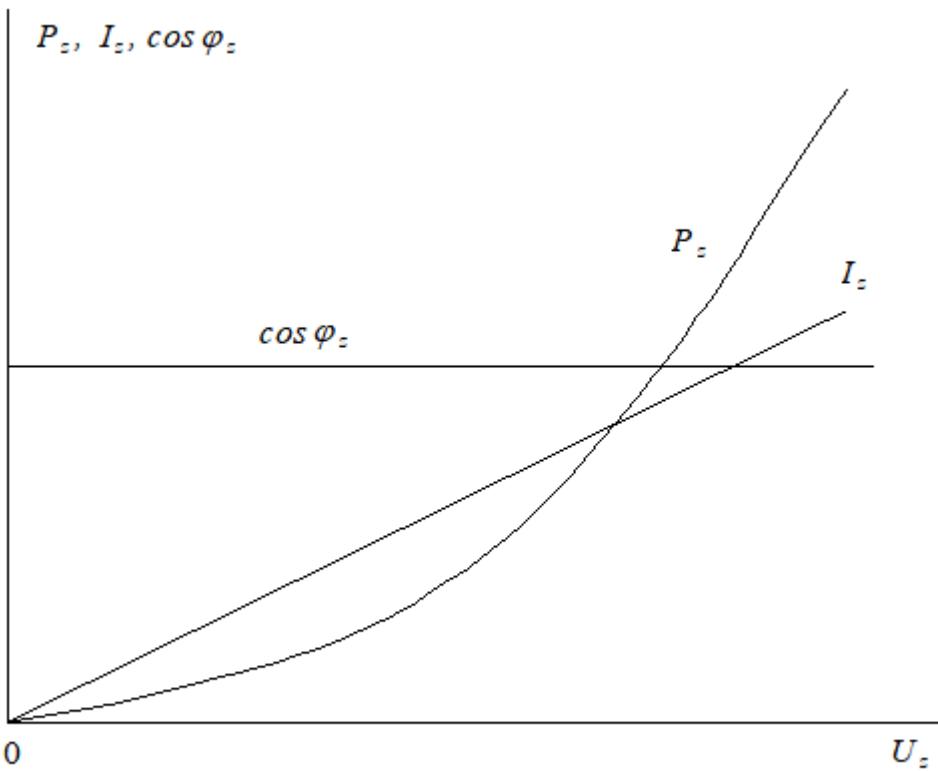
Charakterystyki strat jałowych, prądu stanu jałowego oraz współczynnika mocy w stanie jałowym informują o własnościach obwodu magnetycznego transformatora.



Rys. 31.2. Charakterystyki stanu jałowego

Charakterystyki stanu zwarcia

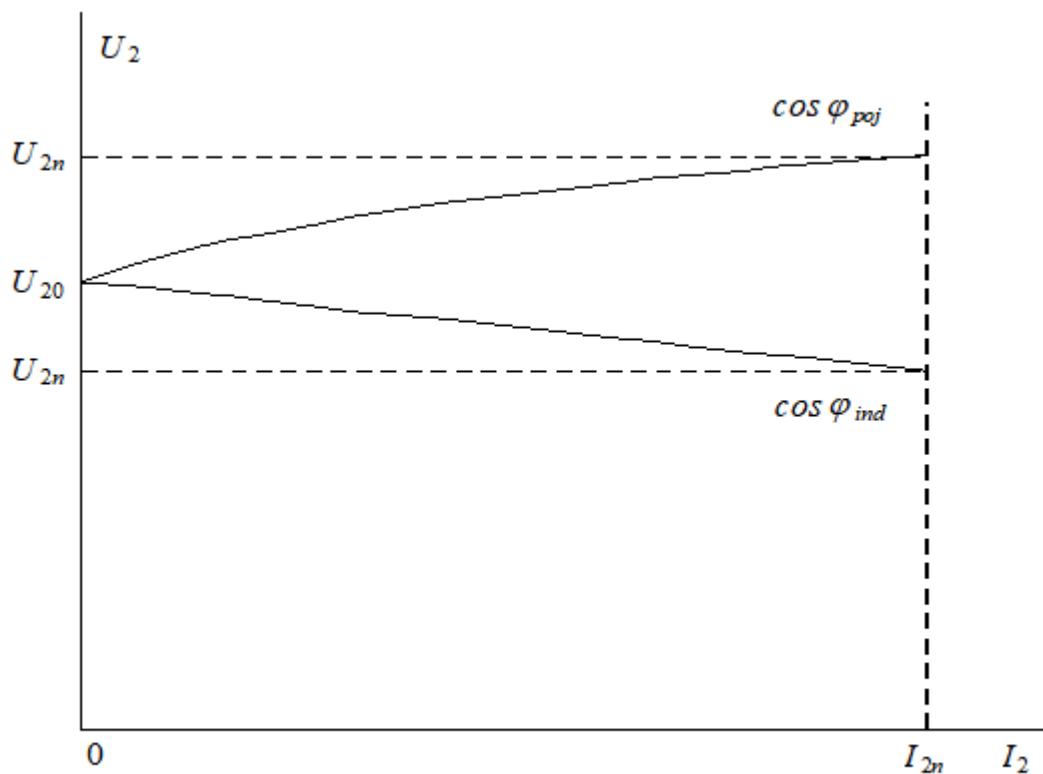
Celem próby zwarcia jest wyznaczenie napięcia zwarcia i strat obciążeniowych. Napięcie zwarcia jest to takie napięcie uzwojenia pierwotnego przy zwartym uzwojeniu wtórnym, pod którego wpływem w uzwojeniach transformatora płyną prądy znamionowe. Przy obniżonym napięciu, nie przekraczającym w czasie próby zwarcia kilkunastu procent wartości napięcia znamionowego, strumień magnetyczny w rdzeniu jest niewielki. Straty w rdzeniu są więc również małe i można uważać, że moc pobierana przez transformator jest równa stratom obciążeniowym.



Rys. 31.5. Charakterystyki zwarcia

Zmienna napięcia

Zmianę napięcia strony wtórnej w zależności od zmian obciążenia przy stałej wartości napięcia zasilania i stałym współczynnikiem mocy, ilustrują charakterystyki zewnętrzne.



Rys. 31.6. Charakterystyki zewnętrzne

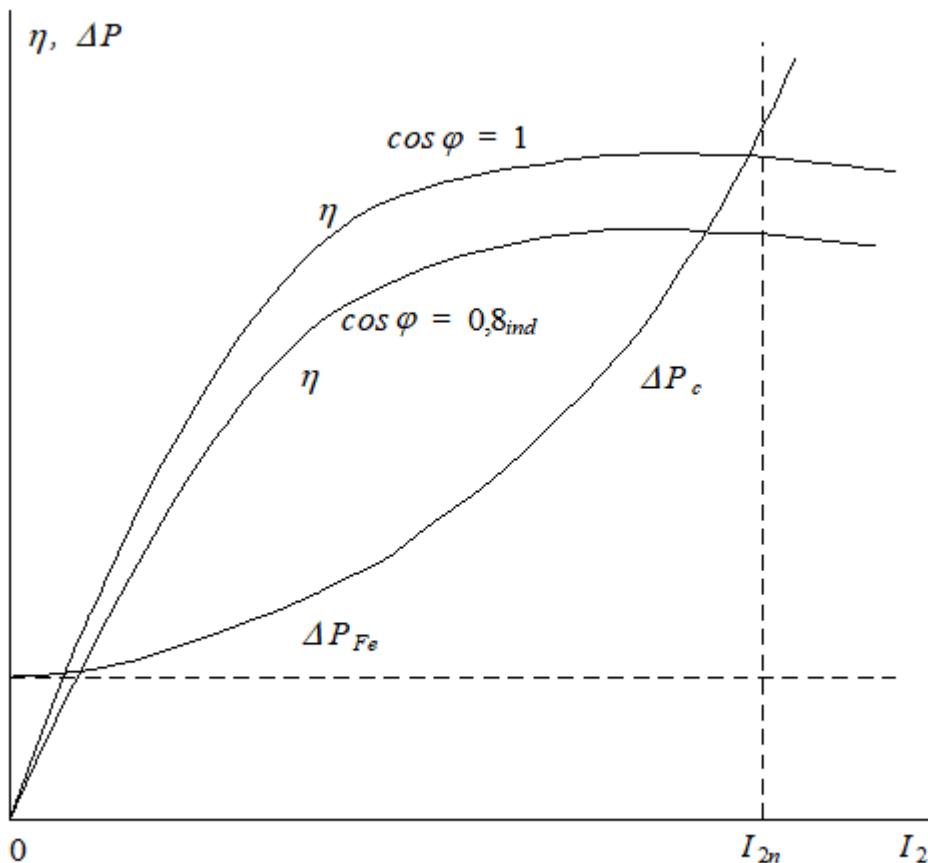
Sprawność transformatora

Sprawność transformatora jest to stosunek mocy czynnej oddawanej do mocy czynnej pobieranej, a

ta ostatnia jest sumą mocy oddawanej i całkowitych strat mocy.

Charakterystyki robocze

Charakterystyki robocze pokazują poziom strat oraz sprawności transformatora przy różnych charakterach obciążenia.



Rys. 31.7. Charakterystyki robocze

Warunki pracy równoległej

Współpracą transformatorów lub ich pracą równoległą nazywa się taką pracę, podczas której strony pierwotne transformatorów zasilane są ze wspólnych szyn, a strony wtórne tych transformatorów zasilają odbiory również przez wspólne szyny. Do pracy równoległej nie można załączać dowolnych transformatorów. Powinno się je tak dobierać, by zapewniona była współpraca pod względem ekonomicznym i możliwość pełnego wykorzystania ich mocy znamionowych.

Współpracę transformatorów można uznać za prawidłową, gdy spełnione są następujące wymagania:

- W stanie bez obciążenia, w uzwojeniach strony wtórnej nie płyną prądy
- Współpracujące transformatory są równomiernie obciążone
- Odpowiednie prądy obciążenia poszczególnych transformatorów są ze sobą w fazie

Omówione wymagania są spełnione, gdy:

- Przekładnie transformatorów są równe
- Grupy połączeń są jednakowe
- Zaciski wszystkich transformatorów przyłączone do tych samych szyn są jednoimienne
- Napięcia zwarcia transformatorów są równe
- Współczynniki mocy w stanie zwarcia poszczególnych transformatorów są równe.

Źródło

1. Chapman - *Electric Machinery Fundamentals*

2. Plamitzer - *Maszyny Elektryczne*
3. PWr - Laboratorium Maszyn Elektrycznych - ćwiczenia 31 i 32

B. Maszyny asynchroniczne: budowa, zasada działania, charakterystyki ruchowe

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Budowa maszyn asynchronicznych

Ze względu na sposób wykonania wirnika, rozróżniamy dwa typy maszyn asynchronicznych: pierścieniowe i klatkowe. Uzwojenie wirnika silnika pierścieniowego, wykonane z przewodów izolowanych, jest w zasadzie takie samo jak uzwojenie stojana. W silniku klatkowym klatka stanowi uzwojenie wirnika. Składa się ona z szeregu nieizolowanych prętów, zwartych na swoich czołach. Klatkę można traktować jako uzwojenie wielofazowe o liczbie faz równej liczbie prętów klatki.

Stojan maszyny asynchronicznej składa się z symetrycznego uzwojenia 3-fazowego. Poszczególne uzwojenia są odsunięte od siebie o 120 stopni na obwodzie stojana.

Zasada działania

Po przyłączeniu do 3-fazowego stojana zasilania, jego uzwojenia zaczynają indukować pole magnetyczne wirujące z prędkością synchroniczną, zależną od częstotliwości zasilania i liczby par biegów.

Wirujące pole magnetyczne porusza się z prędkością synchroniczną względem uzwojenia wirnika. Pole magnetyczne ruchome względem uzwojeń wirnika powoduje, że indukują się w nich napięcia zależne od prędkości tego ruchu. Indukujące się napięcia powodują w uzwojeniu wirnika przepływy prądu elektrycznego, z kolei przepływy prądu powodują wytworzenie pola magnetycznego wirnika.

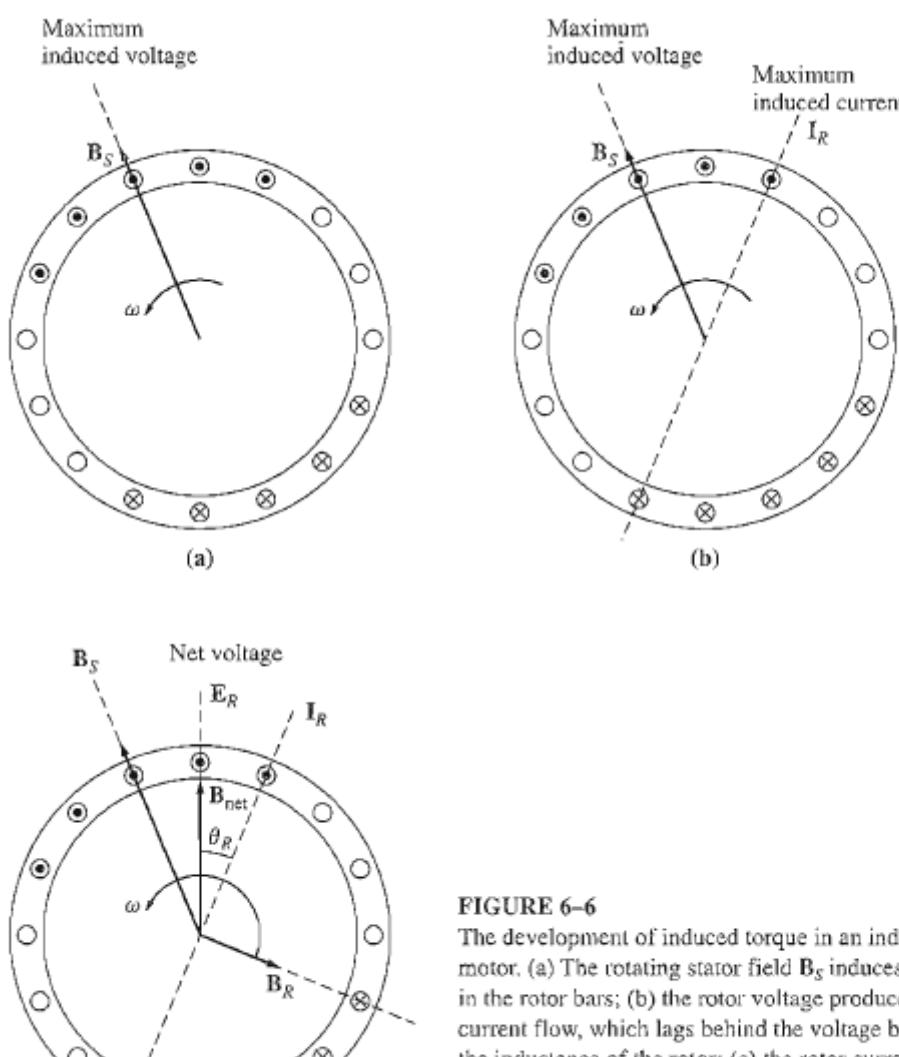
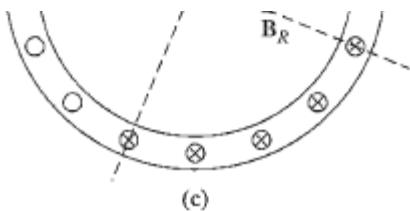


FIGURE 6-6

The development of induced torque in an induction motor. (a) The rotating stator field B_S induces a voltage in the rotor bars; (b) the rotor voltage produces a rotor current flow, which lags behind the voltage because of the inductance of the rotor; (c) the rotor current



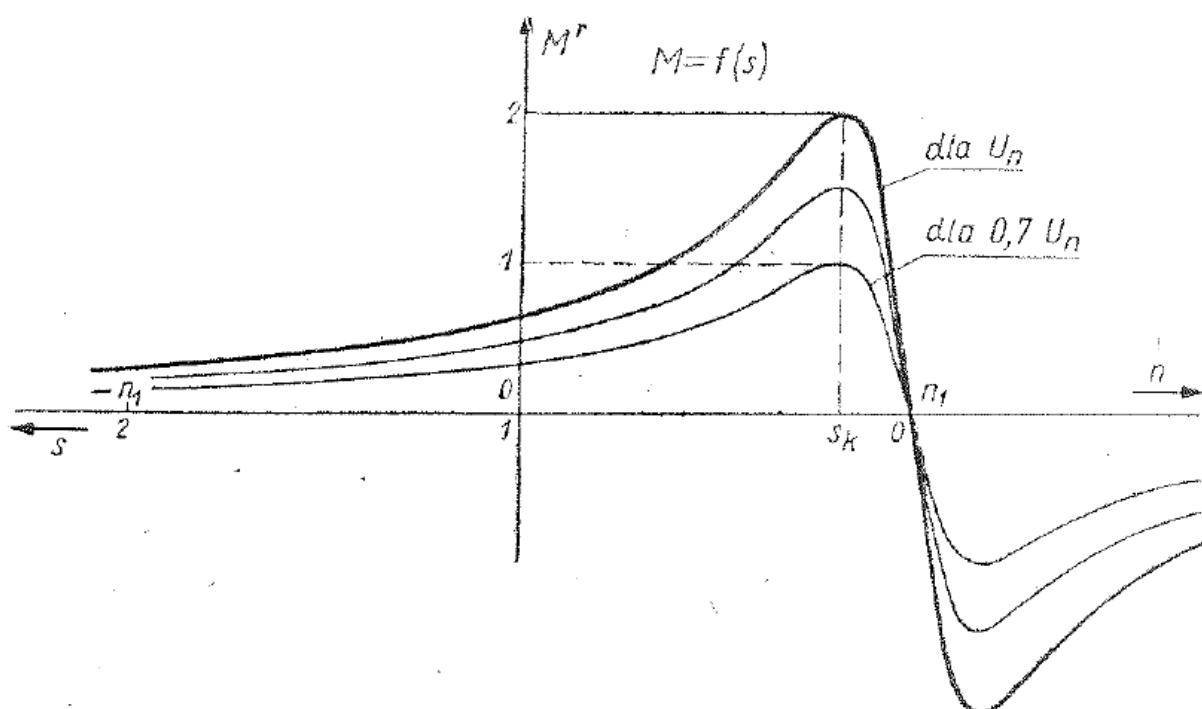
MOTOR. (a) the rotating stator field B_s induces a voltage in the rotor bars; (b) the rotor voltage produces a rotor current flow, which lags behind the voltage because of the inductance of the rotor; (c) the rotor current produces a rotor magnetic field B_R lagging 90° behind itself, and B_R interacts with B_{net} to produce a counterclockwise torque in the machine.

Wytwarzane pole magnetyczne wirnika oddziałuje z wirującym polem magnetycznym stojana. W ten sposób powstaje moment elektromagnetyczny, który sprawia że wirnik zaczyna się obracać. Pola magnetyczne dążą do zrównania się, jednak taka sytuacja nigdy nie zachodzi ze względu na moment hamujący wynikający z masy wirnika czy oporów mechanicznych. Różnica pomiędzy prędkością wirowania pól stojana i wirnika nazywana jest poślizgiem maszyny.

Charakterystyki ruchowe

Charakterystyka momentu

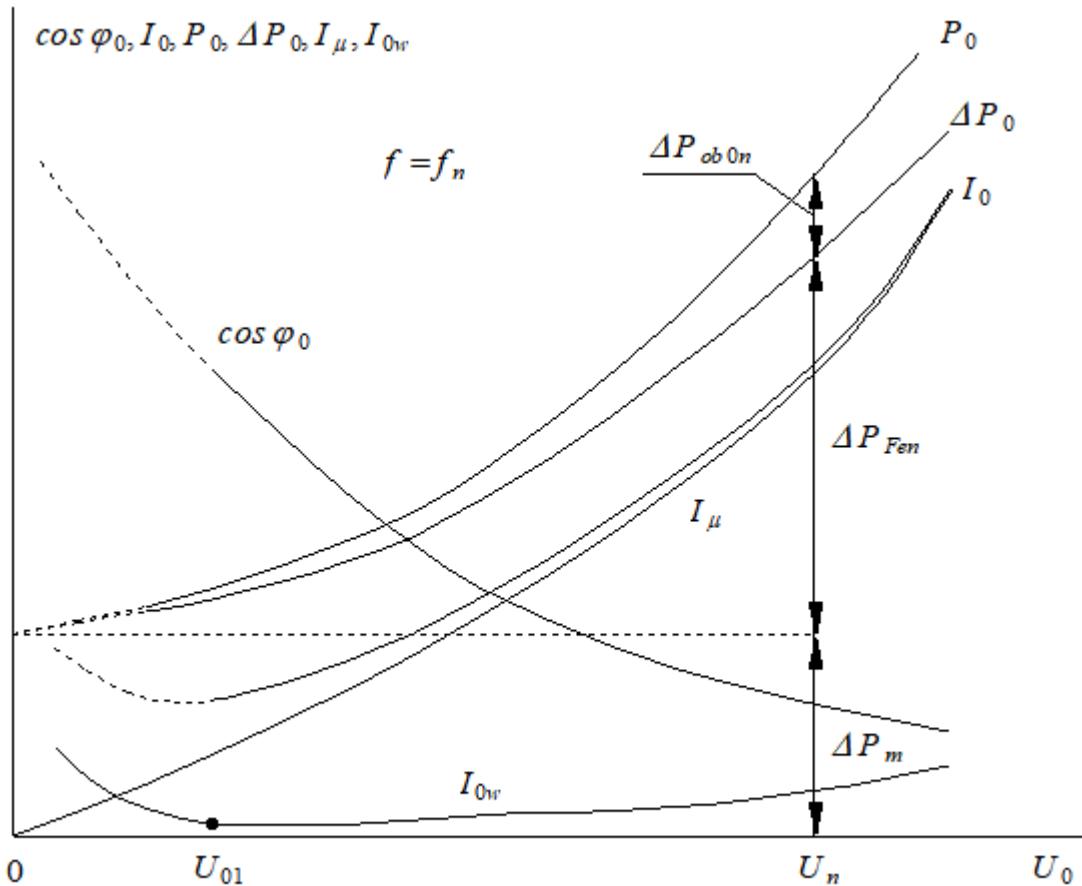
Charakterystyka momentu pokazuje zależność momentu silnika od jego prędkości (lub na odwrót). Jest to podstawowa charakterystyka silnika, zwana też charakterystyką mechaniczną.



Rys. 4.37. Wpływ zmiany napięcia zasilania na przebieg charakterystyki momentu

Charakterystyki biegu jałowego

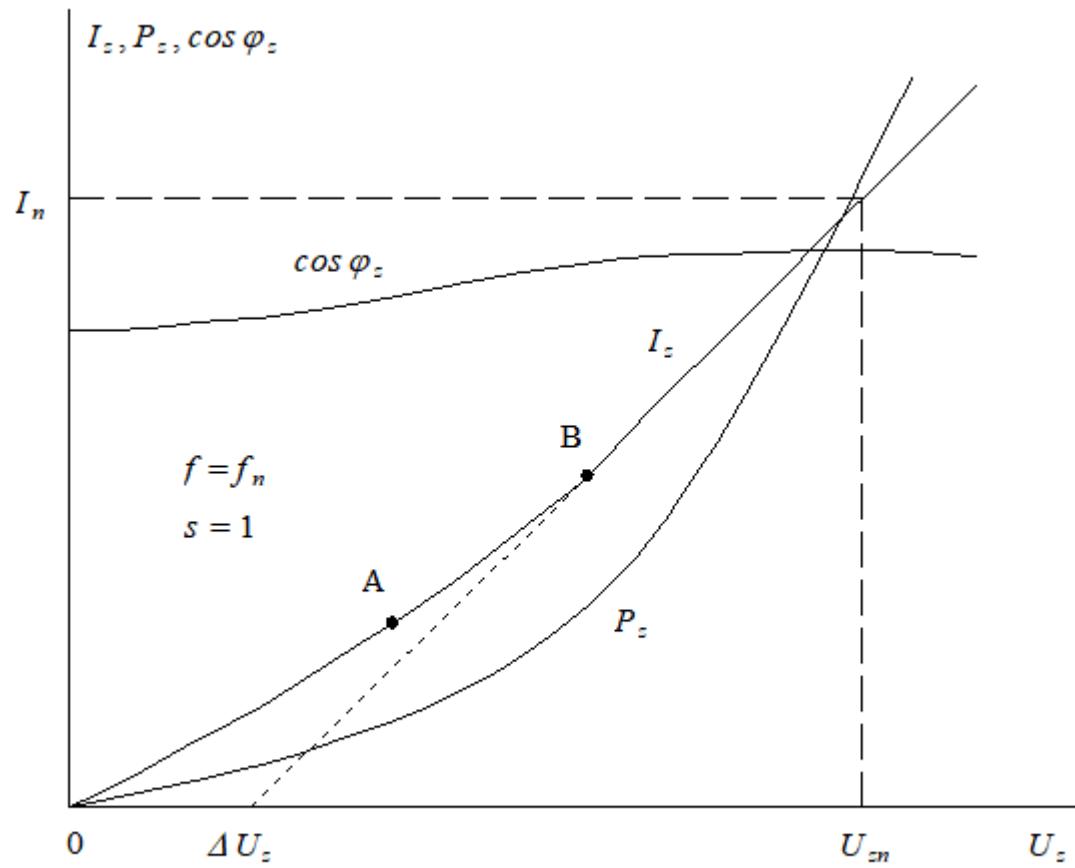
Pomiary przeprowadzone podczas biegu jałowego silnika pozwalają m.in. na wyznaczenie strat mechanicznych oraz strat w żelazie silnika. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określa się charakterystyki biegu jałowego, składowe bierną i czynną prądu biegu jałowego w funkcji napięcia oraz rozdziela straty na straty mechaniczne i straty w żelazie.



Rys. 33.2. Charakterystyki biegu jałowego silnika indukcyjnego

Charakterystyki stanu zwarcia

Pomiary przeprowadzone podczas stanu zwarcia silnika pozwalają m.in. na obliczenie krotności prądu i momentu rozruchowego.

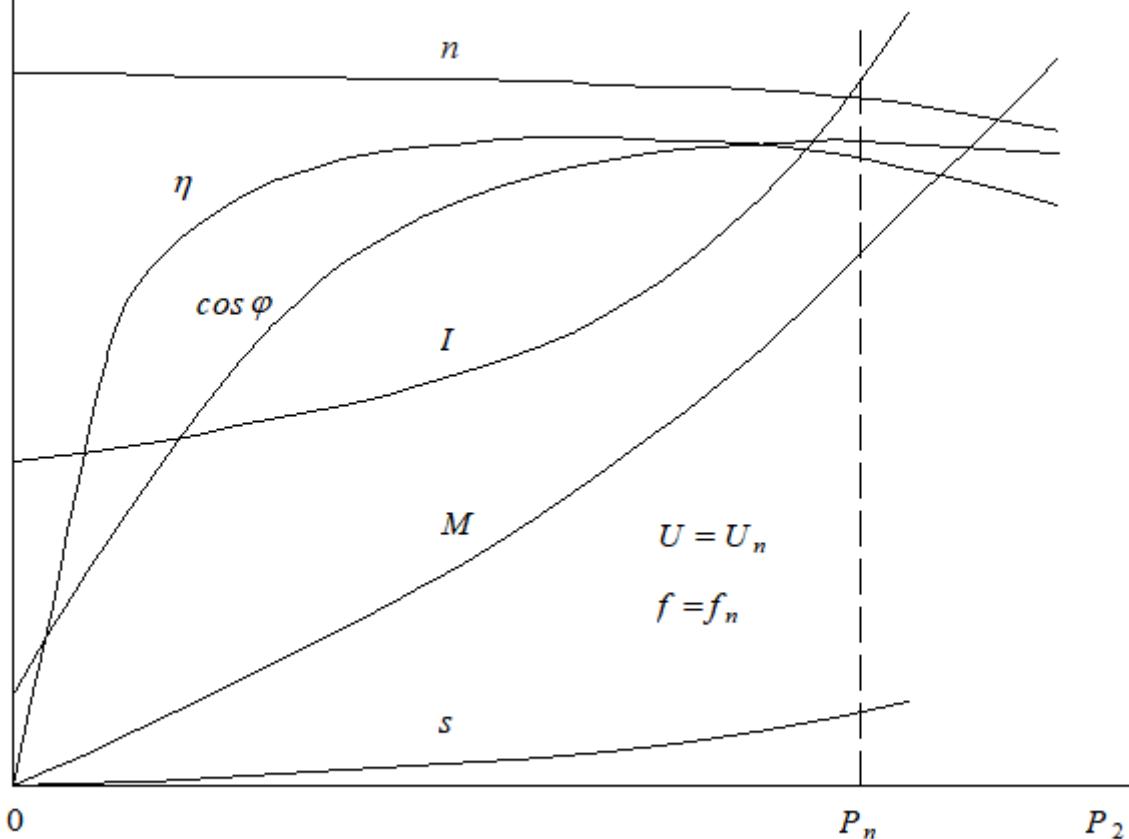


Rys. 33.4. Charakterystyki stanu zwarcia silnika indukcyjnego

Charakterystyki elektromechaniczne

Charakterystyki elektromechaniczne silnika indukcyjnego określają zmiany parametrów silnika podczas zmiany jego obciążenia w funkcji mocy na wale.

$I, \eta, \cos \varphi, M, s, n$



Rys. 33.7. Charakterystyki elektromechaniczne silnika indukcyjnego

Źródło

1. Chapman - *Electric Machinery Fundamentals*
2. Plamitzer - *Maszyny Elektryczne*
3. PWr - Laboratorium Maszyn Elektrycznych - ćwiczenie 33

C. Maszyny synchroniczne: budowa, zasada działania, charakterystyki ruchowe

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Budowa maszyn synchronicznych

W maszynach synchronicznych, pole magnetyczne wirnika jest wytwarzane przez zasilenie prądem stałym uzwojenia wzbudzenia lub poprzez zastosowanie magnesów trwałych. Wirnik takiej maszyny może składać się zatem z uzwojenia wzbudzenia, ale w celu ułatwienia rozruchu spotyka się konstrukcje z dodatkowymi uzwojeniami klatkowymi wirników.

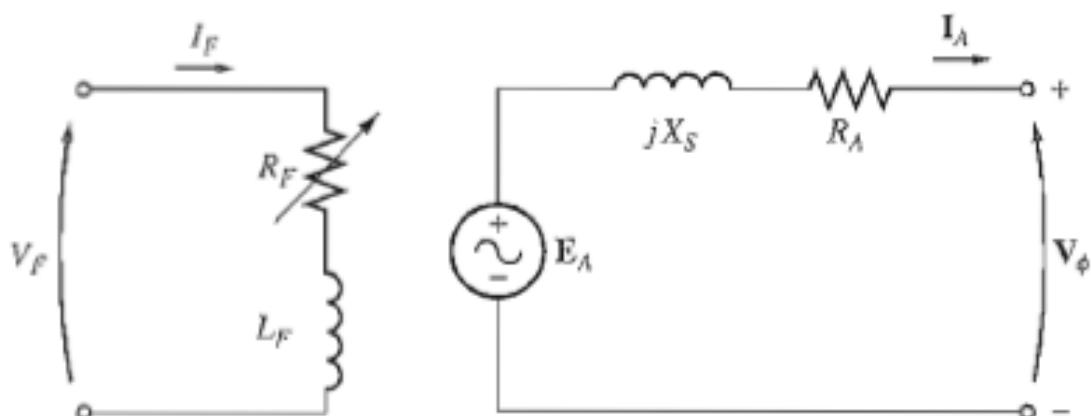
Stojan maszyny synchronicznej jest taki sam, jak stojan maszyny indukcyjnej - czyli składa się z trzech uzwojeń rozmieszczenych co 120 stopni na jego obwodzie.

Maszyny synchroniczne dzieli się na maszyny z biegunami jawnymi oraz maszyny z biegunami niejawnymi.

Zasada działania

Generator synchroniczny

Generator synchroniczny podłączany jest do zewnętrznego urządzenia napędzającego. Uzwojenie wirnika, zasilone prądem stałym (lub składające się z magnesów trwałych) zaczyna się poruszać. Ruch pola magnetycznego wirnika względem nieruchomych uzwojeń stojana powoduje, że w uzwojeniach tych zaczyna się indukować napięcie.



Sterowanie polem magnetycznym wirnika pozwala na wytwarzanie energii elektrycznej o różnym współczynniku mocy. Generator niedowzbudzony jest dla sieci źródłem mocy biernej, z kolei generator przewzbudzony jest odbiorikiem tej mocy.

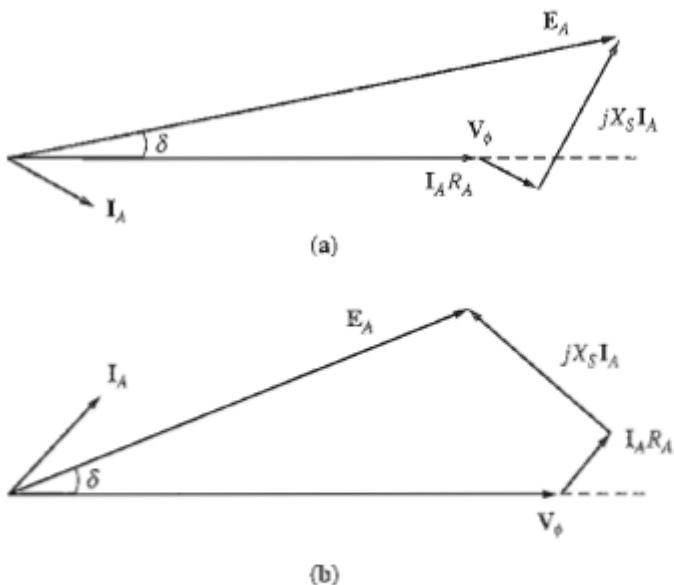


FIGURE 4-14
The phasor diagram of a synchronous generator at (a) lagging and (b) leading power factor.

Silnik synchroniczny

Silnik synchroniczny jest z teoretycznego punktu widzenia maszyną identyczną do generatora synchronicznego. W tym wypadku stojan maszyny podłącza się do zasilania trójfazowego i zaczyna on wytwarzać wirujące pole magnetyczne. Wzbudzony wirnik maszyny oddziałuje z polem wirującym stojana, a fakt że pole magnetyczne jest stałe (nie zależy od indukcji) sprawia, że silnik o takiej konstrukcji może wirować z prędkością synchroniczną.

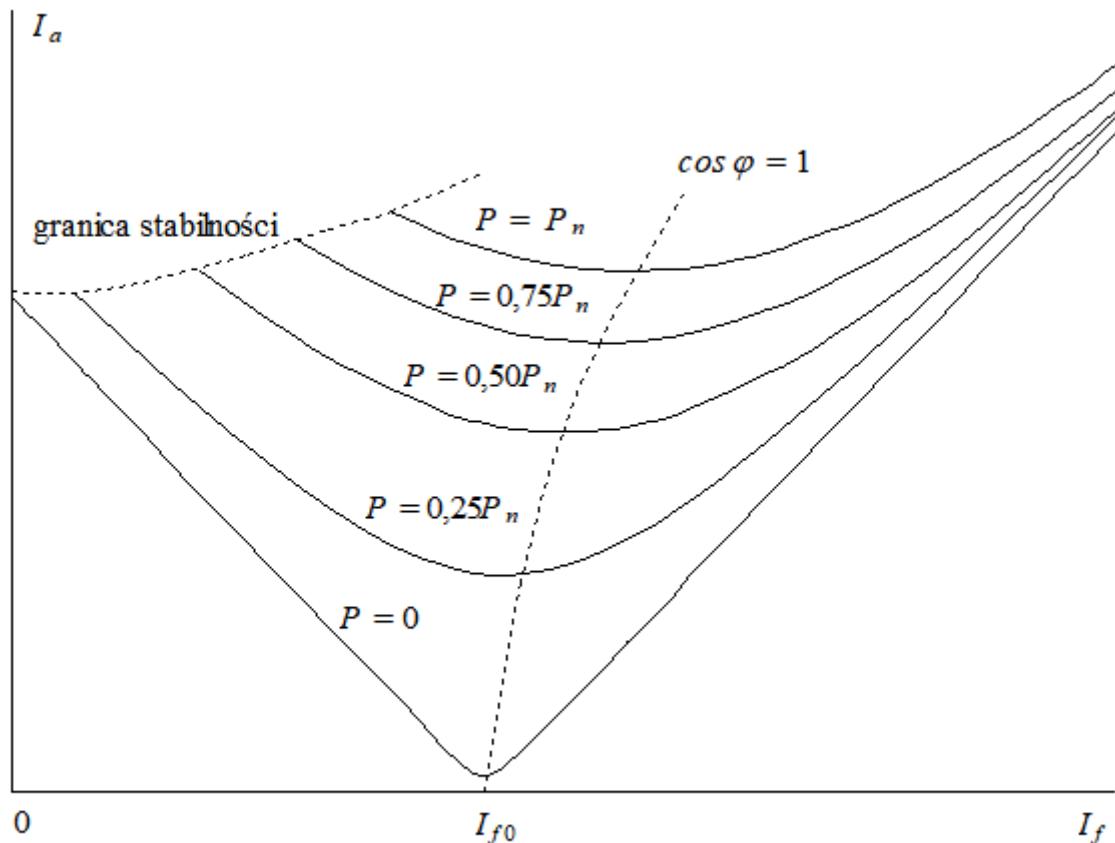
Sterowanie wzbudzeniem silnika synchronicznego pozwala na osiąganie różnych wartości współczynnika mocy maszyny. Niedowzbudzenie maszyny oznacza, że silnik pobiera z sieci moc bierną potrzebną na domagnesowanie. Przewzbudzenie powoduje, że silnik zaczyna generować moc bierną i staje się swego rodzaju kompensatorem mocy biernej.

Charakterystyki ruchowe

Prądnica synchroniczna

Krzywe V (Mordeya)

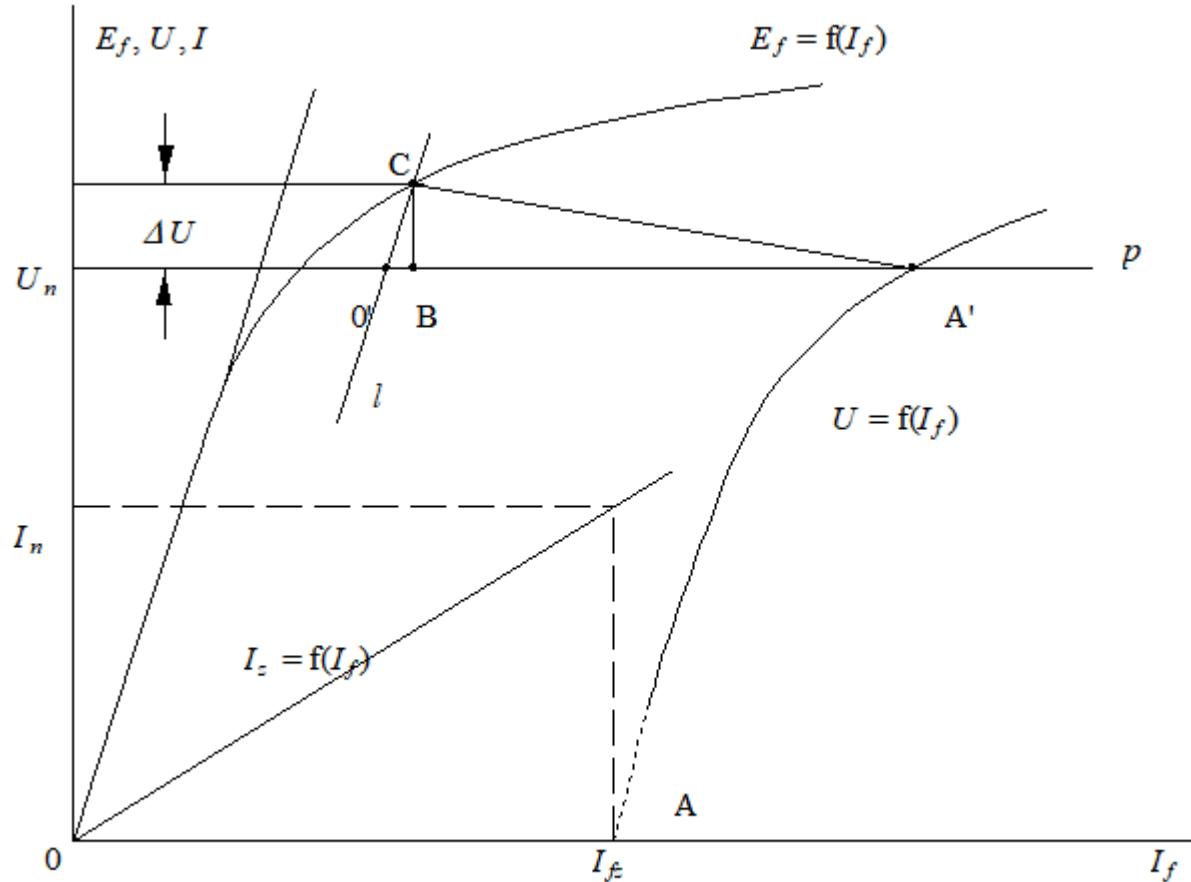
Krzywe V przedstawiają zależność prądu twornika od prądu wzbudzenia przy stałych wartościach napięcia twornika U, mocy czynnej P oraz częstotliwości. Ilustrują one zachowanie się maszyny synchronicznej pracującej równolegle z siecią sztywną w całym zakresie możliwych zmian prądu wzbudzenia.



Rys. 22.4. Krzywe V

Charakterystyka obciążenia

Charakterystyka obciążenia to zależność napięcia twornika maszyny synchronicznej od prądu wzbudzenia przy stałym prądzie twornika i stałym współczynniku mocy.

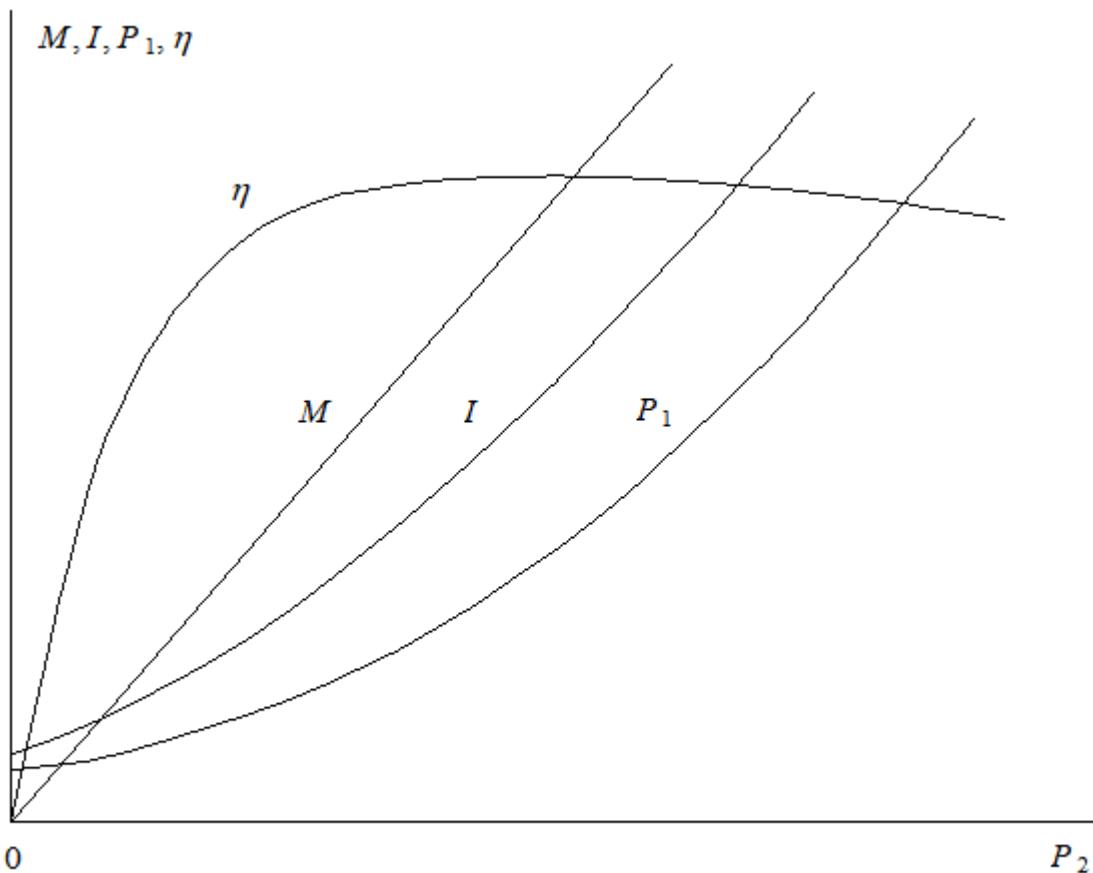


Rys. 22.6. Konstrukcja do wyznaczania reaktancji Potiera

Silnik synchroniczny

Charakterystyki elektromechaniczne

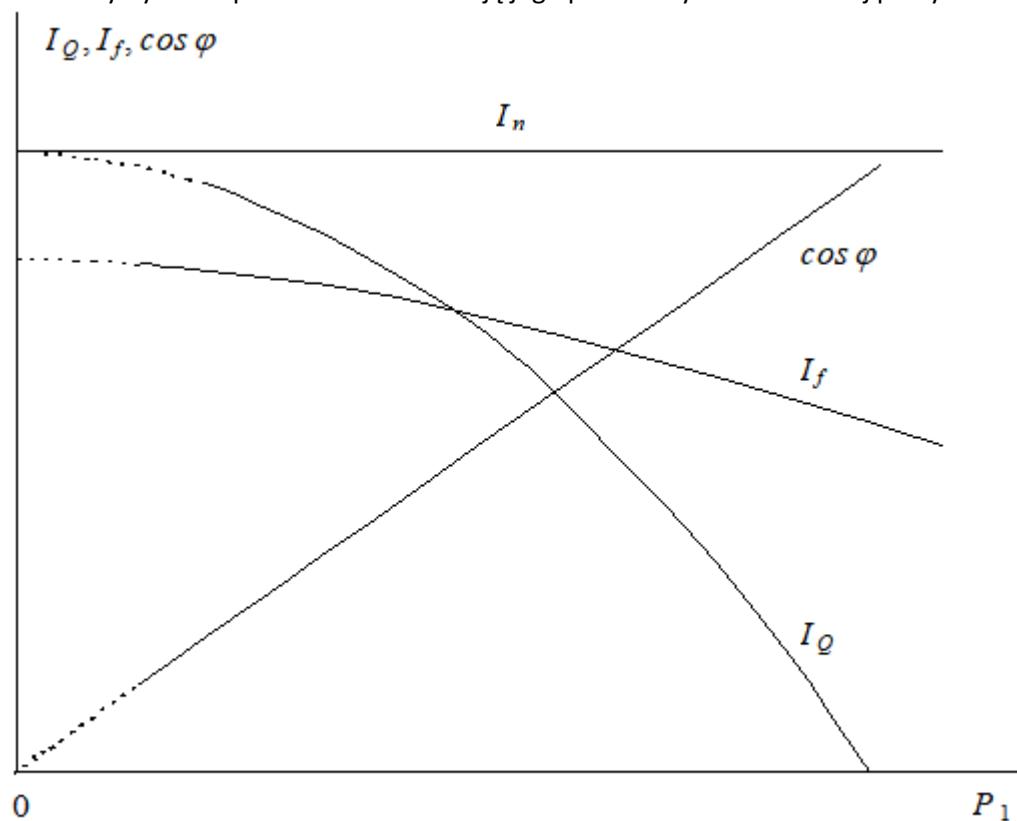
Charakterystyki elektromechaniczne silnika podają jego właściwości eksploatacyjne. Są to zależności prądu twornika I , mocy pobieranej z sieci, momentu obrotowego i sprawności od mocy oddawanej na wale silnika przy znamionowych wartościach napięcia U , współczynnika mocy oraz częstotliwości.



Rys. 24.3. Charakterystyki elektromechaniczne silnika synchronicznego

Charakterystyki kompensatorowe

Silnik synchroniczny może w czasie pracy spełniać dodatkowo funkcję kompensatora. Charakterystyki kompensatorowe określają jego parametry w czasie takiej pracy.



Rys. 24.4. Charakterystyki kompensatorowe silnika synchronicznego

Źródło

1. Chapman - *Electric Machinery Fundamentals*
2. PWr - Laboratorium Maszyn Elektrycznych - ćwiczenie 22 i 24

D. Maszyny prądu stałego: budowa, zasada działania, charakterystyki ruchowe

poniedziałek, 4 stycznia 2021 15:32

Budowa silników prądu stałego

Zasadniczą cechą wszystkich maszyn prądu stałego jest występowanie obwodu wzbudzenia, obwodu twornika oraz szczotek i komutatora. Uzwojenie wzbudzenia odpowiada za wytwarzanie strumienia magnetycznego maszyny. Uzwojenie twornika odpowiada za pracę maszyny, z kolei komutator ma za zadanie utrzymywać stałą biegunowość napięcia w tworniku.

Ze względu na rozmieszczenie uzwojeń twornika i wzbudzenia, wyróżnia się maszyny prądu stałego:

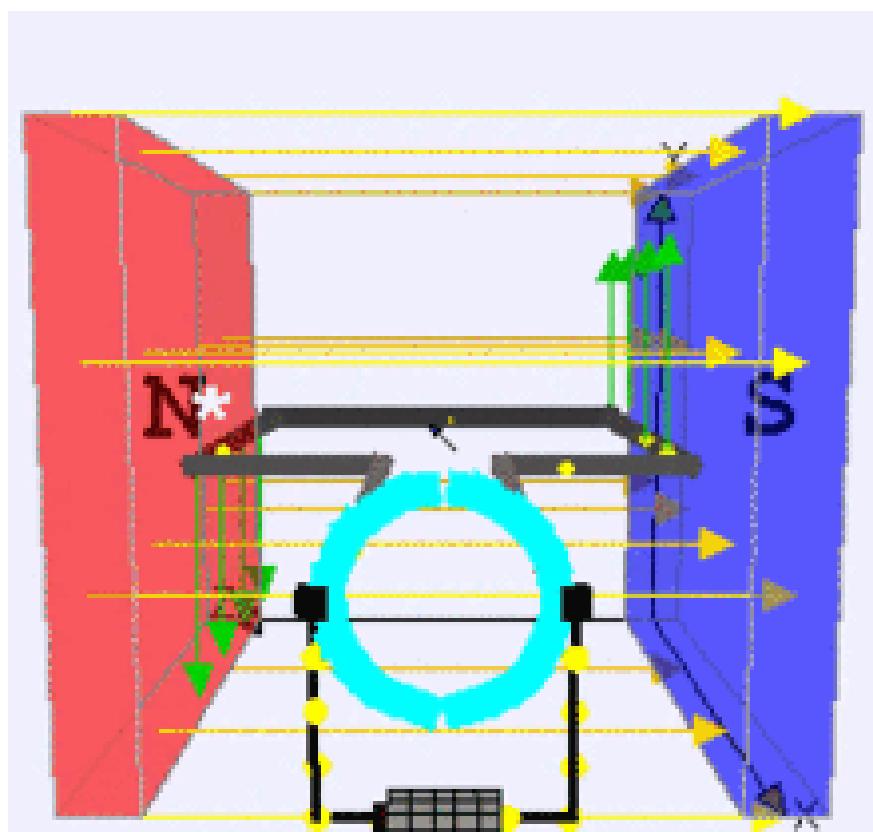
- Bocznikowe - w których obwód wzbudzenia jest równoległy do obwodu twornika
- Obcowzbudne - w których obwód wzbudzenia działa niezależnie od obwodu twornika (zamiast obwodu wzbudzenia mogą też zostać zastosowane magnesy trwałe)
- Szeregowe - w których obwód wzbudzenia i obwód twornika są de facto jednym obwodem, z elementami rozmieszczonymi szeregowo

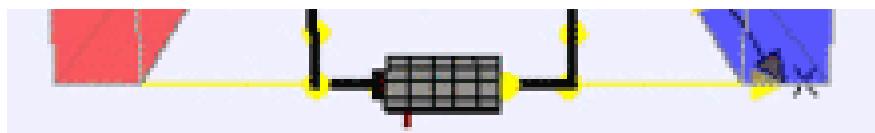
Komutator składa się z grafitowych szczotek, które dociskane są do sekcji na osi wirnika, zasilających poszczególne fragmenty uzwojenia.

Zasada działania

Zasada działania maszyn prądu stałego jest we wszystkich wypadkach taka sama. Uzwojenie twornika, w którym w określonym kierunku płynie prąd, oddziałuje pole magnetyczne wytwarzane przez uzwojenie wzbudzenia. Pole magnetyczne działa na uzwojenia twornika, wytwarzając siłę elektrodynamiczną. Siła ta obraca wirnik maszyny w kierunku zależnym od kierunku pola magnetycznego i kierunku przepływu prądu.

Aby zapobiec zmianie kierunku przepływu prądu, stosowany jest komutator. W chwili, w której kąt obrotu wirnika dochodzi do miejsca w którym siła elektrodynamiczna spadłaby do zera, następuje zmiana polaryzacji twornika i siła ta pojawi się po raz kolejny.





Moment silnika prądu stałego wynika z działania siły na uzwojenia umieszczone na danym promieniu w osi wirnika.

Charakterystyki ruchowe

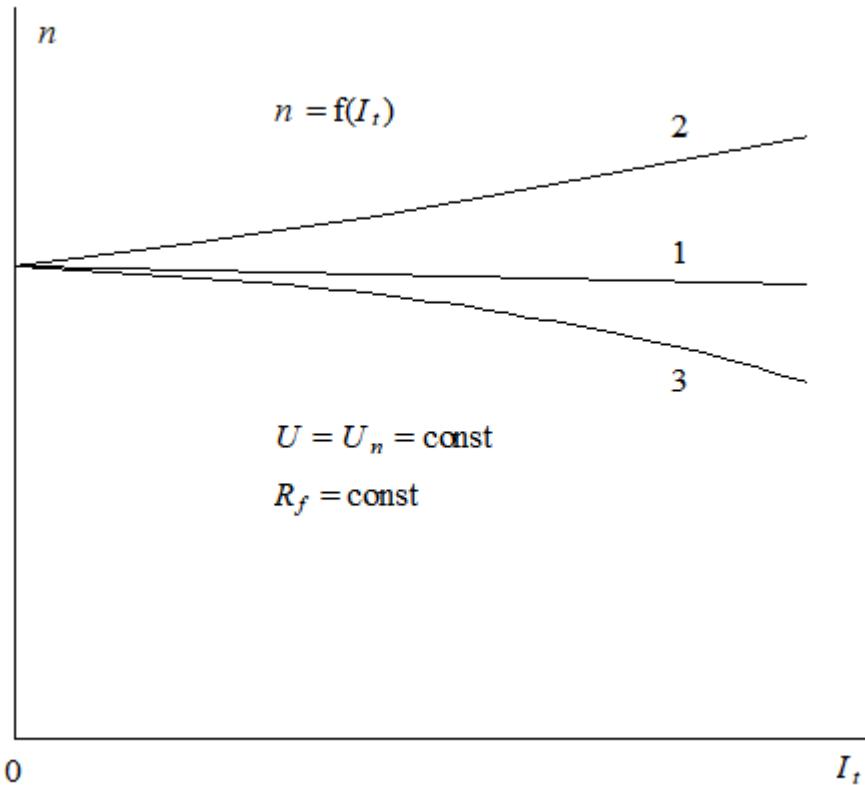
Prądnica obcowzbudna

Charakterystyka biegu jałowego prądnicy obcowzbudnej przypomina krzywą magnesowania. Z kolei charakterystyka stanu zwarcia ma przebieg liniowy i określa prąd twornika w zależności od prądu wzbudzenia. Charakterystyki zwarcia i biegu jałowego pozwalają na wykreślenie trójkąta charakterystycznego, przydatnego do konstrukcyjnego wyznaczenia charakterystyk ruchowych.

Silnik obcowzbudny / bocznikowy

Charakterystyka mechaniczna

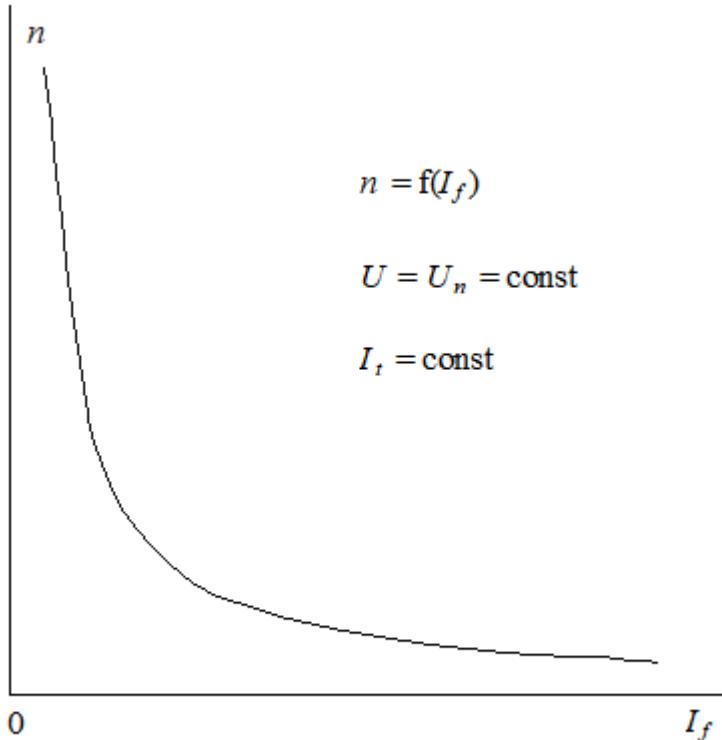
Charakterystyka mechaniczna to zależność prędkości obrotowej n od prądu pobieranego przez silnik przy stałym napięciu i stałym wzbudzeniu.



Rys. 12.1. Charakterystyka mechaniczna

Charakterystyka prędkości obrotowej

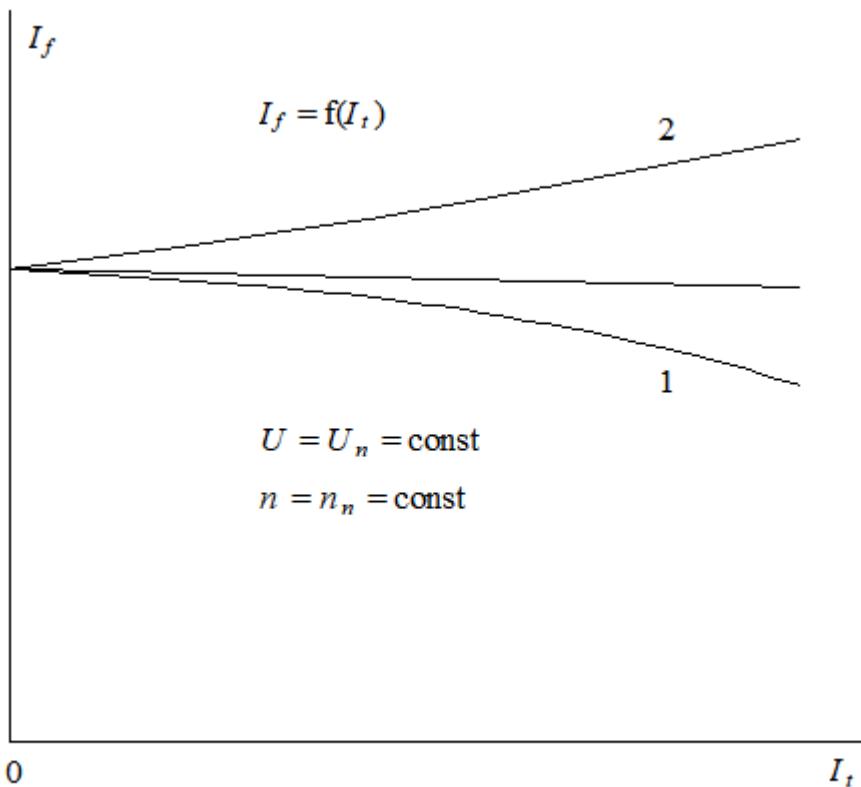
Charakterystyka prędkości obrotowej to zależność prędkości obrotowej od prądu wzbudzenia przy stałym prądzie twornika i stałym napięciu.



Rys. 12.3. Charakterystyka prędkości obrotowej

Charakterystyka regulacji

Charakterystyka regulacji informuje, jak należy zmieniać prąd wzbudzenia, aby podczas zmiany obciążenia silnika utrzymywać stałą prędkość obrotową. Jest to więc zależność prądu wzbudzenia od prądu twornika.

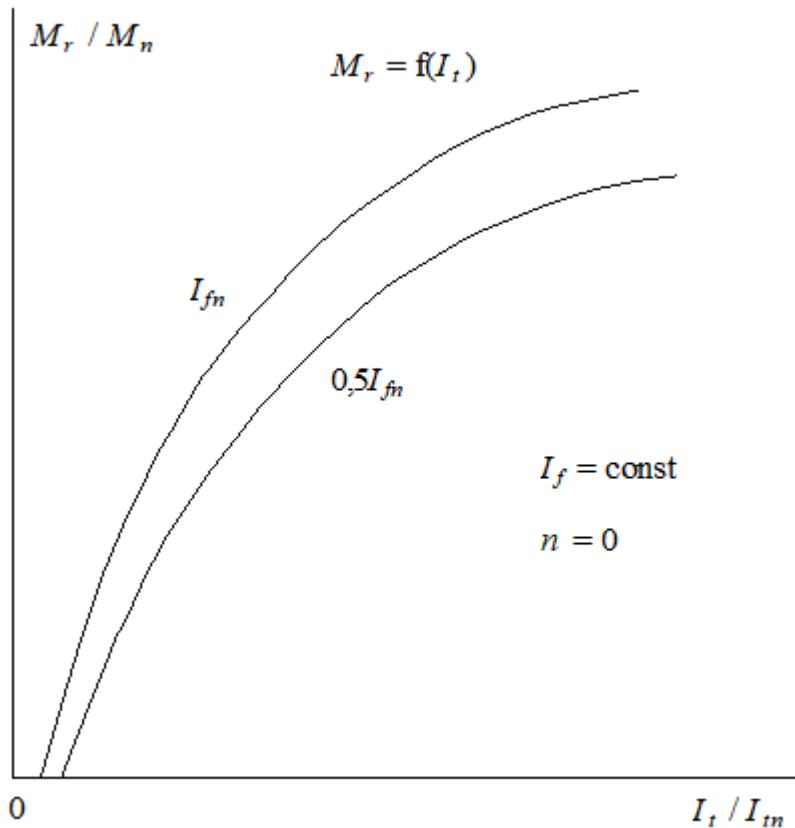


Rys. 12.4. Charakterystyka regulacji

Charakterystyka momentu rozruchowego

Charakterystyka momentu rozruchowego to zależność momentu rozruchowego od prądu twornika

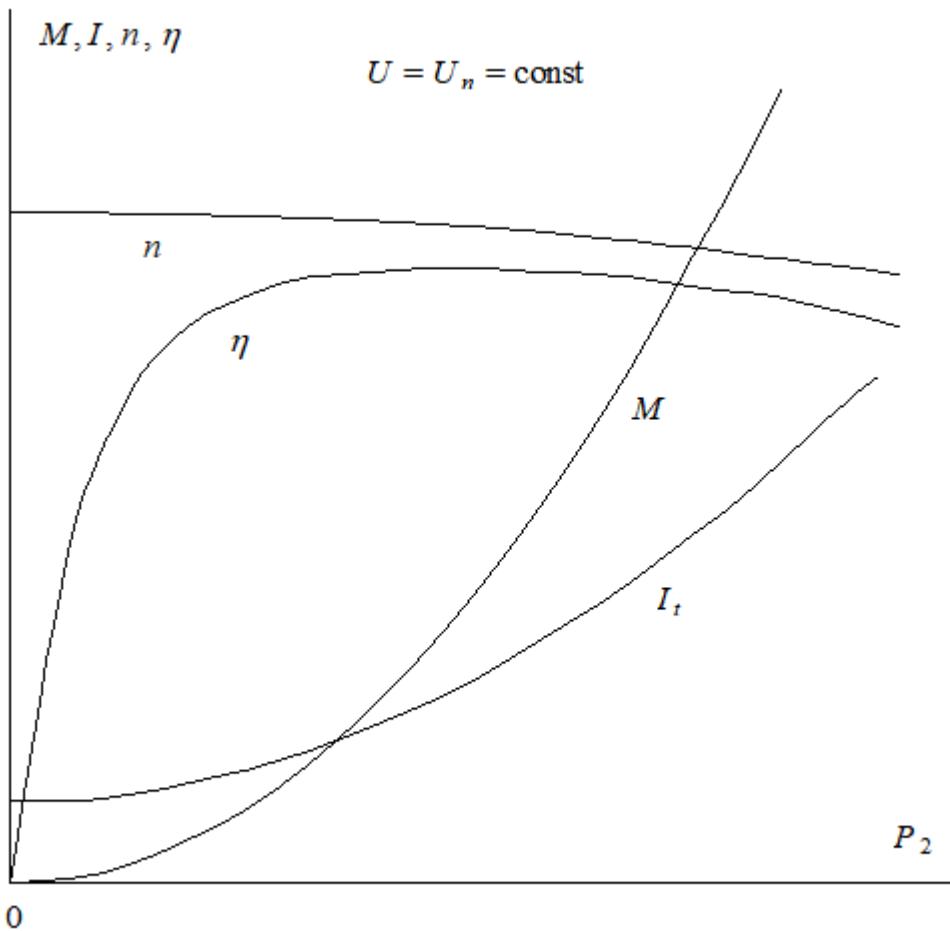
przy stałym prądzie wzbudzenia i zahamowanym wirniku silnika.



Rys. 12.6. Charakterystyka momentów rozruchowych

Charakterystyki robocze

Charakterystyki robocze pokazują prędkość obrotową, moment, prąd twornika i sprawność silnika w funkcji mocy na wale.

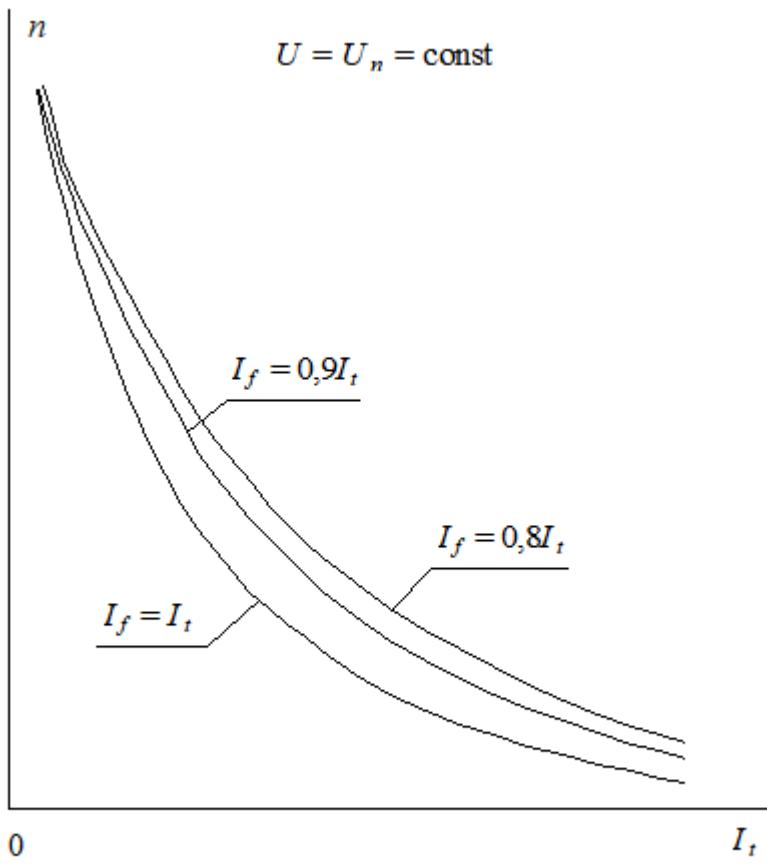


Rys. 12.7. Charakterystyki robocze

Silnik szeregowy

Charakterystyka mechaniczna (zewnętrzna)

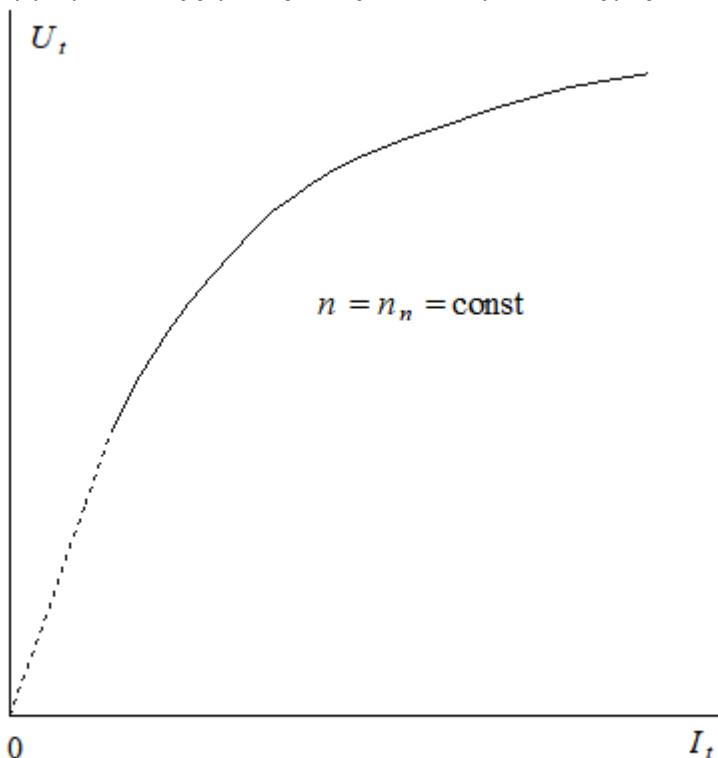
Charakterystyka zewnętrzna silnika, zwana również charakterystyką mechaniczną, jest to zależność prędkości obrotowej n od prądu twornika lub momentu, przy stałym napięciu zasilania.



Rys. 15.3. Charakterystyki zewnętrzne

Charakterystyka regulacyjna

Charakterystyka regulacyjna informuje o tym, jak regulować napięcie zasilania silnika szeregowego, aby przy zmieniającym się obciążeniu utrzymać stałą prędkość obrotową.

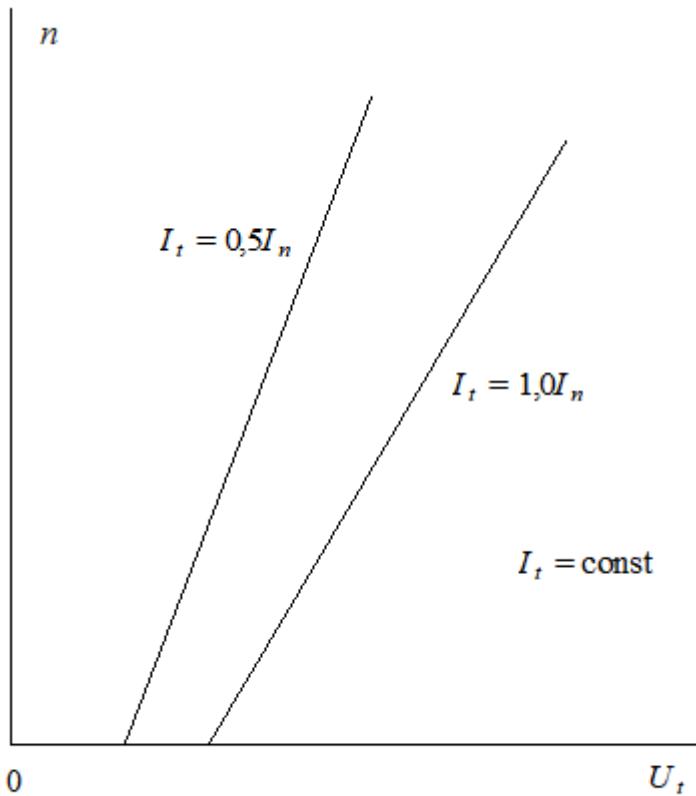


Rys. 15.4. Charakterystyka regulacyjna

Charakterystyka $n = f(U_t)$

Charakterystyka ta informuje o zakresie regulacji prędkości przez zmianę napięcia, przy stałym

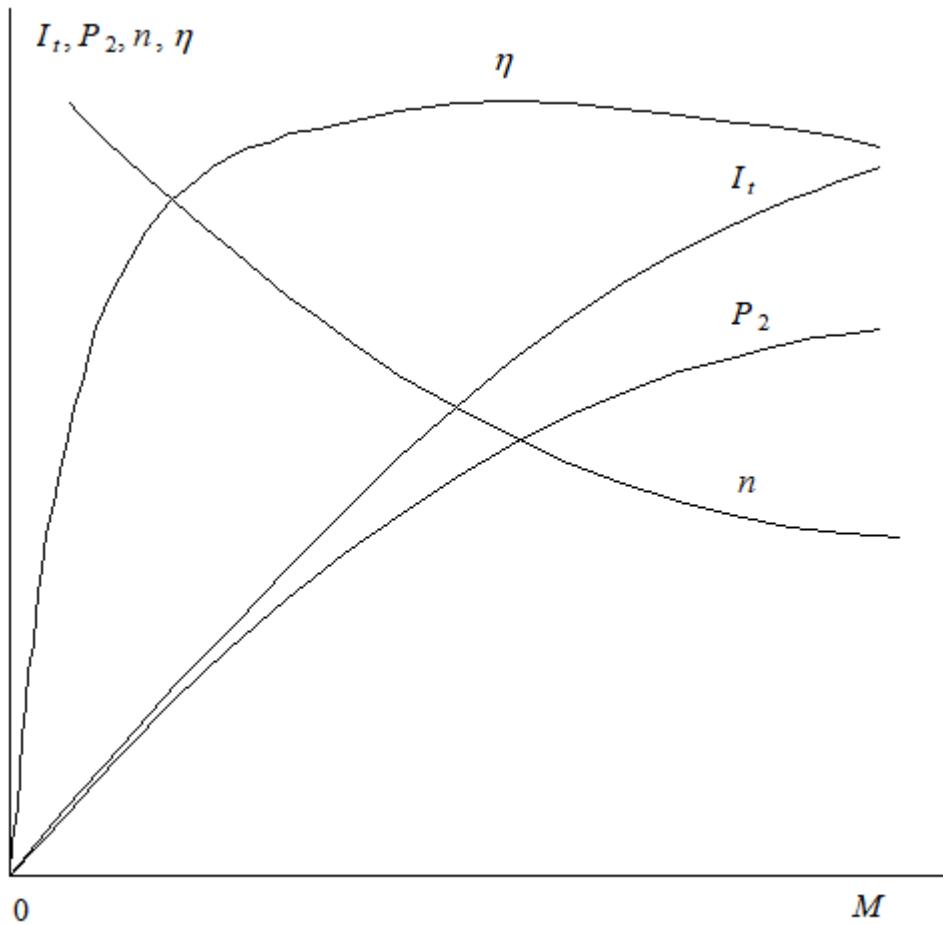
obciążeniu.



Rys. 15.5. Charakterystyka $n = f(U_t)$

Charakterystyki robocze

Charakterystyki robocze są to zależności mocy oddawanej, prądu twornika, prędkości obrotowej i sprawności od momentu na wale silnika. Wyznacza się je na podstawie wyników pomiarów wykonanych podczas badania charakterystyki zewnętrznej.



Rys. 15.6. Charakterystyki robocze

Źródło

1. Opracowanie własne na podstawie Chapman - *Electric Machinery Fundamentals*
2. PWr - Laboratorium Maszyn - ćwiczenia 11, 12, 15

7. Napęd elektryczny

piątek, 8 stycznia 2021 13:01

A. Wpływ rodzaju połączenia mechanicznego silnika napędowego z maszyną roboczą na postać równania ruchu

piątek, 8 stycznia 2021 13:03

Napęd elektryczny to zespół połączonych ze sobą i oddziaływujących wzajemnie na siebie elementów przetwarzających energię elektromechaniczną w procesie technologicznym. W skład napędu wchodzą silnik elektryczny, układ zasilający, urządzenie pędne (połączenie mechaniczne) oraz urządzenia sterowania i automatyki, a także przetworniki pomiarowe.

Urządzenie pędne to na przykład zębate lub pasowe sprzęgło, które stanowi połączenie mechaniczne silnika z maszyną roboczą. Ma ono zapewniać przepływ mocy mechanicznej, a jeśli jest to konieczne - również zmianę jej parametrów (prędkości kątowej, momentu).

Równanie ruchu, na podstawie zasady Hamiltona i zasady zachowania energii, opisuje zachowanie się energii układu. Energię tę dzieli się na energię użyteczną na maszynie oraz energię kinetyczną zmagazynowaną w masach wirujących.

Połączenie mechaniczne silnika z maszyną roboczą może być wykonane na trzy sposoby:

- **Sposób sztywny** - wtedy kąty obrotu wału silnika i mechanizmu są równe
- **Poprzez element elastyczny** - którego skręcenie powoduje powstanie kąta skręcenia wału, czyli różnicy między kątami obrotu wałów maszyn
- **Za pomocą elementów z luzami** - wtedy maszyna robocza zaczyna się obracać dopiero po wybraniu luzu elementu łączącego

Wpływ rodzaju połączenia mechanicznego silnika napędowego z maszyną roboczą na postać równania ruchu

W przypadku połączenia sztywnego, równanie ruchu silnika napędowego ma postać standardową, czyli że moment dynamiczny jest równy różnicy między momentem elektrycznym i momentem oporowym na wale i można go wyrazić pochodną prędkości przemnożoną przez moment bezwładności układu, czyli

$$M_d = M_e - M_o = J \frac{d\Omega}{dt}$$

Wprowadzenie połączenia elastycznego sprawia, że w równaniu ruchu oprócz momentu obciążenia pojawia się moment skrętny. Podnosi to rzad równania różniczkowego ruchu o dwa w porównaniu z przypadkiem połączenia sztywnego, co wynika z faktu że pojawia się tu element sprężysty, a moment bezwładności wału maszyny rozdziela się na dwa człony.

Połączenie z luzami powoduje, że równanie ruchu trzeba rozdzielić na dwa przedziały czasowe, w których pierwszy odpowiada za występowanie luzu i uwzględnia zespoły silnika i maszyny roboczej jako oddzielone, a drugi opisuje zachowanie układu po wybraniu luzu, czyli sytuację jak przy połączeniu sztywnym.

Źródło

1. Wykłady z przedmiotu Napęd Elektryczny

B. Metody regulacji prędkości obrotowej silników prądu stałego

piątek, 8 stycznia 2021 13:03

Silniki prądu stałego można regulować na kilka sposobów, przy czym uzyskiwane wyniki zależą od typu danego silnika. Głównymi sposobami na regulację prędkości maszyn prądu stałego są:

- Regulacja napięcia zasilania
- Regulacja rezystancji w obwodzie twornika
- Regulacja wzbudzenia

Regulacja napięcia twornika

W przypadku silnika szeregowego i bocznikowego, regulacja napięcia twornika powoduje obniżenie się charakterystyk mechanicznych. Oznacza to, że przy niższym napięciu zasilania prędkość silnika maleje.

Regulacja rezystancji w obwodzie twornika

W przypadku silnika bocznikowego, zmiana rezystancji obwodu twornika powoduje zmianę nachylenia charakterystyk elektromechanicznych, z zachowaniem stałego punktu idealnego stanu jałowego. W przypadku silnika szeregowego, dodatkowa rezystancja w obwodzie twornika powoduje zwiększenie stromości charakterystyki elektromechanicznej i jej lekkie obniżenie.

Bocznikowanie obwodu twornika

Bocznikowanie obwodu twornika dotyczy tylko maszyn szeregowych prądu stałego. Zbocznikowanie obwodu twornika powoduje zwiększenie sztywności charakterystyki elektromechanicznej i pozwala zapobiegać rozbieganiu się silnika.

Regulacja wzbudzenia

W obwodzie silnika obcowzbudnego lub bocznikowego, regulacja wzbudzenia powoduje zmianę nachylenia charakterystyki mechanicznej w taki sposób, że moment biegu jałowego maszyny się zmniejsza, z kolei maksymalna prędkość rośnie. W tej konfiguracji oznacza to również zwiększanie się prądu twornika przy większych prędkościach. Ponadto, w silniku obcowzbudnym duże obniżenie strumienia wzbudzenia prowadzi do rozbiegania maszyny.

W silniku szeregowym regulacja strumienia wzbudzenia powoduje podwyższanie się charakterystyki elektromechanicznej, czyli osiąganie większych prędkości dla każdego obciążenia maszyny.

Regulację wzbudzenia w maszynie obcowzbudnej i bocznikowej prowadzi się poprzez zmianę rezystancji tego obwodu, z kolei dla maszyn szeregowych należy to robić poprzez bocznikowanie obwodu wzbudzenia.

Źródło

1. Wykłady z przedmiotu Napęd Elektryczny

C. Sterowanie częstotliwościowe prędkością obrotową silnika indukcyjnego (zasada, charakterystyki regulacyjne i mechaniczne, struktura regulacji)

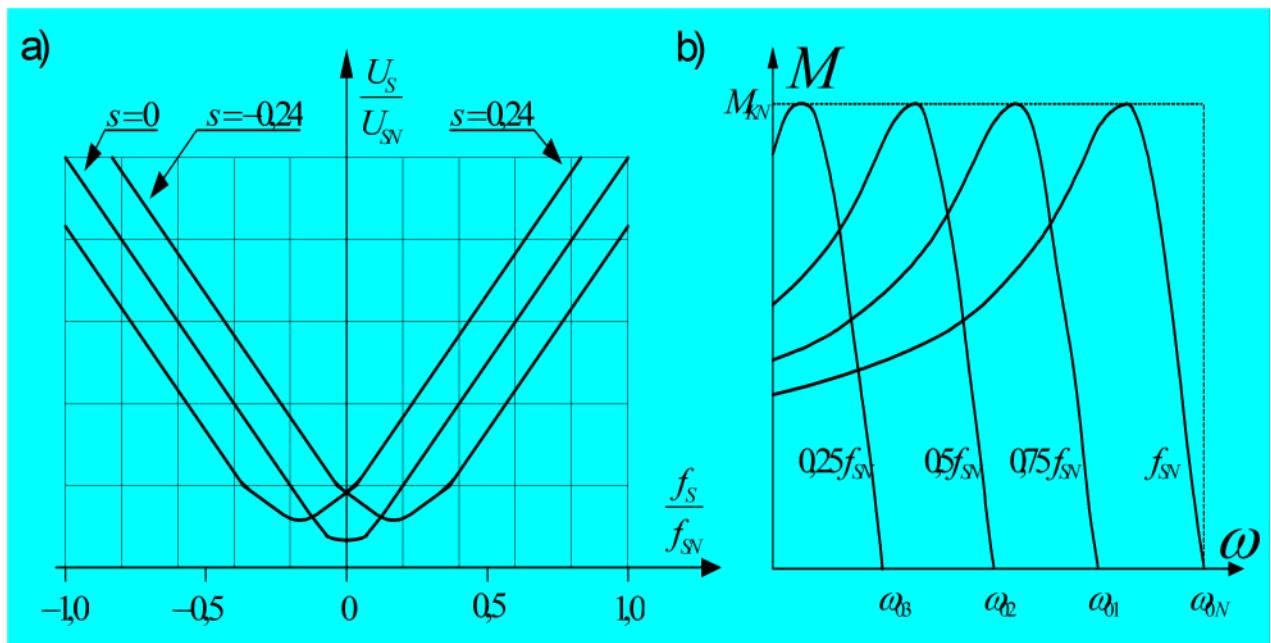
piątek, 8 stycznia 2021 13:03

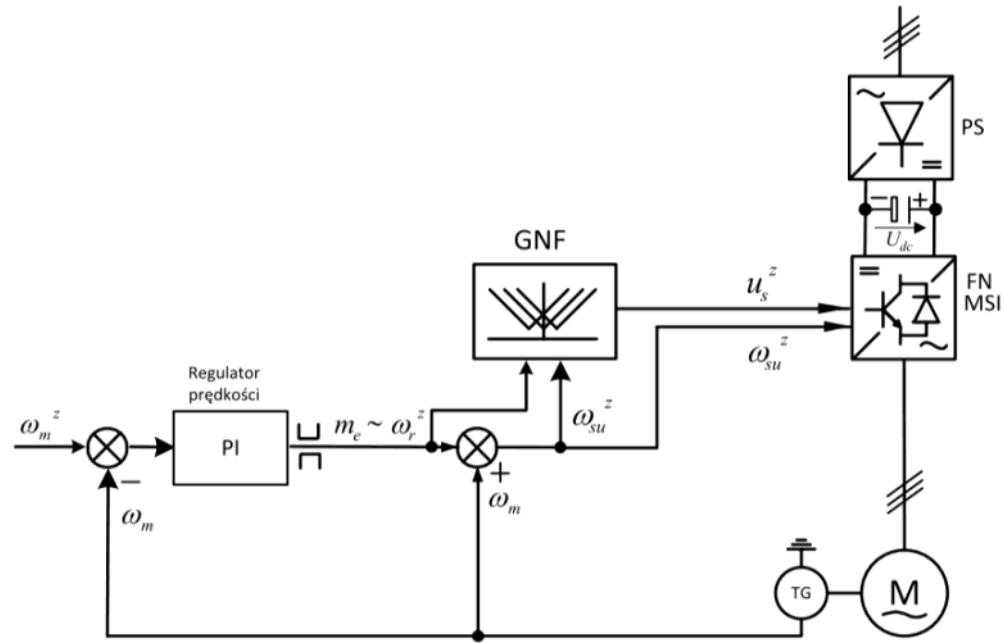
Sterowanie częstotliwościowe prędkością obrotową silnika indukcyjnego polega na zmianie częstotliwości zasilania maszyny przy utrzymywaniu stałego stosunku amplitudy napięcia do tej częstotliwości. Zmniejszanie częstotliwości zasilania prowadzi do obniżenia prędkości synchronicznej pola wirującego, zatem charakterystyka mechaniczna przesuwa się w kierunku mniejszych prędkości.

Utrzymywanie określonego stosunku amplitudy napięcia do częstotliwości jest wymuszone przez konieczność utrzymywania stałego strumienia maszyny, co wynika z prawa Faradaya.

Niezachowanie tego stosunku powoduje obniżenie momentu krytycznego lub jego zwiększenie, przy czym oba te efekty są niekorzystne - zbyt duże napięcie w stosunku do częstotliwości może prowadzić do pobierania bardzo dużych prądów magnesujących, z kolei za małe napięcie względem częstotliwości prowadzi do osłabienia momentu maszyny.

Struktura regulacji częstotliwościowej może być w układzie otwartym (z zadajnikiem częstotliwości określającym prędkość oraz generatorem funkcji nieliniowej określającej amplitudę napięcia) lub w układzie zamkniętym, z uwzględnieniem regulatora PI prędkości, który zadaje na podstawie sprzężenia zwrotnego od prędkości mechanicznej pulsację synchroniczną maszyny oraz amplitudę napięcia na falownik.





Źródło

1. Wykłady z przedmiotu Napęd Elektryczny
2. Wykłady z przedmiotu Automatyka Napędu Elektrycznego - podstawy

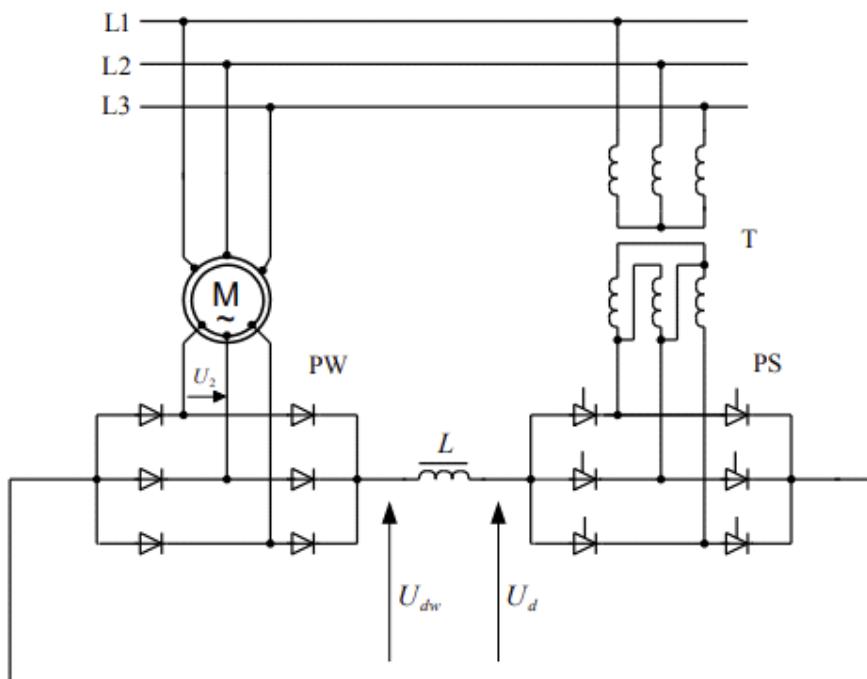
D. Układ kaskady stałego momentu dla silnika pierścieniowego (zasada regulacji prędkości obrotowej, struktura regulacji, charakterystyki regulacyjne i mechaniczne)

piątek, 8 stycznia 2021 13:03

Układ kaskady stałego momentu

Układ kaskady stałego momentu dla silnika pierścieniowego to w najprostszym ujęciu układ, w którym moc poślizgu wirnika jest przekazywana z powrotem do sieci. Realizacja tego układu polega nałączeniu w obwód wirnika maszyny indukcyjnej prostownika wirnikowego niesterowanego, a także prostownika sterowanego pracującego w zakresie falownikowym.

Prostownik wirnikowy ma za zadanie prostować napięcie indukowane w uzwojeniu wirnika. Prostownik sterowany z kolei działa w zakresie pracy falownikowej, czyli napięcie stałe z obwodu pośredniego (między prostownikami) przetwarza na przemienne. Uzyskane w ten sposób napięcie przekazywane jest przez transformator z powrotem do sieci zasilającej silnik indukcyjny.



Rys. 15.2. Układ kaskady podstawowej stałego momentu

Napięcie prostownika sterowanego jest dopasowywane do napięcia na wyjściu prostownika wirnikowego. W ten sposób, gdy napięcie wytwarzane w obwodzie wirnika przewyższa napięcie drugiego źródła, zaczyna płynąć prąd w obwodzie pośrednim. Ze względu na zastosowanie niesterowanego prostownika, wirnik nie może stać się odbiornikiem energii elektrycznej z sieci.

Można to sobie wyobrazić w prosty sposób: innym rozwiązaniem tego układu jest zamocowanie w obwodzie wirnika akumulatora - wtedy prąd obwodu pośredniego zależy od różnicy napięć między akumulatorem a prostownikiem wirnikowym, przy czym prąd może płynąć tylko w jednym kierunku - ładując akumulator.

Innym rozwiązaniem tego typu kaskady jest zastosowanie w miejsce prostownika sterowanego i transformatora silnika prądu stałego oraz prądnicy prądu przemiennego.

Zasada regulacji prędkości obrotowej

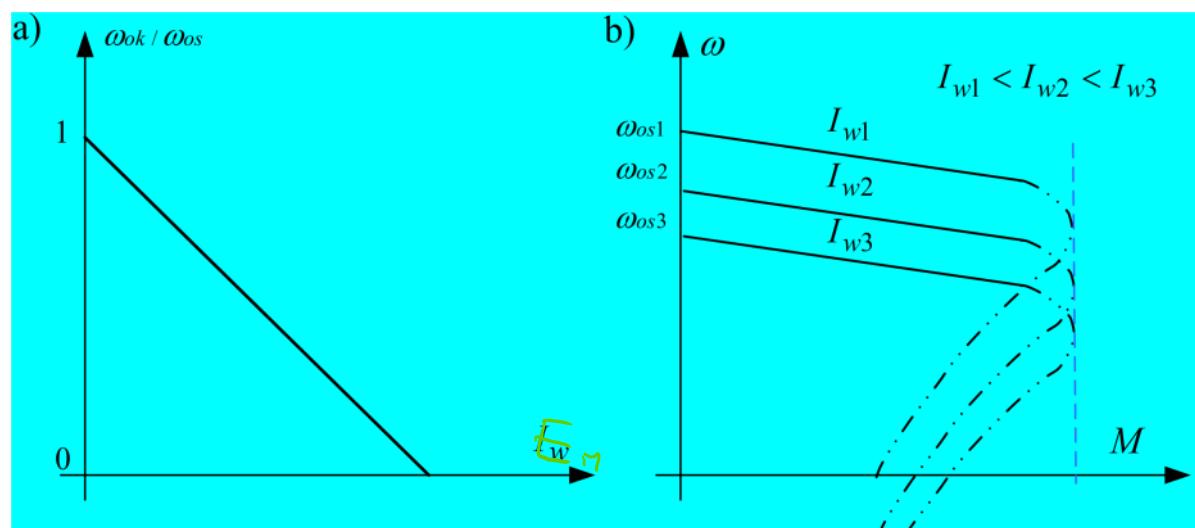
Kaskadowa metoda regulacji prędkości silnika indukcyjnego pierścieniowego polega na zmianie wartości poślizgu wirnika. Zasadniczą cechą układu kaskadowego jest fakt, że poślizg nie jest sterowany rezystorem, tylko właśnie dodatkowym źródłem napięcia.

Regulacja prędkości obrotowej układu kaskady stałego momentu polega na sterowaniu źródłem napięcia dodatkowego w obwodzie wirnika, ponieważ prąd w obwodzie pośrednim oraz prąd obwodu wirnika zależą od wartości tego napięcia.

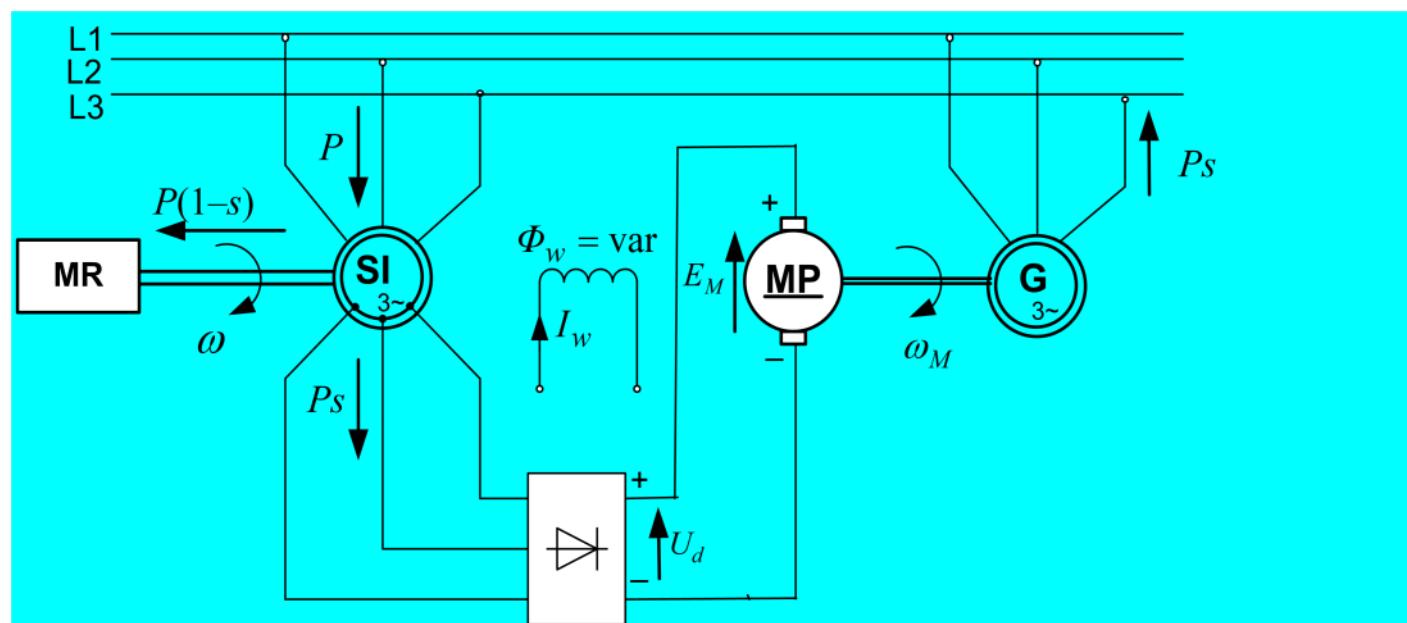
Gdy napięcie dodatkowe jest równe 0, w obwodzie wirnika płynie największy prąd i prędkość obrotowa silnika jest największa. Gdy napięcia te są równe, w obwodzie wirnika nie płynie prąd i uzyskuje się prędkość najmniejszą, o idealnym biegu jałowym.

Charakterystyki sterowania i mechaniczne

Przebieg charakterystyki sterowania układu kaskadowego dla stałej prędkości mechanicznej jest prostoliniowy, z kolei przebieg charakterystyk mechanicznych się zmienia, jednak wielkość momentu krytycznego pozostaje stała. Zmniejsza się jednak sztywność tych charakterystyk.



Na powyższej charakterystycie najmniejszy prąd obwodu wirnika oznacza, że pulsacja krytyczna maszyny jest równa pulsacji synchronicznej biegu jałowego.



Źródło

1. Wykłady z przedmiotu Napęd Elektryczny

8. Energoelektronika

piątek, 8 stycznia 2021 13:01

A. Prostowniki sterowane - układy i zastosowania

piątek, 8 stycznia 2021 13:04

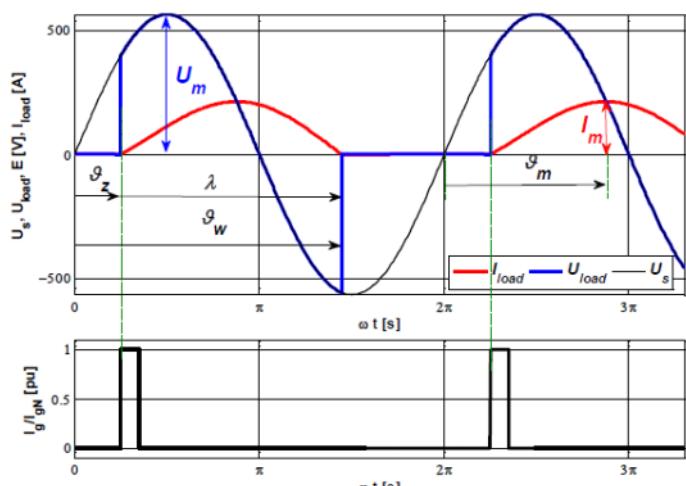
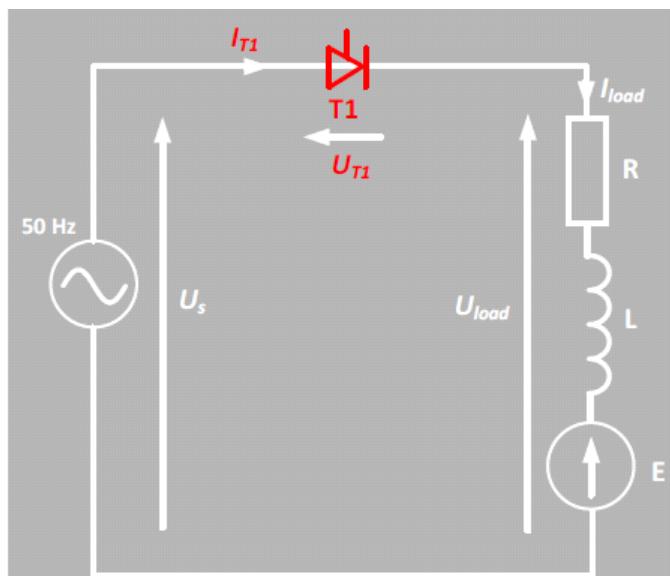
Prostownik to układ energoelektroniczny, który służy do przekształcania napięcia przemiennego w napięcie stałe. Wyróżnia się prostowniki jednofazowe i trójfazowe, przy czym jednofazowe dzieli się na 1-pulsowe oraz 2-pulsowe, a trójfazowe dzieli się na 3-pulsowe oraz 6-pulsowe (prostowniki mostkowe). Ponadto, prostowniki dzieli się na sterowane i niesterowane.

Prostowniki niesterowane nazywane są także prostownikami o komutacji sieciowej, w których prąd płynący zanika w sposób naturalny, po przejściu przez 0. Prostowniki sterowane pozwalają z kolei (przez zastosowanie tyristorów) na płynną regulację prądu i napięcia na wyjściu.

Prostownik jednopulsowy

Prostownik jednopulsowy sterowany jest prostownikiem jednofazowym składającym się z jednego tyristora, którego kąt komutacji jest sterowany. Tego typu prostownik przepuszcza tylko górną część sinusoidy napięcia, a załącza się w chwili odpowiadającej jego kątowi wysterowania. Prąd na obciążeniu płynie w chwili załączenia tyristora.

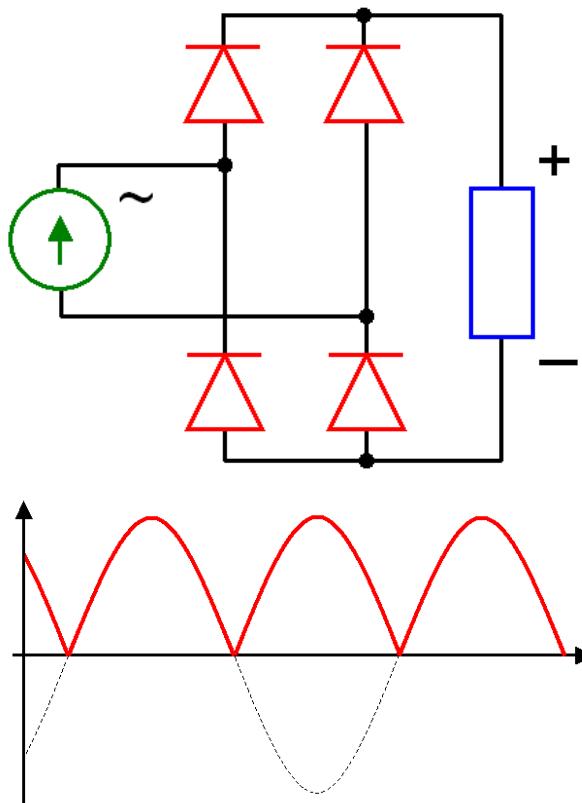
Kształt przebiegów tego prostownika zależy od charakteru obciążenia. Od nich zależą również możliwości sterowania tego typu prostownikiem. Ze względu na niesymetrię obciążenia układu prądu przemiennego, prostowniki jednopulsowe stosuje się tylko w układach niewielkiej mocy.



Prostownik dwupulsowy

Prostownik dwupulsowy, nazywany też pełnookresowym, jest prostownikiem którego napięcie i prąd wyjściowy zawiera w okresie napięcia linii zasilającej dwa impulsy. Oznacza to, że pozwala on na "prostowanie" przebiegu obydwu połówek sinusoidy. Przebiegi napięć i prądów przypominają te z prostownika jednopulsowego, ale powtarzają się dwukrotnie częściej.

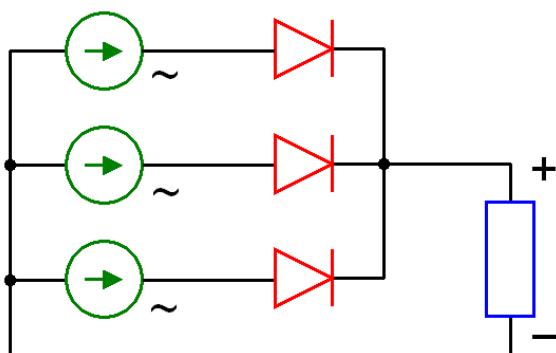
Prostowniki dwupulsowe są najczęściej wykonywane w układzie mostku Graetza, w którym w każdej chwili załączone są dwa tyristory. Tego typu prostowniki znalazły zastosowanie w układach zasilających urządzenia jednofazowe. Dla wygładzenia przebiegów, często stosuje się wraz z nimi filtry dolnoprzepustowe.

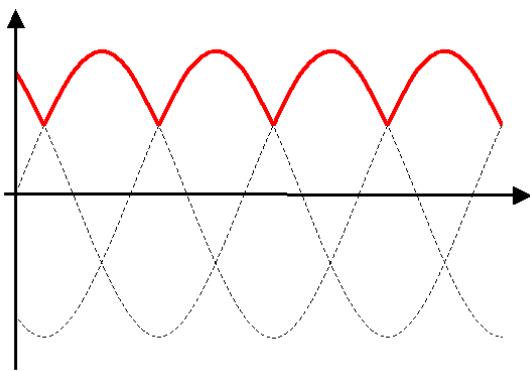


Prostownik trójpulsowy

Prostownik trójpulsowy jest w sieci trójfazowej odpowiednikiem prostownika jednopulsowego w sieci jednofazowej. Może być on zasilany przez transformator z wyprowadzonym przewodem neutralnym lub przez dławiki sieciowe, bezpośrednio z linii trójfazowej z przewodem neutralnym. Wynika to z faktu, że prąd każdego z tyristorów musi zamykać się przez obciążenie przewodem neutralnym.

W przypadku tego typu falownika mowa o kącie opóźnienia załączania, który liczy się od punktu przecięcia napięć fazowych dwóch kolejnych faz. Prostownik ten składa się z trzech sterowanych tyristorów, a jego przebieg jest stosunkowo mocno pulsujący.

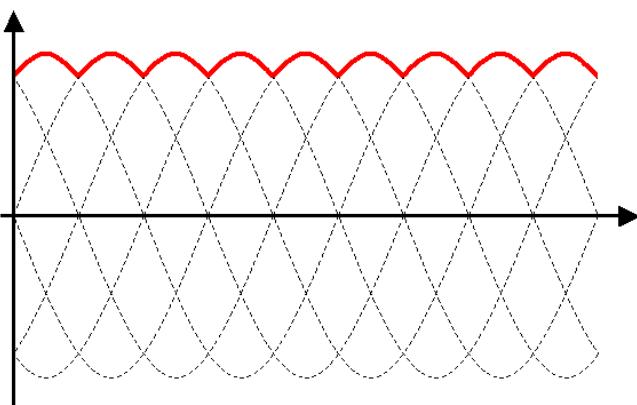
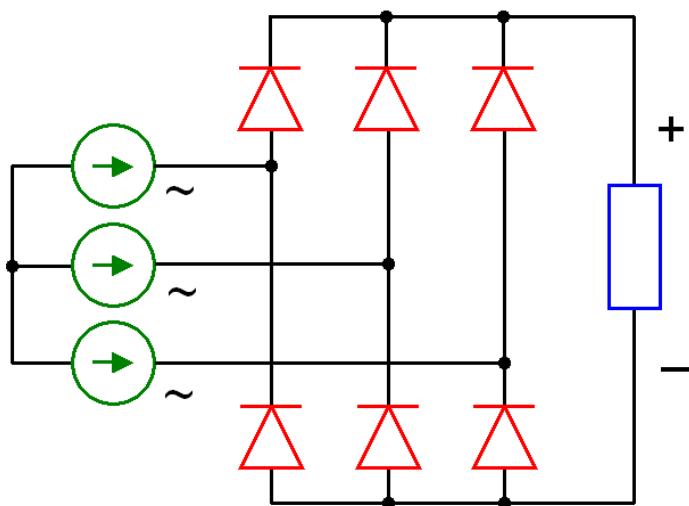




Prostownik sześciopulsowy

W układach trójfazowych tego typu prostowniki są odpowiednikiem układu dwupołówkowego w układach jednofazowych. Wyróżnia się układy sześciopulsowe sześciofazowe i sześciopulsowe trójfazowe (układy mostkowe). Mogą być stosowane w układach z przewodem neutralnym oraz bez niego.

Układy sześciopulsowe wykazują bardzo małe tętnienie w porównaniu do opisanych powyżej, a energia źródeł zasilana jest w nich wykorzystywana w największym zakresie, co jest istotne zwłaszcza w przypadku urządzeń dużej mocy, jak np. spawarki transformatorowe. Prostowniki tego typu pozwalają na płynną regulację napięcia wyjściowego.



Źródło

1. Pawlaczek - Energoelektronika - Ćwiczenia Laboratoryjne
2. Mohan - *Power Electronics*
3. Wikipedia

B. Przekształtniki impulsowe prądu stałego DC-DC - układy i zastosowania

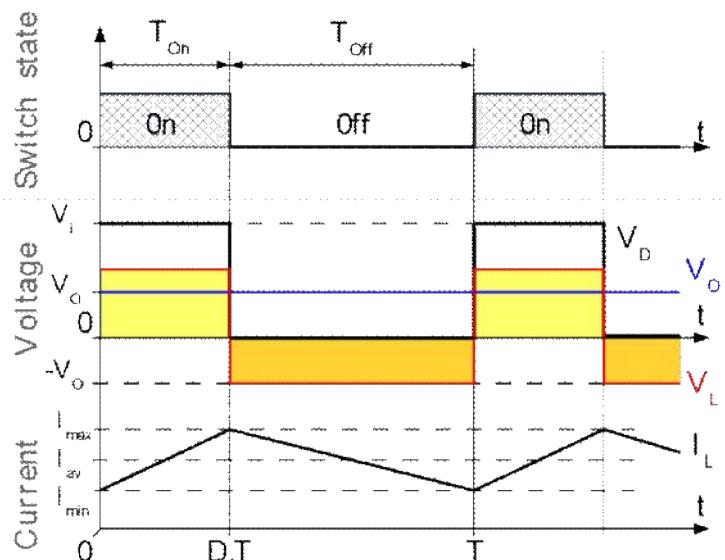
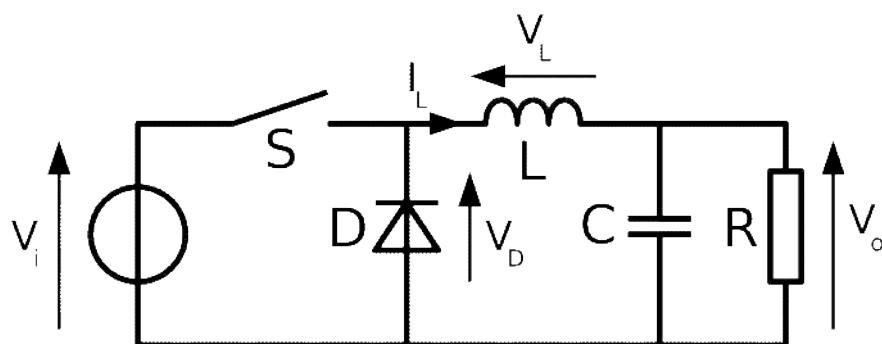
piątek, 8 stycznia 2021 13:04

Przekształtniki impulsowe prądu stałego są budowane w oparciu o tranzystory, a wartość napięcia na ich wyjściu zależy od generowanych przez tranzystory impulsów napięciowych. Napięcie wyjściowe zależy od stosunku czasu załączenia tranzystora do stosunku całego branego pod uwagę okresu działania.

Wyróżnia się przekształtniki impulsowe obniżające napięcie, podwyższające napięcie oraz mogące spełniać obydwie te funkcje. Przekształtniki tego typu stosowane są np. w zasilaczach komputerów PC, sprzęcie audiowizualnym, aparaturze pomiarowej i medycznej oraz w wielu innych urządzeniach przemysłowych.

Przekształtnik obniżający napięcie (Buck)

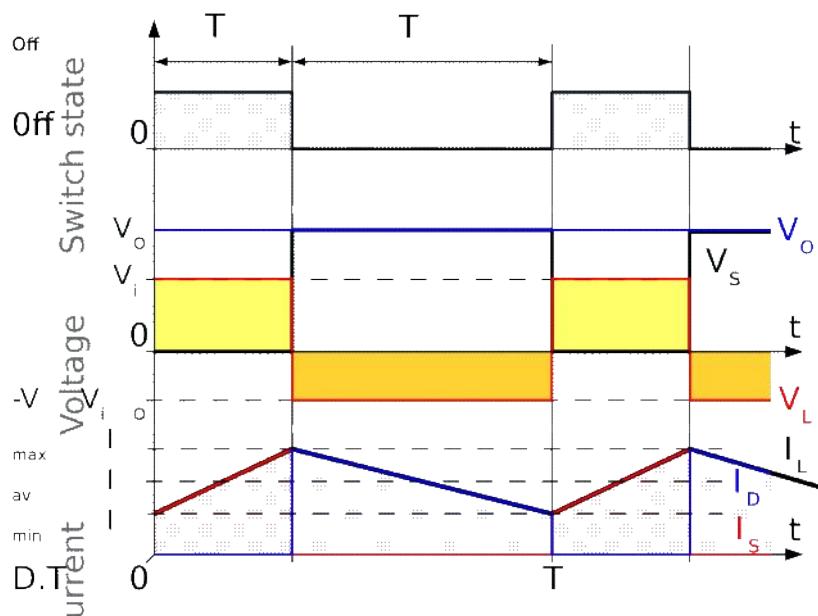
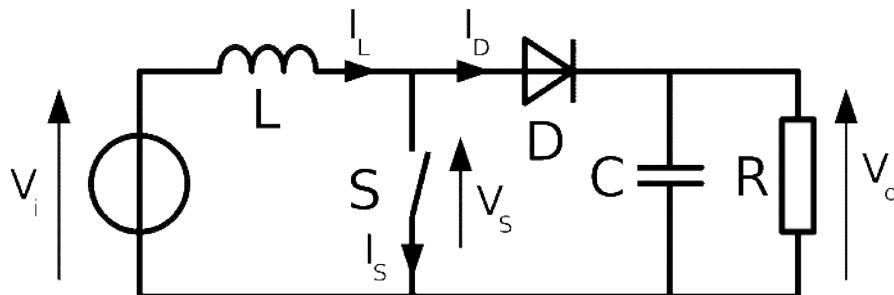
Zależnie od czasu załączenia tranzystora, uzyskuje się obniżoną wartość napięcia wyjściowego. Gdy tranzystor jest załączony, napięciem na odbiorniku jest napięcie zasilania. Gdy tranzystor jest wyłączony, napięciem na odbiorniku jest 0 gdy mowa o obciążeniu rezystancyjnym lub napięcie rozładowującej się przez diodę cewki.



Przekształtnik podwyższający napięcie (Boost)

Przekształtnik Boost podwyższa napięcie poprzez sumowanie energii zgromadzonej w cewce L oraz

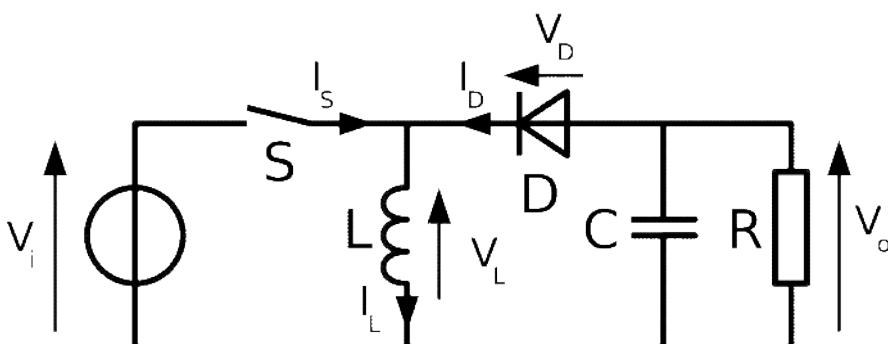
napięciu źródła. Gdy tranzystor jest w stanie przewodzenia, prąd płynie przez cewkę i ładuje ją energią zgodną z indukcyjnością. W momencie otwarcia styków tranzystora, cewka próbuje utrzymać stały prąd, co wynika z jej zachowawczości. Skutkiem tego jest wytwarzanie się na niej napięcia o odwrotnej biegunowości względem poprzedniego stanu, czyli napięcia zgodnego z napięciem zasilania. W tej sytuacji napięcie na odbiorniku jest sumą napięcia zasilającego oraz napięcia na cewce.

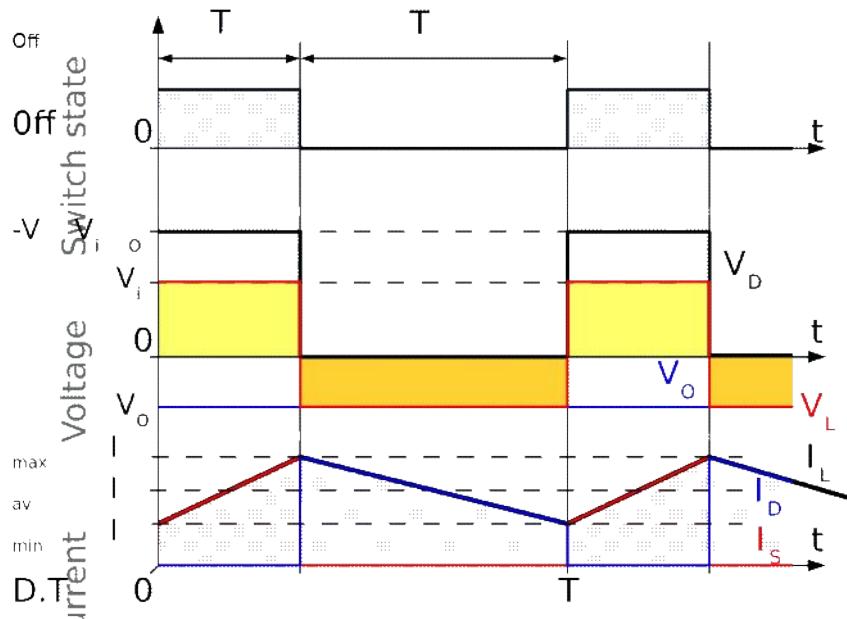


Przekształtnik obniżająco-powышająco napięcie (Buck-Boost)

Przekształtnik tego typu jest zasadniczo połączeniem przekształników Buck i Boost. Zasada działania polega na tym, że w czasie gdy tranzystor przewodzi prąd, napięcie zasilania jest podłączone bezpośrednio do cewki. Cewka jest ładowana energią, z kolei kondensator zasila odbiornik.

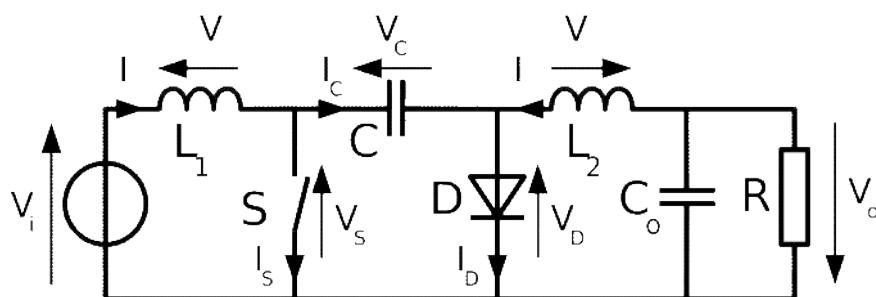
W chwili, gdy tranzystor nie przewodzi, cewka jest załączona do obwodu z odbiornikiem. Oznacza to, że zgromadzona w niej energia zasila odbiornik i jednocześnie ładuje kondensator. W tym przekształtniku, odbiornik jest zasilany napięciem o biegunowości odwrotnej do biegunowości napięcia zasilającego.





Przekształtnik Ćuk'a

Przekształtnik Cuka jest układem pozwalającym na regulację napięcia stałego w górę lub w dół. Składa się on z dwóch cewek i dwóch kondensatorów. Napięcie na wyjściu ma polaryzację przeciwną do napięcia zasilającego układ.

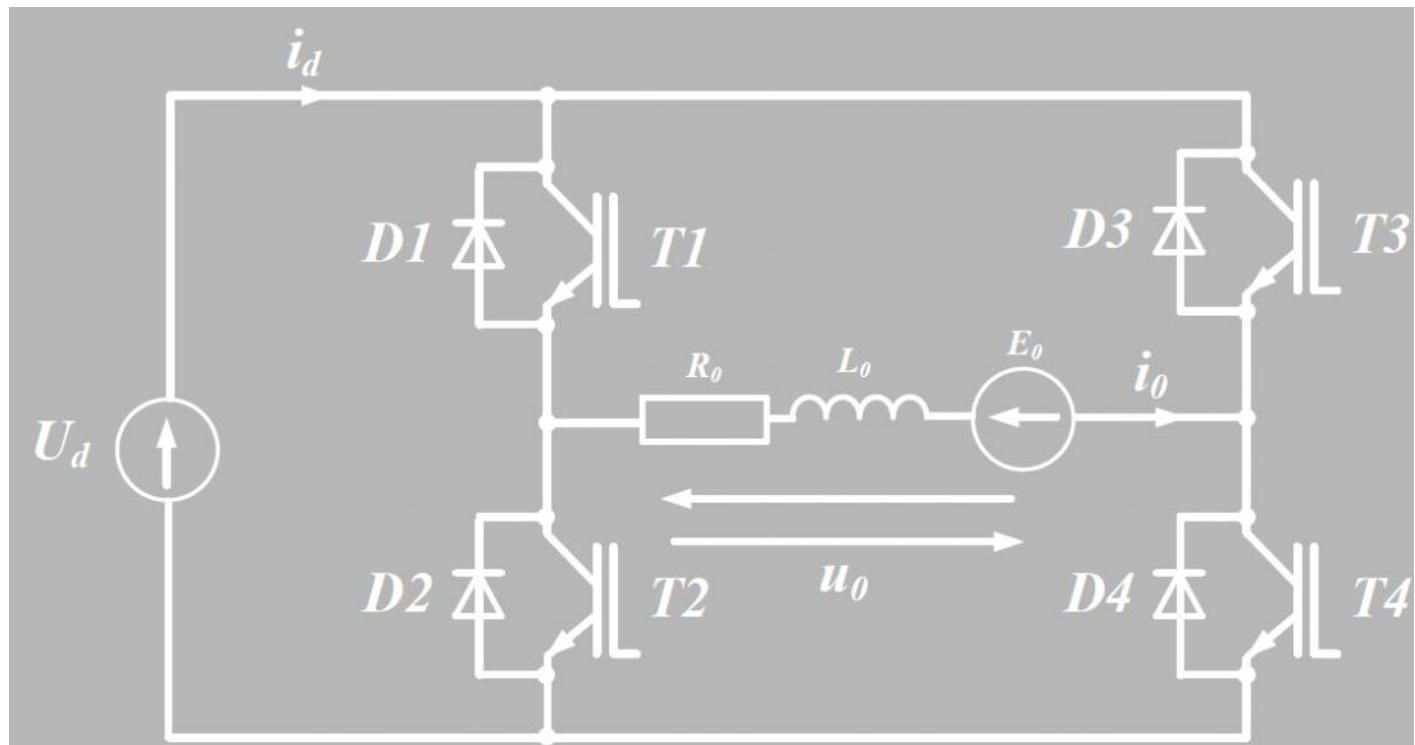


Przekształtnik mostkowy

Przekształtnik mostkowy pozwala na regulację napięcia zasilającego w górę i w dół. Jest to wielokwadrantowy przetwornik energii, pozwalający na przetwarzanie jej w obie strony. Istnieją układy umożliwiające zmianę kierunku prądu odbiornika przy zachowaniu stałej polaryzacji napięcia, umożliwiające zmianę polaryzacji napięcia przy stałym kierunku prądu oraz umożliwiające zamianę zarówno kierunku prądu odbiornika jak i polaryzacji napięcia.

Przekształtnik mostkowy można sterować symetrycznie oraz niesymetrycznie. Sterowanie symetryczne polega na tym, że podawane na odbiornik napięcie przyjmuje dwie wartości: napięcia zasilającego oraz odwrotną do niej, co pozwala na osiągnięcie na odbiorniku napięcia dwukrotnie wyższego niż zasilające.

Sterowanie niesymetryczne zasila odbiornik impulsami napięciowymi o stałą wartości, równej napięciu zasilającemu, więc górną granicą jest właśnie ta wartość napięcia DC.



Źródło

1. Wikipedia
2. Pawlaczek - Energoelektronika - Ćwiczenia Laboratoryjne
3. <https://bezel.com.pl/2018/08/01/uklady-energoelektroniczne/>

C. Falowniki napięcia z modulacją szerokości impulsów - MSI (PWM): ogólna zasada działania, układy, podstawowe przebiegi i zastosowania

piątek, 8 stycznia 2021 13:04

Falowniki z modulacją szerokości impulsu to falowniki dwustopniowe. Składają się z niesterowanego prostownika diodowego oraz falownika właściwego. Układy tego typu nie pobierają mocy biernej, zawartość harmonicznych w prądzie wyjściowym może być bardzo niska, a ponadto układ posiada najprostszą z możliwych strukturę obwodu mocy.

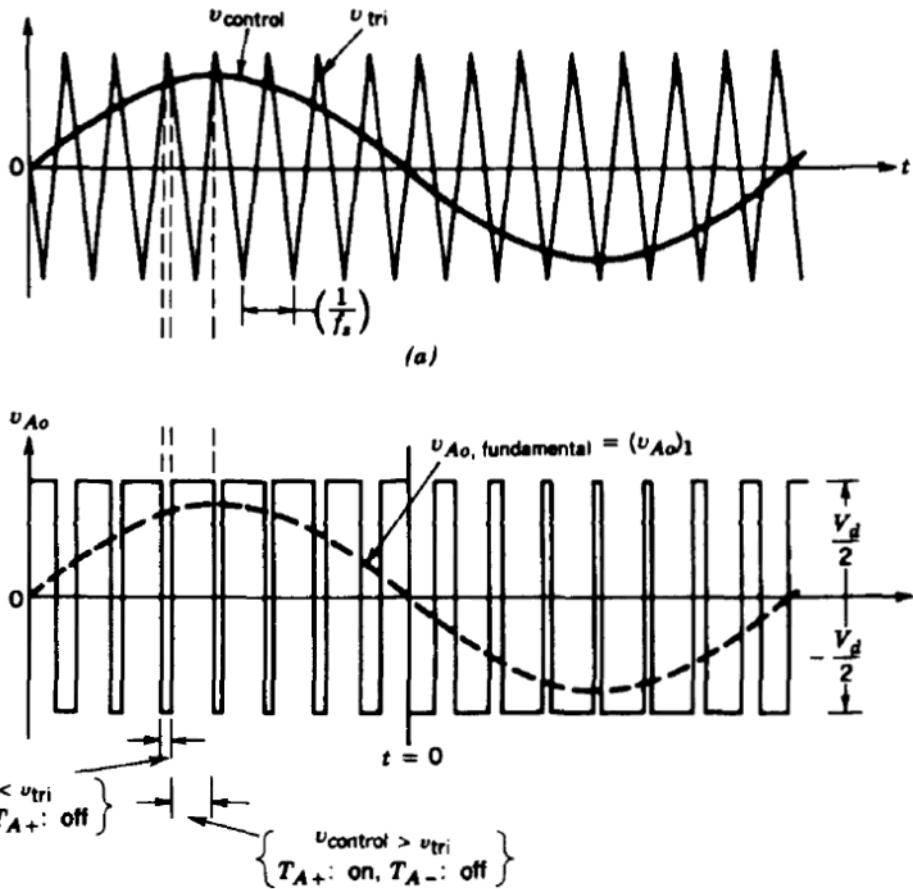
Układy falowników stosowane są między innymi do sterowania silników indukcyjnych. Umożliwiają również pracę w obie strony, zatem mogą służyć również jako prostowniki napięć do ładowania np. akumulatorów w napędach.

W falownikach napięcia sterowanych metodą PWM, napięcie wejściowe jest stałe. W związku z tym, falownik musi kontrolować zarówno wartość jak i częstotliwość napięcia wyjściowego. Istnieje kilka rodzajów modulacji szerokości impulsu, ale celem każdego z nich jest możliwe maksymalne zbliżenie przebiegu wyjściowego do sinusoidy.

Zasada działania PWM

W układach falowników, modulacja szerokości impulsów polega na tym, że sinusoidalny sygnał sterujący o docelowej dla wyjścia falownika częstotliwości jest porównywany z przebiegiem piłokształtnym działającym z częstotliwością określającą częstotliwość przełączników falownika. Sygnał sinusoidalny ma za zadanie określać czasy załączania poszczególnych impulsów napięciowych na wyjściu.

Na wyjściu falownika pojawiają się wynikające z porównania sygnału sinusoidalnego i piłokształtnego脉冲 napięciowe dodatnie lub ujemne. Mogą mieć wartość równą połowie napięcia zasilającego falownik, choć jest też możliwość otrzymania wartości maksymalnej równej wartości napięcia zasilającego. Tworzą one bazową harmoniczną przebiegu napięcia na wyjściu, choć mogą zawierać również harmoniczne wyższego rzędu.



Powyższa metoda sterowania PWM jest metodą z sygnałem nośnym. Istnieją również inne metody, takie jak modulacja:

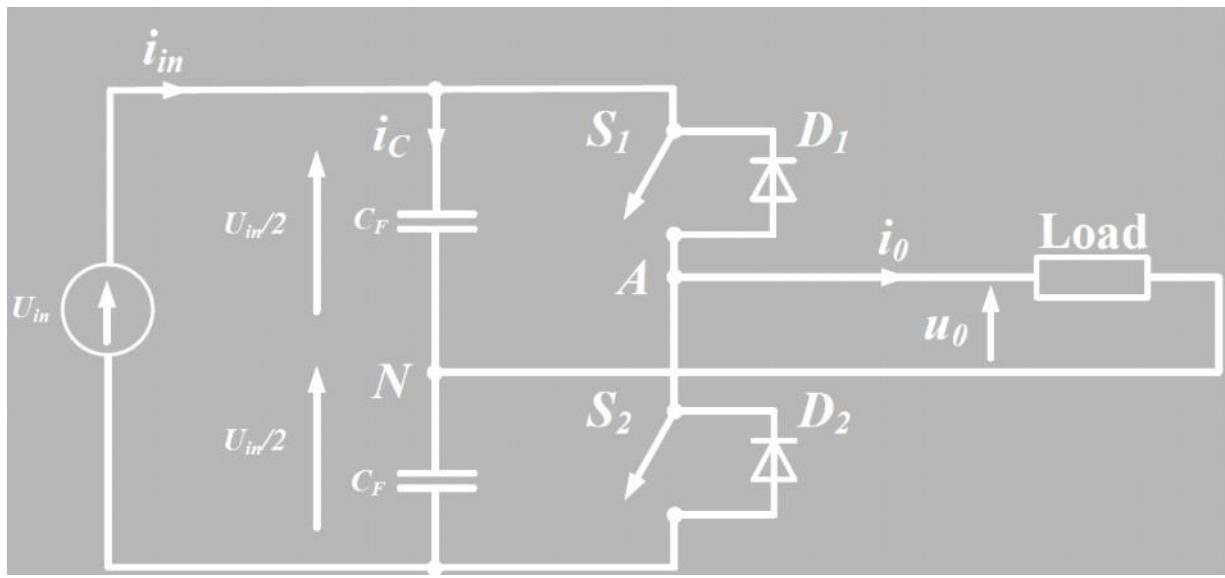
- Z eliminacją wybranych harmonicznych - polegająca na wyliczeniu odpowiednich kątów komutacji łączników półprzewodnikowych falowników, co ma na celu wyeliminowanie określonych harmonicznych z napięcia wyjściowego
- O fali prostokątnej - gdy współczynnik modulacji PWM przyjmuje duże wartości, uzyskuje się przebieg prostokątny
- Nadążna - polega na bezpośrednim sterowaniu chwilową wartością napięcia na wyjściu falownika w zamkniętych układach regulacji; stosuje się tu histerezowe regulatory napięcia
- Wektorowa - oparta na wektorze przestrzennym
- Ze sprzężeniem zwrotnym
- Losowa

Układy falowników

Podstawowymi układami falowników są falowniki jednofazowe półmostkowe i mostkowe oraz falowniki trójfazowe.

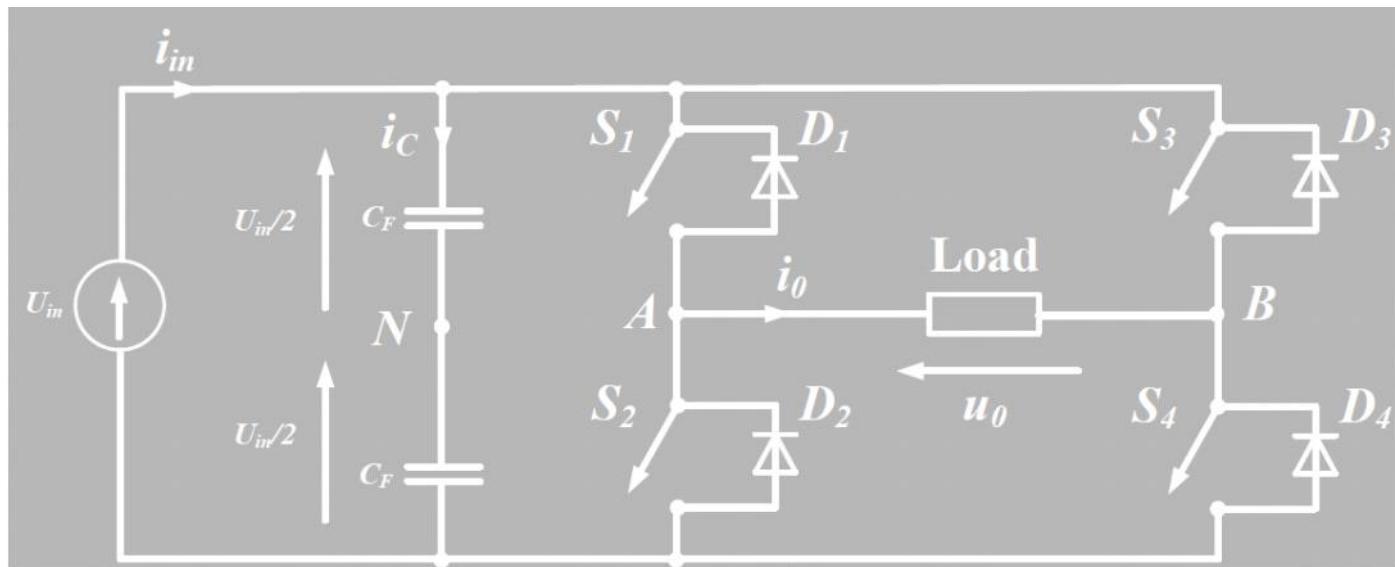
Falownik jednofazowy, półmostkowy

Zasada działania układu półmostkowego polega na tym, że kondensatory mają tworzyć punkt neutralny, z kolei tranzystory S1 i S2 łączą napięcie o bieguności dodatniej oraz ujemnej na odbiór. W tym układzie wartość napięcia jest ograniczona do połowy napięcia źródła dla każdej z bieguności. Kondensatory uniemożliwiają przy tym przepływ prądu składowej stałej przez odbiornik. Układy tego typu stosuje się powszechnie w zasilaczach, są przeznaczone do układów o niższym napięciu.



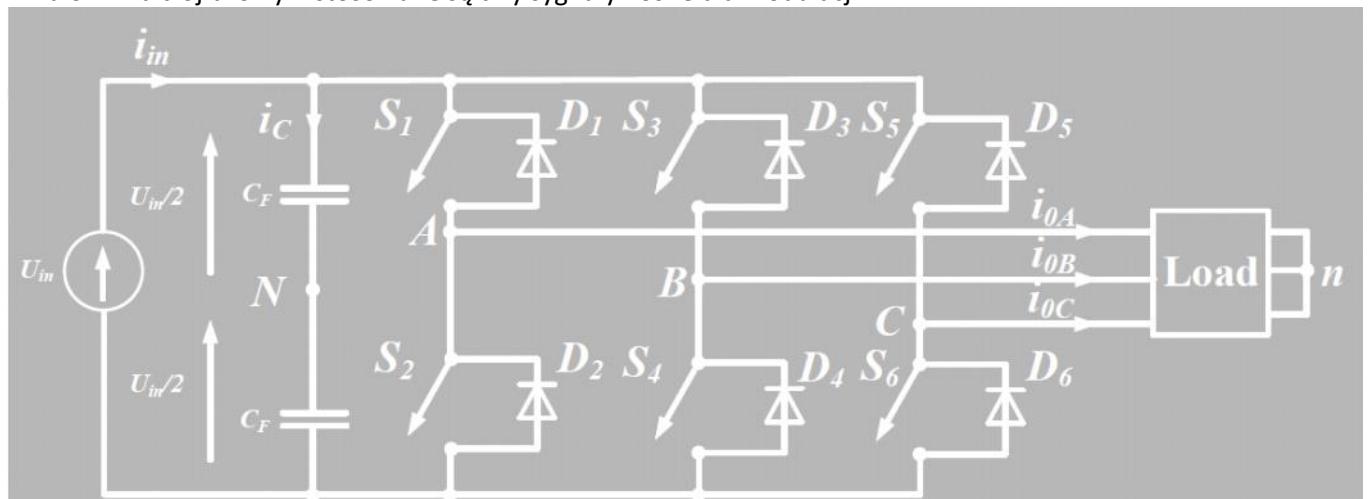
Falownik jednofazowy, mostkowy

Układ mostkowy pozwala na osiąganie dwukrotnie większej względem układu półmostkowego wartości napięcia. Tego typu układy mają dodatkową nogę do podłączenia punktu neutralnego do obciążenia.



Falownik trójfazowy

Fałowniki trójfazowe jako jedyne z wymienionych stosowane są w zakresie średnich i dużych mocy. W falowniku trójfazowym stosowane są trzy sygnały nośne dla modulacji PWM.



Źródło

1. https://pl.qaz.wiki/wiki/Power_electronics#Single-phase_half-bridge_inverter
2. <https://bezel.com.pl/2018/08/01/uklady-energoelektroniczne/>
3. Pawlaczyk - *Energoelektronika, Ćwiczenia Laboratoryjne*
4. Mohan - *Power Electronics*

D. Oddziaływanie przekształników elektroenergetycznych na sieć zasilającą i układy do poprawy jakości energii elektrycznej

piątek, 8 stycznia 2021 13:04

Praca przekształników energoelektronicznych wywiera niekorzystny wpływ na sieć zasilającą. Dotyczy to zwłaszcza jakości pobieranej energii elektrycznej. Wskutek korzystania nieliniowych przekształników energoelektronicznych, w przebiegach pojawiają się komutacyjne załamania napięcia sieciowego odkształcenia przebiegów prądu sieci oraz opóźnienie prądu względem napięcia sieci.

Problemami generowanymi przez korzystanie z przekształników elektroenergetycznych są zatem takie kwestie jak wspomniane już komutacyjne załamania w przebiegach napięć zasilających, wzrost poboru mocy biernej, niesinusoidalne prądy pobierane z sieci, generacja wyższych harmonicznych a także możliwość wystąpienia w układzie rezonansów wywołanych przez przekształtniki i występowanie szybkozmiennych spadków napięcia pierwszej harmonicznej wskutek poboru mocy biernej sterowania.

Przebieg prądów pobieranych z sieci

Pobieranie z sieci prądów o niesinusoidalnych kształtach, w zależności od częstotliwości występowania i kształtu takich sygnałów, prowadzi do powstawania w sieci wyższych harmonicznych. Wynika z tego m.in. Dodatkowa strata mocy w postaci mocy odkształcenia oraz negatywny wpływ na działanie maszyn i urządzeń elektrycznych wskutek pojawienia się składowej symetrycznej przeciwej.

W celu ograniczania przepływu przez linię zasilającą wyższych harmonicznych prądu, przekształtniki dużej mocy wyposaża się w równolegle filtry wyższych harmonicznych prądu.

Komutacyjne załamania napięcia sieciowego

Podczas komutacji następuje przełączanie się prądu między jednym a drugim elementem półprzewodnikowym. Z punktu widzenia napięcia sieciowego oznacza to krótkotrwałe zwarcie, z którego wynika krótkotrwały spadek wartości napięcia sieciowego. Tego typu zjawiska mogą zakłócać pracę układów sterowania tyristorów przekształtników zasilanych z tej samej sieci oraz wpływać negatywnie na pracę urządzeń pomiarowych, elektronicznych i sterujących do tej samej sieci.

Ponadto, tego typu zniekształcenia dodatkowo powodują generowanie wyższych harmonicznych, tym razem w przebiegu napięcia, co rzutuje na przebiegi prądów.

Pobór mocy biernej

Pobór mocy biernej wynika z przesunięcia fazowego między przebiegiem napięcia a pierwszą harmoniczną odkształconego prądu, a także z reaktancji obwodów komutacyjnych. Pobór mocy biernej może powodować spadki napięcia, ponieważ w sieciach reaktancyjnych to składowa bierna prądu je powoduje.

Wpływ harmonicznych na jakość pracy odbiorników elektrycznych

Odbiorniki elektryczne z energoelektronicznymi obwodami stosowane powszechnie (czajniki, silniki, komputery itp.) powodują pojawianie się w sieciach lokalnych budynków czy zakładów przemysłowych odkształconych przebiegów, zawierających wyższe harmoniczne. Powoduje to zarówno negatywny wpływ na pracę tych odbiorników, jak i przenoszenie się zniekształceń przez sieć ogólną do innych miejsc w systemie energetycznym.

Układy do poprawy jakości energii elektrycznej

Jakość energii elektrycznej można poprawiać na wiele sposobów. Tradycyjną metodą jest np. kompensacja mocy biernej przy wykorzystaniu baterii kondensatorów. Niestety metoda ta jest nieskuteczna wobec szybkich zmian mocy biernej prostowników tyristorowych czy innych urządzeń

elektroenergetycznych.

W związku z powyższym, moc bierną kompensuje się między innymi przez zastosowanie specjalnych nadążnych kompensatorów czy przełączalnych baterii kondensatorów wraz ze sterownikiem prądu indukcyjnego jako dynamicznego kompensatora mocy przesunięcia. Inną metodą kompensacji mocy biernej jest zastosowanie energoelektronicznych kompensatorów mocy biernej przesunięcia i odkształcenia, czyli filtrów aktywnych.

Ponadto, do ograniczenia zawartości wyższych harmonicznych napięcia i prądu linii zasilającej przekształtnik stosuje się specjalne filtry rezonansowe indukcyjno-pojemnościowe.

Źródło

1. <https://bezel.com.pl/2018/08/01/oddzialywanie-na-siec-zasilajaca/>

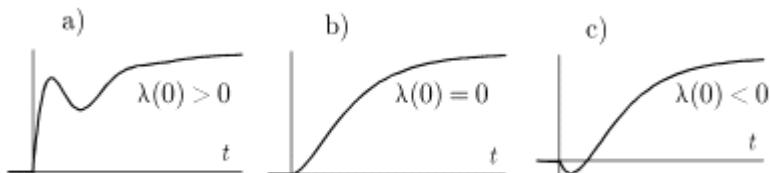
9. Analiza i synteza ciągłych oraz dyskretnych układów regulacji automatycznej

piątek, 8 stycznia 2021 13:01

A. Odpowiedzi impulsowe i skokowe podstawowych członów dynamicznych

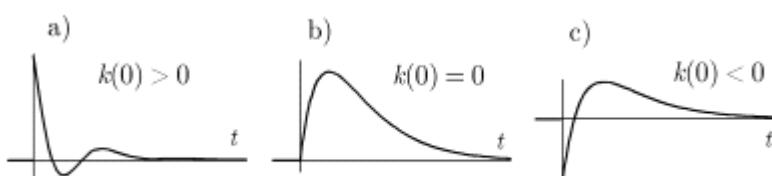
piątek, 8 stycznia 2021 13:05

Odpowiedź skokowa - odpowiedź układu $\lambda(t)$ na skok jednostkowy $1(t)$.



Rys. 2.7. Odpowiedzi skokowe, przykład 2.4.11

Odpowiedź impulsowa - odpowiedź układu $k(t)$ na impuls (deltę) Diraca $\delta(t)$.



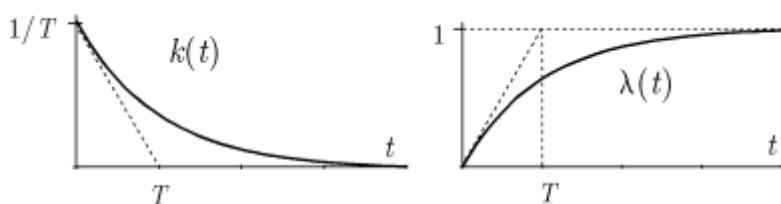
Rys. 2.6. Odpowiedzi impulsowe, przykład 2.4.6

Człon proporcjonalny

Człon proporcjonalny o wzmocnieniu K ma transmitancję $K(s)=K$, zatem jego odpowiedzią skokową jest po prostu skok jednostkowy pomnożony przez K , a odpowiedzią impulsową - impuls Diraca pomnożony przez K .

Człon inercyjny pierwszego rzędu

Odpowiedź skokowa członu inercyjnego pierwszego rzędu ma przebieg logarytmiczny - czyli jak krzywa nagrzewania, z kolei odpowiedź impulsowa ma odwrócony przebieg logarytmiczny - czyli jak krzywa stygnięcia.

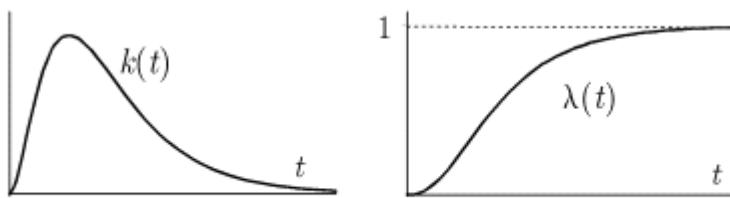


Rys. 3.3. Odpowiedź impulsowa i skokowa członu inercyjnego

Człon inercyjny drugiego rzędu

Człon inercyjny drugiego rzędu otrzymuje się łącząc dwa członów inercyjnych szeregowo.

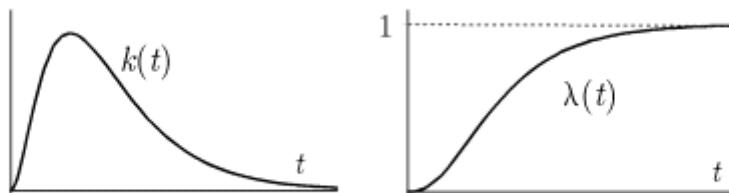
Człon inercyjny drugiego rzędu ma bardziej złożone odpowiedzi na skok jednostkowy i impulsowy. Odpowiedź impulsowa narasta z pewnym opóźnieniem i wygasza podobnie do krzywej stygnięcia. Odpowiedź skokowa również narasta z pewnym opóźnieniem, ale przy tym przypomina wciąż przebieg krzywej nagrzewania (do pewnego stopnia).



Rys. 3.6. Odpowiedź impulsowa i skokowa członu inercyjnego drugiego rzędu

Człony inercyjne wyższych rzędów

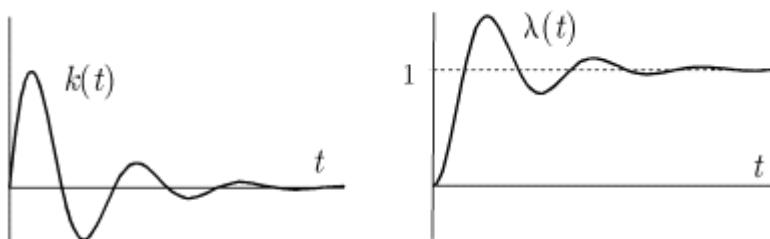
Im wyższy rząd członu inercyjnego, tym większa inercja i wolniejsze narastanie odpowiedzi impulsowych i skokowych.



Rys. 3.10. Odpowiedź impulsowa i skokowa członu inercyjnego trzeciego rzędu

Człon oscylacyjny

Człon oscylacyjny to człon, którego transmitancja ma parę sprzężonych biegunów zespolonych. Nie może powstać przez połączenie dwóch członów inercyjnych. W jego odpowiedziach impulsowej i skokowej pojawiają się oscylacje.

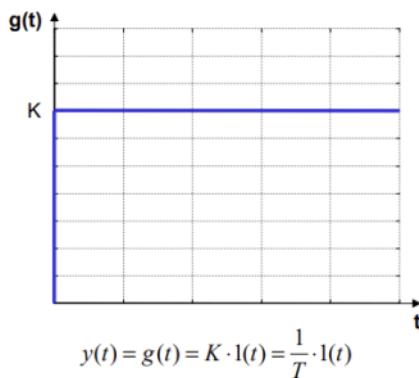


Rys. 3.12. Odpowiedź impulsowa i skokowa członu oscylacyjnego

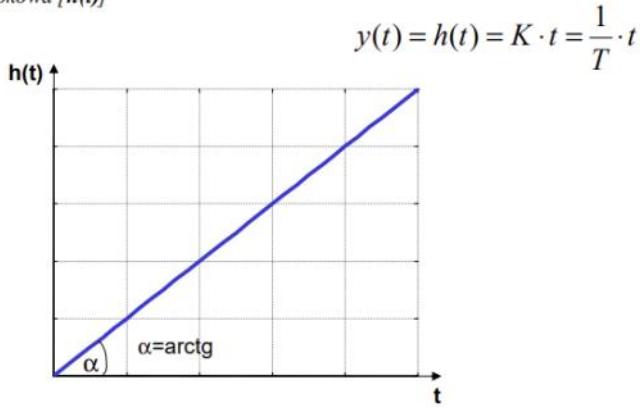
Człon całkujący

Człon całkujący ma transmitancję $K(s)=1/s$. Jego odpowiedź impulsowa i skokowa to kolejno $k(t)=1(t)$ oraz $\lambda(t) = t$. Oznacza to, że odpowiedź impulsowa jest skokiem jednostkowym (czyli całką z impulsu Diracca), a odpowiedź skokowa to prosta która narasta z czasem (czyli całka skoku jednostkowego po czasie).

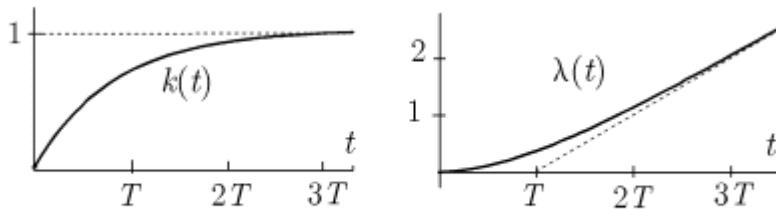
-odpowiedź impulsowa [$g(t)$]



-odpowiedź skokowa [$h(t)$]



Wprowadzenie inercji do członu całkującego powoduje opóźnienie odpowiedzi impulsowej i skokowej.

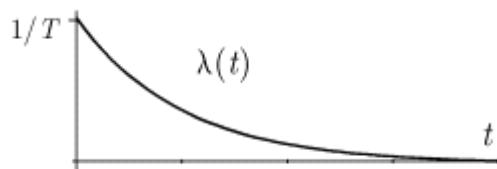


Rys. 3.18. Odpowiedź impulsowa i skokowa członu całkującego z inercją

Człon różniczkujący

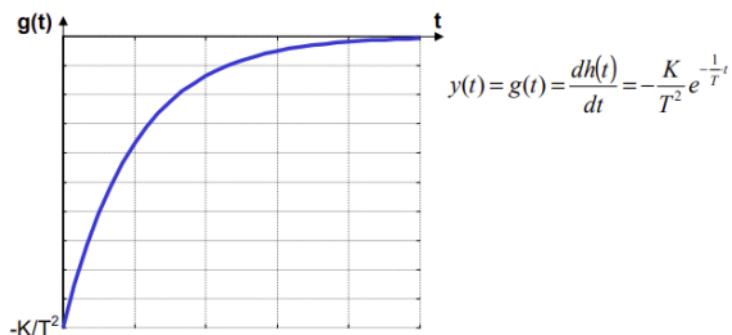
Człon różniczkujący ma transmitancję $K(s)$. Jego odpowiedź skokowa jest po prostu różniczką ze skoku jednostkowego, czyli deltą Diraca (impusem). W układzie z inercją, jego odpowiedź skokowa jest odwrotnym logarytmem.

Odpowiedź impulsowa takiego układu z inercją jest zależna od inercji. W idealnym układzie nie ma jako takiej wartości, bo delta Diraca jest funkcją nieciągłą.



Rys. 3.24. Odpowiedź skokowa członu różniczkującego z inercją

-odpowiedź impulsowa [$g(t)$]



Źródło

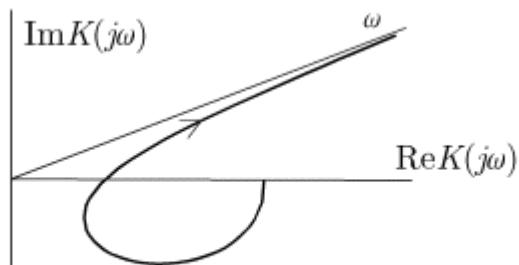
1. Greblicki - Podstawy automatyki

B. Charakterystyki częstotliwościowe - rodzaje, charakterystyki podstawowych członów dynamicznych, pomiar charakterystyk

piątek, 8 stycznia 2021 13:05

Charakterystyki częstotliwościowe - rodzaje, pomiar

Transmitancja widmowa $K(j\omega)$ jest funkcją zmiennej rzeczywistej ω i przyjmuje wartości zespolone. W sposób graficzny można ją przedstawić jako krzywą w przestrzeni o trzech wymiarach, czyli Re , Im oraz ω . Reprezentacji tego wykresu na płaszczyźnie zespolonej może być wiele, ale wszystkie nazywa się charakterystykami częstotliwościowymi.



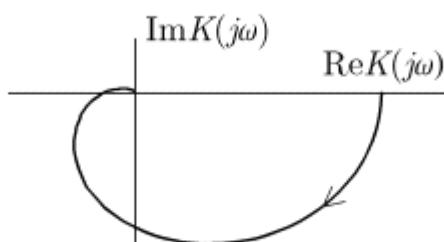
Rys. 2.8. Przykład wykresu $K(j\omega)$ w przestrzeni trójwymiarowej

Najważniejszymi charakterystykami częstotliwościowymi są::

Charakterystyka amplitudowo-fazowa (wykres Nyquista)

Charakterystyka ta powstaje przez rzutowanie krzywej z płaszczyzny trójwymiarowej na płaszczyznę zmiennej zespolonej. Jest to po prostu wykres transmitancji widmowej układu na płaszczyźnie zmiennej zespolonej, pozwalający na analizę badanego układu.

Pomiar charakterystyki amplitudowo-fazowej wykonuje się poprzez pomiar amplitudy i przesunięcia fazowego sygnału wyjściowego układu, gdy sygnałem wejściowym jest sygnał sinusoidalny o stałej amplitudzie i zmiennej częstotliwości.



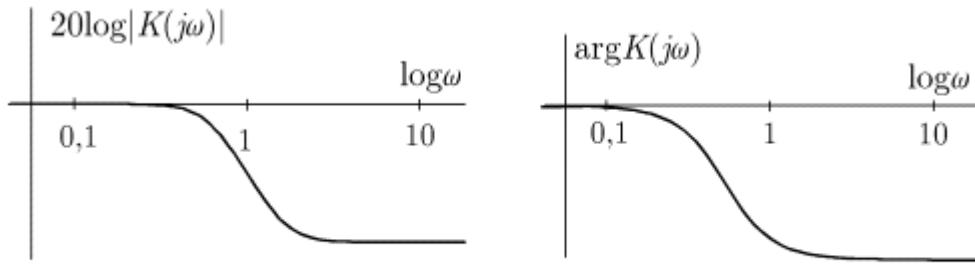
Rys. 2.9. Przykład charakterystyki amplitudowo-fazowej

Charakterystyki logarytmiczne (Bodego)

Charakterystyki logarytmicznego dwa wykresy - charakterystyka amplitudowa i fazowa. Skala osi pulsacji jest na obu logarytmiczna, dekadowa. Dla charakterystyki amplitudowej miarą wzmacnienia jest $20 \log|K(j\omega)|$, a jednostką decybel, natomiast fazą w charakterystyce fazowej jest $\arg K(j\omega)$. Charakterystyki te pokazują, jak wraz ze zmianą częstotliwości sygnału wejściowego zmienia się amplituda i przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego.

Pomiar charakterystyk logarytmicznych jest zasadniczo taki sam jak charakterystyki amplitudowo-

fazowej - wystarczy dokonać pewnych obliczeń by uzyskać te charakterystyki. Najczęściej wyznacza się je w pewnym przybliżeniu, wyróżniając odmienne przebiegi dla poszczególnych pulsacji wynikających z transmitancji.



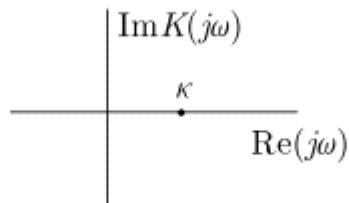
Rys. 2.10. Charakterystyki logarytmiczne

Charakterystyki podstawowych członów dynamicznych

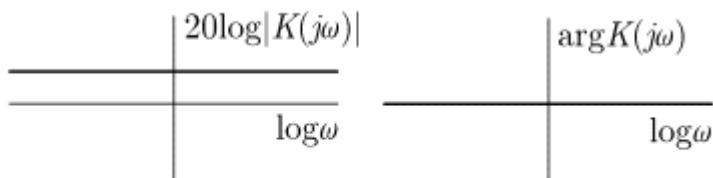
Człon proporcjonalny

Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu proporcjonalnego jest po prostu punktem.

Wzmocnienie i faza takiego członu nie zależą od częstotliwości. Stąd wzmocnienie jest stałe, a faza zależy od znaku wzmocnienia - dla dodatniego jest równa 0, dla ujemnego - równa $-\pi$.



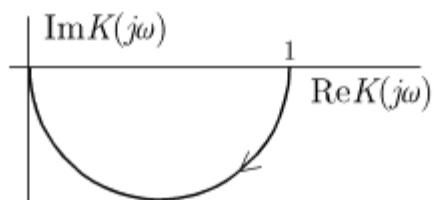
Rys. 3.1. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu proporcjonalnego, $\kappa > 0$



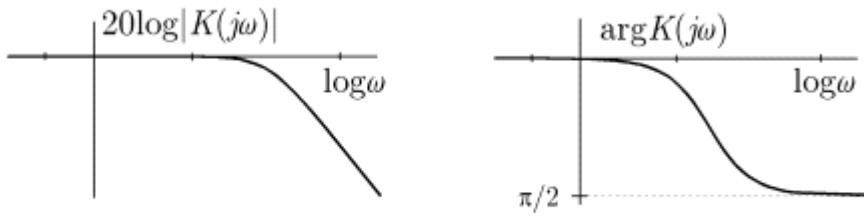
Rys. 3.2. Charakterystyki logarytmiczne członu proporcjonalnego, $\kappa > 1$

Człon inercyjny pierwszego rzędu

Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu inercyjnego pierwszego rzędu jest półokręgiem i mieści się w jednej ćwiartce płaszczyzny. Charakterystyki logarytmiczne układu pokazują, że człon inercyjny dla wyższych częstotliwości powoduje osłabienie sygnału i przesunięcie fazowe osiągające maksymalnie $-\frac{\pi}{2}$.



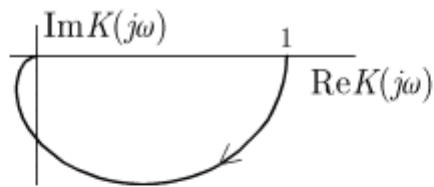
Rys. 3.4. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu inercyjnego



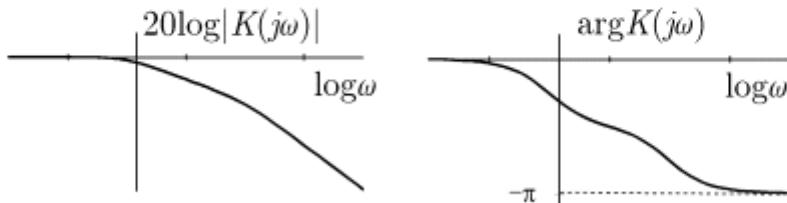
Rys. 3.5. Charakterystyki logarytmiczne członu inercyjnego

Człon inercyjny drugiego rzędu

Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu drugiego rzędu przechodzi przez dwie ćwiartki płaszczyzny zespolonej. Charakterystyki logarytmiczne wykazują większe osłabianie amplitudy sygnału niż w przypadku członu pierwszego rzędu, z kolei faza sygnału wyjściowego maleje od zera do $-\pi$.



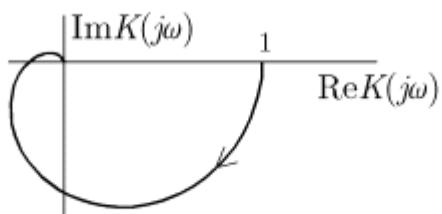
Rys. 3.7. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu inercyjnego drugiego rzędu



Rys. 3.8. Charakterystyki logarytmiczne członu inercyjnego drugiego rzędu

Człony inercyjne wyższych rzędów

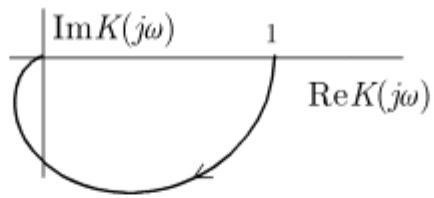
Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu rzędu n przechodzi przez n ćwiartek płaszczyzny współrzędnych. Charakterystyki logarytmiczne mogą przyjmować różne kształty - zależnie od poszczególnych członów inercyjnych.



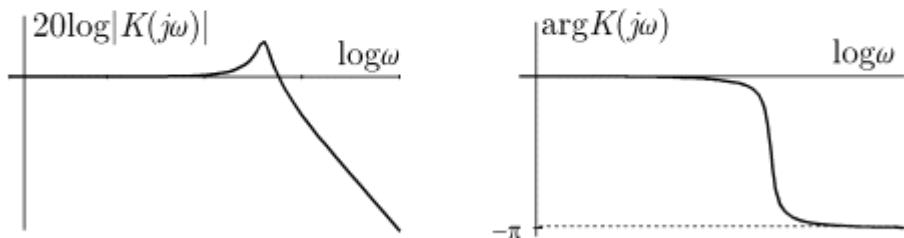
Rys. 3.11. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu inercyjnego trzeciego rzędu

Człon oscylacyjny

Podobnie jak w przypadku członu inercyjnego, charakterystyka członu oscylacyjnego biegnie przez dwie ćwiartki układu. Charakterystyki Bodego mają przebieg odkształcony od członu inercyjnego. Z grubsza można przyjąć, że dla członu oscylacyjnego rzeczywisty biegum ujemny odpowiada za inercję, para biegunów zespolonych za oscylacje.



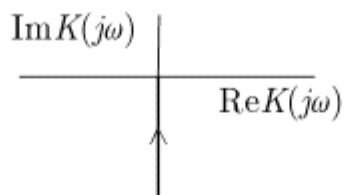
Rys. 3.13. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu oscylacyjnego



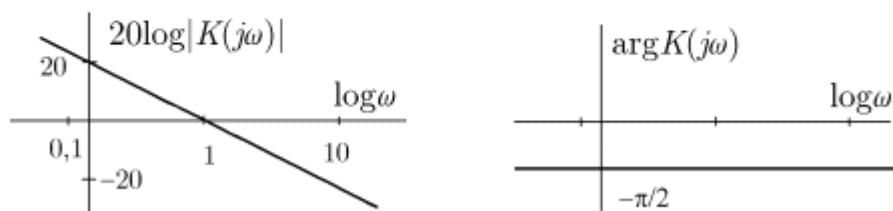
Rys. 3.14. Charakterystyki logarytmiczne członu oscylacyjnego

Człon całkujący

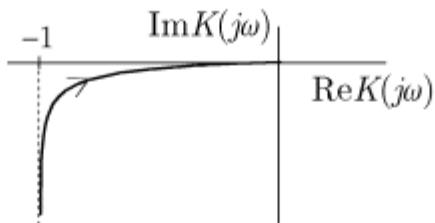
W członie całkującym idealnym, opóźnienie fazowe jest równe $-\frac{\pi}{2}$ i nie jest zależne od pulsacji, z kolei wzmacnianie maleje o 20dB na dekadę. Charakterystyka amplitudowo-fazowa jest linią prostą biegącą do zera. Ogólnie, biegun transmitancji w zerze odpowiada za całkowanie. Wprowadzenie inercji powoduje, że prosta przesuwa się w lewo (do wartości -1), zaś przesunięcie fazowe zmienia się w granicach $-\frac{\pi}{2} \div -\pi$.



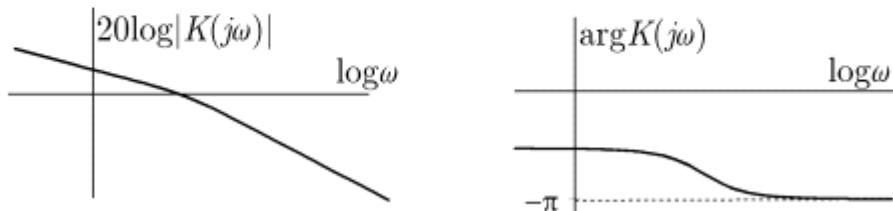
Rys. 3.16. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu całkującego



Rys. 3.17. Charakterystyki logarytmiczne członu całkującego



Rys. 3.19. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu całkującego z inercją

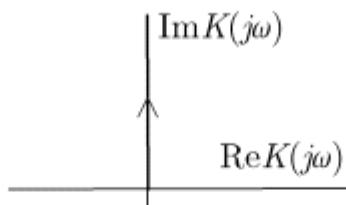


Rys. 3.20. Charakterystyki logarytmiczne członu całkującego z inercją

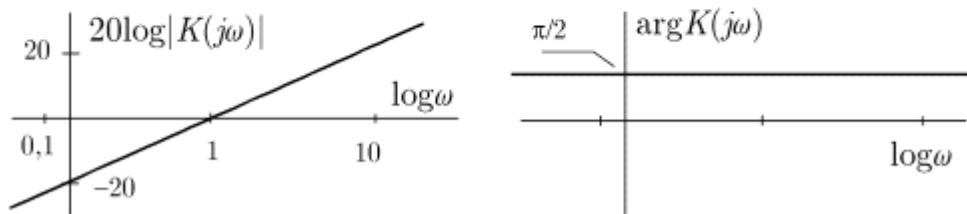
Człon różniczkujący

Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu różniczkującego również ma przebieg linii prostej, tyle że zaczynający się w zerze (w przypadku członu całkującego, w zerze jest koniec przebiegu tej prostej). Przesunięcie fazowe jest równe $-\frac{\pi}{2}$ i nie zależy od pulsacji, z kolei wzmacnienie wzrasta z pulsacją o 20dB na dekadę.

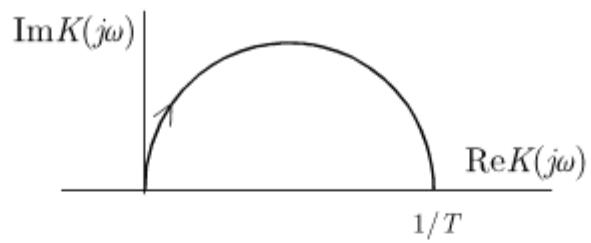
Wprowadzenie inercji powoduje zmianę charakterystyki amplitudowo-fazowej do okręgu zaczynającego się w punkcie 0, a także ograniczenie zakresu narastania wzmacnienia i zakresu w którym przesunięcie fazowe jest stałe.



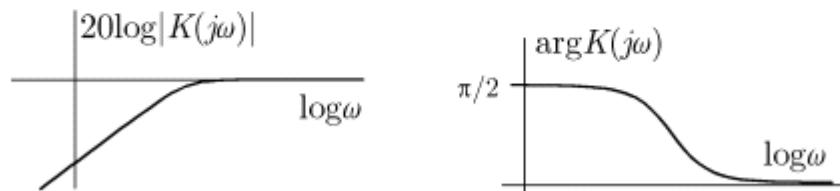
Rys. 3.22. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu różniczkującego



Rys. 3.23. Charakterystyki logarytmiczne członu różniczkującego



Rys. 3.25. Charakterystyka amplitudowo-fazowa członu różniczkującego z inercją



Rys. 3.26. Charakterystyki logarytmiczne członu różniczkującego z inercją

Źródło

1. Greblicki - *Podstawy automatyki*

C. Wymagania stawiane układom regulacji automatycznej

piątek, 8 stycznia 2021 13:05

W idealnym układzie, wymaganie stawiane przed systemem będzie spełnione w taki sposób, że w każdej chwili czasu uchyb wyjścia jest równy 0. Sytuacja ta jest jednak niemożliwa do osiągnięcia. Możliwe do spełnienia wymaganie stawia się takie, aby reakcja systemu miała odpowiednie własności zarówno dla dużych, jak i małych t.

Podstawowymi wymaganiami stawianymi układom regulacji automatycznej są:

Stabilność

Żądanie to polega na tym, żeby przy pobudzeniu skokiem jednostkowym, granica uchybu w czasie dążącym do nieskończoności istniała. Jeśli układ jest niestabilny, granica ta nie istnieje. W kontekście żądania stabilności, system automatycznej regulacji jest stabilny wtedy i tylko wtedy, gdy wielomian charakterystyczny układu zamkniętego spełnia jeden spośród warunków: Hurwitza, Michajłowa, Nyquista.

Uchyb w stanie ustalonym

Stabilność zapewnia istnienie ustalonej wartości uchybu w czasie dążącym do nieskończoności. Żądamy przy tym, żeby uchybu ustalony miał możliwie małą wartość, w najlepszym wypadku równą 0.

Szybkość regulacji

Przy pobudzeniu skokiem jednostkowym i założeniu że warunki początkowe w obiekcie i regulatorze są zerowe, szybkość reakcji w początkowym przebiegu oceniamy biorąc pod uwagę jej pochodne kolejnych rzędów w punkcie $t=0$. W praktyce oznacza to, że im mniej kolejnych pochodnych odpowiedzi systemu zamkniętego zeruje się w punkcie $t=0$, tym lepiej. Oznacza to szybszy przebieg regulacji dla małych t, czyli w początkowej fazie.

Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że od regulatora żądamy, aby zapewnił:

- Stabilność
- Małą wartość uchybu w stanie ustalonym
- Dużą szybkość regulacji dla małych t.

Uwzględnienie wszystkich powyższych wymagań prowadzi do regulatora zapewniającego poprawny przebieg uchybu zarówno w jego początkowej, jak również końcowej fazie.

Źródło

1. Greblicki - *Podstawy automatyki*

D. Stabilność: definicja, warunek stabilności i kryteria stabilności dla układów ciągłych oraz dyskretnych

piątek, 8 stycznia 2021 13:05

Układy ciągłe

Definicja stabilności

Dla układów ciągłych, przy zerowym pobudzeniu i każdym warunku początkowym odpowiedź układu dąży do zera. Czyli wyjście systemu zdąże do zera dla każdego warunku początkowego przy zerowym pobudzeniu. W układach na granicy stabilności, wyjście systemu jest ograniczone.

Stabilny układ cechuje się tym, że odpowiedź impulsowa dąży do zera, odpowiedź skokowa dąży do skończonej wartości, a dla wymuszeń sinusoidalnych składowa ustalona dąży do zera.

Ograniczonemu wejściu układu towarzyszy ograniczone jego wyjście.

Warunek stabilności

Można powiedzieć, że system jest stabilny wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie biegundy jego transmitancji leżą w lewej półpłaszczyźnie płaszczyzny liczb zespolonych.

Kryteria stabilności

Aby sprawdzić, czy układ jest stabilny, należy rozwiązać jego równanie charakterystyczne, a następnie sprawdzić czy wyznaczone w ten sposób pierwiastki mają ujemne części rzeczywiste. Istnieją również kryteria umożliwiające pominięcie rozwiązania równania charakterystycznego.

Są nimi:

Twierdzenie o znaku współczynników

Jeśli system jest stabilny, to wszystkie współczynniki wielomianu charakterystycznego są jednakowego znaku - albo dodatnie, albo ujemne.

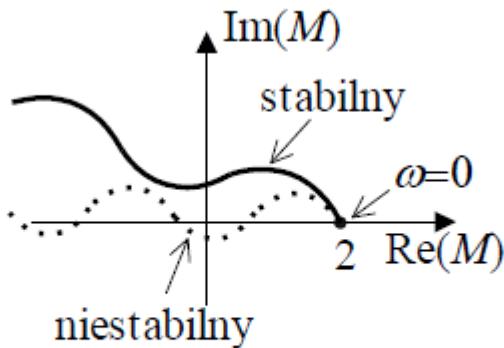
Kryterium Routha

Układ regulacji według tego kryterium jest stabilny asymptotycznie, jeżeli jego równanie charakterystyczne spełnia dwa warunki:

- Wszystkie współczynniki transmitancji istnieją (są różne od zera) i są jednakowego znaku. Jest to warunek konieczny.
- Wszystkie współczynniki 1-szej kolumny tzw. Wyznacznika Routha są różne od zera i są jednakowego znaku.

Kryterium Michajłowa

W kryterium Michajłowa, układ jest stabilny asymptotycznie jeżeli zmiana argumentu przy zmianie pulsacji od zera do nieskończoności jest równa $n\frac{\pi}{2}$, gdzie n to rząd badanego układu. W praktyce oznacza to, że układ jest stabilny jeśli krzywa równania charakterystycznego przechodzi przez n kolejnych ćwiartek układu współrzędnych.



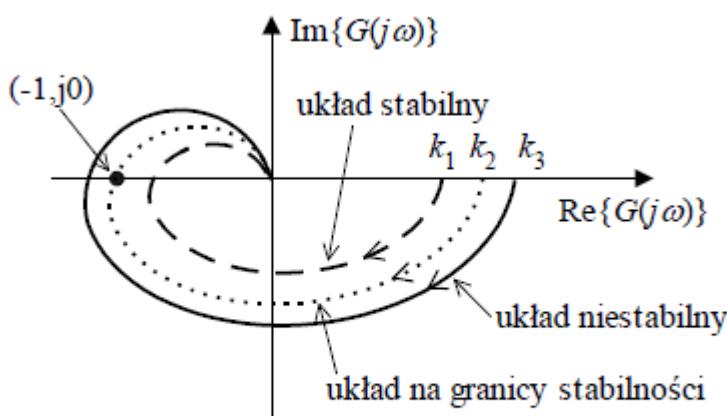
Rys. F.1. Praktyczna interpretacja kryterium Michajłowa.

Kryterium Nyquista - wersja podstawowa

Jeżeli układ otwarty ma x biegunów w prawej półpłaszczyźnie i y biegunów $s=0$, to układ zamknięty jest stabilny asymptotycznie jeśli zmiana argumentu układu zamkniętego od zerowej do nieskończonej pulsacji jest równa $x\pi + y\pi/2$.

Kryterium Nyquista - wersja uproszczona (kryterium lewej strony)

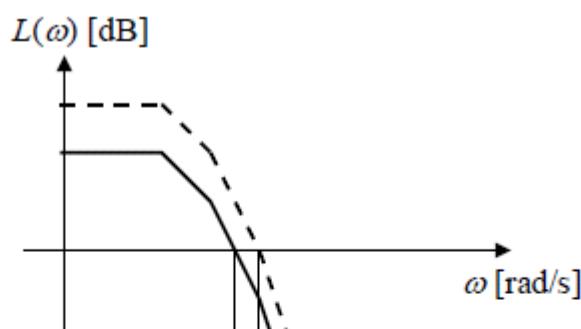
Jeżeli układ otwarty nie posiada pierwiastków w prawej półpłaszczyźnie (tzn. jest stabilny) i przemieszczając się po charakterystyce amplitudowo fazowej w kierunku rosnącej pulsacji zostawimy punkt $(-1, j0)$ po lewej stronie, to układ zamknięty jest stabilny.

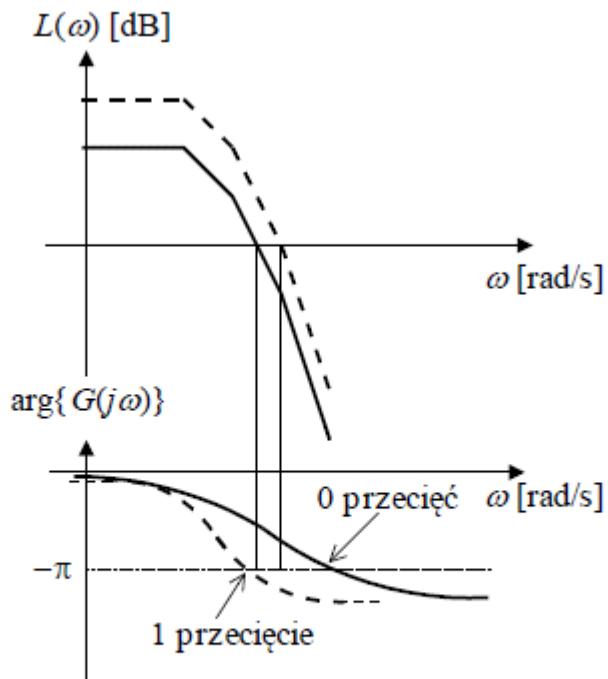


Rys. F.2. Praktyczna interpretacja kryterium lewej strony.

Kryterium logarytmiczne

Jeżeli układ otwarty jest stabilny asymptotycznie i dla pulsacji, dla których charakterystyka logarytmiczna amplitudy jest dodatnia, charakterystyka fazy przecina prostą $-\pi$ parzystą ilość razy (w tym zero), to układ zamknięty jest stabilny.





Rys. F.3. Praktyczna interpretacja kryterium logarytmicznego.

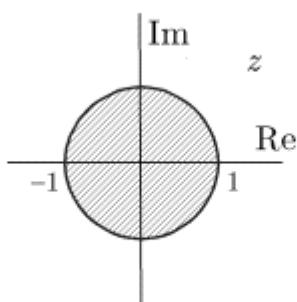
Układy dyskretnie

Definicja stabilności

Jeżeli przy zerowym pobudzeniu i każdym warunku początkowym układu jego odpowiedź przy n (numerze próbki) dążącym do nieskończoności dąży do zera, układ jest nazywany stabilnym.

Warunek stabilności

Układ dyskretny jest stabilny wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie biegony jego transmitancji leżą na płaszczyźnie zespolonej wewnątrz koła o promieniu 1 i środku $z=0$, czyli wewnątrz koła jednostkowego.



Rys. 10.1. Płaszczyzna liczb zespolonych i koło jednostkowe

Kryteria stabilności

Kryterium Jury'ego

Impulsowy układ jest stabilny asymptotycznie, jeżeli jego równanie charakterystyczne spełnia szereg warunków, które można określić na podstawie współczynników tablicy Jury'ego.

Kryterium Nyquista

Jeżeli układ otwarty ma x biegony na zewnątrz okręgu jednostkowego i y biegony w punkcie $z=1$, to układ zamknięty jest stabilny asymptotycznie jeżeli jego przyrost argumentu w całym zakresie częstotliwości jest równy $x\pi + y\frac{\pi}{2}$.

Przekształcenie biliniowe

Zastosowanie przekształcenia biliniowego pozwala na analizę układu dyskretnego w sposób identyczny do układu ciągłego, czyli z zastosowaniem kryteriów Michajłowa i Routha.

Źródło

1. Greblicki - *Podstawy automatyki*
2. Staszewski - *Podstawy Automatyki - Zbiór zadań z przykładowymi rozwiązaniami*

10. Zasady wytwarzania energii elektrycznej w źródłach konwencjonalnych oraz odnawialnych i wpływ elektroenergetyki na środowisko

piątek, 8 stycznia 2021 13:01

A. Odnawialne i nieodnawialne zasoby energii pierwotnej, przemiany 1- 2- 3-stopniowe w wytwarzaniu energii elektrycznej i technologie je realizujące

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Odnawialne i nieodnawialne zasoby energii pierwotnej

Nieodnawialne zasoby energii pierwotnej obejmują paliwa organiczne (stałe, ciekłe i gazowe) oraz paliwa jądrowe, do których należą pierwiastki nieroższczepialne, tj. uran i tor. Ilość tych zasobów określa się w jednostkach naturalnych (t, m³), a następnie przelicza na zasoby wyrażone w jednostkach energii (GJ, toe, tpu), stosując odpowiednie równoważniki energetyczne.

- **Węgiel kamienny** jest jednym z najlepszych jakościowo paliw stałych, ale jego złoża położone na niewielkich głębokościach powoli się wyczerpują; węgiel kamienny stanowi ok. 46% energii pierwotnej
- **Węgiel brunatny** ma małą wartość opałową, ponadto zawiera dużo wody i części niepalnych - dlatego nie nadaje się do transportu i najczęściej jest spalany w elektrowniach położonych w pobliżu kopalń; węgiel brunatny to ok. 4% dostępnej do wykorzystania energii pierwotnej
- **Ropa naftowa** występuje głównie na bliskim wschodzie, jest to paliwo najczęściej wykorzystywane w pojazdach spalinowych. Wykorzystuje się również olej wydobywany z łupków bitumicznych jako "ropę";ropa naftowa to ok. 16,7% zasobów pewnych do wykorzystania energii pierwotnej
- **Gaz ziemny** jest paliwem o mniejszej kaloryczności niż wyżej wymienione; gaz ziemny stanowi ok. 16,5% energii pierwotnej pewnej do wykorzystania
- **Uran stanowi** ok. 17,2% zasobów energetycznych Ziemi

Odnawialne zasoby energii pierwotnej obejmują głównie energię wodną, energię wiatru, energię uzyskiwaną z biomasy, energię geotermalną oraz energię słoneczną. Ilości energii możliwe do uzyskania ze źródeł odnawialnych określa się w odpowiednich jednostkach energii na rok, stosując przy tym odpowiednie równoważniki energetyczne.

- Energia wodna obejmuje energię cieków lądowych i energię płynów księżyca
- Energia biomasy to energia zgromadzona w masie wytwarzanej z odpadów organicznych i tzw. "surówki"
- Energia wiatru to energia przepływu masy powietrza
- Energia słoneczna to energia promieniowania słonecznego docierającego do ziemi
- Energia geotermalna to zasoby energii cieplnej dostępnej pod powierzchnią ziemi

Przemiany 1- 2- 3-stopniowe w wytwarzaniu energii elektrycznej i technologie je realizujące

Przemiany energetyczne polegają na przetwarzaniu energii z jednej postaci na drugą lub na zmianie parametrów nośnika energii. W elektrowniach na ogół nie zachodzi wytwarzanie, lecz przetwarzanie energii z jednej postaci na inną. Ilość konwersji energii z jednej postaci na inną określa się liczbą stopni przemiany energii.

Wyróżnia się określenia dla różnych postaci energii:

- Energia pierwotna - energia pod jakąkolwiek postacią, nieprzetworzona w żaden sposób w wyniku konwersji czy transformacji (np. złoża węgla czy ropy)
- Energia wtórna - energia otrzymywana w różnych postaciach w wyniku przemian energii pierwotnej lub innej energii wtórnej (np. przetworzona na energię elektryczną energię słoneczną)
- Energia bezpośrednia (końcowa) - energia pierwotna lub wtóra dostarczana do odbiorcy w takiej postaci, w jakiej dostosowane są jego odbiorniki (czyli np. węgiel opałowy czy energia elektryczna do lodówki)
- Energia użytkowa - energia uzyskiwana w odbiornikach po przetworzeniu na postać

użytkową - np. energia świetlna w żarówkach, mechaniczna w silnikach czy cieplna w grzejnikach albo chemiczna w akumulatorach

Wyróżnia się następujące postacie energii:

- Chemiczna
- Cieplna
- Elektromagnetyczna
- Mechaniczna
- Elektryczna
- Świetlna
- Jądrowa

Przemiany i technologie je wykorzystujące

Przemiany 1-stopniowe:

- Energia elektromagnetyczna (promieniowanie) -> energia elektryczna - np. w ogniwach fotowoltaicznych
- Energia chemiczna -> energia cieplna - spalanie paliw kopalnych, czyli ogrzewanie budynków

Przemiany 2-stopniowe:

- Energia mechaniczna wody lub wiatru -> Energia mechaniczna generatora -> Energia elektryczna - stosowane w elektrowniach wodnych i wiatrowych

Przemiany 3-stopniowe:

- Energia chemiczna / cieplna -> Energia mechaniczna -> Energia elektryczna
 - Stosowane w elektrowniach cieplnych, biomasowych, gazowych, agregatach prądotwórczych, elektrowniach jądrowych, heliotermicznych i geotermalnych.

Źródło:

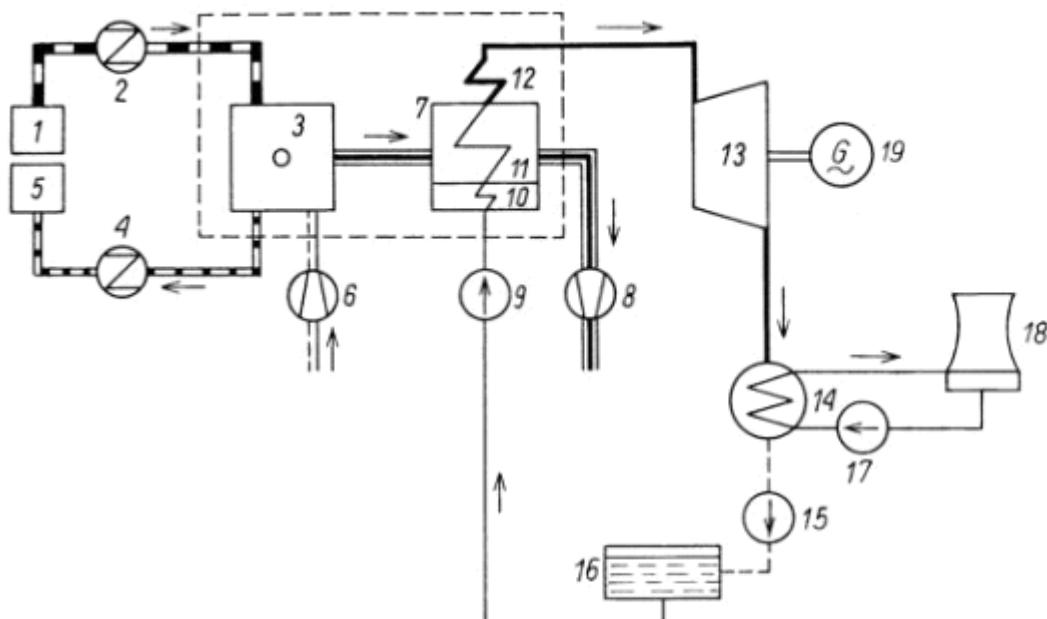
1. Wykłady Wytwarzania Energii Elektrycznej
2. Marecki - *Podstawy Przemian Energetycznych*

B. Proces technologiczny i obieg termodynamiczny elektrowni parowej, sprawność netto i brutto elektrowni parowej

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Przetwarzanie energii elektrycznej w elektrowni parowej obejmuje łańcuch przemian energetycznych, obejmujących kilka pośrednich przemian energii cieplnej w cieplną, cieplnej w mechaniczną i mechanicznej w elektryczną. Zależnie od czynnika roboczego (nośnika energii cieplnej) wyróżnia się elektrownie parowe i gazowe - w tej pierwszej czynnikiem jest para wodna, w tej drugiej - gaz ziemny, a raczej produkt spalania tego gazu.

Klasyczne elektrownie parowe należą do grupy elektrowni kondensacyjnych, bo stosuje się w nich turbozespoły wyposażone w skraplacz, zwane dawniej kondensatorami. W skraplaczach następuje skraplanie pary wodnej, wykorzystanej wcześniej w turbinie. Inną grupę stanowią elektrociepłownie, w których ciepło zawarte w parze wylotowej oddaje się do odbiorców zewnętrznych.



Rys. 3.14. Schemat blokowy układu urządzeń energetycznych w elektrowni kondensacyjnej, wg [10]

1 – skład paliwa, 2 – urządzenia nawęglające, 3 – komora paleniskowa kotła, 4 – urządzenia odpopielajające, 5 – skład żużlu i popiołu, 6 – wentylator powietrza, 7 – powierzchnie ogrzewalne kotła, 8 – wentylator ciągu, 9 – pompa wody zasilającej, 10 – spalinowy podgrzewacz wody, 11 – parownik kotła, 12 – przegrzewacz pary, 13 – turbina parowa, 14 – skrapacz, 15 – pompa skroplin, 16 – zbiornik wody zasilającej, 17 – pompa wody chłodzącej, 18 – chłodnia kominowa, 19 – generator

W elektrowni kondensacyjnej występuje kilka różnych układów i obiegów głównych nośników energii, przy czym można tu wyróżnić:

- Układ paliwowy
- Układ odpadów paleniskowych
- Układ powietrza i spalin
- Obieg parowo-wodny
- Układ wody chłodzącej ze skraplaczem

Proces technologiczny wytwarzania energii elektrycznej w takiej elektrowni jest trójstopniowy:

- 1 stopień - w kotle parowym spalane paliwo wytwarza energię cieplną, która zamienia wodę płynącą w rurkach umieszczonych wewnątrz kotła w parę wodną.
- 2 stopień - rozprężająca się para uderza łopatki turbiny wprawiając ją w ruch obrotowy
- 3 stopień - wirujący wał turbiny napędza generator (prądnicę) powodując wytworzenie energii elektrycznej

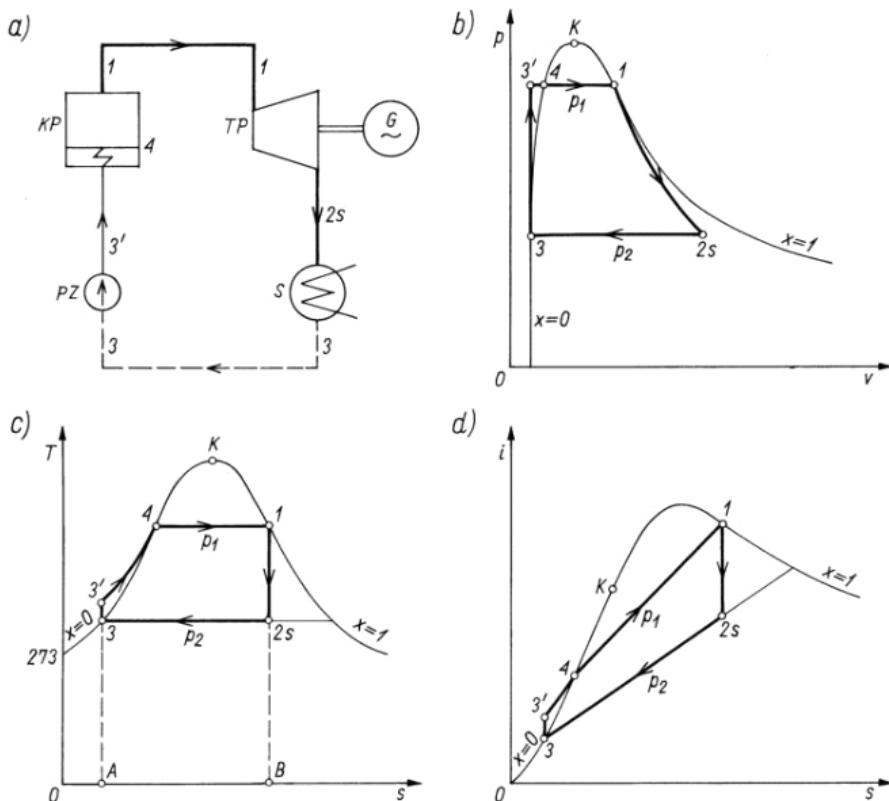
W elektrowniach parowych stosuje się następujące obiegi termodynamiczne:

Obieg Rankine'a z użyciem pary nasyconej

Jest to główny obieg termodynamiczny w elektrowni cieplnej. Para wodna na wlocie do turbiny jest parą nasyczoną (suchą), a cały proces rozprężania pary w turbinie odbywa się w obszarze pary mokrej. Obieg parowy składa się z kilku przemian termodynamicznych czynnika roboczego, czyli pary.

Najbardziej podstawowo, można ten obieg przedstawić tak:

1. Izentropowe (zachowanie stałej entropii) rozprężanie pary w turbinie od stanu pary nasycionej suchej przy ciśnieniu p_1 na wlocie do turbiny do stanu pary mokrej przy ciśnieniu p_2 na wlocie do skraplacza.
2. Izobaryczne (izotermiczne) skraplanie pary przy stałym ciśnieniu w skraplaczu
3. Izentropowe (izochoryczne) pompowanie wody od ciśnienia p_2 do ciśnienia p_1 w pompie wody zasilającej
4. Izobaryczne podgrzewanie wody przy ciśnieniu p_1 w spalinowym podgrzewaczu wody należącym do kotła parowego
5. Izobaryczne (izotermiczne) odparowywanie przy ciśnieniu p_1 w parowniku kotła do stanu pary nasycionej (suchej)

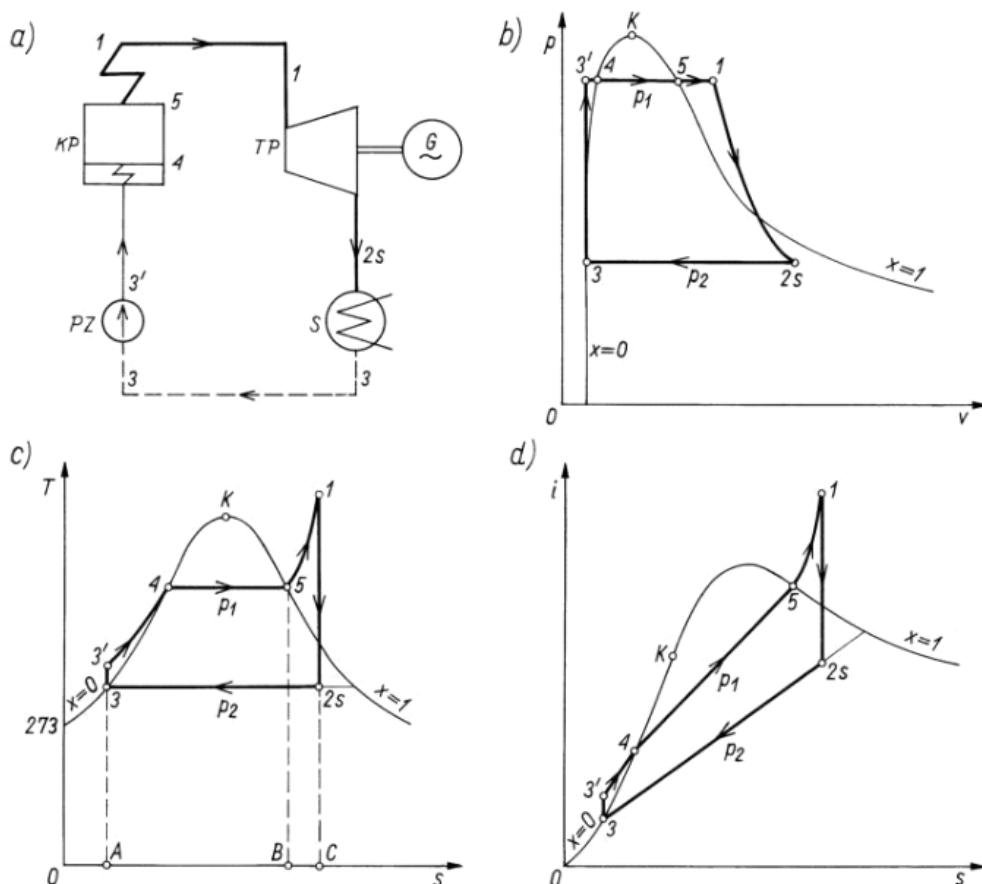


Rys. 3.15. Obieg Rankine'a z użyciem pary nasyconej: a) schemat ideowy układu cieplnego; b) obieg w układzie p, v ; c) obieg w układzie T, s ; d) obieg w układzie i, s . KP – kotł parowy ze spalinowym podgrzewaczem wody, TP – turbina parowa, G – generator, S – skrapacz, PZ – pompa wody zasilającej

Obieg Rankine'a z użyciem pary przegrzanej

Jest to drugi teoretyczny obieg parowy stosowany w elektrowni kondensacyjnej. Różni się od poprzedniego obiegu Rankine'a tym, że para wodna na wlocie do turbiny jest parą przegrzaną, a proces jej rozprężania w turbinie odbywa się częściowo w obszarze pary przegrzanej i tylko częściowo - w końcowej fazie - w obszarze pary mokrej. Dochodzi tu jeszcze jeden krok przemiany, mianowicie izobaryczne przegrzewanie pary przy ciśnieniu dolotowym p_1 od stanu nasycenia do temperatury dolotowej. Czyli:

1. Izentropowe (zachowanie stałej entropii) rozprężanie pary w turbinie od stanu pary nasyconej suchej przy ciśnieniu p_1 na wlocie do turbiny do stanu pary mokrej przy ciśnieniu p_2 na wlocie do skraplacza.
2. Izobaryczne (izotermiczne) skraplanie pary przy stałym ciśnieniu w skraplaczu
3. Izentropowe (izochoryczne) pompowanie wody od ciśnienia p_2 do ciśnienia p_1 w pompie wody zasilającej
4. Izobaryczne podgrzewanie wody przy ciśnieniu p_1 w spalinowym podgrzewaczu wody należącym do kotła parowego
5. Izobaryczne (izotermiczne) odparowywanie przy ciśnieniu p_1 w parowniku kotła do stanu pary nasyconej (suchej)
6. Przegrzewanie pary przy ciśnieniu dolotowym p_1 od stanu nasycenia do temperatury dolotowej.



Rys. 3.18. Obieg Rankine'a (Hirna) z użyciem pary przegrzanej: a) schemat ideowy układu cieplnego; b) obieg w układzie p, v ; c) obieg w układzie T, s ; d) obieg w układzie i, s
 KP – kocioł parowy ze spalinowym podgrzewaczem wody i przegrzewaczem pary,
 TP – turbina parowa, G – generator, S – skraplacz, PZ – pompa wody zasilającej

Sprawność urządzeń energetycznych i sprawność całkowita elektrowni parowej

W elektrowni parowej wyróżnia się:

- sprawność wewnętrzną turbiny (spadek rzeczywisty entalpii w turbinie jest mniejszy niż teoretyczny; stosunek tych spadków to sprawność wewnętrzną turbiny)
- Sprawność energetyczna obiegu (iloczyn sprawności teoretycznej obiegu i sprawności wewnętrznej turbiny)

- Sprawność kotła - zależne od strat ciepła w kotle
- Sprawność mechaniczna turbiny - związana ze stratami mechanicznymi turbiny (łożyska itp.)
- Sprawność elektryczna generatora - związana ze stratami w uzwojeniach i żelazie i stratami mechanicznymi generatora

Sprawność brutto i netto

Sprawność brutto odnosi się do mocy elektrycznej wytwarzanej generatora, a sprawność netto - do mocy oddawanej do sieci po potrąceniu zużycia mocy na potrzeby własne elektrowni.

Źródło:

1. Wykłady z Wytwarzania Energii Elektrycznej
2. Marecki - *Podstawy Przemian Energetycznych*
3. <http://teresin.hekko.pl/Technik/Elektrownie/wytwarzanie.html>

C. Zasady skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w elektrociepłowniach, oszczędność energii chemicznej paliwa, proces technologiczny i obieg termodynamiczny elektrociepłowni parowej z turbiną przeciwwprężną

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Zasady skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w elektrociepłowniach

W skojarzonych układach energetycznych, które stosuje się w elektrociepłowniach, przetwarzanie energii chemicznej paliwa na energię elektryczną jest powiązane z jednoczesnym przetwarzaniem części energii na energię cieplną, oddawaną odbiorcom w postaci pary z wylotu przeciwwprężnego lub upustu turbiny albo w postaci wody gorącej, którą podgrzewa się w wymiennikach ciepła zasilanych parą przeciwwprężną lub upustową. Wytwarzanie energii elektrycznej w układzie skojarzonym zależy więc od jednoczesnego oddawania odbiorcom zewnętrznym tej części energii cieplnej, która w układzie kondensacyjnym byłaby stracona w skraplaczach turbin.

Oszczędność energii chemicznej paliwa

Oszczędność energii chemicznej paliwa przy stosowaniu elektrociepłowni wynika z faktu, że energia skraplania wody, która w elektrowni kondensacyjnej jest de facto stratami mocy, w obiegu elektrociepłowni wykorzystywana jest jako źródło energii cieplnej. Ponadto, elektrociepłownie mogą być budowane jako małe źródła (elektrociepłownie zawodowe), co ogranicza straty na przesyle wytwarzanej energii elektrycznej i cieplnej.

Całkowitą sprawność energetyczną teoretyczną elektrociepłowni przeciwwprężnej oblicza się z uwzględnieniem zarówno oddawanej mocy elektrycznej, jak i cieplnej. Sprawność brutto to stosunek oddawanych mocy do mocy dostarczanej, a sprawność netto to sprawność brutto z uwzględnieniem potrzeb własnych elektrowni.

Oprócz sprawności całkowitej, w przypadku elektrociepłowni określa się również sprawności cząstkowe, odpowiadające przetwarzaniu energii paliwa odpowiednio na energię oddawaną elektryczną lub cieplną. Podział ten zależy od podziału mocy cieplnej doprowadzanej do turbozespołu na dwie części. Na podstawie sprawności cząstkowych można określić jednostkowe zużycie ciepła w elektrociepłowni przeciwwprężnej.

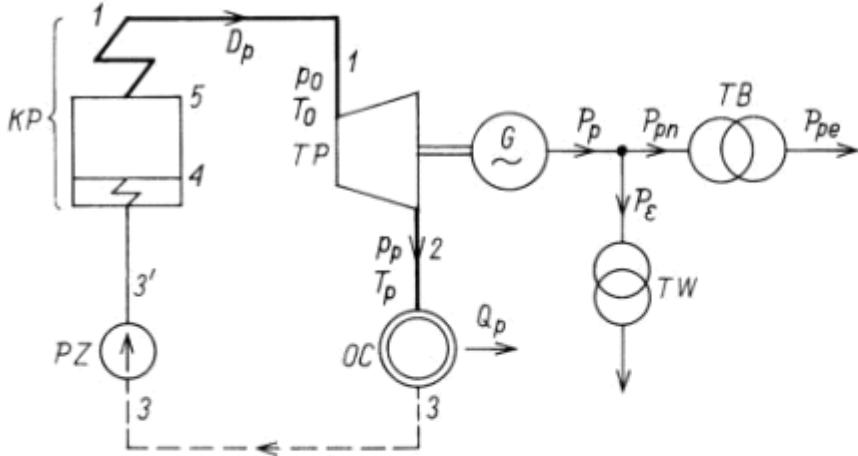
Proces technologiczny i obieg termodynamiczny elektrociepłowni parowej z turbiną przeciwwprężną

Przemiany energetyczne w elektrociepłowni odbywają się podobnie jak w elektrowni kondensacyjnej, w układach paliwa, powietrza i spalin oraz pary i wody. Różnica polega na tym, że w obiegu parowo-wodnym zamiast turbiny kondensacyjnej znajduje się turbina przeciwwprężna, która na wylocie oddaje parę o wyższym ciśnieniu niż kondensacyjna w elektrowni cieplnej. Istnieje przy tym możliwość wykorzystania energii oddawanej przy skraplaniu pary do wytwarzania ciepła przez elektrociepłownię. Z kolei urządzenia tworzące obieg wody chłodzącej występują tylko w połączeniu z turbiną upustowo-kondensacyjną.

Obieg realizowany elektrociepłowni z turbinami przeciwwprężnymi nazywa się obiegiem przeciwwprężnym. Teoretyczny obieg przeciwwprężny obejmuje:

1. Izentropowe rozprężanie pary w turbinie od parametrów dolotowych p_0 , T_0 w obszarze pary przegrzanej do przeciwciśnienia p_p , przy którym para jest oddawana odbiorcom zewnętrznym

2. Izobaryczne (izotermiczne) skraplanie pary przy ciśnieniu pp w odbiornikach pary
3. Izentropowe (izochoryczne) pompowanie wody od ciśnienia pp do ciśnienia p_0
4. Izobaryczne podgrzewanie wody
5. Izobaryczne (izotermiczne) odparowywanie przy ciśnieniu p_0 w parowniku kotła do stanu nasycenia
6. Izobaryczne przegrzewanie pary przy ciśnieniu p_0 od stanu nasycenia do temperatury dolotowej T_0 .



Rys. 3.34. Schemat ideowy układu cieplnego elektrociepłowni przeciwprężnej, wg [10]
 KP – kocioł parowy, TP – turbina parowa przeciwprężna, G – generator, TB – transformator blokowy, TW – transformator potrzeb własnych, OC – odbiornik ciepła, PZ – pompa wody zasilającej, Q_p – moc cieplna oddawana przez turbinę przeciwprężną, P_p – moc elektryczna oddawana przez turbozespoły przeciwprężne (brutto), P_e – moc elektryczna oddawana na potrzeby własne, P_{pn} – moc elektryczna oddawana netto, P_{pe} – moc elektryczna oddawana do systemu

Źródło:

1. Wykłady z Wytwarzania Energii Elektrycznej
2. Marecki - Podstawy Przemian Energetycznych

D. Możliwości wykorzystania odnawialnych zasobów energii pierwotnej (energii spadku wód, wiatru i bezpośredniego promieniowania słonecznego) do wytwarzania energii elektrycznej (zasada działania przetworników energii i sprawność konwersji, udział w krajowej produkcji energii).

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Energia spadku wód

Energia wodna obejmuje energię cieków lądowych będących wynikiem opadów oraz energię pływów morskich. Potencjał danego spływu określają takie parametry, jak całkowity spad rzeki, spad brutto, spad elektrowni czy spad turbiny, a także spadek rzeki. Elektrownie wodne stanowiły na koniec 2019 roku około 5% mocy zainstalowanej i osiąganej w polskiej energetyce.

Energia spadku wód jest przetwarzana na energię elektryczną za pomocą turbin, wały których napędza energia przepływu wody. Sprawności energetyczne turbin wodnych są na ogół duże i wahają się w granicach 0,85-0,93.

Charakterystycznymi rodzajami turbin wodnych są turbiny akcyjne systemu Peltona, a także turbiny reakcyjne systemu Francisa, Deriaza i Kaplana. W turbinie akcyjnej (natryskowej) przemiana energetyczna odbywa się w ten sposób, że energia potencjalna związana z ciśnieniem wody na poziomie wlotu do turbiny, zamienia się w dyszy na energię kinetyczną strugi wodnej, która przekazuje ją wirnikowi. W turbinie reakcyjnej (naporowej), przemiana energii potencjalnej wody w energię kinetyczną wirnika odbywa się częściowo w aparacie kierowniczym, a częściowo w samym wirniku.

Możliwości akumulacji wody w zbiornikach dzielą elektrownie wodne na elektrownie przepływowe, które nie mogą magazynować wody oraz elektrownie zbiornikowe, które mogą magazynować wodę i gospodarować nią w okresie doby, tygodnia itp. Te pierwsze są zależne od dostępnego przepływu wody, te drugie są regulowane. Osobną grupę stanowią elektrownie szczytowo-pompowe.

Energia wiatru

Energia wiatru może być wykorzystywana do wytwarzania energii elektrycznej zwłaszcza ze względu na potencjał energetyczny. Szacuje się, że w Polsce potencjał teoretyczny to 2049 TWh/rok na lądzie oraz 374 TWh/rok na morzu, przy czym średnia prędkość wiatru powyżej 3m/s występuje na większości powierzchni kraju. Energia wiatru czerpana jest z energii promieniowania słonecznego.

Elektrownie wiatrowe uznawane są za źródła niespokojne, ponieważ moc oddawana przez nie do systemu podlega ciągłym zmianom.

Przemiana energii wiatru w energię mechaniczną a następnie elektryczną ma miejsce w silniku wiatrowym, który napędza generator prądu elektrycznego. Silnikiem wiatrowym jest najczęściej turbina z wałem poziomym, której oś obrotu jest ustawiona równolegle do prędkości wiatru. Moc wytwarzana przez turbinę zależy od prędkości przepływającej przez nią strumienia masy powietrza - trzeba zaznaczyć, że jest to zależność od prędkości powietrza w trzeciej potędze.

Teoretyczna sprawność turbin wiatrowych zamyka się w przedziale od 41,4 do 68,6%, choć w praktyce jest nieco niższa ze względu na straty aerodynamiczne. Można zatem przyjąć wartości zbliżone do 40%.

Elektrownie wiatrowe i inne odnawialne - bo tak są podawane w krajowych statystykach - stanowią ok. 16% mocy zainstalowanej i osiągalnej w Polsce. Farmy wiatrowe w Polsce mają aktualnie zainstalowaną moc 6,4GW.

Energia bezpośredniego promieniowania słonecznego

Promieniowanie słoneczne ma zalety takie jak ogólna dostępność, proekologiczność i niewyczerpywanie się. Jego wadami są cykliczność dobowa i roczna, zmienna koncentracja i małe natężenie. Zasoby energii słonecznej są ogromne, ale trudne do zagospodarowania. Energię bezpośredniego promieniowania słonecznego można wykorzystywać w energetyce jako źródło energii cieplnej oraz elektrycznej.

Produkcja energii elektrycznej z energii słońca może być przeprowadzana na dwa sposoby, czyli:

- Heliotermiczną (termodynamiczną) - pośrednią - w której promieniowanie słoneczne przetwarza się w ciepło doprowadzane do turbiny napędzającej generator produkujący energię elektryczną
- Helioelektryczną (fotowoltaiczną) - bezpośrednią - polegającą na wykorzystaniu przetworników fotowoltaicznych.

Ogniwko fotowoltaiczne (fotowoltaiczne) jest przetwornikiem, który przy wykorzystaniu zjawiska fotowoltaicznego przetwarza w sposób bezpośredni energię promieniowania światłnego w energię elektryczną. W ogniwach fotowoltaicznych wykorzystuje się wewnętrzny efekt fotowoltaiczny, którym energia fotonu pozwala zmienić poziom energetyczny elektronu z niższego na wyższy.

Aktualna moc farm fotowoltaicznych zainstalowanych w Polsce to ponad 3,43GW, czyli około 7% w sektorze energetycznym. Sprawność ogniw fotowoltaicznych przyjmuje wartości rzędu 20%.

Źródło

1. Marecki - *Podstawy Przemian Energetycznych*
2. Maciej Pawlik - *Elektrownie*
3. <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-farm-wiatrowych-w-polsce/>
4. <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-fotowoltaiki-w-polsce/>
5. <https://wysokienapiecie.pl/27524-energetyka-w-polsce-w-2019-roku-moc-produkcja-energii-wg-danych-pse/>
6. <https://elektromasters.com.pl/sprawnosc-paneli-fotowoltaicznych/>

E. Wpływ energetyki konwencjonalnej na środowisko naturalne, sposoby ograniczenia emisyjności energetyki

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Wpływ energetyki konwencjonalnej na środowisko naturalne

Oddziaływanie klasycznych elektrowni cieplnych i elektrociepłowni na środowisko jest ściśle związane z przemianami energetycznymi, które polegają na przetwarzaniu energii chemicznej paliwa organicznego (węgla, gazu lub oleju opałowego) na energię elektryczną. Na środowisko mają wpływ przede wszystkim produkty spalania paliw, do których należą:

- Spaliny, zawierające pył (popiół lotny), dwutlenek siarki, tlenki azotu oraz tlenek i dwutlenek węgla
- Odpady stałe, obejmujące popiół lotny, wychwycony przez odpylacze spalin oraz żużel spod kotłów
- Odpady ciekłe, obejmujące głównie mieszankę popiołu i żużła z wodą oraz ścieki wytwarzane przy uzdatnianiu wody do obiegu parowo-wodnego i do obiegu wody chłodzącej

Oprócz tego, elektrownie cieplne kondensacyjne w których stosowany jest otwarty obieg wody chłodzącej skraplacz turbin, wpływają na środowisko przez podgrzewanie wody w rzekach i jeziorach.

Elektrownie cieplne są także źródłem hałasu powstającego przy pracy ciągłej, rozruchach i zatrzymaniach maszyn. Mogą również wpływać na środowisko przez oddziaływanie pól elektromagnetycznych powstałych pod liniami napowietrznymi i w rozdzielniach WN.

Oddziaływanie elektrowni wodnych na środowisko wynika z tego, że budowa zapór i zbiorników wodnych powoduje duże zmiany warunków hydrologicznych rzek i terenów przyległych, zmiany w życiu hydrobiologicznym oraz zmiany krajobrazowe i klimatyczne. Elektrownie wodne są jednak mniej uciążliwe dla środowiska niż elektrownie cieplne i inne obiekty przemysłowe.

Najlepiej rozpoznane jest oddziaływanie klasycznych elektrowni cieplnych i elektrociepłowni na środowisko poprzez emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Szczególnie szkodliwymi substancjami emitowanymi przez elektrownie są dwutlenek siarki, tlenki azotu i pył lotny.

Emisja dwutlenku węgla, który jest najważniejszym produktem spalania paliw organicznych, powoduje powstawanie efektu cieplarnianego, który - jak potwierdzają badania - może spowodować zasadnicze zmiany klimatu związane ze wzrostem średniej temperatury na całej Ziemi.

Sposoby ograniczenia emisyjności energetyki

W celu ograniczenia zanieczyszczeń gazowych oraz pyłowych wydzielanych przez elektrownie i elektrociepłownie, stosuje się między innymi:

- Wzbogacanie paliw - np. odsiarczanie węgla przed dostarczeniem do elektrowni
- Odpylanie spalin - czyli stosowanie elektrofiltrów
- Odsiarczanie spalin
- Koncentrację spalin w wysokich kominach w celu wyniesienia zanieczyszczeń zawartych w spalinach na znaczną wysokość (czyli de facto nie robienie niczego i zamiatanie problemu pod dywan)
- Wprowadzenie nowych technologii energetycznych - gazowanie węgla, kotły fluidalne, elektrownie jądrowe.

Dodatkowy szereg zmian w energetyce jest związany z ograniczaniem emisji CO₂. Dotyczy to między innymi:

- Ograniczanie zużycia energii - wprowadzanie bardziej energooszczędnich technologii, stosowanie lepszej izolacji cieplnej budynków, wymiana źródeł światła na wydajniejsze

- Zwiększenie sprawności wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej - np. przez szersze stosowanie energetyki skojarzonej
- Zastępowanie paliw stałych (węgla) paliwami węglowodorowymi, w szczególności gazem (kolejny bullshit, bo gaz też emitem CO₂, tylko trochę mniej)
- Wykorzystywanie źródeł energii odnawialnej - wody, słońca, wiatru
- Rozwój elektrowni jądrowych

Źródło

1. Marecki - *Podstawy Przemian Energetycznych*

11. Analiza stanów systemów elektroenergetycznych

piątek, 8 stycznia 2021 13:02

A. Modele zastępcze linii napowietrznych i kablowych oraz transformatorów w analizie stanów ustalonych i zwarciowych

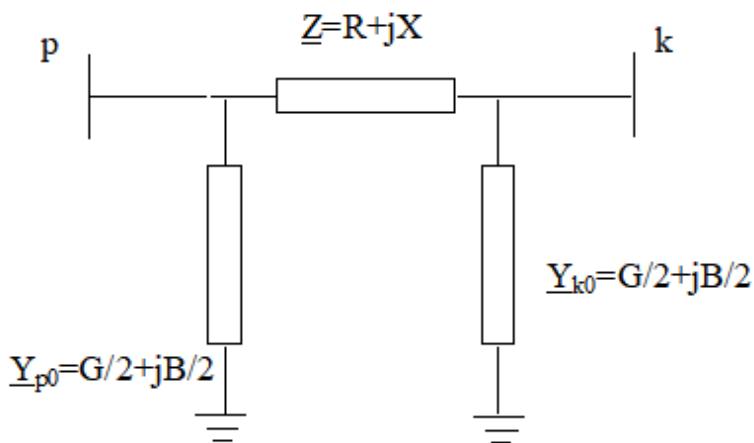
piątek, 8 stycznia 2021 13:06

W analizie stanów ustalonych i zwarciowych korzysta się z maksymalnie uproszczonych modeli zastępczych poszczególnych elementów systemu. Wynika z tego prostsze posługiwanie się tymi modelami i skrócenie czasu obliczeń. Wyniki z tego typu uproszczonych modeli powinny być nadmiarowe.

Linia napowietrzna

Linia napowietrzna modelowana jest w postaci czwórnika typu pi. W uproszczonym modelu, podłużne parametry linii przedstawiane są jako skupione (impedancja Z), a parametry poprzeczne rozdziela się i po połowie przydziela dla każdego końca danej linii. W skład tego modelu wchodzą:

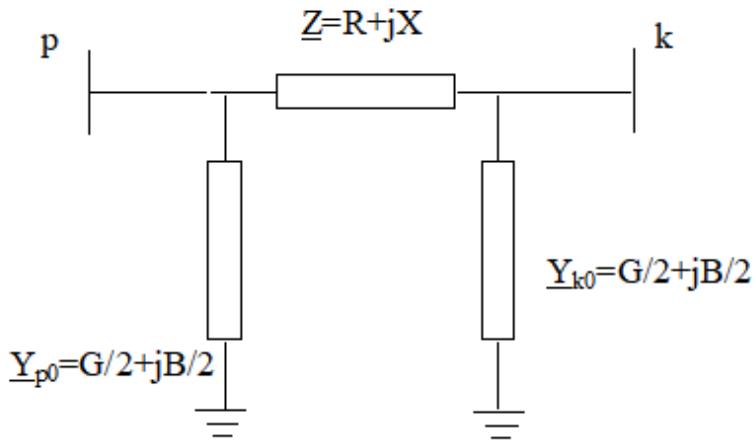
- Rezystancja jednostkowa linii wynikająca z prawa Ohma
- Reaktancja jednostkowa linii wynikająca z oddziaływanego na siebie wskutek pola elektromagnetycznego równolegle biegących linii
- Konduktancja jednostkowa linii wynikająca ze strat ulotowych linii oraz stratności izolacji kabla
- Susceptancja jednostkowa linii, wynikająca z pojemności układu linia-ziemia



Rys. 2.1. Schemat zastępczy linii

Linia kablowa

Modelowanie linii kablowych jest podobne do linii napowietrznych, przy czym zmieniony jest sposób wyznaczania poszczególnych parametrów czwórnika co wynika z położenia linii kablowych w innym środowisku. Rezystancja linii kablowych na ogół jest mniejsza od rezystancji linii napowietrznych. Reaktancja i pojemność również jest inna, co wynika z faktu że poszczególne przewody w linii kablowej są położone blisko siebie. Często pomija się konduktancję tej linii, wynikającą z upływu przez izolację. Z kolei susceptancję (pojemność przewodów) można eliminować, stosując kable ekranowane.



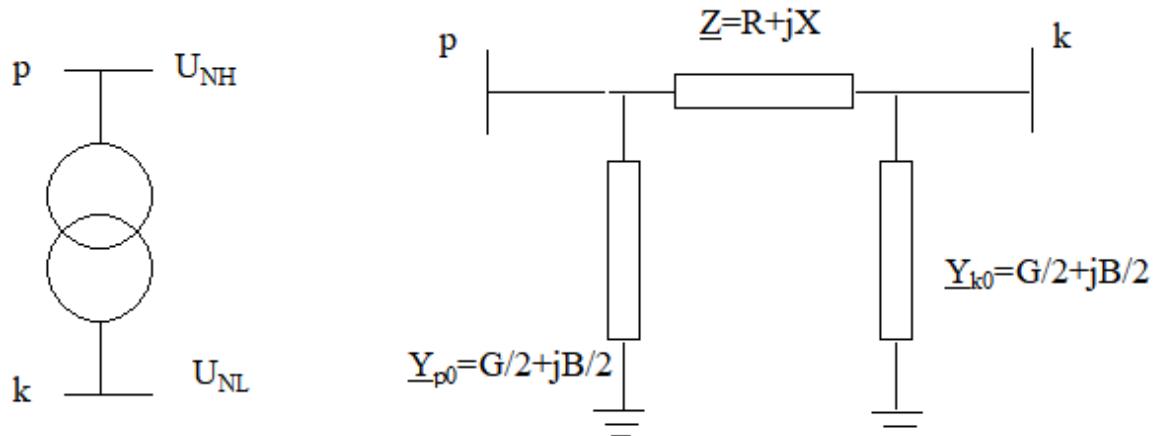
Rys. 2.1. Schemat zastępczy linii

Transformator

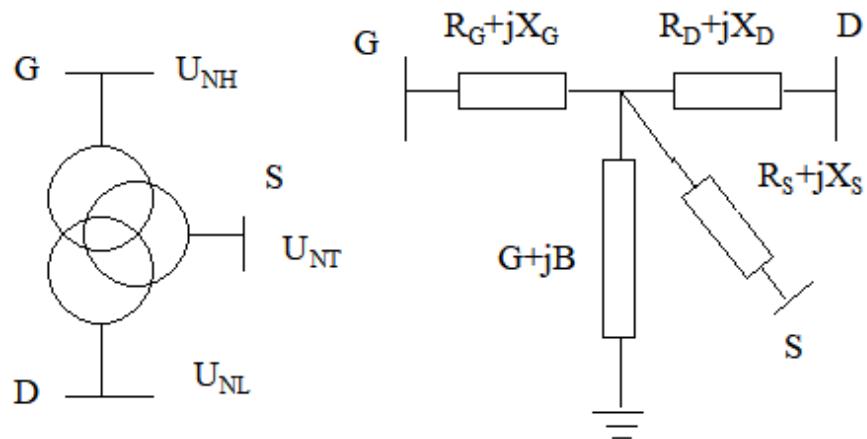
Modelowanie transformatorów do analizy stanów ustalonych i zwarciowych jest bardziej skomplikowane od modelowania linii kablowych czy napowietrznych. Wynika to z faktu, że zależnie od rozpatrywanego rodzaju transformatora i modelowanego stanu układu, stosuje się różne modele transformatorów. Wybór danego modelu jest uzależniony od:

- Rodzaju transformatora (dwuuzwojeniowy, trójuzwojeniowy)
- Rozpatrywanej składowej (zgodnej, zerowej)
- Układu połączeń transformatora (YD, DY, etc.)
- Możliwości regulacji przekładni transformatora

Jednak niezależnie od rozpatrywanego układu, do zamodelowania transformatora stosuje się jego parametry znamionowe oraz parametry schematu zastępczego, takie jak moc pozorna, znamionowa przekładnia, liczba zaczeppów, napięcie zwarcia, straty w miedzi i rdzeniu czy prąd biegu jałowego. Należy przy tym pamiętać, że przy modelowaniu transformatora należy wybrać poziom napięcia, na którym przeprowadzane będą obliczenia.



Rys. 2.5. Schemat zastępczy transformatora 2-uzwojeniowego



Rys. 2.8. Schemat zastępczy transformatora 3-uzwojeniowego

TABUCA 6.3. Schematy zastępcze zerowe transformatorów o różnych układach połączeń uzupełnienia, stosowane w obliczeniach zwarcioowych

Lp.	Układ połączeń	Schemat modelu zerowego	Uproszczony schemat modelu zerowego do obliczeń zwarcioowych	Uwagi
1.				dla jednostki trójkolumnowej impedancja $Z_{\text{m}} = 0,85Z_T$, w innych przypadkach $Z_{\text{m}} = Z_T$ ($Z_{\text{m}} = \infty$)
2.				dla jednostki trójkolumnowej impedancja $Z_{\text{m}} = (3+5)Z_T$, w innych przypadkach $Z_{\text{m}} = \infty$
3.				dla jednostki trójkolumnowej impedancja $Z_{\text{m}} = (3+5)Z_T$ i pozostałe w modelu, w innych przypadkach $Z_{\text{m}} = Z_T$
4.				transformatora o takim układzie nie odwzorowuje się w schemacie zerowym sieci
5.				transformatora o takim układzie nie odwzorowuje się w schemacie zerowym sieci
6.				szczegóły wraz z wyznaczeniem impedancji Z_{0A} , Z_{0B} , Z_{0C} zawiera tabl. 6.4

Lp.	Układ połączeń	Schemat modelu zerowego	Uproszczony schemat modelu zerowego do obliczeń zwarcioowych	Uwagi
7.				dla jednostki trójkolumnowej $Z_{\text{m}} = Z_{\text{Hm}} + \frac{Z_{\text{Tm}}Z_{\mu}}{Z_{\mu} + Z_{\text{Tm}}}$ w innych przypadkach $Z_{\text{m}} = Z_{\text{Hm}} + Z_{\text{Tm}}$
8.				dla jednostek jednofazowych lub dla jednostki pięciokolumnowej $Z_{\text{m}} = \infty$, w innych przypadkach Z_{m} wg wzoru (6.84a) lub (6.84b)
9.				szczegóły zgodnie z tabl. 6.4
10.				$Z_{\text{m}} = 0,1Z_T$, $Z_{\text{m}} \approx (3+5)Z_T$ spotyka się wyłącznie jednostki trójkolumnowe

Źródło

- Kacejko - *Zwarcia w systemach elektroenergetycznych*

2. Wykłady SEE1 - Wykład 2

B. Analiza rozpływów mocy: równania węzłowe, jednostki względne, typy węzłów, metody iteracyjne

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Równania węzłowe

Równania węzłowe zapisuje się na podstawie przygotowanego modelu zastępczego systemu elektroenergetycznego. Uwzględnia się przy tym parametry poszczególnych elementów tego systemu. W obliczeniach rozpływów mocy korzysta się z uproszczonego przedstawiania generatorów i odbiorów - są one reprezentowane przez moce czynne i bierne, generowane lub odbierane, które w danym systemie opisane są zależnością uwzględniającą napięcie węzłowe i prąd węzłowy. Od kierunku przepływu mocy czy prądu zależy znak przy poszczególnych wielkościach.

Równania węzłowe można przedstawić zarówno w prostokątnym jak i biegunowym układzie napięć węzłowych.

Jednostki względne

W praktyce, obliczenia elektroenergetyczne przeprowadzane są na liczbach niemianowanych, czyli w tzw. Jednostkach względnych. Podstawą obliczeń w jednostkach względnych są jednostki bazowe (podstawowe). Są nimi cztery wielkości: moc podstawowa 3-fazowa, prąd podstawowy przewodowy, napięcie podstawowe międzyfazowe oraz impedancja lub admitancja podstawowa.

Wystarczy wybrać dwie spośród podanych wyżej wielkości jako jednostki bazowe, bo pozostałe dwie oblicza się na ich podstawie w sposób jednoznaczny z prawa Ohma i równania mocy lub przekształceń tych równań.

Na ogół w analizie stanów systemu elektroenergetycznego jako jednostki bazowe wybiera się moc i napięcie. Na ogół moc bazowa to 100MVA - wartość ta może być również inna, chodzi o to żeby uprościć obliczenia. Moc bazową przyjmuje się taką samą dla wszystkich elementów tworzących system. Jako napięcie bazowe przyjmuje się napięcie międzyfazowe znamionowe sieci, do której jest przyłączony dany element.

Prowadzenie wszystkich obliczeń w jednostkach względnych odniesionych do jednej mocy bazowej i napięć znamionowych sieci prowadzi do takich samych wyników jak wyniki otrzymane ze stosowania jednostek mianowanych.

Typy węzłów

Z każdym węzłem związane są 4 zmienne. Są nimi moc czynna, moc bierna, moduł napięcia oraz kąt napięcia w danym węźle. Liczba równań jest 2 razy większa od liczby węzłów, stąd 2 wielkości są traktowane jako zadane, pozostałe dwie jako poszukiwane. W systemie wyróżnia się węzły bilansujące, generatorowe i odbiorcze. Zwykle jeden z węzłów generatorowych pełni w analizie rozpływów mocy funkcję węzła bilansującego, ponieważ straty sieciowe nie są znane aż do czasu zakończenia obliczeń.

Węzeł bilansowy to węzeł, w którym znane są amplituda i kąt napięcia węzlowego, poszukiwane są zaś moce. Węzeł bilansujący ma na ogół najwyższy numer, równy liczbie węzłów w systemie.

Węzły generatorowe charakteryzowane są przez moduł napięcia węzlowego oraz moc czynną generowaną, zatem poszukiwanymi w nich wartościami są moc bierna i kąt napięcia węzlowego.

Węzły odbiorcze charakteryzowane są przez moce czynną i bierną odbierane w węźle, a wielkościami szukanymi są w nich moduł i kąt napięcia węzlowego.

Innymi typami węzłów są węzły izolowane, odbiorcze z regulacją przekładni transformatora oraz

generatorowe z ograniczeniami mocy biernej.

Tab. 4.3. Typy węzłów w zadaniu obliczania rozpływów mocy

Nazwa węzła	Typ /symbol/	Typ /cyfra/	Dane	Szukane
odbiorczy	PQ	1	P, Q	U, δ
generatorowy	PU	2	P, U	Q, δ
bilansujący	Uδ	3	U, δ	P, Q
izolowany /nie bierze udziału w obliczeniach/		4		
odbiorczy z reg. przekładni transf	PQ	5	P, Q, Ureg	U, δ
generatorowy z ograniczeniami mocy biernej Qmin, Qmax	PU	6	P, U, Qmin, Qmax	Q, δ

Metody iteracyjne

Wyróżnia się następujące iteracyjne metody rozwiązywania równań węzłowych.

Rozwinięcie równań węzłowych w szereg Taylora

Wektor y , będący wektorem mocy węzłowych czynnych i biernych, można zapisać w funkcji wektora składowych prostokątnych napięć węzłowych x . Rozwinięcie tej funkcji w szereg Taylora w otoczeniu punktu x_0 daje sumę trójskładnikową. Pozwala ona na otrzymanie liniowego przybliżenia równań węzłowych. W wyniku linearyzacji układu równań węzłowych otrzymuje się układ równań liniowych.

Iteracyjna metoda Newtona

Po rozwiązaniu układu równań liniowych, otrzymuje się przybliżenie wektora napięć węzłowych. Otrzymane wartości napięć węzłowych można traktować jako punkt startowy do następnej iteracji. Kolejne iteracje przeprowadza się aż do uzyskania zadowalającej dokładności rozwiązania.

Źródło

1. Kacejko - Zwarcia w systemach elektroenergetycznych
2. Wykłady SEE1 - Wykład 3, 4, 5

C. Sposoby regulacji napięcia i mocy biernej w elektrowniach i stacjach transformatorowych

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Napięcie i moc bierna a straty mocy

Przy przesyłaniu mocy czynnej i biernej występują straty przesyłowe mocy biernej na parametrach podłużnych i poprzecznych sieci. Straty przesyłowe podłużne mocy biernej są wprost proporcjonalne do kwadratu przesyłanych mocy i odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu napięcia. Wzrost przesyłanych mocy i obniżenie napięcia powoduje wzrost strat mocy biernej. Wzrost przesyłanej mocy biernej Q przy stałym przesyłaniu mocy czynnej P powoduje wzrost strat mocy biernej iwiększa deficyt mocy biernej w systemie.

Sposoby regulacji napięcia i mocy biernej w elektrowniach

W sieciach przesyłowych napięcie regulują przede wszystkim generator synchroniczny w dużych elektrowniach, statyczne źródła mocy biernej (baterie kondensatorów, układy SVC i STATCOM) oraz transformatory.

Moc bierna minimalna i maksymalna, która może być wytworzona przez generator synchroniczny, wynika z aktualnej wartości mocy czynnej P, wartości napięcia na zaciskach generatora oraz reaktancji synchronicznej generatora. Siła elektromotoryczna generatora jest proporcjonalna do prądu wzbudzenia generatora.

Możliwości regulacji prądu wzbudzenia są ograniczone z powodów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych: maksymalnego długotrwałego dopuszczalnego prądu uwojenia wzbudzenia, maksymalnego długotrwałego dopuszczalnego prądu uwojenia stojana (twornika), ograniczenia maksymalnej wartości kąta mocy (stabilność generatora), maksymalnej temperatury obwodu magnetycznego stojana oraz limitów minimum i maksimum mocy czynnej generatora.

Obszar dopuszczalnych obciążen generatora synchronicznego wynikający z powyższych ograniczeń nazywa się wykresem kołowym generatora. Wszystkie te trzy ograniczenia związane są z napięciem - im jest ono wyższe, tym większy zakres pracy. Samo napięcie jest jednak również ograniczone ze względu na nieliniowość charakterystyki rdzenia magnetycznego.

Zatem, regulację napięcia i mocy biernej w elektrowniach wykonuje się poprzez regulatory napięcia wzbudzenia generatora synchronicznego.

Sposoby regulacji napięcia w stacjach transformatorowych

Regulacja napięcia w sieciach dystrybucyjnych odbywa się głównie poprzez regulację przekładni transformatorów pod obciążeniem. Wszystkie transformatory w sieci przesyłowej wyposażone są w tego typu regulację. Wyznaczenie przekładni takich transformatorów wymaga optymalizacji rozprływu mocy ze względu na straty przesyłowe oraz dopuszczalne wartości odchyleń napięć węzłowych.

Transformatory WN mają zaczepy po stronie wyższego napięcia umożliwiające regulację przekładni co 1-2%. Pozwala to dostosować wartość napięcia po stronie SN do aktualnych obciążen sieci. Pozwala to w danym przedziale doby utrzymywać na szynach SN pożądaną wartość napięcia.

W przypadku transformatorów SN-nn brakuje regulacji, dlatego napięcie SN dostosowuje się nieco ponad wartość znamionową sieci. Pozwala to zachować napięcia po stronie nn na odpowiednim poziomie pomimo większych obciążen np. w sezonie zimowym.

Regulacja napięcia w transformatorze odbywa się poprzez zmianę liczby zwojów któregoś z uwojeń. Możliwości regulacji są ograniczone liczbą zaczepów i zakresem procentowym zmian wywołanych

przyłączeniem kolejnych zaczepów.

Automatyczna regulacja napięcia transformatora polega na zmianie położenia przełącznika zaczepów pod obciążeniem za pomocą regulatora w taki sposób, aby napięcie mieściło się w dopuszczalnym zakresie zmian. Regulator jest układem automatyki wolnodziałającym z opóźnieniem czasowym i reaguje na odchyłkę napięcia mierzonego od wartości zadanej.

Układy regulacji napięcia można uzupełnić o kompensację prądową, która podnosi napięcie np. w sieci SN podczas dużych obciążzeń systemu. Ma to na celu zapobieganie spadkom napięć w okresie dużych obciążzeń, jak opisane wyżej szczyty zimowe.

Sposoby regulacji mocy biernej

Przy wyborze miejsca zainstalowania układów kompensacji mocy biernej decydują zwykle względy techniczne i ekonomiczne, a także ich wpływ na stabilność kątową sieci przesyłowej.

Baterie kondensatorów

Pojemność linii i baterii kondensatorów stanowią parametry poprzeczne sieci elektroenergetycznej i wytwarzają moc bierną zależną od kwadratu aktualnej wartości napięcia. Wybór statycznego układu kompensacji mocy biernej powinien być podporządkowany utrzymaniu stabilności napięciowej.

Baterie kondensatorów pozwalają tylko na skokową regulację wytwarzanej mocy biernej, przez załączanie lub odłączenie kolejnych członów.

Układy SVC

SVC - Static Var Compensators - statyczne kompensatory mocy biernej. Tego typu kompensator statyczny ma za zadanie połączyć linię z ziemią za pośrednictwem kondensatora i cewki.

Susceptancja cewek zmienia się płynnie, natomiast susceptancja kondensatorów dyskretnie. Zmiana susceptancji zmienia prąd i w konsekwencji wprowadza się moc bierną do sieci. Moc bierna przy tym maleje wraz z obniżaniem się napięcia w węźle. Układy tego typu dzięki zastosowaniu tyristorów pozwalają na szybką regulację mocy biernej przez regulację susceptancji układu.

Układy STATCOM

STATCOM - Static Compensator - coraz częściej instalowane. Jest to nowszy rodzaj tyristorowego kompensatora statycznego. Układy STATCOM są płynnie regulowanymi źródłami prądu biernego (SVC są płynnie regulowaną susceptancją, na tym polega różnica). Zadaniem układu STATCOM jest dostarczenie do danego punktu sieci przesyłowej prądu biernego pojemnościowego lub indukcyjnego, zgodnie z ustaloną wcześniej algorytmem sterowania. Moc bierna takiego układu jest proporcjonalna do iloczynu napięcia i prądu.

W układzie SVC wielkością sterowaną była susceptancja, natomiast w układzie STATCOM wielkością sterowaną jest napięcie. Moc bierna wytwarzana przez STATCOM może się płynnie zmieniać w pewnych granicach niezależnie od wartości napięcia w sieci. Tego typu układy cechują się dobrymi własnościami regulacyjnymi i potrafią silnie oddziaływać na tłumienie oscylacji elektromechanicznych w systemie, co prowadzi do zdecydowanej poprawy stabilności systemu elektroenergetycznego.

Źródło

1. Wykłady SEE2 - wykład 5, 6

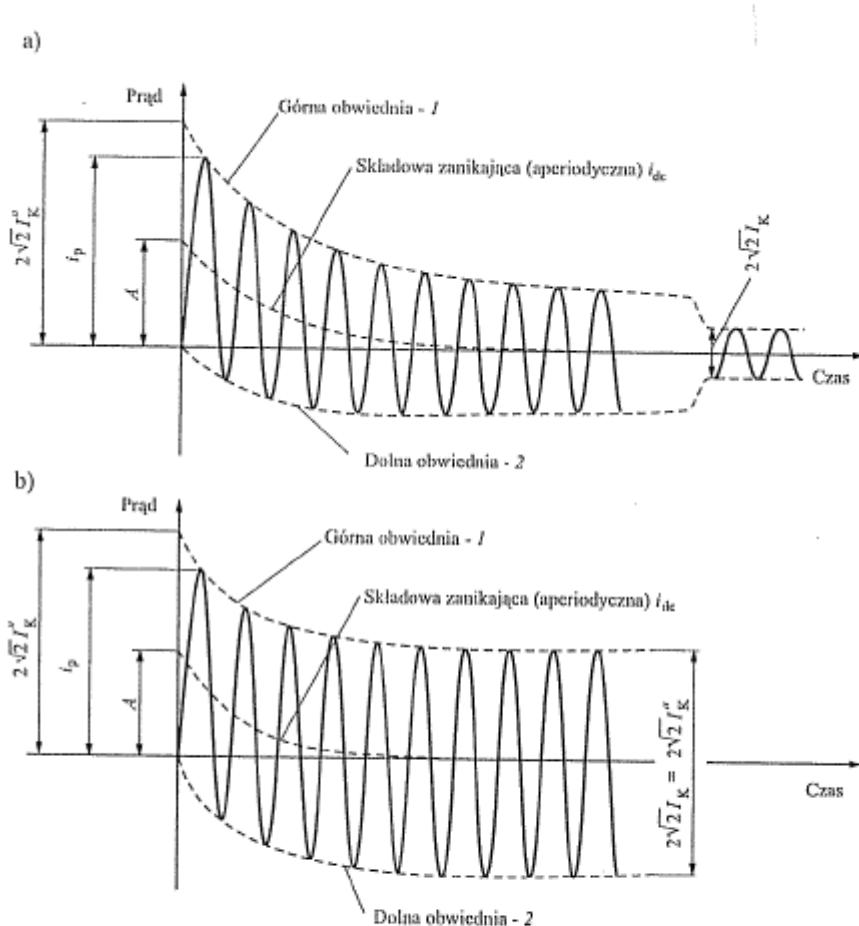
D. Analiza zwarć: przebieg prądu zwarciowego, prąd zwarciowy początkowy, udarowy, wyłączeniowy, zastępczy cieplny, moc zwarciowa, składowe symetryczne w analizie zwarć niesymetrycznych

piątek, 8 stycznia 2021 13:06

Przebieg prądu zwarciowego

Przebieg prądu zwarciowego składa się z dwóch składowych: składowej zanikającej (aperiodycznej) oraz składowej ustalonej. Składowa przejściowa ma maksymalną wartość w chwili powstania zwarcia i po pewnym czasie zanika. Składowa ustalona ma przebieg sinusoidalny i wielkość amplitudy, która utrzymuje się po zaniknięciu składowej aperiodycznej.

Przebieg prądu zwarciowego zależy od odległości od generatora. Jeśli zwarcie ma miejsce w pobliżu generatora, wielkość składowej ustalonej maleje z czasem. Jeśli zwarcie jest odległe od generatora, wartość skuteczna składowej stałej nie maleje z czasem.



Rys. 7.1. Przebiegi wielkości zwarciowych wraz z oznaczeniami wprowadzonymi w normie IEC 60909: a) zwarcie w pobliżu generatora; b) zwarcie odległe od generatora
 I_k^* – prąd zwarciowy początkowy, i_p – prąd ударowy, I_k – ustalony prąd zwarciowy, i_{dc} – składowa nieokresowa zanikająca prądu zwarciowego, A – wartość początkowa składowej nieokresowej, 1 – obwiednia góra, 2 – obwiednia dolna

Prądy zwarciowe

Zgodnie z normami IEC, wyróżnia się kilka definicji określających prądy zwarciowe w systemach elektroenergetycznych.

Prąd zwarciowy początkowy

Prąd zwarciowy początkowy to wartość skuteczna składowej okresowej prądu zwarciowego w pierwszej chwili zwarcia. Prąd zwarciowy początkowy to podstawowa wielkość wyznaczana w metodzie określonej normą IEC. Inne charakterystyczne wielkości prądu zwarciowego są powiązane z prądem początkowym prostymi zależnościami. Metoda IEC zaleca, by prąd zwarcia w sieciach promieniowych wyznaczać indywidualnie dla każdego możliwego źródła prądu.

Prąd zwarciowy udarowy

Prąd udarowy definiowany jest jako **największa wartość chwilowa prądu zwarciowego**. Oblicza się ją ze wzoru mnożącego prąd zwarciowy początkowy przez współczynnik wzmocnienia i pierwiastek z 2.

Prąd zwarciowy wyłączeniowy

Prąd zwarciowy to bieżąca wartość skuteczna prądu zwarciowego w chwili rozdzielenia styków wyłączenia. Dla zwarcia odległego od generatora, ma wartość równą prądowi zwarciowemu początkowemu. Dla zwarcia w pobliżu generatora - ma wartość mniejszą, opisywaną stosownym współczynnikiem zależnym od czasu do otwarcia styków wyłączenia i stosunku wartości prądu zwarciowego w chwili początkowej i w chwili otwarcia styków.

Prąd zwarciowy zastępczy cieplny

Prąd zastępczy cieplny jest definiowany jako taki prąd przemienny, który daje taki sam efekt cieplny, jak rzeczywisty prąd zwarcia w czasie trwania zwarcia.

Moc zwarciowa

Moc zwarciowa definiowana jest jako iloczyn prądu początkowego, napięcia znamionowego i współczynnika $\sqrt{3}$. Moc ta nie ma znaczenia fizykalnego, ponieważ jest iloczynem wielkości nie występujących jednocześnie. Niemniej jednak bardzo dobrze opisuje warunki zwarciowe, umożliwiając wyznaczenie parametrów zastępczych obwodu zwarciowego oraz innych charakterystycznych wielkości prądu zwarciowego.

Składowe symetryczne w analizie zwarć niesymetrycznych

Ze względu na łatwość analizowania stanów symetrycznych dąży się do przekształcenia zwarcia niesymetrycznego w kilka stanów symetrycznych. Można to uczynić na wiele sposobów, ale najprostszym jest przekształcenie układu współrzędnych fazowych ABC w nowy układ współrzędnych, nazywany układem składowych symetrycznych 012, w którego skład wchodzą składowa zerowa, zgodna i przeciwna.

Przekształcenie to uzyskuje się przez zastosowanie w układzie ABC operatora obrotu z odpowiednią potęgą dla wartości w danej fazie. W układzie 012 można zamodelować wszystkie elementy systemu elektroenergetycznego, co umożliwia ich analizę w ten sposób. Ponadto, dla każdej ze składowych symetrycznych można zastosować twierdzenie Thevenina.

Zapis w układzie składowych symetrycznych impedancji poszczególnych elementów układu pozwala oprócz analizy zwarć na określenie warunków skuteczności uziemienia punktu neutralnego sieci.

Źródło

1. Kacejko - *Zwarcia w systemach elektroenergetycznych*
2. Markiewicz - *Instalacje Elektryczne*
3. Markiewicz - *Urządzenia Elektroenergetyczne*
4. Wykłady SEE1 - Wykład 6, 7, 8, 9
5. <http://doi.prz.edu.pl/pl/pdf/elektrotechnika/67>
6. http://www.edwardmusial.info/pliki/prad_zwarc.pdf

12. Urządzenia elektryczne

piątek, 8 stycznia 2021 13:02

A. Warunki palenia się i gaszenia łuku elektrycznego prądu stałego oraz przemiennego

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Łuk elektryczny jest zjawiskiem, w którym przy przerwaniu obwodu, w którym płynie prąd o pewnej określonej wartości i przy określonym napięciu, dochodzi do wyładowania łukowego charakteryzującego się wysoką temperaturą gazu i elektrod. Warunkiem palenia się łuku jest zachodzenie procesów:

- jonizacji zderzeniowej - gdy w powietrzu występują wolne elektrony i są w stanie prowadzić zderzeniowo do jonizacji cząsteczek powietrza
- Jonizacji termicznej gazu - gdy przy pewnej temperaturze, cząstki gazu nabierają odpowiednio dużej energii kinetycznej by jonizować inne cząstki
- Jonizacji termicznej elektrod - gdy po rozgrzaniu elektrod i gazu, może dojść do sytuacji w której rozgrzane elektrony są emitowane z powierzchni elektrody

Procesom jonizacji towarzyszą procesy dejonizacji, które obejmują:

- neutralizację ładunków elektrycznych w pobliżu ścianek i elektrod,
- neutralizację przez rekombinację w przestrzeni międzyelektrodowej (łączenie się elektronów z jonami dodatnimi)
- dyfuzję (ucieczkę jonów i elektronów poza obszar wyładowania łukowego)
- Dysocjację (pobór energii cieplnej przez atomy wynikające z rozpadu cząsteczek gazów)

Warunkiem palenia się łuku jest przewaga zjawisk jonizacyjnych nad zjawiskami dejonizacji, stąd warunkiem gaszenia łuku jest zmiana tej przewagi na drugą stronę.

Gaszenie łuku prądu przemiennego

Łuk elektryczny prądu przemiennego, niezależnie od stopnia zjonizowania przestrzeni międzyelektrodowej, co pół okresu przyjmuje chwilową wartość 0 i zmienia kierunek przepływu. Łuk gaśnie, gdy wartość chwilowa prądu jest mniejsza od minimalnej warunkującej palenie się łuku.

W czasie przerwy bezprądowej, zwiększa się wytrzymałość elektryczna przerwy międzystykowej, a napięcie między stykami łącznika wzrasta od napięcia zgaszenia do chwilowej wartości napięcia zasilania. Jeżeli wzrost wytrzymałości elektrycznej przerwy międzyelektrodowej przebiega odpowiednio szybko, to ponowny zapłon łuku nie następuje - i właśnie to jest wykorzystywane przy gaszeniu łuku prądu przemiennego.

Przed ostatecznym zgaszeniem łuku, może się on zapalać i gasić kilkukrotnie. Zgaszenie wymuszone łuku prądu przemiennego jest możliwe, jeżeli proces gaszenia będzie przebiegał w czasie krótszym niż pół okresu, przed naturalną zmianą kierunku przepływu prądu. W praktyce jest to możliwe przy zastosowaniu łączników próżniowych lub podczas gaszenia prądów roboczych o niewielkich wartościach

Gaszenie łuku prądu stałego

Zgaszenie łuku prądu stałego następuje wtedy, gdy łuk zostanie rozciągnięty na odpowiednio dużą odległość lub nastąpi bardziej intensywne odbieranie ciepła z kolumny łukowej. Zwiększa to gradient napięcia łuku. Energia wymagana do podtrzymania łuku staje się wtedy większa od energii, którą obwód jest w stanie do łuku dostarczyć.

Źródło

1. Opracowanie własne na podstawie: Markiewicz - *Instalacje Elektryczne*; Markiewicz - *Urządzenia elektroenergetyczne*

B. Sposoby gaszenia łuku elektrycznego wykorzystywane w konstrukcjachłączników niskiego i wysokiego napięcia

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Podstawowe elementyłączników

Podstawowymi elementamiłączników niskiego i wysokiego napięcia są styki ruchome, styki nieruchome, komorygaszeniowe oraz napędłączników.

Sposobygaszenia łuku elektrycznego wkonstrukcjachłączników niskiego i wysokiego napięcia

1. **W powietrzu (wyłączniki magnetowydmuchowe)** - polega na rozciągnięciu łuku nadługość większą niż krytyczna poprzez szybkie zwiększenie odległości między stykami lub elektrodynamiczne oddziaływanie pola magnetycznego na ładunki wypełniające plazmę łuku.
2. **W cieczach (wyłączniki małoolejowe)** - polega na chłodzeniu powierzchniowym i odbieraniu energii z przestrzeni łukowej; łuk gaśnie ostatecznie gdy zostanie rozciągnięty nadługość, przy której po naturalnym zgaśnięciu łuku nie dojdzie do jego ponownego zapłonu
3. **W strumieniu sprężonego powietrza (wyłączniki pneumatyczne)** - polega na skierowaniu na łuk sprężonego powietrza, które odbiera ciepło z komorygaszeniowej
4. **W strumieniu sprężonego sześciofluoru siarki (wyłączniki z SF₆)** - polega na wykorzystaniu silnych elektrowjemnych właściwości SF₆, który ma 3-krotnie większą od powietrza wytrzymałość elektryczną
5. **W próżni (wyłączniki próżniowe)** - polega na wykorzystaniu próżni rzędu $10^{-3} - 10^{-5}$ Pa w specjalnej komorze z elektrodami oddalonymi od siebie od kilku do kilkunastu milimetrów - próżnia ma wytrzymałość elektryczną dużo większą od powietrza
6. **W obecności materiałów samogazujących (bezpieczniki, wyłączniki gazowydmuchowe)** - polega na wykorzystaniu materiałów, które pod wpływem wysokiej temperatury wydzielają duże ilości gazów (głównie wodoru); gazy te wykazują dobre właściwości gaszenia łuku i chłodzenia
7. **W materiałachdrobnoziarnistych (bezpieczniki)** - polega na tym, że prąd przeciżenia powoduje mechaniczne uszkodzenie elementu topikowego, a zapalający się łuk spotyka się z dużą rezystancją w postaci materiału drobnoziarnistego co prowadzi do szybkiego jego wygaśnięcia.

Źródło:

1. Opracowanie własne na podstawie: Markiewicz - *Urządzenia Elektroenergetyczne*

C. Rodzaje, zasada budowy, charakterystyki czasowo-prądowe zabezpieczeń zwarciowych i przeciążeniowych, w tym wyłączników samoczynnych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Charakterystyki czasowo-prądowe

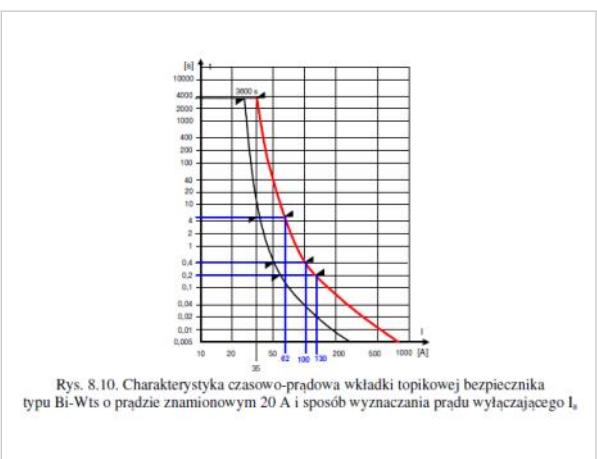
W instalacjach elektrycznych dla celów ochrony przez samoczynny wyłączenie zasilania wykorzystuje się stosowane w nich urządzenia nadprądowe mające zapewnić ochronę przewodów i odbiornika przed skutkami zwarć i przeciążeń. Urządzenia nadprądowe można podzielić na trzy zasadnicze rodzaje:

- A. Urządzenia jednocześnie chroniące przed prądem przeciążeniowym i zwarciowym:
 - o Bezpieczniki topikowe: instalacyjne z pełnozakresową charakterystyką lub bezpieczniki przemysłowe (mocy) bezzwłoczne i zwłoczne
 - o Wyłączniki samoczynne z wyzwalaczem termicznym i elektromagnetycznym
- B. Urządzenia chroniące wyłącznie przed prądem zwarciowym
 - o Bezpieczniki topikowe z niepełnozakresową charakterystyką (typu aM)
 - o Wyłączniki samoczynne z wyzwalaczem elektromagnetycznym
- C. Urządzenia chroniące wyłącznie przed prądem przeciążeniowym
 - o Wyłączniki lub styczniaki wyposażone tylko w wyzwalacz termiczny

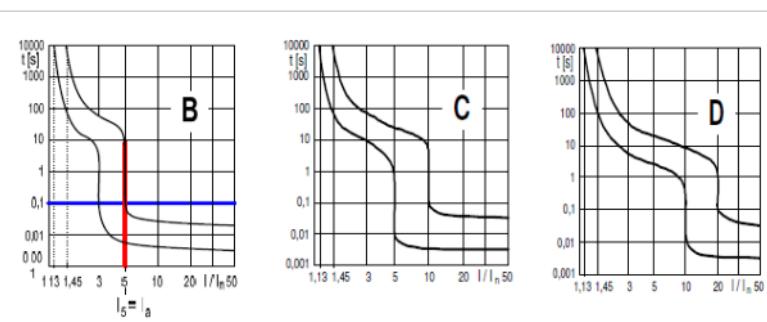
Charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników mają charakterystyki pasmowe o minimalnym i maksymalnym prądzie wyłączającym, równym pewnej krotności prądu znamionowego.

Charakterystyki wyłączników instalacyjnych wyposażonych w wyzwalacze elektromagnetyczne i termiczne dzielą się na urządzenia o charakterystykach A, B, C i D. Zadziałanie wyłącznika musi w nich nastąpić przy wystąpieniu pewnej krotności prądu znamionowego:

- Charakterystyka typu A: przy 3-krotności prądu znamionowego
- Charakterystyka typu B: przy 5-krotności prądu znamionowego
- Charakterystyka typu C: przy 10-krotności prądu znamionowego
- Charakterystyka typu D: przy 20-krotności prądu znamionowego



Rys. 8.10. Charakterystyka czasowo-prądowa wkładki topikowej bezpiecznika typu Bi-Wts o prądzie znamionowym 20 A i sposób wyznaczania prądu wyłączającego I_s



Rys. 8.11. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników instalacyjnych serii S-300

Rodzaje i zasada budowy

Wyłączniki

Wyłączniki są przeznaczone do łączenia i wyłączania obwodów oraz urządzeń, w których mogą płynąć prądy o dużych wartościach, w tym również prądy zwarciowe. Wyłączniki są wyposażone w wyzwalacze przeciążeniowe (zazwyczaj termobimetalowe) oraz wyzwalacze zwarciowe (elektromagnetyczne). Oprócz tego ich najistotniejszymi elementami są mechanizm zamka - czyli urządzenie do rozłączania i łączenia prądów oraz komora gaszeniowa do gaszenia łuku

elektrycznego.

W zależności od komory gaszeniowej, można wyróżnić:

- **Wyłączniki małoolejowe** - polegają na gaszeniu łuku w cieczy, czyli chłodzeniu powierzchniowym i odbieraniu energii z przestrzeni łukowej
- **Wyłączniki pneumatyczne** - polega na skierowaniu na łuk sprężonego powietrza, które odbiera ciepło z komory gaszeniowej
- **Wyłączniki z sześciouluorem siarki** - wykorzystuje się elektroujemne właściwości SF₆, który ma 3-krotnie większą od powietrza wytrzymałość elektryczną; działają jak pneumatyczne
- **Wyłączniki próżniowe** - gaszenie łuku przy bardzo niskim ciśnieniu; wynika to z faktu że próżnia ma wytrzymałość elektryczną dużo większą od powietrza
- **Wyłączniki magnetowydmuchowe** - łuk jest rozciągany na długość większą niż krytyczna wskutek szybkiego zwiększenia odległości między stykami lub elektrodynamycznego oddziaływania pola magnetycznego na ładunki wypełniające plazmę łuku

Podstawowymi parametrami wyłączników są:

- **Umowny prąd niezadziałania** - największa wartość skuteczna prądu, który może przepływać przez wyłącznik w określonym umownym czasie nie powodując jego zadziałania
- **Umowny prąd zadziałania** - najmniejsza wartość prądu, który przepływając przez wyłącznik spowoduje jego zadziałanie przed upływem określonego umownego czasu
- **Prąd zadziałania bezwzględnego** - wartość prądu, który powoduje bezwzględne zadziałanie wyłącznika

Na podstawie ww. parametrów, wyróżnia się charakterystyki wyłączników.

Wyróżnia się następujące rodzaje wyłączników:

- **Wyłączniki instalacyjne** - przeznaczone do sterowania i zabezpieczeń przed skutkami przeciążeń i zwarć obwodów odbiorczych instalacji oraz urządzeń elektrycznych w gospodarstwach domowych i innych; na ogół wytwarzane na napięcia do 440V i prądy do 125A, o charakterystykach B, C i D
- **Wyłączniki silnikowe** - przeznaczone do sterowania i zabezpieczeń przed skutkami przetżeń oraz dzięki zainstalowaniu dodatkowych wyzwalaczy również przed niepożdanymi skutkami związanymi z zanikiem lub znacznym obniżeniem się napięcia, niesymetrią obciążenia i niepełnofazową pracą urządzeń; wyłączniki tego typu mogą być wyposażane w wyzwalacze przeciążeniowe i zwarciowe lub w tylko jeden rodzaj wyzwalaczy
- **Wyłączniki sieciowe i stacyjne** - charakteryzujące się bardzo dużymi wartościami prądów znamionowych ciągłych oraz prądów włączalnych, przeznaczone są do łączenia i zabezpieczania przed skutkami zwarć i przeciążeń oraz zaniku napięcia w dużych transformatorach, maszynach elektrycznych, liniach zasilających i innych urządzeniach o bardzo dużych prądach roboczych, stosowanych w sieciach o dużych spodziewanych wartościach prądów zwarciowych
- **Wyłączniki ograniczające** - stosowane w sieciach niskiego napięcia o dużej liczbie odbiorników o znacznych mocach; mają za zadanie ograniczanie bardzo dużych prądów i reagowanie na największe prądy zwarciowe w bardzo krótkim czasie

Bezpieczniki

Bezpieczniki topikowe są łącznikami jednorazowego działania, przeznaczonymi do samoczynnego wyłączania obwodów i odbiorników w przypadkach przepływu prądów o wartościach większych niż prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych po czasie zależnym od wartości prądu i właściwości (typu) wkładki bezpiecznikowej.

Bezpiecznik jako kompletny łącznik składa się z podstawy i wkładki bezpiecznikowej. Bezpieczniki dzieli się na instalacyjne i przemysłowe

- **Bezpieczniki instalacyjne** - do mocowania wkładki w gnieździe służy specjalna gwintowana główka; wymiana wkładki może być wykonana przez osoby bez fachowego przygotowania - nie ma możliwości włożenia wkładki o większym prądzie znamionowym (inne średnice główek)

- **Bezpieczniki przemysłowe** - wkładki bezpiecznikowe wykonane przeważnie w postaci ceramicznych prostopadłościanów ze stykami nożowymi srebrzonymi mocowanymi w podstawie bezpiecznikowej ze stykami szczękowymi; bezpieczniki takie powinny być obsługiwane tylko przez osoby upoważnione.

Najbardziej istotną częścią bezpiecznika jest element topikowy (topik) wykonany przeważnie z miedzi, w postaci drutu lub kilku drutów połączonych równolegle albo nawet paska lub kilku pasków. Elementy topikowe są umieszczone w ceramicznym korpusie wkładki wypełnionym piaskiem kwarcowym. Piasek ten ułatwia odprowadzenie ciepła z elementu topikowego w czasie długotrwałego przepływu prądu, gaszenie łuku po stopieniu się elementu topikowego oraz ogranicza ciśnienie przenoszone na ścianki korpusu wkładki podczas palenia się łuku.

Źródło

1. Markiewicz - *Instalacje elektryczne*
2. Markiewicz - *Urzędzenia elektroenergetyczne*
3. Danielski - *Materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Bezpieczeństwo Elektryczne oraz Systemy Ochrony Przed Zagrożeniami Prądem Elektrycznym*

D. Nagrzewanie się przewodów i aparatów elektrycznych w warunkach roboczych i zwarciowych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Prądy robocze powodują nagrzewanie się przewodnika w zależności od jego rezystancji zgodnie z zależnością IR^2 . Krótkotrwale prądy zwarciowe mogą spowodować szybki przyrost temperatury przewodu oraz elementów urządzeń przyległych do przewodów.

Warunki robocze

W warunkach roboczych, płynący w uzwojeniach urządzeń czy przewodach prąd elektryczny wywołuje pewne straty mocy zgodnie z zależnością $\Delta P = I^2 R$, co powoduje podwyższenie się temperatury tych przewodów, uzwojeń oraz poszczególnych części maszyn i urządzeń nieprzewodzących prądu elektrycznego w normalnych warunkach pracy.

Jeśli obciążenie urządzeń jest długotrwałe większe niż obciążenie znamionowe lub są one eksploatowane w warunkach technicznych i środowiskowych gorszych od ustalonych i oznaczonych na tabliczce znamionowej, to dopuszczalne przyrosty temperatury mogą być przekraczane. Urządzenia lub ich części są wtedy nadmiernie nagrzewane, co może spowodować uszkodzenie ich izolacji lub zniszczenie urządzeń. W skrajnych przypadkach może to prowadzić nawet do pożaru.

Jeśli chodzi o przewody, należy dobrać ich odpowiedni przekrój co warunkuje sposób ułożenia przewodów i wynikająca z niego dopuszczalna obciążalność prądowa długotrwała. W przypadku urządzeń, o parametrach cieplnych decyduje ich rodzaj pracy: ciągła, dorywcza, przerywana i inne.

Praca ciągła to najprostszy przypadek - urządzenie pozostaje załączone cały czas. W przypadku pracy dorywczej, urządzenie jest załączane tylko od czasu do czasu i nie osiąga swojej granicznej temperatury w czasie krótkiej pracy. Z kolei praca przerywana wyznacza cykle działania maszyny na podstawie krzywych nagrzewania i stygnięcia, które określają przez ile czasu urządzenie może być włączone.

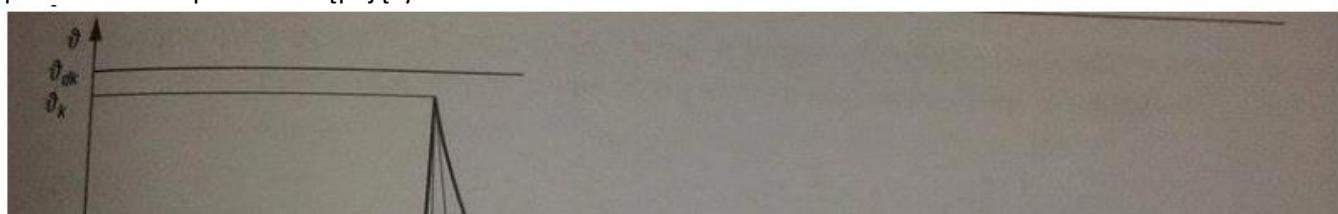
Warunki zwarciowe

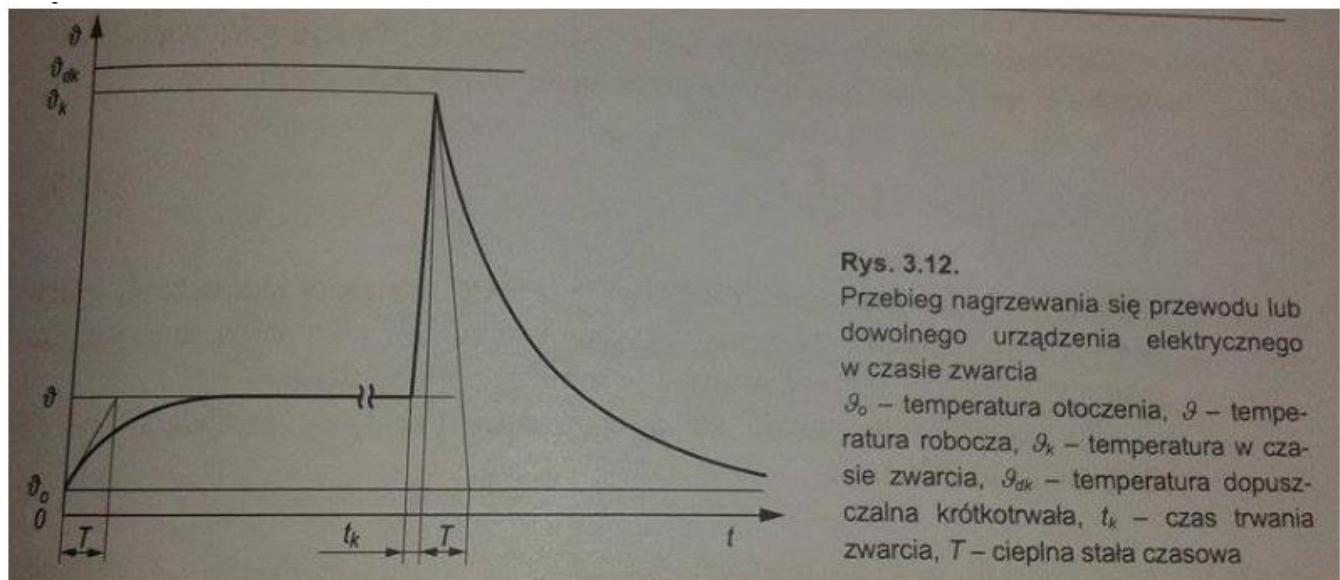
Urządzenia elektryczne obciążone prądem roboczym i mające temperaturę zbliżoną do granicznej dopuszczalnej długotrwałe mogą zostać dodatkowo obciążone prądem zwarciowym wielokrotnie większej od prądu roboczego, który wywoła dodatkowy przyrost temperatury elementów urządzeń.

Szybkie nagrzewanie i krótki czas działania zwarcia sprawiają, że można pominąć oddawanie ciepła do otoczenia podczas samego zwarcia, co upraszcza równanie bilansu cieplnego. Z samego bilansu cieplnego wynika, że jeśli przewodniki oddają mniej ciepła niż jest im dostarczane, zaczynają się nagrzewać.

W doborze przewodów i urządzeń należy uwzględnić skutki cieplnych prądów zwarciowych. Z obliczeń bilansu cieplnego można ustalić minimalny przekrój przewodu, który w danych warunkach zwarciowych nie nagrzeje się do temperatury wyższej od założonej granicznej dopuszczalnej, temperaturę przewodnika na końcu trwania zwarcia oraz wyznaczenie granicznej wartości prądu zwarciowego cieplnego.

Interpretację graniczną nagrzewania się przewodników w warunkach zwarciowych można przedstawić w sposób następujący:





Rys. 3.12.

Przebieg nagrzewania się przewodu lub dowolnego urządzenia elektrycznego w czasie zwarcia

θ_0 – temperatura otoczenia, θ – temperatura robocza, θ_k – temperatura w czasie zwarcia, θ_{dk} – temperatura dopuszczalna krótkotrwala, t_k – czas trwania zwarcia, T – cieplna stała czasowa

Źródło

1. Opracowanie własne na podstawie: Markiewicz - *Urządzenia Elektroenergetyczne*
2. Markiewicz - *Urządzenia Elektroenergetyczne*
3. Markiewicz - *Instalacje elektryczne*

E. Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach elektrycznych w układach sieciowych TN, TT, IT - kryteria, sprawdzanie skuteczności ochrony

piątek, 8 stycznia 2021 13:14

Ochrona przeciwporażeniowa zgodna z IEC i CENELEC oparta jest na strukturze trójstopniowej, którą tworzą:

- Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa)
- Ochrona przy dotyku pośrednim (ochrona przy uszkodzeniu)
- Ochrona uzupełniająca

Ochrona podstawowa

Zadaniem tej ochrony jest uniemożliwienie przepływu prądu elektrycznego przez ciało człowieka w normalnych warunkach pracy instalacji, tj. uniemożliwienie dotknięcia części czynnych urządzeń lub ograniczenie wartości prądu rażenia do wartości nie stwarzającej zagrożenia.

Za środki ochrony podstawowej przyjmuje się:

- izolowanie części czynnych urządzeń,
- stosowanie ogrodzeń, obudów lub barier
- umieszczanie części czynnych urządzeń poza zasięgiem ręki.

Ochrona przy uszkodzeniu

Powinna skutecznie chronić człowieka w sytuacjach, gdy na częściach przewodzących dostępnych i obcych pojawi się niebezpieczne napięcie dotykowe, czyli gdy zostanie uszkodzona izolacja podstawowa urządzenia.

Zadaniem ochrony przy uszkodzeniu jest:

- samoczynne wyłączenie zasilania w takim czasie, że pojawiające się na częściach przewodzących dostępnych i obcych napięcie dotykowe nie wywoła porażenia elektrycznego lub
- Uniemożliwienie pojawienia się na częściach przewodzących dostępnych i obcych napięcia dotyковego lub
- Ograniczenie prądu rażenia do wartości przyjętej za dopuszczalną długotrwałe.

Do środków ochrony przy uszkodzeniu zalicza się :

- **samoczynne wyłączenie zasilania** - np. wyłączniki instalacyjne
- **urządzenia II klasy ochronności** - zmniejszeniu prawdopodobieństwa wystąpienia napięcia dotyковego na częściach dostępnych urządzeń
- **środowisko nieprzewodzące** - czyli zrobienie np. takiej podłogi, że jak ktoś stoi i dotknie urządzenia pod napięciem to rezystancja podłogi ogranicza niemal do zera prąd porażeniowy
- **nieuziemione połączenia wyrównawcze** - na stanowisku izolowanym łączy się np. metalowe stoły które na nim są, żeby miały równy potencjał i nie następował przepływ prądu w razie dotknięcia obu
- **separację elektryczną dla zasilania odbiorników** - oddzielanie np. transformatorem separacyjnym obwodu zasilającego odbiornik; ogranicza to prawdopodobieństwo zwarcia doziemnego

Ochrona uzupełniająca

Ochrona uzupełniająca może uzupełniać ochronę przed dotykiem bezpośredniem lub pośrednim. W pierwszym przypadku nie jest obowiązkowa i zaleca się ją stosować tylko wtedy gdy dotknięcie części czynnych jest prawdopodobne (prace remontowe). W drugim przypadku, czyli uzupełnieniu ochrony przy dotyku pośrednim, jest wymagana dla całej instalacji elektrycznej a dla jej części tylko w

określonych przypadkach.

Podstawowym środkiem ochrony uzupełniającej w instalacjach jest wyłącznik różnicowoprądowy.

Ochrona przy uszkodzeniu - warunki skuteczności

Samoczynne wyłączenie zasilania

Układ TN

Warunkiem skuteczności ochrony przez **samoczynne wyłączenie zasilania w sieci TN** jest, aby:

1. Przy zwarciu przewodu fazowego i części przewodzącej urządzenia lub przewodu ochronnego ma popływać wystarczająco duży prąd wyłączający, żeby urządzenie zabezpieczające odłączyło zasilanie w odpowiednio krótkim czasie
2. W najniższej kondygnacji budynku wykonane były główne połączenia wyrównawcze łączące główny przewód ochronny instalacji, główną szynę uziemiającą, rury zasilające wewnętrzne instalacje obiektu, metalowe zbrojenia oraz lokalny uziom dodatkowy.
3. W sieci zasilającej wykonane były uziemienia dodatkowe, zapewniające obniżenie potencjału przewodów ochronnych możliwie blisko potencjału ziemi.

Kryteria skuteczności ochrony przez **samoczynne wyłączenia zasilania w układzie TN**:

1. Sprawdzenie skuteczności ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN sprawdza się do pomiaru impedancji pętli zwarcia.
2. Jeśli warunek impedancji pętli zwarcia nie jest spełniony, musi zostać zapewniony odpowiednio mały spadek napięcia na przewodzie ochronnym PE między rozdzielnicą zasilającą odbiorniki a miejscem przyłączenia przewodu PE do głównej szyny uziemiającej lub należy wykonać w rozdzielnicy połączenia wyrównawcze dodatkowe przyłączone do tych samych części przewodzących obcych co połączenia wyrównawcze główne.

Układ TT

Samoczynne wyłączenie zasilania

W sieci TT ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania jest stosowana znacznie rzadziej niż w sieci TN ze względu na znaczne trudności z zapewnieniem jej prawidłowego działania przy wyposażeniu sieci w zabezpieczenia nadprądowe, zwłaszcza o dużych prądach znamionowych.

Warunek skuteczności samoczynnego wyłączenia zasilania w układzie TT ma postać:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a}$$

Gdzie R_A - dopuszczalna resystancja uziemienia części przewodzących dostępnych badanego urządzenia; I_a - prąd powodujący samoczynne, w wymaganym czasie, wyłączenie zasilania; U_L - dopuszczalna wartość napięcia dotykowego

Układ IT

Samoczynne wyłączenie zasilania

W normalnych warunkach pracy sieci IT, pojedyncze zwarcia doziemne nie stwarzają zbyt dużego zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym. Ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania przy pojedynczym zwarciu doziemnym w sieciach IT stosuje się wtedy, gdy warunki pracy sieci stwarzają znaczne zagrożenie porażeniowe obsługi (wysoka temperatura, wilgotność, praca na otwartym powietrzu) lub zagrożenie pożarowe albo wybuchowe (kopalnie metanowe, zakłady chemiczne itp.).

W sieciach o układzie IT części przewodzące dostępne wszystkich urządzeń powinny być uziemione indywidualnie, grupowo lub zbiorowo. Rezystancja uziemienia musi mieć taką wartość, by prąd

zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego mógł przepiągnąć przy pojawienniu się dopuszczalnego długotrwałego napięcia dotykowego na urządzeniu. W przypadku podwójnego zwarcia doziemnego, warunek jest praktycznie taki sam.

W układzie IT stosuje się urządzenia do kontroli stanu izolacji UKSI. Powodują one samoczynne wyłączenie sieci przy pojedynczym zwarciu doziemnym lub przy dopuszczeniu występowania zwarć doziemnych. Urządzenia te kontrolują izolację między częścią czynną i uziemieniem instalacji.

Urządzenia różnicowoprądowe

Urządzenia różnicowoprądowe dobiera się tak, by prąd zwarcia doziemnego był większy od prądu na który wyłącznik różnicowoprądowy zareaguje. W praktyce, sprowadza się to do odpowiednio małej impedancji przewodu ochronnego i doboru odpowiedniego urządzenia do określonego obwodu.

W sieciach IT, jeśli urządzenie różnicowoprądowe ma wyłączać prądy pojedynczych zwarć doziemnych, musi być wysokoczułe. Jeśli ma reagować tylko na prądy zwarć podwójnych doziemnych, to musi zostać zainstalowane w obwodzie z danym urządzeniem.

Sprawdzenie skuteczności w warunkach domowych urządzenia różnicowoprądowego sprowadza się do naciśnięcia przycisku test. W warunkach testów czy odbioru, należy sprawdzić czy RCD reaguje na mniejsze prądy, bliższe znamionowej czułości.

Ochrona przez zastosowanie izolowanego stanowiska

Ochrona przez zastosowanie izolowanego stanowiska jest skuteczna, gdy stanowisko ma podłogę i ściany izolowane tak, że w każdym ich punkcie rezystancja izolacji nie jest mniejsza od

- $50\text{k}\Omega$ gdy napięcie znamionowe instalacji jest mniejsze od 500V
- $100\text{k}\Omega$ gdy jest wyższe.

Wymagania stawiane ochronie przeciwporażeniowej

1. Każdy środek ochrony powinien składać się z odpowiedniej kombinacji środka do ochrony podstawowej i niezależnego środka do ochrony przy uszkodzeniu lub ochrony wzmacnionej zapewniającej zarówno ochronę podstawową jak i ochronę przy uszkodzeniu. W każdej części instalacji powinien być zastosowany jeden lub więcej środków ochrony
2. W powszechnym stosowaniu norma dopuszcza samoczynne wyłączenie zasilania, izolację podwójną lub wzmacnioną, separację elektryczną jednego odbiornika i bardzo niskie napięcie SELV / PELV.
3. Jeśli środki ochrony przeciwporażeniowej nie mogą być skuteczne, powinny być zastosowane odpowiednio dobrane środki uzupełniające zapewniające wraz ze środkami ochrony przeciwporażeniowej uzyskanie wymaganego stopnia bezpieczeństwa.
4. W układach TT i TN, jako środek uzupełniający może być stosowany wyłącznik różnicowoprądowy wysokoczuły. Wyłącznik taki jest uzupełnieniem ochrony podstawowej i ochrony przy uszkodzeniu.
5. Ochrona podstawowa wchodząca w skład ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania powinna być zapewniona przez zastosowanie izolacji podstawowej stałej lub gazowej. W przypadku gazowej, trzeba też stosować obudowę lub ogrodzenie.
6. Ochrona przy uszkodzeniu powinna polegać na zastosowaniu:
 - Uziemienia ochronnego
 - Połączeń wyrównawczych ochronnych
 - Samoczynnego wyłączenia zasilania
 - Wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego dla ochrony uzupełniającej
7. Części przewodzące dostępne powinny być połączone z uziemionym przewodem ochronnym,

uziemionym w sposób odpowiedni dla rozpatrywanego układu sieciowego.

8. Norma określa maksymalne czasy samoczynnego wyłączenia zasilania w obwodach odbiorczych o układach TT i TN.
9. Podstawowy warunek skuteczności samoczynnego wyłączenia zasilania w układzie TN:
 - $Z_S I_a \leq U_0$
10. W układzie TT, warunkami samoczynnego wyłączenia zasilania są:
 - Przy stosowaniu wyłącznika różnicowoprądowego: $R_A I_{\Delta n} \leq U_L$
 - Przy stosowaniu urządzenia nadprądowego: $Z_S I_a \leq U_0$

We wzorach U_0 jest napięciem znamionowym przewodu liniowego względem ziemi, R_A jest sumą rezystancji uziomu i przewodu uziemiającego łączącego uziom z częścią przewodzącą dostępną.

Sprawdzenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej

Kontrola skuteczności ochrony przeciwporażeniowej sprowadza się do różnego rodzaju pomiarów. Można tu wyszczególnić:

1. **Pomiar rezystancji i ciągłości przewodów uziemiających oraz stanowiących połączenia wyrównawcze.** Pomiar przewodów PE może w wyjątkowych sytuacjach zastępować pomiar rezystancji pętli zwarcia. Jest to jedna z metod sprawdzających skuteczność zabezpieczenia przez samoczynne wyłączenie zasilania
2. **Rezystancja izolacji przewodów elektrycznych** przewodów odbiorczych i przewodów instalacji elektrycznych jest kontrolowana w celu wczesnego zapobiegania zwarciom.
3. **Pomiar impedancji pętli zwarcia** pozwala na sprawdzenie warunku podstawowego skuteczności zabezpieczeń przez samoczynne wyłączenie zasilania.
4. **Badanie skuteczności wyłącznika różnicowoprądowego** wykonuje się w taki sam sposób dla różnych układów sieci. Ma to na celu zapewnienie prawidłowego działania ochrony uzupełniającej. Pierwszą rzeczą jest naciśnięcie przycisku TEST. W celu dokładniejszych badań można zmierzyć dokładnie wartość prądu zadziałania RCD - można to zrobić np. specjalnymi testerami lub metodą techniczną.
5. **Pomiary rezystancji stanowisk i występujących na nich napięć dotykowych** są wykonywane dla oceny skuteczności ochrony przy uszkodzeniu polegającym na zastosowaniu stanowiska nieprzewodzącego i nieuziemionych połączeń wyrównawczych, a także oceny zagrożenia pożarem lub wybuchem w wyniku ładunków elektrostatycznych.

Źródło:

1. Danielski - *Materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Bezpieczeństwo Elektryczne oraz Systemy Ochrony Przed Zagrożeniami Prądem Elektrycznym*
2. Instrukcje do laboratorium z Systemów ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym

13. Instalacje elektryczne

piątek, 8 stycznia 2021 13:02

A. Kryteria doboru przekroju doboru przewodów instalacyjnych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Istnieje kilka kryteriów doboru przekroju przewodów instalacyjnych. Są nimi:

0. Napięcie znamionowe izolacji przewodów

Przewody instalacyjne niskiego napięcia są budowane na określone napięcia znamionowe, określające wytrzymałość izolacji między przewodami oraz między żyłami i ziemią lub ekranem. Dany przewód instalacyjny należy zatem dobierać na wartość znamionową co najmniej równą napięciu sieciowemu.

1. Obciążalność prądowa długotrwała

Na początek dobiera się najmniejszy przekrój przewodu wynikający z obciążalności długotrwałej danego przewodu. Aby wyznaczyć tę wielkość, należy obliczyć spodziewane prądy obciążeniowe, a następnie uwzględnić sposób ułożenia i warunki temperaturowe pracy danego przewodu.

2. Dopuszczalny spadek napięcia

Normy określają w instalacjach dopuszczalny spadek napięcia na przewodach - tak, by odbiorniki były zasilane napięciem nie niższym niż 10% znamionowego napięcia (oświetlenie - 5%). Zatem przekrój przewodu powinien mieć odpowiednio małą rezystancję, aby spełnić ten warunek.

3. Wytrzymałość mechaniczna

Przekrój przewodu powinien być dobrany również tak, żeby nie był mniejszy niż określony w przepisach przekrój minimalny dla danego obwodu wynikający z wytrzymałości mechanicznej.

4. Dobór przekroju przewodu neutralnego i ochronnego

Przekroje żył przewodów ochronnych i neutralnych dobiera się w zależności od przekroju przewodu fazowego, na podstawie norm.

5. Wytrzymałość przeciążeniowa

Obciążalność długotrwała powinna być większa niż prąd znamionowy lub nastawa zabezpieczenia przeciążeniowego. Z kolei nastawa zabezpieczenia powinna być większa niż prąd obliczeniowy. Wymusza to zwiększenie przekroju przewodu tak, by spełniał on też stawiany warunek: prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego nie większy niż 1,45 obciążalności prądowej długotrwałej przewodu.

6. Wytrzymałość zwarcia

Dobierając przekrój przewodu należy zapewnić również, by w razie zwarcia urządzenie zabezpieczające przed jego cieplnymi skutkami powodowały przerwanie obwodu przed wystąpieniem niebezpieczeństwa uszkodzeń cieplnych i mechanicznych. Czas zadziałania zależy przy tym od przekroju przewodu i prądu zwarcia - im przekrój jest większy, tym większe prądy zwarciowe mogą być wyłączone.

Przewód jest chroniony przed cieplnymi skutkami zwarcia, jeżeli zgodnie z wymogami normy zabezpieczenie zadziała w czasie na tyle krótkim, że temperatura żył przewodów nie przekroczy temperatury granicznej dopuszczalnej przy zwarciu dla danego typu przewodu.

7. Skuteczność dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej

Przekroje przewodów powinny być dobrane tak, aby w warunkach zakłócenioowych nastąpiło zadziałanie urządzenia odłączającego zasilanie w czasie nie dłuższym niż podany w normie. Oznacza to tyle, że przewody powinny zapewnić odpowiednio małą impedancję pętli zwarcia.

② OBIŚĆ DOBÓR PRZEDŁU I ZABEZPIECZENI W INSTALACJACH NN

1) OBCIĄŻALNOŚĆ DŁUGOTRWAŁA

Dobiera się najmniejszą prądową, której obciążalność skupotrwała I_z jest większa

od prądu obliczeniowego I_{ob}

l. konty. Mierzony:

$$I_B \leq I_{ob} = k_2 \cdot k_1 \cdot I_{ob}$$

\uparrow
wsp.
wsp.
wsp. temperatura

Prąd dopuszczalny skupotrwały
 I_B dopuszczalny skupotrwały
poz. przedłużony

$$I_B = \frac{P}{U_{dop} \cdot n_B}$$

$$I_B = \frac{P}{U_{dop} \cdot n_B \cdot \alpha}$$

2) DOPUSZCZALNY SPADEK NAPIĘCIA

Liczony spadek napięcia między złączem instalacji i urządzeniem obliczonym nie może dochodzić do $6\% U_n$

$$\Delta U_n \leq 6U_{dop}$$

obliczone

l. lop. na u.v. el. napięcie: 10%

bla. zwolnienia: 5%

3) WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNA

Poziomy przewodów kabli nie może być mniejszy od średnicy w przepisach określonych minimum dla tegoż w wytrzymałości mechanicznej.

$$S \gg S_{min}$$

4) DOBÓR ZABEZPIECZEŃ

Charakterystyka wyłącznika nie może pokrywać się z charakterystyką urządzenia.

$$I_n = (1,05-1,1) I_{ob}$$

I_n - Wyłącza

$$I_n \geq I_{z, min}$$

k_{el} - koeff. prądu rezultacyjnego

$$I_n \geq \frac{k_{el} \cdot I_{z, min}}{(3k)}$$

$\alpha = \text{wsp. rezultatyw}$

(3) - 3x rezultat Δ / Δ

5) WYTRZYMAŁOŚĆ PRZECIĄŻENIOWA

Obciążalność skupotrwała I_z powinna być większa niż poł. znamionowy lub następny $I_{z, int}$ stanowiący zabezpieczenie przeciążeniowe, który powinien być większy niż poł. obliczeniowy I_{ob} .

$$I_{ob} < I_{z, int} < I_z$$

Poł. obliczeniowej o wartości $1,45 I_z$ nie powinno wynosić zadańowania nadprądowego zabezpieczenia skupotrwałego

$$I_z \leq 1,45 I_z$$

I_z - najmniejszy poł. zabezpieczenia przedający

zadańowanie zabezpieczenia

6) WYTRZYMAŁOŚĆ ZWARCIOWA

Urządzenia zabezpieczające przed cieplnymi skutkami zwarcia powinny pozwalać przerwanie skutku zwarcia, zanim wystąpi niebezpieczeństwo ochrony cieplnych i mechanicznych.

$$t \leq t_u = \left(\frac{I_b}{I_m} \right)^2 \quad t - \text{czas}, \quad I_b - \text{wsp. cieplna}, \quad I_m - \text{pr. zwarcia pozytywny}$$

7) OCHRONA PRZECIWPORTŻENIOWA

Postrzega przewodów powinny być dobrane tak, aby w warunkach zatłoczeńnych nastąpiło zatrzymanie odłączającego zasilania w czasie nie dłuższym niż podany w normie.

$$\frac{I_b}{I_a} \geq \frac{I_2}{I_1}$$

spełnianie przed
zwarciem

jeżeli zapewnienie samotnego
zatrzymania zabezpieczenia

$$I_a Z_s \leq U_0$$

czas zatrzymania + 0,2s 0,4s 0,5s

8) SELEKTYWNOŚĆ DZIAŁANIA ZBEZPIECZEŃ

Warunek spełniony, jeśli chwilki rozpatrywanych zabezpieczeń nie mają pkt. wspólnych



9) WYŻSZE HARMONICZNE

Wyższe harmoniczne, do LO, nie powinny przekraczać 8% położenia harmonicznego

3

Źródło

1. Urządzenia elektryczne 1 - wykład K. Herlendera
2. Dołęga, Kobusiński - Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych

B. Zasady zabezpieczania i kryteria doboru zabezpieczeń obwodów instalacyjnych (silnikowych, oświetleniowych, gniazdowych)

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Przewody i aparaty elektryczne służące do zasilania, sterowania oraz zabezpieczania instalacji i odbiorników energii elektrycznej dobiera się na obciążenia elektryczne i narażenia środowiskowe, występujące w normalnych warunkach pracy. Należy jednak przy tym uwzględnić możliwość wystąpienia zakłócenioowych stanów pracy instalacji i odbiorników, wywołujących zagrożenie uszkodzeniem lub zniszczeniem urządzeń i odbiorników, zagrożenie dla środowiska oraz osób obsługujących te urządzenia.

Do najczęściej występujących i najbardziej istotnych uszkodzeń i nienormalnych stanów pracy urządzeń należą:

- Zwarcia
- Przeciążenia urządzeń
- Chwilowe zaniki napięcia
- Błędne załączenia i samorozruchy urządzeń

Najpowszechniejsze aktualnie sposoby zabezpieczeń przed skutkami przetężen odbiorników energii elektrycznej, obejmują przede wszystkim:

- Wyłączniki z wyzwalaczami elektromagnetycznymi jako zabezpieczeniami zwarcowymi i wyzwalaczami termobimetalowymi jako zabezpieczeniami przeciążeniowymi
- Bezpieczniki jako zabezpieczenia zwarciove oraz styczni z przekaźnikami termobimetalowymi jako zabezpieczenia przeciążeniowe
- Bezpieczniki jako dodatkowe zabezpieczenia zwarciove oraz wyłączniki lub sterowniki silnikowe z wyzwalaczami elektromagnetycznymi oraz termobimetalowymi lub tylko z wyzwalaczami termobimetalowymi.

Coraz powszechniej stosuję się też przekaźniki przetężeniowe elektroniczne współpracujące z odpowiednimiłącznikami samoczynnymi.

Dobór zabezpieczeń

Silniki niskiego napięcia

Silniki powinny być zaopatrzone w podstawowe zabezpieczenia zwarciove, przeciążeniowe i zanikowe. Zabezpieczeniami tego typu mogą być układy jak opisane wyżej, czyli:

- Bezpiecznik topikowy + przekaźnik termobimetalowy
- Wyłącznik samoczynny
- Bezpiecznik topikowy + wyłącznik / sterownik silnikowy

Zabezpieczenia zwarciove silników muszą być umieszczane w każdej fazie przewodu zasilającego, jak najbliżej źródła zasilania. Prąd znamionowy zabezpieczenia powinien być jak najmniejszy, ale na tyle duży żeby zabezpieczenie nie reagowało w czasie normalnej pracy i w czasie rozruchu silnika.

Warunki te zależą od prądu znamionowego silnika i maksymalnego prądu rozruchowego silnika. Ten drugi zależy od współczynnika alfa zależnego od typu wkładki topikowej, rodzaju i częstości rozruchu silnika oraz współczynnika rozruchu silnika. Na ogół wkładki topikowe dobierane do silników mają charakterystykę niepełnozakresową, typu aM.

W przypadku wyłączników silnikowych, należy dobierać te z charakterystykami zwłocznymi (C lub D), ze względu na wysokość prądów rozruchowych. Wyjątkową sytuacją jest wyłącznik gwiazda trójkąt, który obniża prąd rozruchowy. Należy pamiętać, żeby wyłącznik miał wystarczającą zdolność wyłączania prądów zwarcioowych - jeśli nie, trzeba zastosować dodatkowe zabezpieczenie w postaci

bezpiecznika topikowego.

Zabezpieczenia przeciążeniowe powinny być stosowane w każdym przypadku do silników. Stosowane są tu najczęściej przekaźniki termobimetalowe sprzężone ze stycznikami lub wyzwalacze termobimetalowe. Czasem silnik zabezpiecza się też za pomocą czujników temperatury. Należy pamiętać, że bezpieczniki nie chronią silników przed przeciążeniami. Dobór zabezpieczenia przeciążeniowego musi uwzględniać przełącznik gwiazda-trójkąt.

Zabezpieczenie zanikowe silników jest stosowane w celu wyeliminowania przypadków samorozruchu po zniknięciu napięcia i jego powrocie. Ma to na celu zwiększenie bezpieczeństwa obsługi maszyn. Często w tym celu stosuje się styczniki, w których zabezpieczenie zanikowe realizowane jest przez samoczynne rozłączenie stycznika po zniknięciu napięcia na cewce elektromagnesu. W innym wypadku urządzenia zabezpieczające powinny być wyposażone w wyzwalacze lub przekaźniki podnapięciowe.

Obwody gniazdowe

Zabezpieczenie przeciążeniowe w obwodzie powinno być dobrane w taki sposób, by jego nastawa była większa od obliczeniowego, spodziewanego prądu wszystkich odbiorników, przy czym musi być mniejsza od dopuszczalnej obciążalności prądowej długotrwałej przewodu. Oprócz tego, prąd zadziałania urządzeń zabezpieczających powinien być mniejszy niż 1,45-krotność obciążalności prądowej długotrwałej.

Zabezpieczenia zwarciowe powinny być tak dobrane, aby wyłączenie zasilania nastąpiło zanim wystąpi niebezpieczeństwo uszkodzeń cieplnych i mechanicznych w przewodach lub ich połączeniach. Zabezpieczenie zwarciovych może być wykonane przy wykorzystaniu bezpieczników lub wyłączników samoczynnych z wyzwalaczami zwarciovymi. Zabezpieczenie powinno mieć zdolność do przerwania prądu zwarciovego o wartości większej od przewidywanego prądu zwarciovego.

Obwody oświetleniowe

Choć ogólne zasady doboru zabezpieczeń do obwodów oświetleniowych są podobne do tych dla obwodów gniazdowych, należy w nich uwzględnić kilka cech specyficznych. Po pierwsze, w obwodach oświetleniowych często prądy spodziewane są mniejsze od prądów w obwodach gniazdowych. Oprawy często mają styki przeznaczone na prądy rzędu 2-4A.

Oprócz wymienionych wyżej, błędem jest stosowanie pojedynczych zabezpieczeń dla dużych obwodów oświetleniowych. Często tego typu obwody mają stosunkowo niewielkie przekroje przewodów, przy czym przewody w samych oprawach mogą być jeszcze cieńsze. Prowadzi to do wzrostu impedancji pętli zwarcia, co ogranicza prądy zwarciovne i może doprowadzać do sytuacji w których zabezpieczenia zwarciove działają ze zbyt dużą zwłoką, by zapobiec pożarom (dotyczy to np. lampek choinkowych).

Mając na uwadze powyższe, zabezpieczając obwód oświetleniowy należy stosować zabezpieczenia o możliwie mniejszych prądach nominalnych zabezpieczeń i częściej dzielić rozległe obwody.

W każdym wypadku doboru urządzeń zabezpieczających, należy zapewnić, żeby została zachowana selektywność działania zabezpieczeń - czyli charakterystyki poszczególnych urządzeń nie mogą się przecinać.

Źródło

1. Dołęga, Kobusiński - *Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych*
2. <https://www.moeller.pl/Documentation/Poradniki/poradnik.pdf>
3. <https://www.kanlux.pl/downloads/artykuly/6.pdf>

C. Selektynośc działania zabezpieczeń (w układzie bezpiecznik-wyłącznik, wyłącznik-wyłącznik, bezpiecznik-bezpiecznik)

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Na ogół zabezpieczenia urządzeń i obwodów uzależnia się od warunków pracy tych urządzeń i ich parametrów znamionowych. Wszystkie zabezpieczenia powinny mieć charakterystyki czasowo-prądowe przebiegające poniżej charakterystyk cieplnych zabezpieczanego urządzenia. Ponadto, charakterystyki czasowo-prądowe zastosowanych urządzeń zabezpieczających nie powinny się przecinać.

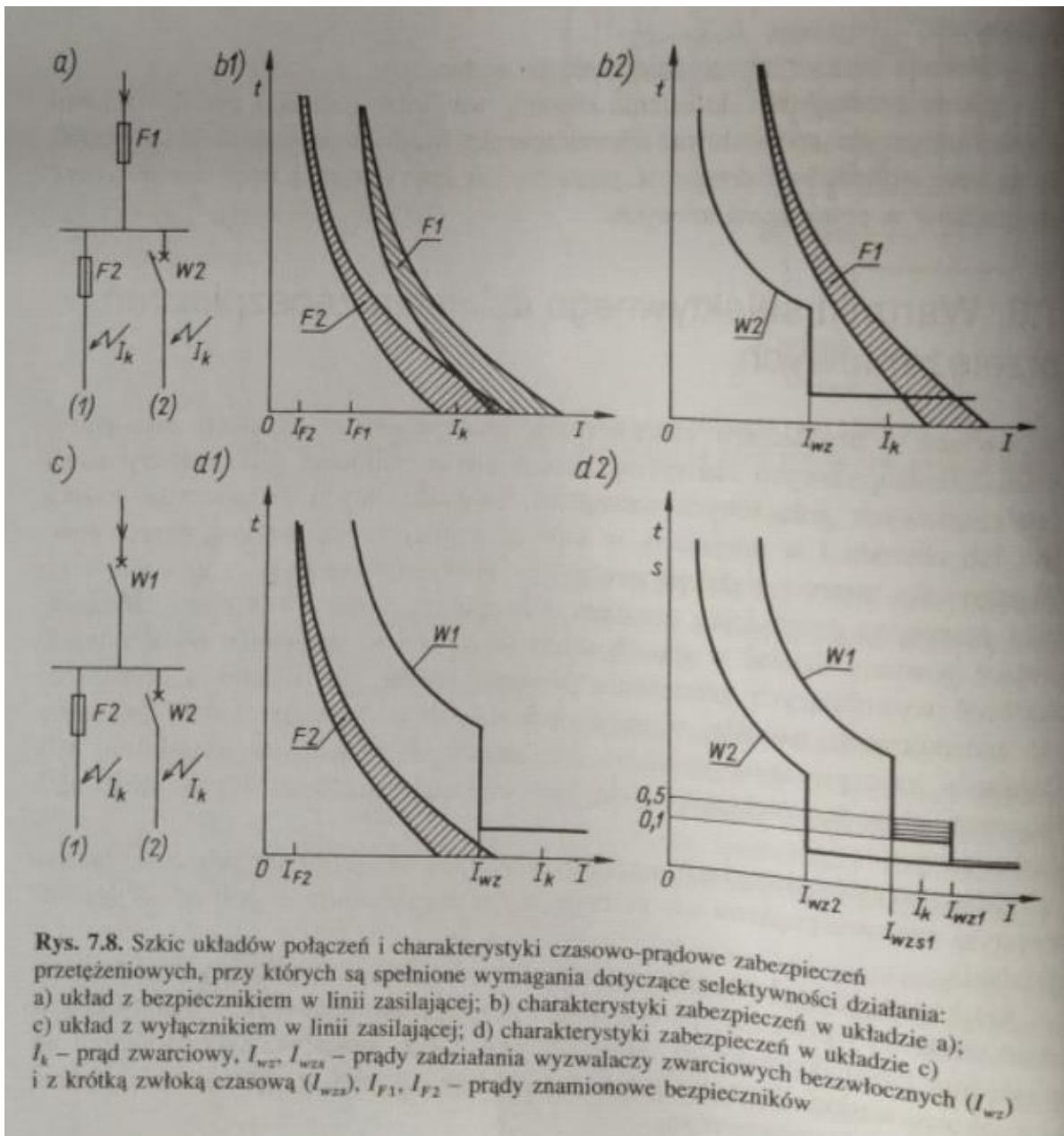
W sieciach i instalacjach elektrycznych pracujących w układach promieniowych kilkustopniowych zazwyczaj stosuje się co najmniej kilka zabezpieczeń przetężeniowych i zwarciovych, połączonych szeregowo, zainstalowanych na początku każdej linii lub obwodu i w miejscach, w których zmniejsza się przekrój przewodów. Zatem w przypadku zwarcia, prąd zwarciový o tej samej wartości przepływa przez kilka urządzeń zabezpieczających.

Urządzenia zabezpieczające powinny działać w sposób selektywny, tzn. w przypadku różnorodnych zakończeń wywołujących przetężenie powinno działać tylko jedno zabeznięcie zainstalowane najbliżej miejsca uszkodzenia w kierunku źródła zasilania. Działanie zabezpieczenia powinno wyeliminować uszkodzone urządzenie lub fragment obwodu, zachowując ciągłość zasilania urządzeń i obwodów nieuszkodzonych.

Zabezpieczenia przetężeniowe działają selektywnie, jeżeli ich pasmowe charakterystyki czasowo-prądowe nie przecinają się ani nie mają wspólnych obszarów działania.

Niewielkim problemem jest zapewnienie selektywności działania zabezpieczeń przetężeniowych - wystarczy dobrać odpowiednio różne ich nastawy. W przypadku urządzeń zabezpieczających przed zwarciami stwarzają większy problem. Zwłaszcza przy dużych prądach zwarciovych, gdy czasy działania zabezpieczeń są bardzo krótkie, zamiast samych charakterystyk należy uwzględniać wartości wynikające z całki Joule'a.

Przykładowe charakterystyki dla różnych układach można przedstawić jak na rysunkach poniżej:



Rys. 7.8. Szkic układów połączeń i charakterystyki czasowo-prądowe zabezpieczeń przetężeniowych, przy których są spełnione wymagania dotyczące selektywności działania:
 a) układ z bezpiecznikiem w linii zasilającej;
 b) charakterystyki zabezpieczeń w układzie a);
 c) układ z wyłącznikiem w linii zasilającej;
 d) charakterystyki zabezpieczeń w układzie c);
 I_k – prąd zwarcowy, I_{wz} , I_{wzs} – prady zadziałania wyzwalaczy zwarciovych bezzwłocznych (I_{wz}) i z krótką zwłoką czasową (I_{wzs}), I_{F1} , I_{F2} – prady znamionowe bezpieczników

Źródło

1. Markiewicz - *Instalacje elektryczne*

D. Rozdzielnice elektryczne - zasady, rodzaje budowy

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Zasady doboru rozdzielnic

Rozdzielnice dobiera się w zależności od wielkości i rodzaju pomieszczenia, warunków budowlanych, liczby i rodzaju zasilanych odbiorników, parametrów sieci zasilającej i innych kryteriów (np. parametrów obwodów odbiorczych, układu sterowania czy wymagań dotyczących zabezpieczeń i aparatów łączniowych, a także dodatkowych urządzeń).

Ogólnie, dobór rozdzielnicy można rozdzielić na kilka etapów:

1. Ustalenie liczby i miejsca lokalizacji rozdzielnic oddziałowych

Uzględnia się tu kształt budynku, rozmieszczenie urządzeń i tym podobne rzeczy z projektu budowlanego i dobiera rozkład rozdzielnic na zakładzie.

2. Wybór rodzaju i typu rozdzielnicy

Najważniejszymi czynnikami wyboru typu rozdzielnicy są jej funkcje, prądy robocze odbiorników oraz liczba i rodzaj tych odbiorników, a także warunki środowiskowe i wymagania dot. sterowania odbiornikami, ewentualnej rozbudowy, niezawodności zasilania i właściwości eksploatacyjnych.

Najważniejsze w tym wszystkim jest dobranie rozdzielnicy, której znamionowe napięcie izolacji jest co najmniej równe napięciu znamionowemu sieci, obciążalność prądowa i mocowa poszczególnych pól rozdzielnicy nie może być mniejsza od prądu i mocy znamionowej odbiornika zasilanego z danego pola, obciążalność prądowa pola zasilającego i szyn zbiorczych powinna być większa od spodziewanego obciążenia ciągłego odpływów, a prądy znamionowe szczytowe i n-sekundowe powinny być większe od prądów zwarciowych w miejscu zainstalowania rozdzielnicy.

3. Dobór wyposażenia pól rozdzielnicy

Przy doborze wyposażenia należy uwzględnić warunki obciążalności roboczej i zwarciowej. Uzględnia się tu też poziom niezawodności zasilania oraz wymagania dotyczące zabezpieczeń odbiorników i możliwości ich sterowania.

4. Dobór obudowy rozdzielnicy i rozmieszczenie aparatury rozdzielczej

Dobór obudowy zależy przede wszystkim od warunków i narażeń środowiskowych w miejscu instalowania rozdzielnicy. Należy dobrać obudowę rozdzielnicy o odpowiednim stopniu ochrony IP, z odpowiedniego materiału, o odpowiednio dużej obudowie i ewentualnie mającej dodatkowe osłony, zamki blokad czy detale takie jak przezroczyste pokrywy.

Rodzaje budowy

Rozdzielnice przemysłowe można podzielić według różnych kryteriów - czyli w zależności od funkcji, miejsca zainstalowania, mobilności, sposobu zainstalowania, dostępu czy zasady konstrukcji części wsporczych i mocujących lub sposobu montażu podstawowych aparatów elektrycznych w głównym torze pradowym pola rozdzielnicy.

Niemniej jednak, najpowszechniejszym podziałem jest podział ze względu na konstrukcję części wsporczych i mocujących na rozdzielnice tablicowe, skrzynkowe i szafowe. Nowsze rozdzielnice budowane są także jako modułowe.

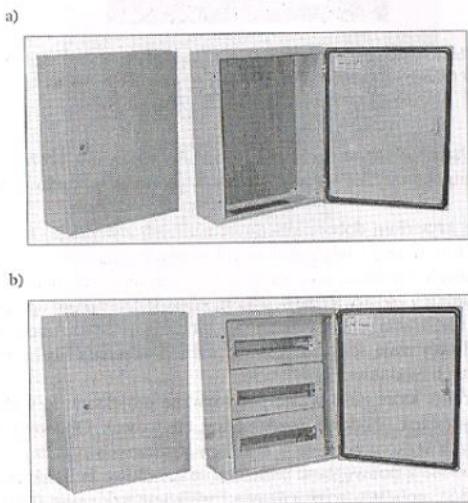
Rozdzielnice tablicowe

Rozdzielnice tablicowe występują zazwyczaj w pomieszczeniach nieprodukcyjnych, a ich prądy obciążenia nie przekraczają na ogół 100A. W rozdzielnicy tablicowej wszystkie aparaty montowane są na tablicy wykonanej z materiałów izolacyjnych, z wyprowadzeniem zacisków aparatów na listwy

zaciskowe, a wzajemne połączenia wykonywane są przewodami o żyłach co najmniej $2,5\text{mm}^2$.

Tego typu rozdzielnice zazwyczaj są zamontowane na ścianach lub we wnękach i zamykane w celu ograniczenia dostępu do części będących pod napięciem.

Przykładowe zastosowania to rozdzielnice w budynkach mieszkalnych, użyteczności publicznej oraz rozdzielnice budowlane.

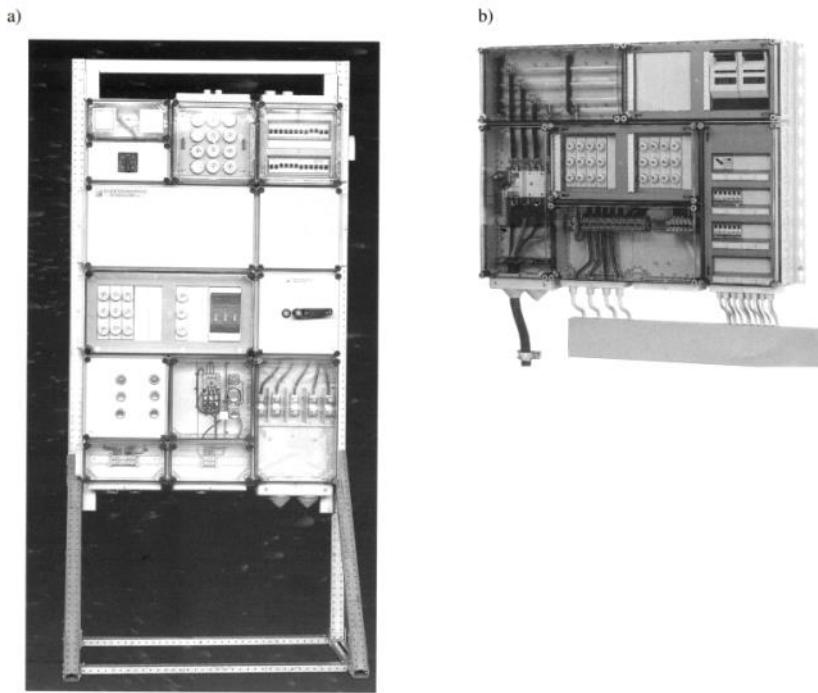


Rys. 8.1. Przykładowe prefabrykowane obudowy przemysłowych rozdzielnic tablicowych (rozdzielnice o stopniu ochrony IP55 firmy Mixvill): a) szafka do montażu aparatury na tablicy, b) szafka do montażu aparatów modułowych na szynie TS35 [8.8]

Rozdzielnice skrzynkowe

Rozdzielnice skrzynkowe są powszechnie stosowane w obiektach przemysłowych. Są budowane na większe wartości prądów niż rozdzielnice tablicowe. Ich zaletami są prostota konstrukcji, niewielkie wymiary, bezpieczeństwo obsługi, łatwość montażu i rozbudowy, odporność na narażenia mechaniczne i środowiskowe i możliwość w stosowaniu w pomieszczeniach ogólnodostępnych.

Tego typu rozdzielnice montowane są w skrzynkach o znormalizowanych wymiarach, a skrzynki łączone są ze sobą i montowane na stalowych ramach na ścianie. Rozdzielnice tego typu rozpowszechnione są dla napięć do 500V.



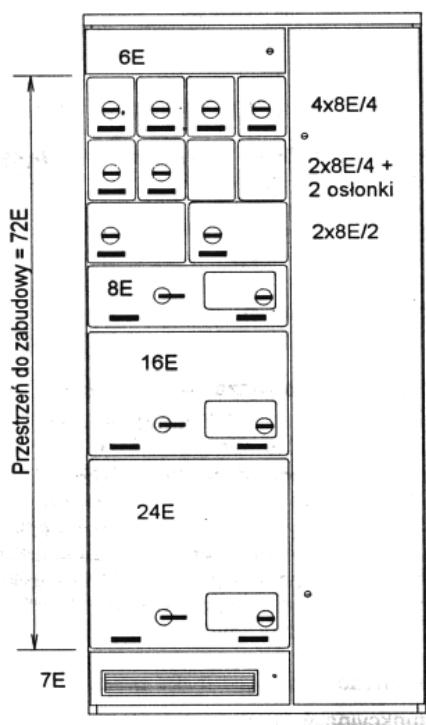
Rys. 18.4. Przykładowe rozwiązania rozdzielnic skrzynkowych z tworzyw sztucznych: a) rozdzielnica systemu INS prod. ABB (Elektromontaż Wrocław) w wykonaniu ruchomym, 200-1000A, 1000 V AC, b) rozdzielnica systemu Mi do 400 A, 690 V AC produkcji Hensel Polska do zamocowania na ścianie.

Rozdzielnice szafowe

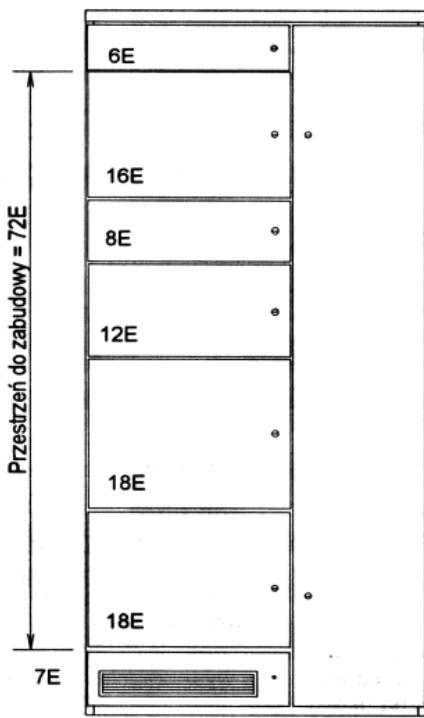
Prefabrykowane rozdzielnice szafowe znajdują szerokie zastosowanie w obiektach przemysłowych przy dużych obciążeniach od kilkuset do kilku tysięcy amperów, gdy niemożliwe jest stosowanie rozdzielnic skrzynkowych. W rozdzielnicach tego typu aparatura elektryczna montowana jest w pojedynczej szafie lub w zestawach szaf ustawionych obok siebie i połączonych wspólnym torem szynowym. Tego typu rozdzielnice nazywa się kostkowymi.

Wyróżnia się wiele rodzajów konstrukcji rozdzielnic szafowych - chociażby szkieletowe i bezszkieletowe (zależnie od konstrukcji wsporczej) czy rozdzielnice kostkowe (gdy całe pole rozdzielnicy stanowi wysuwany moduł, np. szufladę). Ponadto, nowsze konstrukcje rozdzielnic szafowych niskiego napięcia budowane są jako rozdzielnice modułowe, których pola stanowią wydzieloną część funkcjonalną i konstrukcyjną o znormalizowanych wymiarach i wyposażeniu.

a)



b)



Rys. 18.8. Przykładowe szafy rozdzielniczy MNS z pokazaniem wielkości modułów: a) szafa z modułami wysuwnymi, b) szafa z modułami stałymi; E- podstawowy wymiar modułowy, **E=25mm** (zgodnie z normą DIN 43660).

Źródło

1. Dołęga, Kobusiński - *Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych*
2. Urządzenia elektryczne 2 - laboratorium - ćwiczenie 18

14. Elektroenergetyka zakładów przemysłowych

piątek, 8 stycznia 2021 13:02

A. Obciążenia mocą i energią elektryczną zakładów przemysłowych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Podstawą projektowania urządzeń elektroenergetycznych jest prognoza przewidywanych obciążeń, czyli natężenia prądu, wartości mocy oraz rocznego przepływu energii poszczególnych elementów tych urządzeń. Wartość obliczeniowego obciążenia szczytowego ma podstawowy wpływ na dobór elementów układu pod względem ich obciążalności prądowej długotrwałej, a pośredni na ich wymiarowanie z punktu widzenia wytrzymałości zwarciowej i dopuszczalnych odchyleń napięcia na zaciskach odbiorników, a także strat energii elektrycznej.

Przyjęcie zbyt małych wartości obciążeń może doprowadzić do zbyt małej przepustowości sieci i nadmiernej zawodności pracy urządzeń oraz nadmiernych strat energii. Przyjęcie zbyt dużych wartości spodziewanego obciążenia prowadzi do nadmiernych nakładów ekonomicznych i przewymiarowania całej instalacji, co również oznacza straty energii (np. na biegu jałowym transformatora).

Istnieje kilka metod obliczania mocy szczytowych zakładów przemysłowych. Są nimi

- **metody uproszczone** - nie uzależniają stosunku obliczeniowej mocy szczytowej do mocy zainstalowanej od liczby odbiorników
- **Metody uniwersalne** - uwzględniają stosunek mocy obliczeniowej do zainstalowanej od liczby odbiorników
- **Metody specjalne** - opierają się na szczegółowej analizie wykresów technologicznych i charakterystyk poszczególnych odbiorników.

W krajowej praktyce projektowej do obliczania przewidywanych obciążień zakładów przemysłowych są stosowane następujące metody:

- Jednostkowego obciążenia powierzchniowego
- Jednostkowego zużycia energii elektrycznej
- Dwuczonowa (Liwszyca)
- Współczynnika zapotrzebowania mocy
- Statystyczna
- Indywidualnego określania obciążenia

Podstawowymi pojęciami związanymi z obliczeniami mocy w zakładach przemysłowych są:

- **Moc szczytowa** - stanowi największe średnie obciążenie zmierzone lub obliczone w określonym przedziale czasu; moc szczytowa równoważna jest mocy zapotrzebowanej i decyduje m.in. o nastawach zabezpieczeń
- **Moc obliczeniowa** - moc, której wartość z dużym prawdopodobieństwem (0,95) w badanym okresie czasu nie będzie przekroczona; wartość tej mocy stanowi podstawę doboru urządzeń elektroenergetycznych pod kątem nagrzewania prądem roboczym
- **Moc zapotrzebowana** - przewidywane obciążenie szczytowe występujące w ciągu roku po osiągnięciu przewidywanej wydajności procesów produkcyjnych
- **Odbiorca** - grupa odbiorników użytkowanych w jednym zakładzie przemysłowym

Jeśli chodzi o przedstawianie obciążenia zakładów przemysłowych, można wyróżnić :

- **Wykres dobowy kalendarzowy** - przedstawia przebieg obciążzeń odbiorcy lub systemu w ciągu doby lub w chronologicznym porządku występowania tych obciążzeń
- **Wykres dobowy uporządkowany** - przedstawia obciążenie dobowe uszeregowane od wartości największych do najmniejszych, z uwzględnieniem ich czasów trwania
- **Dobowy wykres całkowy kalendarzowy** - otrzymywany przez całkowanie obciążzeń przedstawionych na dobowym wykresie kalendarzowym; przedstawia przyrosty mocy w zależności od przyrostów czasu
- **Dobowy wykres kalendarzowy trwania obciążień** - można otrzymać zarówno z wykresu

kalendarzowego jak i uporządkowanego; przedstawia przyrosty pracy w zależności od przyrostów mocy

Wyróżnia się również odpowiednie wielkości podstawowe obciążen, takie jak:

- Obciążenie chwilowe
- Obciążenie najmniejsze (podstawowe)
- Obciążenie średnie
- Obciążenie szczytowe

Źródło

1. Dołęga, Kobusiński - *Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych*
2. Elektroenergetyka Zakładów Przemysłowych - Wykład

B. Zasady doboru układów zasilania zakładów przemysłowych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Podstawową czynnością przy projektowaniu układu zasilania zakładu przemysłowego i doborze danych znamionowych urządzeń jest ustalenie kategorii zakładu ze względu na wymaganą pewność zasilania oraz przewidywanego obciążenia szczytowego mocączną. Przyjęcie zbyt małych wartości obciążenia może prowadzić do niewystarczającej przepustowości sieci i przeciążenia urządzeń lub ograniczenia pracy zasilanych urządzeń. Obniżona jest również jakość dostarczanej energii, większe są straty energii oraz mniejsza jest niezawodność układu zasilania. Wyznaczenie przewidywanego obciążenia z dużym nadmiarem powoduje nieuzasadnione zwiększenie kosztów realizacji inwestycji.

Napięcie zasilania

Istotny wpływ na poziom napięcia zasilania zakładu przemysłowego ma wielkość jego mocy zapotrzebowanej. Przykładowe wartości napięć zasilających dla danych mocy zapotrzebowanych zakładu przedstawiono poniżej.

Tabela 6.1. Napięcie zasilania zakładu przemysłowego w zależności od mocy zapotrzebowanej zakładu [6.7, 6.12]

Moc zapotrzebowana zakładu	Napięcie zasilania
< 5 MW	SN (6 kV, 10 kV, 15 kV (preferowane), 20 kV (preferowane), 30 kV)
5+15 MW	SN (6 kV, 10 kV, 15 kV (preferowane), 20 kV (preferowane), 30 kV) lub 110 kV
15+50 MW	110 kV
50+150 MW	110 kV (preferowane) lub 220 kV lub 400 kV
> 150 MW	220 kV lub 400 kV

Niezawodność zasilania

Na podstawie wymaganego stopnia niezawodności zasilania, wyróżnia się cztery kategorie odbiorców energii elektrycznej. Kategorie te wynikają z charakterystyk czasowych strat powodowanych przerwami w zasilaniu energią elektryczną (niektóre zakłady bez prądu odnotowują w czasie małe straty, inne - bardzo duże lub narastające skokowo).

Poniżej przedstawiono zestawienie kategorii odbiorców.

TABLICA 3.3. Kategorie odbiorców energii elektrycznej w zależności od stopnia niezawodności zasilania, wg [32]

Kategoria	Wymagania dotyczące niezawodności	Możliwe rozwiązanie	Przykładowi odbiorcy
I – podstawowa	dopuszczalne stosunkowo długie przerwy w zasilaniu, wielominutowe	zasilanie pojedynczą linią promieniową z sieci elektroenergetycznej; brak wymogu zasilania rezerwowego	domy jednorodzinne na terenach wiejskich i w rzadkiej zabudowie miejskiej, niewielkie bloki mieszkalne
II – średnia	przerwy w zasilaniu nie powinny przekraczać kilkudziesięciu sekund	dwie niezależne linie	wysokie budynki mieszkalne
III – wysoka	przerwy w zasilaniu nie powinny przekraczać 1 sekundy	dwie niezależne linie zasilające z systemu elektroenergetycznego i agregat prądotwórczy z pełną automatyką sterowania zasilania rezerwowego	duże hotele, szpitale, stacje radiowe i telewizyjne, dworce kolejowe i porty lotnicze, wysokie budynki
IV – najwyższa	zasilanie bezprzerwowe; niedopuszczalna jest przerwa w zasilaniu wybranych urządzeń	zasilanie bezprzerwowe ze źródła rezerwowego; agregat prądotwórczy przystosowany do długotrwałego zasilania	wybrane odbiory w obiektach wymienionych w kategorii III, np. sale operacyjne w szpitalach, systemy komputerowe banków, giełdy

Zasilanie zakładów I kategorii realizuje się przeważnie jedną linią napowietrzną lub kablową. Jeśli dokonuje się tego przy napięciu średnim, to stacja transformatorowa może być wyposażona w jeden transformator.

Zakłady wyższych kategorii zasila się przeważnie dwiema liniami z dwóch niezależnych źródeł zasilania. Zakłady IV kategorii można zasilać nawet trzema liniami. Przy tym, dla kategorii II można zasilić zakład przy wykorzystaniu 1 transformatora, z kolei dla zakładów kategorii IV zalecane jest czasem stosowanie aż trzech transformatorów w stacji.

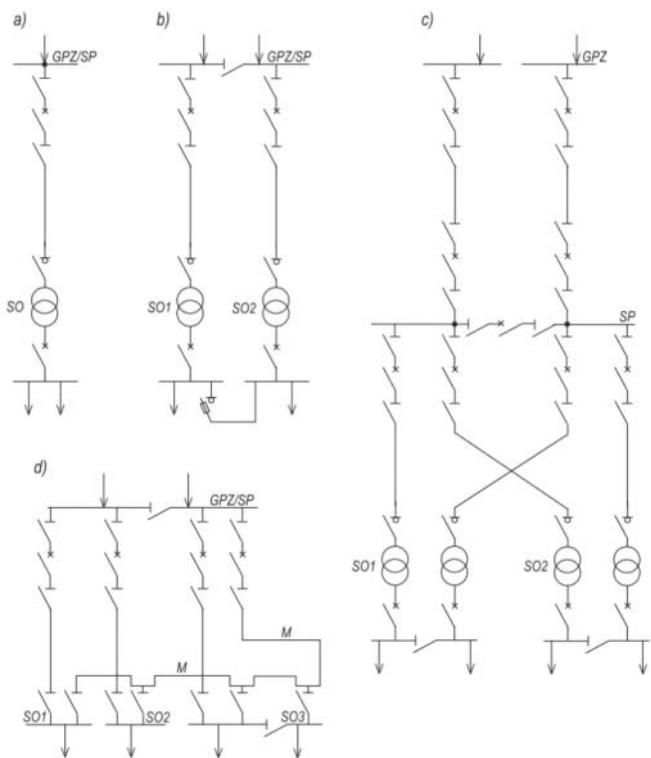
Układy sieci średniego napięcia

Wyróżnia się następujące układy sieci średniego napięcia oraz sytuacje, w których się je stosuje:

Układy promieniowe

Układy promieniowe są powszechnie stosowane ze względu na prostotę obsługi i łatwą realizację zabezpieczeń. Ich wadą jest jednak duża liczba linii zasilających, co zwiększa koszty zasilania.

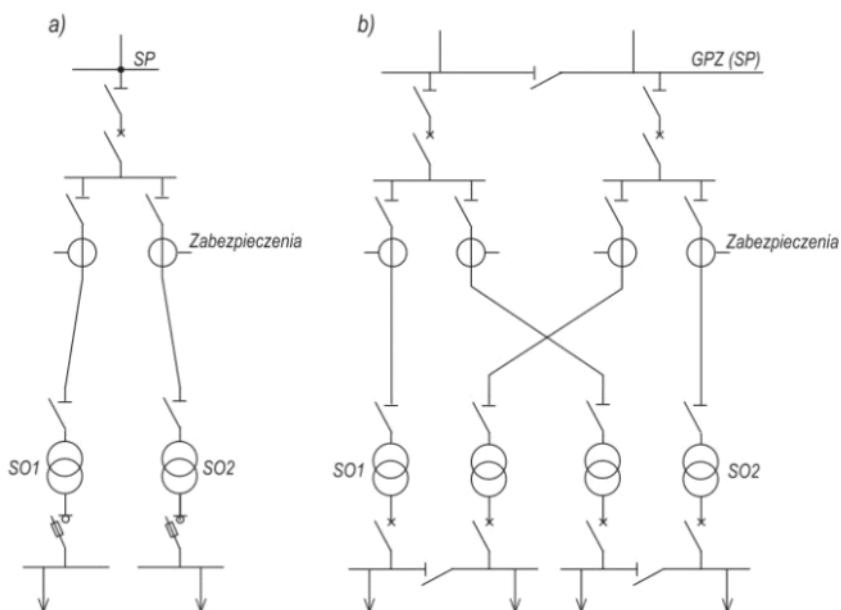
Układy promieniowe nierezerwowane stosuje się do zasilania odbiorców, którzy nie wymagają rezerwowego zasilania. Linie i transformatory dobiera się na obliczeniową moc szczytową. W przypadku układów wymagających większej pewności zasilania, można zastosować układ dwupromieniowy z dodatkowym rezerwowaniem lub promieniowy z rezerwowaniem magistralnym.



Rys. 11.12. Układy promieniowe przemysłowych sieci rozdzielczych: a) układ jednostopniowy nierezewowany; b) układ jednostopniowy dwupromieniowy; c) układ dwustopniowy; d) układ rezerwowy magistralą M zasilaną jednostronnie

Układy widłowe

Są modyfikacją układów promieniowych. Ich cechą jest zasianie dwu lub więcej linii z jednego pola stacji. Obecnie stosowane przy zasianiu nowych stacji oddziałowych ze stacji, w których nie ma wolnych pól. Zapewniają niewielką pewność zasiania.



Rys. 11.13. Układy promieniowe widłowe: a) układ zasiania stacji jednotransformatorowej; b) układ zasiania stacji dwutransformatorowej

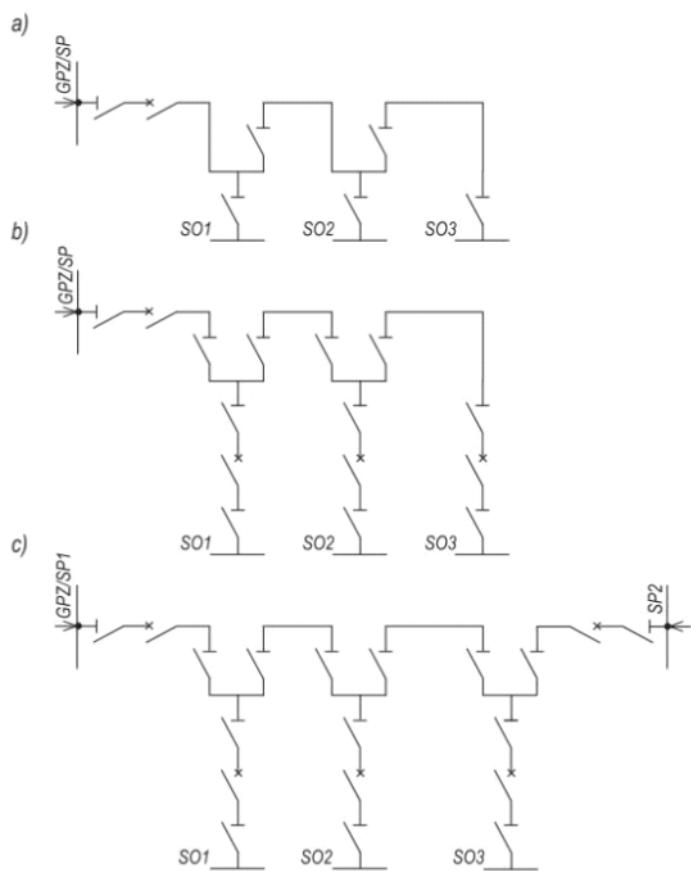
Układy magistralne

Charakteryzują się równoległym zasianiem kilku stacji oddziałowych z jednego pola stacji głównej lub pośredniej. Pozwala to na skrócenie linii przesyłowych i zmniejszenie zapotrzebowania na aparaturę rozdzielczą. Układy te mogą być pojedyncze, podwójne lub zwielokrotnione. Każdy może być rezerwowany lub nierezewowany, zasilany jedno lub dwustronnie.

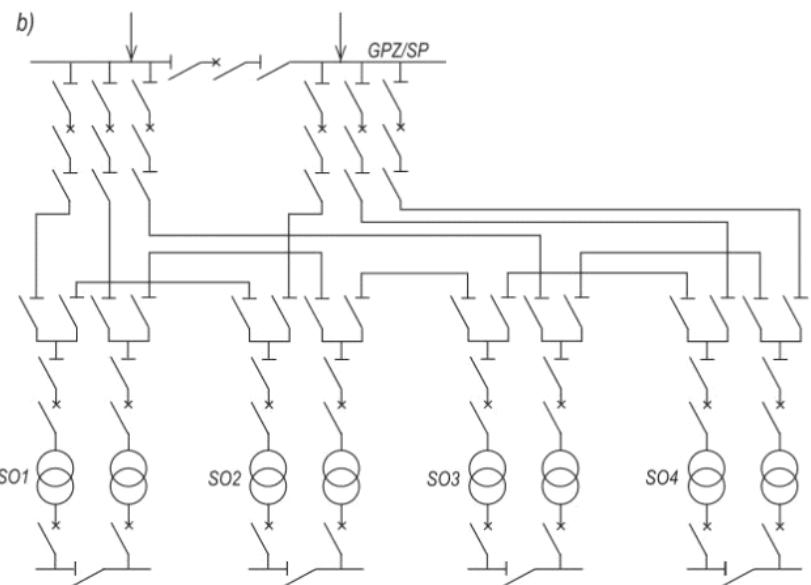
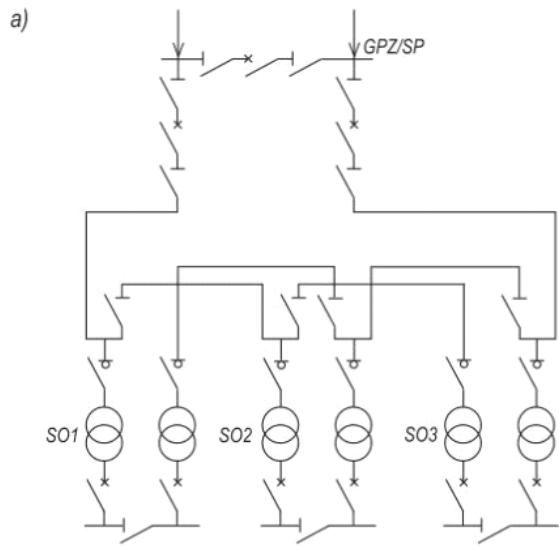
Układy magistralne pojedyncze nierezewowane zapewniają najmniejszą pewność zasiania. Układy magistralne pojedyncze zasilane dwustronnie pozwalają na szybkie przełączenie zasiania na inną linię.

Układ zasilany dwustronnie z tej samej stacji staje się układem pętlicowym.

Ogólnie, niezawodność zasilania układów magistralnych zależy od liczby magistrali, ich wyposażenia w aparaturę i przyjętego układu rezerwowania. Układy z magistralami podwójnymi mogą być stosowane do zasilania odbiorników wszystkich kategorii.



Rys. 11.14. Układy magistralne: a, b) zasilane jednostronne; c) zasilane dwustronne



Rys. 11.15. Układy magistralne dwustronne zasilające stacje dwutransformatorowe: a) dwie magistrale dzielone „przeciwbieżne”; b) trzy magistrale dzielone w każdym węźle

Układy sieci niskiego napięcia

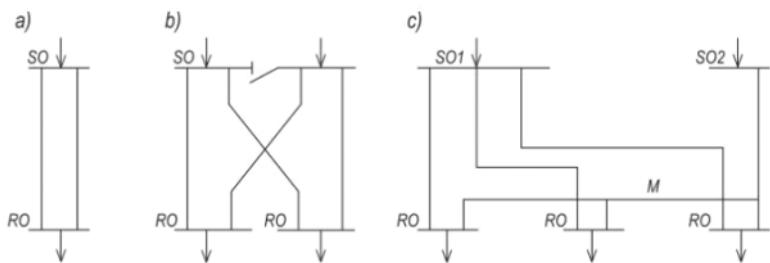
Zadaniem sieci niskiego napięcia jest powiązanie rozdzielnic niskiego napięcia stacji oddziałowych z rozdzielnicami odbiorczymi, z których zasila się odbiorniki oraz obwody odbiorcze oświetleniowe i siłowe. Transformatory i linie zasilające rozdzielnice oraz odbiorniki siłowe i oświetleniowe mogą być wspólne przy napięciu 230/400V lub oddzielne przy wyższym.

Układy sieci rozdzielczych niskiego napięcia dzieli się na promieniowe, magistralne, pętlicowe i inne.

Układy promieniowe

Mogą być jedno i wielostopniowe. Względnie łatwa jest w nich realizacja zabezpieczeń przetężeniowych, zdalnego sterowania oraz wzajemnej blokady odbiorników. Charakteryzują się dużą niezawodnością zasilania zakładów przemysłowych do czasu, jednak nie zabezpieczają przed uszkodzeniem całej linii.

Rozdzielnice zasilające wyższej pewności zasilania wymagają rezerwowania. Można to zrobić przez dzielenie odbiorników na grupy lub zasilanie rozdzielnicy dwiema liniami promieniowymi, ewentualnie zastosowanie rezerwowej magistrali.



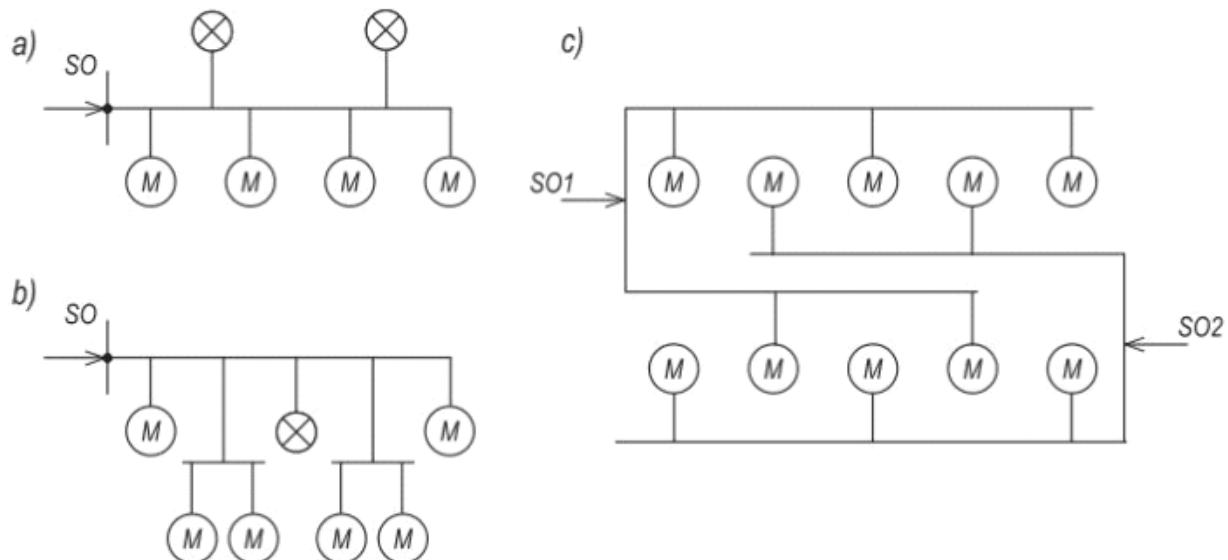
Rys. 11.17. Przykłady rezerwowania rozdzielnic odbiorczych RO zasilanych promieniowo: a) dwiema liniami równolegimi; b) dwiema liniami zasilanymi z różnych stacji lub różnych sekcji jednej stacji; c) magistralą rezerwową M

Układy magistralne

Znajdują zastosowanie w zakładach o dużym zapotrzebowaniu na moc i dużej liczbie odbiorników. Najpowszechniejsze są układy w których wykorzystuje się przewody szynowe magistralne i rozdzielcze o dużych przekrojach na duże prądy.

Zasilanie odbiorników za pomocą magistrali jednostronne zasilanej może do tyczyć odbiorników o umiarkowanych wymaganiach niezawodnościowych.

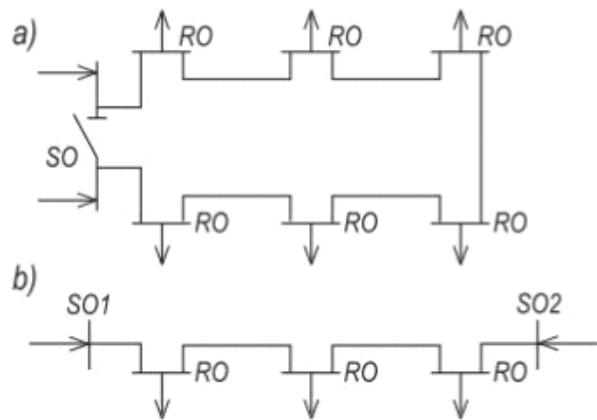
W zakładach wymagających rezerwowego zasilania można stosować układy magistralne zasilane dwustronnie z niezależnych źródeł lub dwa układy magistralne dla różnych grup odbiorników (mniejsza i większa pewność zasilania).



Rys. 11.19. Sieci magistralne niskiego napięcia wykonane za pomocą przewodów szynowych: a, b) zasilane jednostronnie; c) dwie magistrale zasilane z różnych stacji

Układy pętlicowe

Układy pętlicowe dają najwyższą pewność zasilania. W czasie normalnej pracy ciągłość pętli jest w jednej rozdzielnicę przerywana. Rozwiążanie to daje najwyższą pewność zasilania i jest wygodne w obsłudze.



Rys. 11.20.

Układy pętlicowe zasilania rozdzielnic odbiorczych RO

Źródło

1. Dołęga, Kobusiński - *Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych*
2. Markiewicz - *Urządzenia Elektroenergetyczne*
3. Markiewicz - *Instalacje elektryczne*

C. Wpływ jakości energii elektrycznej na pracę przemysłowych odbiorników energii elektrycznej oraz metody ograniczania niekorzystnych zmian parametrów jakości energii

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Jakość energii elektrycznej przy prądzie przemiennym określają takie parametry napięcia jak:

- Napięcie zasilające
- Wartość skuteczna napięcia na zaciskach odbiornika
- Zmiany i szybkie zmiany napięcia zasilającego
- Kształt krzywej napięcia (zawartość wyższych harmonicznych)
- Symetria napięć w układzie trójfazowym
- Częstotliwość prądu przemiennego
- Zapady napięcia zasilającego
- Krótkie i długie przerwy w zasilaniu
- Przepięcia

Wpływ jakości energii elektrycznej na pracę przemysłowych odbiorników energii elektrycznej

Wpływ zmian napięcia

Zmiany napięcia są wywołane losowymi zmianami poziomu napięcia w sieci oraz w systemie energetycznym.

Zmiany napięcia powodują skrócenie żywotności i osłabienie strumienia światlnego żarówek. Ujemne odchylenie napięcia może powodować niestabilną pracę lamp wyładowczych.

Praca silników dopiero przy znacznych odchyleniach ulega zmianom. Najczęściej skutkami są przetężenia i nadmierny wzrost temperatury, a także problemy przy rozruchu silników.

Urządzenia elektrotermiczne przy obniżonym napięciu mają mniejszą sprawność, przy podwyższonym - przegrzewają siebie i wkład.

Podatne na zmiany napięcia są kondensatory. Ujemne odchylenia powodują zmniejszenie mocy biernej generowanej do sieci, a podwyższenie napięcia powoduje zwiększenie strat mocy czynnej i podwyższenie się temperatury urządzenia, co skraca jego żywotność

Wpływ szybkich zmian napięcia

Szybkie zmiany napięcia spowodowane są głównie gwałtownymi zmianami obciążenia odbiorników o dużej mocy znamionowej, w tym rozruchem i hamowaniem silników, pracą spawarek, pieców łukowych itp..

Najbardziej odczuwalne skutki szybkich zmian napięcia dotyczą oświetlenia (żarówek). Szybkie zmiany skutkują migotaniem światła, co czasem powoduje niemożność wykonania prac wymagających dobrego oświetlenia.

Silniki na szybkie zmiany napięcia reagują zmianą charakterystyki momentów napędowych. Może to powodować pulsację prędkości obrotowej, co powoduje drgania całego zespołu. Takie warunki prowadzą do szybszego zużywania się maszyn.

Odbiorniki grzejne są na ogół mało wrażliwe na zmiany napięcia ze względu na duże stałe czasowe nagrzewania. Część z nich jest źródłem tych zakłóceń (piece łukowe, spawarki).

Wpływ asymetrii układu zasilania

Asymetria układu zasilania to stan, w którym parametry elektryczne poszczególnych faz nie są jednakowe. Niesymetria prądów i napięć w układzie trójfazowym wpływa niekorzystnie zarówno na pracę odbiorników trójfazowych jak i jednofazowych.

W silnikach powoduje to przyrost temperatury użwojeń i powstawanie przeciwnie skierowanego momentu zmniejszającego moment użyteczny. Może to ograniczać możliwość pełnego wykorzystania danych znamionowych silników w warunkach znacznych asymetrii układu zasilania.

Niesymetria wpływa również niekorzystnie w różnym stopniu na pracę wszystkich innych odbiorników trójfazowych.

Odbiorniki jednofazowe zasilane z układu symetrycznego pozostają w niekorzystnych warunkach pracy, ponieważ niektóre pracują w napięciu wyższym, a inne w niższym od ich napięcia znamionowego. Najczęściej narażone na negatywne skutki asymetrii są odbiorniki oświetleniowe.

Wpływ odkształcenia napięcia

Chwilowy przebieg napięcia prądu przemiennego powinien być sinusoidalny, ale w rzeczywistości jest odkształcony w różnym stopniu. Wpływają na to parametry generatora wytwarzającego napięcia, a także praca w sieci odbiorników o nieliniowych charakterystykach prądowo-napięciowych (przekształtniki, zasilacze, spawarki, piece łukowe, lampy wyładowcze). Miarą odkształcenia napięcia jest współczynnik THD.

Odbiornikami szczególnie wrażliwymi na występowanie wyższych harmonicznych są silniki i kondensatory. Moment elektromagnetyczny w maszynie asynchronicznej składa się z wielu momentów składowych wytwarzanych przez poszczególne harmoniczne. Momenty pasożytnicze, wytworzone przez wyższe harmoniczne, deformują charakterystykę silnika i mogą utrudniać rozruch a czasem nawet uniemożliwić prawidłową pracę silników. Wynikają z tego także drgania i intensywny hałas.

Reaktancje kondensatorów dla wyższych harmonicznych są mniejsze niż dla podstawowej. Oznacza to, że udział prądu w wyższych harmonicznych jest bardzo duży. To prowadzi do intensywnego nagrzewania się kondensatorów, co prowadzi do szybszego uszkodzenia izolacji i ich zużycia.

Wyższe harmoniczne w napięciu zasilającym są niekorzystne również dla większości innych odbiorników, gdyż powodują dodatkowe straty mocy czynnej oraz straty dielektryczne wywołujące nadmierne nagrzewanie się urządzeń, migotanie światła w lampach wyładowczych, nieselektywne działanie niektórych zabezpieczeń oraz różne inne negatywne skutki.

Wpływ zmian częstotliwości

Zmiany częstotliwości mają umiarkowany wpływ na pracę odbiorników reaktancyjnych indukcyjnych i pojemnościowych. Zmiany częstotliwości w zakresie 0,2Hz nie powodują zauważalnych negatywnych zmian w większości przypadków.

Wpływ odchylenia parametrów napięcia na pracę przekształników energoelektronicznych
Urządzeniami szczególnie wrażliwymi na odstępstwa od znamionowych warunków zasilania są różnego rodzaju przekształtniki energoelektroniczne, które jednocześnie same wnoszą do układu zasilania znaczne zakłócenia. Na ogół dla przekształników określa się wpływ jednoczesnego oddziaływania różnych parametrów napięcia zasilającego i pewien zestaw dopuszczalnych odchylen parametrów.

Deformacje napięcia i prądu większe od dopuszczalnych mogą powodować:

- Zmianę właściwości przekształtnika, polegającą na zmniejszeniu dopuszczalnej mocy jaką przekształtnik może być obciążony
- Przerwę w pracy w wyniku zadziałania zabezpieczeń
- Trwałe uszkodzenie przekształtnika lub zniszczenie niektórych jego elementów.

Metody ograniczania niekorzystnych zmian parametrów jakości energii

Ograniczenie wahań napięcia

Podstawową przyczyną wahań napięcia jest zmiana w czasie głównie mocy biernej. Należą do nich m.in. Piece łukowe, regulowane napędy elektryczne, spawarki, bojlerы itp..

Amplitudę wahań napięcia można ograniczyć na dwa sposoby:

- Zwiększając moc zwarcia w punkcie przyłączenia odbiornika niespokojnego (w relacji do mocy odbiornika), co w praktyce oznacza przyłączenie urządzenia do szyn o coraz wyższym napięciu lub wydzielenie specjalnych dedykowanych linii bezpośredni z sieci WN do zasilania odbiorników powodujących wahania napięcia
- Zmniejszając zmiany mocy biernej w sieci zasilającej poprzez instalację kompensatorów (stabilizatorów dynamicznych);

Łagodzenie zapadów napięcia

Za główne przyczyny zapadów napięcia należy uznać zwarcia w systemie zasilającym lub instalacjach odbiorców, procesy łączenia odbiorników dużej mocy, zmiany konfiguracji sieci, pracę odbiorników o zmiennym obciążeniu.

Działania mające na celu ograniczenia zapadów napięcia to:

- Redukcja liczby zwarć
- Redukcja czasu eliminacji zwarć
- Zmiana konfiguracji systemu zasilającego (np. systemy redundancji)
- Zastosowanie stabilizatorów napięcia (UPS czy transformatory stabilizujące)
- Zwiększenie odporności urządzeń

Sposoby ograniczania asymetrii

Ograniczanie asymetrii sprowadza się do wyeliminowania lub ograniczenia składowej zerowej i składowej przeciwniej napięcia zasilającego. Składowa zerowa występuje w sieciach czteroprądowych z przewodem N, natomiast przeciwna w sieciach trój oraz czteroprzewodowych.

Ograniczenie składowych przeciwnych i zerowej można osiągać przez:

- Symetryczne rozłożenie obciążeń jednofazowych na poszczególne fazy
- Stosowanie symetryzatorów - Jeśli asymetria jest wywołana odbiornikami o stałej wartości mocy
- Stosując statyczne kompensatory mocy biernej SVC - do kompensacji asymetrii wywołanej odbiornikami o zmiennym obciążeniu
- Stosowanie transformatorów o specjalnym wykonaniu; np. transformator Scotta czy Steinmetza

Sposoby ograniczania wyższych harmonicznych

Podstawowym sposobem ograniczania wyższych harmonicznych jest ich filtracja, czyli stosowanie filtrów, które tłumią sygnały leżące poza określonym pasmem częstotliwości, a przepuszczają tylko te pożądane przez użytkownika.

Stąd podział na

- Filtry bierne (pasywne) - układy o dobranych wartościach elementów biernych LC do odpowiednich harmonicznych, co powoduje rezonans szeregowy dla wybranej częstotliwości eliminowanej harmonicznej
- Filtry aktywne - stosuje się w nich zasilacze elektroniczne, które generują prądy harmoniczne pobierane przez obciążenie nieliniowe. Urządzenia tego typu mierzą obciążenie, a na podstawie pomiaru generator harmonicznych wytwarzają takie harmoniczne, jakie są pobierane od strony zasilania.

Oprócz filtrów, istnieją również inne możliwości techniczne rozwiązań mających na celu redukcję wartości generowanych harmonicznych. Należą do nich:

- Powiększenie poziomu mocy zwarcioowej w PWP (?)

- Odpowiednie skojarzenie uzojeń transformatorów
- Redukcja wartości wyższych harmonicznych w prądzie odbiornika (stosowanie układów wielopulsacyjnych przekształników, dla których wzrost liczby pulsów wpływa na eliminację harmonicznych o niższych rzędach)

Źródło

1. Markiewicz - *Instalacje Elektryczne*
2. <http://www.sep.krakow.pl/nbiuletyn/nr46ar1.pdf>

D. Zasady kompensacji mocy biernej w zakładach przemysłowych (w tym skutki nieprawidłowej kompensacji)

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Praca odbiorników przy małej wartości współczynnika mocy oznacza, że pobierają one większe prądy robocze niż jest to konieczne przy tej samej wartości mocy czynnej i współczynniku mocy bliskim jednostki. Oznacza to konieczność instalowania generatorów i transformatorów większej mocy, zwiększone straty energii czynnej przy przesyłku i zwiększone spadki napięć w transformatorach i liniach zasilających. Dlatego zalecane jest utrzymywanie wysokiego współczynnika mocy.

Należy dążyć do ograniczenia poboru mocy i energii biernej do wartości niezbędnych na magnesowanie i pokrycie strat w warunkach znamionowych. Jednym z tzw. Sposobów naturalnych jest usprawnienie eksploatacji urządzeń i odbiorników polegające na:

- Dopasowaniu mocy silników i transformatorów do mocy rzeczywiście niezbędnych
- Wyłączaniu nieobciążonych silników i transformatorów (przy biegu jałowym mają niski współczynnik mocy)
- Niedopuszczeniu do długotrwałych dodatnich odchyлеń napięcia zasilającego.

Działania te mogą się okazać niewystarczające i wtedy konieczne jest instalowanie specjalnych urządzeń kompensacyjnych wytwarzających "na miejscu" energię bierną. Dobiera się je w taki sposób, aby współczynnik mocy zakładu po kompensacji wynosił od 0,9 do 0,98. Nie powinno przy tym występować przekompensowanie, które może powodować min. Trwałe dodatnie odchylenie napięcia oraz nieprawidłową pracę niektórych urządzeń.

Kompensację mocy biernej można zrealizować z zastosowaniem:

- Kondensatorów
- Silników synchronicznych lub asynchronicznych synchronizowanych
- Kompensatorów synchronicznych.

Dobierając urządzenia zasilające baterie kondensatorów, należy uwzględnić przetężenia, które mogą pojawiać się podczas załączania baterii przy dodatnich odchyleniach napięcia oraz przy występowaniu wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym.

Dobór baterii kondensatorów polega obecnie prawie wyłącznie na zastosowaniu rozwiązań typowych, wybranych z katalogu wyrobów wytwarzanych przemysłowo. Należy ustalić jedynie pożądaną moc baterii, liczbę członów regulacyjnych i ich moce, stopień ochrony obudowy, cieplną i dynamiczną wytrzymałość zwarciową aparatów i całej konstrukcji.

Skutki nieprawidłowej kompensacji

Zainstalowanie niewłaściwych kompensatorów bez wcześniejszej analizy zjawisk rezonansowych czy z zastosowaniem niewłaściwego wyposażenia może być przyczyną wielu groźnych zjawisk. Konsekwencją mogą być bardzo poważne awarie aparatów i urządzeń układu zasilająco-rozdzielczego oraz urządzeń kompensacyjnych.

Nieprawidłowa kompensacja prowadzi do nadmiernego poboru mocy biernej, co powoduje większe opłaty za moc bierną, większe straty energii czynnej, ogranicza przepustowość systemu i obniżenie napięcia zasilającego odbiorniki.

Przekompensowanie prowadzi do uzyskania ujemnej wartości współczynnika $\text{tg}\varphi_k$. Oznacza to, że odbiornik zmienia charakter z indukcyjnego na pojemnościowy, a do sieci oddawana jest moc bierna. Zjawisko to jest niepożądane, ponieważ może prowadzić do uszkodzeń zasilanych urządzeń.

Źródło

1. Markiewicz - *Instalacje elektryczne*
2. Elektroenergetyka Zakładów Przemysłowych - Wykład
3. <https://bezel.com.pl/2018/08/01/kompensacja-mocy-biernej/>

E. Efektywność energetyczna w zarządzaniu energią elektryczną w zakładach przemysłowych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Efektywne wykorzystanie energii w gospodarce jest bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na wysokość kosztów produkcji, zyski przedsiębiorstw i konkurencyjność wyrobów czy usług. Nieefektywna gospodarka przekłada się na większe zapotrzebowanie na paliwa i surowce energetyczne oraz zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

Poprawę efektywności energetycznej można osiągnąć w sektorach zużywających najwięcej energii, m.in. Przemyśle czy budownictwie. Wprowadzenie bardziej zaawansowanych metod zarządzania energią wymaga oceny sposobu użytkowania paliw i energii u odbiorcy, połączony z identyfikacją sposobów racjonalizacji jej zużycia, czyli audytu energetycznego.

W przypadku braku środków na sfinansowanie zewnętrznej oceny, wielu użytkowników energii staje przed problemem zmobilizowania służb energetycznych do bardziej wnikliwej analizy prowadzonej gospodarki oraz wypracowania własnych, efektywnych sposobów bieżcej kontroli jej użytkowania. Procedurę taką określa się jako auto-audit energetyczny, którego podstawowym celem jest bieżąca ocena procesów energetycznych i wczesne eliminowanie nieracjonalnego zużycia energii.

Dzięki racjonalnemu zarządzaniu energią można uzyskać znaczną poprawę efektywności energetycznej zakładu, prowadzącą do obniżenia kosztów i zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Zarządzanie energią jest więc ważnym elementem zarządzania kosztami, jak również stanowi podstawę poszanowania energii.

Zarządzanie energią oznacza całokształt działań w zakresie: planowania, wprowadzania udoskonalień oraz oceny efektów mających na celu zwiększenie zysków.

Rosnące ryzyko występowania ograniczeń czasowych stabilnej pracy systemu elektroenergetycznego oraz trend wzrostu cen prądu powoduje, że energooszczędne technologie stają się coraz ważniejszym aspektem zarządzania energią w zakładach. Prowadzą bowiem do obniżenia kosztów energii elektrycznej zakładu oraz zmniejszenia ryzyka tzw. Blackoutów w krajowych sieciach energetycznych.

Narzędziami do efektywnego zarządzania energią są między innymi:

- audyty energetyczne, obejmujące analizę stanu aktualnego zużycia energii w przedsiębiorstwie
- Monitorowanie zużycia energii elektrycznej i innych mediów i stworzenie skoncentrowanych systemów zarządzania, monitorowania i archiwizowania danych w procesie optymalizacji gospodarki energetycznej
- Rozkładanie szczytowych obciążen mediów i optymalizacja procesów produkcyjnych na podstawie danych uzyskanych z audytów i monitoringu danych

Źródło

1. Bogumiła Wnukowska - *Zarządzanie energią w przemyśle*
2. <https://www.ibcon.pl/2018/12/06/raport-zarządzanie-energia-w-zakładach-przemysłowych/>

15. Elektryczne urządzenia odbiorcze

piątek, 8 stycznia 2021 13:02

A. Elektryczne źródła światła, sposoby wytwarzania, budowa i podstawowe parametry

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Sposoby wytwarzania światła

Inkandescencja - temperaturowe wytwarzanie promieniowania elektromagnetycznego polegające na emisji promieniowania wskutek cieplnego wzbudzenia atomów lub cząstek. Zaletą inkandescencji jest szeroki zakres częstotliwości emitowanego widma - od podczerwieni po ultrafiolet

Luminescencja - polega na emisji promieniowania elektromagnetycznego pod wpływem czynnika wzbudzającego, którym nie jest ciepło. W zależności od postaci doprowadzonej energii powodującej wzbudzenie atomów wyróżniamy elektroluminescencję, fotoluminescencję oraz chemiluminescencję. W procesie luminescencji powstaje światło o częstotliwościach ultrafioletowych i trzeba je przetworzyć na światło widzialne przy wykorzystaniu luminoforu, czyli specjalnego materiału powodującego zmianę długości fali.

- Elektroluminescencja - czynnikiem wzbudzającym jest zmienny lub stały prąd elektryczny
- Chemiluminescencja - czynnikiem wzbudzającym są reakcje chemiczne
- Fotoluminescencja - wywołana przez pochłonięcie promieniowania elektromagnetycznego z obszaru widzialnego, ultrafioletu lub podczerwieni; pochłonięta energia jest następnie emitowana w postaci światła, na ogół energii mniejszej niż energia światła wzbudzającego (fluorescencja, fosforescencja)

Budowa źródeł światła

Źródła inkandescencyjne

Żarówki

Żarówki mają najprostszą budowę. Składają się z żarnika, który na podstawie inkandescencji emitemuje światło o pełnym zakresie promieniowania świetlnego, z idealnym oddawaniem barw. Niestety cechuje je mała trwałość, niska skuteczność świetlna i podatność na zmiany napięcia.

Żarówki halogenowe

Żarówki tego rodzaju są wypełnione gazem halogenowym, w którym zachodzi regeneracyjny cykl jodowy wymagający utrzymywanie w każdym miejscu bańki wysokiej temperatury. Żarówki te mają większą skuteczność świetlną i trwałość niż zwykłe żarówki, ale wymagają obniżonego napięcia zasilania. Poza tym w ich widmie pojawia się ultrafiolet, a napięcie zasilające ma duży wpływ na trwałość, strumień świetlny i barwę światła.

Świetłówki

Świetłówki to rurki pokryte w środku luminoforem, w których znajdują się pary rtęci o ciśnieniu ok 1 Pa i gaz pomocniczy o ciśnieniu 2,5-5 hPa. Elektrody świetlówek wykonane są ze skrętki wolframowej. W świetlówkach stosuje się statecznik i zapłonnik do uruchomienia, ponieważ światło w nich wynika z wyładowań elektrycznych i wymaga swego rodzaju "przepięć".

Świetłówki cechuje wysoka skuteczność świetlna, sprawność całkowita i trwałość, dobre oddawanie barw i szeroki zakres temperatur barwowych. Niestety strumień świetlny jest zależny od temperatury otoczenia i zestarzenia świetlówki, a żywotność spada przy dużej liczbie włączeń.

Świetłówki kompaktowe

Maja cechy podobne do zwykłych świetlówek, ale przy tym można je stosować w większości standardowych opraw oświetleniowych. Składają się ze zgiętej rury wyładowczej, statecznika i zapłonnika. Świetłówki kompaktowe pozwalają uniknąć efektu stroboskopowego przy podwyższonej częstotliwości pracy.

Wysokoprężne lampy rtęciowe

Zawierają rtęć pod dużym ciśnieniem rzędu 2 MPa, w której zachodzą wyładowania w jarzynku. Stosuje się tu również luminofor, ponieważ tylko część energii jest zamieniana na promieniowanie widzialne, reszta na UV. W tego typu lampach również potrzebny jest statecznik.

Lampy te mają wysoką trwałość, skuteczność świetlną i niewielki spadek strumienia ze starzeniem,

ale poza tym cechuje je długi czas zapłonu i niemożność ponownego zapłonu natychmiast po wyłączeniu. Oprócz tego wadami są słabe oddawanie barw oraz możliwość wystąpienia zjawiska stroboskopowego.

Wysokoprężne lampy metalohalogenkowe

Wyładowanie występuje w nich w mieszaninie par rtęci i jodków metali zwanych halogenkami. Stosuje się w nich układ zapłonowy i statecznik, a jarznik wytwarza promieniowanie UV. Lampy tego typu mają długi czas zapłonu, ale też szeroki zakres mocy.

Lampy tego rodzaju mają problemy z powtarzalnością barwy światła między egzemplarzami z jednej serii produkcyjnej, a parametry znamionowe osiągane są z pewnym opóźnieniem po włączeniu lampy.

Wysokoprężne lampy sodowe

W ich budowie jest jarznik z sodem i rtęcią oraz gazem zapłonowym. Po zapaleniu łuku i wzroście temperatury rtęć i sód zaczynają parować, co zmienia barwę światła. Ciśnienie w lampach rzędu $0,1 \text{ MPa}$ stabilizuje wyładowanie. Światło tych lamp zapewnia zwiększoną kontrastowość widzenia w zapłoniu i mgle.

Lampy te cechuje mała wrażliwość na wahania temperatury otoczenia i zmiany zapięcia, szeroki zakres mocy, a przy tym brak możliwości natychmiastowego ponownego zapłonu, niski wskaźnik oddawania barw i wysoka luminancja.

Niskoprężne lampy sodowe

Podobne do lamp wysokoprężnych, przy czym ciśnienie jest w nich niższe. Stosowane są najczęściej do oświetlania autostrad, co wynika z bardzo złego oddawania barw.

Lampy indukcyjne

Lampy te zawierają wzbudnik, czyli cewkę wytwarzającą pole EM o częstotliwości radiowej lub mikrofalowej. Środowiskiem wyładowczym są partie rtęci o niskim ciśnieniu. Pobudzenie środowiska wyładowczego powoduje generowanie promieniowania UV, które przez luminofor przetwarzane jest na światło widzialne. W lampach tego typu konieczne jest stosowanie generatora wysokiej częstotliwości.

Lampy indukcyjne mają bardzo dużą trwałość, wysoką skuteczność, natychmiastowy zapłon, brak efektu stroboskopowego, niewrażliwość na zmiany napięcia, niewielkie wymiary i cechują się bardzo dobrym oddawaniem barw. Niemniej jednak koszt ich wytwarzania jest wysoki.

Lampy LED

Lampy LED składają się z diod elektroluminescentycznych. Diody te cechują się bardzo niskim poborem prądu, nie wymagają dodatkowego źródła zasilania i można w nich osiągać pożądane barwy światła.

Podstawowe parametry

Nazwa	Symbol	Jednostka	Wyrażenie	Opis
Strumień światlny	Φ	Lumen [lm]	$\Phi = K_m \int_{380}^{780} P_{r\lambda} V(\lambda) d\lambda$	Całkowita moc emitowana przez źródło światła w zakresie widzialnym
Ilość światła	Q_s	Lumenosekunda [lms]	$Q_s = \int_0^t \Phi dt$	Ilość światła wysłanego ze źródła w czasie
Emitancja światlna (egzytancja)	M_s	$\frac{lm}{m^2}$	$M_s = \frac{d\Phi}{dS}$	Ilość strumienia wysłanego przez jednostkową powierzchnię źródła światła
Światłość	I	Kandela [cd]	$I = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega} = \frac{d\Phi}{d\omega}$	Ilość światła wysłana w danym kierunku, czyli strumień przez kąt brylowy, lumen na steradian
Luminancja	L	$\frac{cd}{m^2}$	$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dS'}$	Miara natężenia światła padającego w danym kierunku. Jeśli jest za duża, powoduje oślepienie
Natężenie oświetlenia	E	Luks [lx]	$E = \frac{d\Phi}{dS}$	Ilość światła, która wysłana z oprawy dociera do rozpatrywanej powierzchni, lumen na metr kwadratowy, zależna od kierunku
Moc źródła	P	[W]	-	Moc elektryczna źródła światła
Napięcie zasilające	U	[V]	-	Napięcie zasilające źródło światła
Skuteczność światlna	η_z	$\frac{lm}{W}$	$\eta_z = \frac{\Phi}{P}$	Stosunek strumienia światlnego wytwarzanego przez źródło do mocy tego źródła
Całkowita sprawność źródła	η	[%]	-	Stosunek rzeczywistej skuteczności światlnnej źródła do teoretycznie najwyższej możliwej skuteczności K_m
Trwałość	T	[h]	-	Liczba godzin, po której 50% źródeł jeszcze świeci
Barwa światła	T_c	[K]		Temperatura barwowa, czyli „ciało doskonale czarne o tej temperaturze miałyby taki sam kolor, jak światło tej oprawy”
Właściwości oddawania barw	R_a	-	-	Zdolność do wiernego oddawania barw oświetlanych przedmiotów

Pozostałymi parametrami są wykres światłości oprawy, pokazujący światłość wysłaną w daną stronę, w zależności od kąta (tzw. krzywe światłości) oraz jakość oddawania barw, czyli klasa zależna od wskaźnika Ra (właściwości oddawania barw).

Źródło

1. Wykład EUO
2. Opracowanie własne do wykładu z EUO
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Dioda_elektroluminescencyjna
4. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektroluminescencja>
5. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Luminescencja>

B. Źródła ledowe - rodzaje, budowa, zalety, zastosowanie w oświetleniu

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Źródła ledowe to źródła światła oparte o diody elektroluminescencyjne. Idea generowania światła przez diody LED polega na rekombinacji elektronów i dziur w warstwie p-złącza półprzewodnikowego p-n. Poprzez odpowiedni dobór materiału można wpływać na barwę emitowanego promieniowania, które zasadniczo powinno być monochromatyczne. W praktyce rekombinacja sprawia, że zauważana jest pewna niewielka szerokość widma o charakterystycznym rozkładzie podobnym do krzywej Gaussa.

Źródłem światła w lampach LED jest biała dioda elektroluminescencyjna, która składa się zwykle z niebieskiej diody elektroluminescencyjnej i luminoforu. W zależności od luminoforu można uzyskać biały kolor w różnej temperaturze barwnej. Inną metodą uzyskiwania światła jest połączenie barwnego światła z trzech diod składowych (czerwona, zielona, niebieska). Barwa wytwarzanego koloru światła jest zależna od składu chemicznego materiału, z którego składa się półprzewodnik.

Rodzaje źródeł LED

DIP - Dual In-Line Package - najstarszy rodzaj diod emitujących światło; wyprowadzenia są przewlekane przez płytę drukowaną, na ogół emittujące jeden kolor światła i najczęściej stosowane w układach sygnalizacyjnych urządzeń elektronicznych. Mają niewielką moc i nieznaczny strumień świetlny - są to najmniej wydajne diody.

SMD - Surface Mounted Device - najpopularniejsza technologia LED; jest to kilka diod zamocowanych obok siebie na pojedynczym chipie. Można tu zainstalować np. trzy kolory diod i uzyskiwać różne kolory światła. SMD zapewnia wysoką efektywność świetlną pojedynczego chipu.,

COB - Chip On Board - płytki, na których osadza się większą ilość diod umieszczonych pod wspólnym luminoforem. Pozwala to na otrzymanie wysokiej wydajności i niewielkiego wymiaru oświetlenia.

MCOB - Multiple Chip On Board - konstrukcja składająca się z kilku połączonych ze sobą chipów COB działających równorzędu; w efekcie oprawa ma kilka niezależnych od siebie źródeł, każde działające na osobnych złączach i obwodzie

Power LED - diody wysokiej mocy, które do poprawnej pracy wymagają odpowiedniego chłodzenia i źródła zasilania. Są to diody pojedyncze o mocy przekraczającej 1W. Aktualnie są stosowane w oświetleniu specjalistycznym ze względu na wysokie koszty wytwarzania.

Poniżej przedstawiono podstawowe typy materiałów stosowanych w LED oraz wytwarzane przez nie promieniowanie:

- arsenek glinowo-galowy (AlGaAs) – LED emmituje światło barwy czerwonej i promieniowanie podczerwone
- fosforek glinowo-galowy (AlGaP) – LED emmituje światło barwy zielonej
- glino-galo fosforek indu (AlGaNp) – LED emmituje światło barwy pomarańczowo-czerwonej, pomarańczowej, żółtej i zielonej
- Fosforo-arsenek galu (GaAsP) – LED emmituje światło barwy czerwonej, pomarańczowoczerwonej, pomarańczowej i żółtej
- fosforek galu (GaP) – LED emmituje światło barwy czerwonej, żółtej i zielonej
- azotek galu (GaN) – LED emmituje światło barwy zielonej, czysto zielonej (lub szmaragdowej) oraz niebieskiej
- azotek indowo-galowy (InGaN) – LED emmituje promieniowanie w bliskim nadfiolecie, światło barwy niebiesko-zielonej i niebieskiej
- selenek cynku (ZnSe) – LED emmituje światło barwy niebieskiej

- diament (C) – LED emisja promieniowanie nadfioletowe
- azotek glinu (AlN), azotek glinowo-galowy (AlGaN) – LED emisja promieniowanie w zakresie bliskiego nadfioletu

Zalety

Zaletami źródeł LED są:

- Duża trwałość (rzędu 100 tys. godzin)
- Odporność na wstrząsy
- Brak promieniowania UV (nieszkodliwe dla dzieł sztuki i ludzkiego wzroku)
- Łatwe uzyskiwanie światła barwnego
- Łatwe sterowanie procesem ściemniania
- Natychmiastowe zapalanie
- Małe wymiary
- Niskie napięcie zasilania
- Niski pobór mocy w stosunku do innych źródeł światła
- Dobry wskaźnik oddawania barw

Zastosowanie w oświetleniu

Aktualnie źródła LEDowe znajdują coraz częstsze zastosowanie w budynkach mieszkalnych, użyteczności publicznej czy nawet w budynkach przemysłowych. Ponadto są praktycznie standardem wszelkiego rodzaju sygnalizatorów ulicznych, kontrolek w pojazdach, wskaźnikach stanu urządzeń załącz-wyłącz.

Badania wykazują, że diody LED nadają się do oświetlania roślin. Oprócz tego, stosuje się je np. w ogrodowych lampach solarnych, latarkach, a coraz częściej na zewnątrz budynków.

Wzrost popularności źródeł LEDowych wynika z ich rozwoju w ostatnich latach, pozwalającego na osiąganie dużych strumieni świetlnych, rzędu kilkudziesięciu lm/W. W starszych książkach można znaleźć informacje na ten temat.

Źródło

1. Żagan - *Podstawy techniki świetlnej*
2. https://en.wikipedia.org/wiki/LED_lamp#Application
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lampa_LED
4. <https://renovis.pl/rozne-technologie-led/>

C. Procesy termokinetyczne, straty ciepła

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Procesy termokinetyczne

Procesy termokinetyczne to ogólna nazwa procesów cieplnych polegających na przekazywaniu ciepła między ciałami, przy wystąpieniu różnicy temperatur między nimi.

Procesami termokinetycznymi są:

- **Przewodzenie** - międzycząsteczkowa wymiana energii, głównie w ciałach stałych gdzie ruch drgający atomów i cząsteczek ma znaczenie, ruch elektronów także (metale)
- **Promieniowanie (radiacja)** - przekazywanie energii za pośrednictwem promieniowania elektromagnetycznego, czyli inkandescencja. Emitowana energia jest proporcjonalna do 4. potęgi temperatury bezwzględnej ciała
- **Unoszenie (konwekcja)** - przekazywanie energii w wyniku makroskopowego ruchu substancji; może zachodzić jedynie w cieczach i gazach. Rozróżnia się unoszenie swobodne, zależne od gęstości substancji (zależnej od temperatury) oraz unoszenie wymuszone, polegające na różnicy ciśnień w ośrodku, niezależnie od swobodnego mechanizmu.

Najczęściej występuje kilka wymienionych procesów.

Podstawowe prawa określające moc cieplną w procesach termokinetycznych

Podstawowymi prawami opisującymi moc cieplną w procesach termokinetycznych są:

- **Prawo Fouriera** - opisujące przepływ ciepła przez dany materiał, czyli ciepło przenoszone przez tor cieplny z gradientem temperatury proporcjonalnie do konduktywności cieplnej ciała przewodzącego, toru cieplnego
 - Ciepło płynie tylko wtedy, gdy występuje różnica temperatur, w kierunku od temperatury wyższej do temperatury niższej; dla większości substancji ilość energii przekazanej przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu jest proporcjonalna do różnicy temperatur
- **Prawo Newtona** - prawo, które mówi że moc cieplna przekazywana w procesie unoszenia jest proporcjonalna do powierzchni ciała przekazującego ciepło i różnicy temperatur ciała i ośrodka przejmującego ciepło. Używa się tu współczynnika konwekcji. Prawo to określa moc cieplną pomiędzy ciałem stałym i płynem
 - Nazywane też prawem stygnięcia Newtona: szybkość, z jaką układ stygne, jest proporcjonalna do różnicy temperatur pomiędzy układem a otoczeniem. Nie dotyczy ono promieniowania cieplnego, konwekcji i zmiany stanów skupienia przy przewodzeniu ciepła
- **Prawo Stefana-Boltzmannia** - prawo opisujące przenoszenie ciepła metodą radiacji, opisujące przekazywanie mocy z jednego ciała do drugiego z uwzględnieniem wszelkich odbić, czyli promieniowania zwrotnego oraz pochłaniania mocy przez te ciała. Prawo to też określa, że jeśli temperatury są równe, to moc efektywna jest równa 0
 - W najprostszej wersji prawo to opisuje całkowitą moc wypromienowywaną przez ciało doskonale czarne w danej temperaturze.
- **Prawo Kirchhoffa** - wynika z niego, że emisyjność dowolnego ciała szarego jest równa jego współczynnikowi pochłaniania. Jest to rozwinięcie prawa Stefana-Boltzmannia.
 - Jest to prawo, zgodnie z którym w ustalonej temperaturze stosunek zdolności emisyjnej ciała do jego zdolności absorpcyjnej jest uniwersalną funkcją, taką samą dla wszystkich ciał.

Straty ciepła - bilans strat, sposoby zmniejszania

Straty ciepła polegają na przekazywaniu ciepła z układu do otoczenia wskutek zachodzenia procesów termokinetycznych - dzieje się to zawsze, gdy istnieje różnica temperatur między urządzeniem a otoczeniem.

Straty ciepła ograniczają sprawność urządzenia oraz utrudniają proces technologiczny. Moc strat

cieplnych jest na ogół znacznie większa od strat elektrycznych.

Ograniczanie strat cieplna polega na zmniejszeniu konduktywności cieplnej obudowy urządzenia lub zwiększenie grubości ścian, przy czym zwiększanie grubości ścian prowadzi do akumulacji w nich większej ilości ciepła, co nie jest pożądane.

Bilans strat wynika z trudnego równania, które najłatwiej rozwiązać metodą graficzną. W bilansie strat ciepła uwzględnia się moc oddawaną do otoczenia przez promieniowanie oraz konwekcję, co jest jednoznaczne ze stratami mocy przekazywanej przez przewodnictwo cieplne.

Bilans cieplny jest zestawieniem opisującym wielkości energii cieplnych określonego układu termodynamicznego i wynika z I zasady termodynamiki dla przypadku układu termodynamicznie izolowanego. Zasada ta mówi, że w układzie bez strat ciepła, ciepło pobrane przez jedno ciało jest równe ciepłu oddanemu przez inne ciało.

Bilans cieplny uwzględnia sumę ciepła dostarczonego do układu z otoczenia, sumę ciepła, którą układ wydziela na zewnątrz oraz efekt cieplny procesów zachodzących wewnątrz układu. Uwzględnienie ciepła dostarczonego i wydzielonego oraz wytworzonego w układzie umożliwia zastosowanie zasady bilansu cieplnego do układu zamkniętego.

Źródło

1. Wykład EUO
2. Własne opracowanie do wykładu z EUO
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Przewodzenie_ciep%C5%82a
4. https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_stygni%C4%99cia
5. https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Stefana-Boltzmana
6. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Kirchhoffa_\(promieniowanie\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Kirchhoffa_(promieniowanie))
7. https://pl.wikipedia.org/wiki/Bilans_cieplny

D. Kryteria podziału i ogólna charakterystyka urządzeń elektrotermicznych

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Przemiany elektrotermiczne

Procesem elektrotermicznym nazywa się proces termogeneracyjny, polegający na wytwarzaniu ciepła w układzie elektrotermicznym. Do najbardziej rozpowszechnionych w przemyśle przemian elektrotermicznych należą:

1. **Przemiana elektrotermiczna oporowa** - polega na wytwarzaniu ciepła kosztem pracy prądu elektrycznego, przepływającego przez przewodnik elektryczny w stanie stałym
2. **Przemiana elektrotermiczna elektrodowa** - polega na wytwarzaniu ciepła kosztem pracy prądu elektrycznego, doprowadzonego do tej cieczy za pomocą elektrod
3. **Przemiana elektrotermiczna łukowa** - polega na wytwarzaniu ciepła kosztem pracy prądu elektrycznego, przepływającego przez środowisko gazowe w obszarze wyładowania łukowego
4. **Przemiana elektrotermiczna indukcyjna** - polega na wytwarzaniu ciepła w środowisku przewodzącym, kosztem energii pola elektromagnetycznego, działającego na to środowisko
5. **Przemiana elektrotermiczna pojemościowa** - polega na wytwarzaniu ciepła w środowisku dielektrycznym, kosztem energii pola elektromagnetycznego działającego na to środowisko.
6. **Przemiana elektromagnetyczna promiennikowa** - polega na wytwarzaniu ciepła kosztem energii promienistej, emitowanej przez elektryczne źródło promieniowania podczerwonego.
7. **Przemiana elektrotermiczna elektronowa** - polega na wytwarzaniu ciepła kosztem energii strumienia elektronów przyspieszanych w polu elektrycznym
8. **Przemiana elektrotermiczna plazmowa** - polega na wykorzystaniu energii wewnętrznej plazmy, wytwarzanej w obszarach wyładowań łukowych wysokiego ciśnienia lub w obszarach wyładowań wielkiej częstotliwości
9. **Przemiana elektrotermiczna mikrofalowa** - polega na wytwarzaniu ciepła kosztem energii fal elektromagnetycznych o częstotliwościach rzędu gigaherców.

Kryteria podziału urządzeń elektrotermicznych

Urządzenie elektrotermiczne to układ grzejnika elektrycznego (źródła ciepła wytwarzanego kosztem energii elektrycznej) oraz urządzeń pomiarowych, regulacyjnych, pomiarowych, sygnalizacyjnych itp. Umożliwiających prawidłową pracę tego grzejnika elektrycznego.

Odbiornikami ciepła wytwarzanego przez grzejnik elektryczny mogą być dowolne materiały lub przedmioty, nazywane ogólnie wsadem.

Urządzenia elektrotermiczne można dzielić ze względu na:

- **Zastosowaną metodę elektrotermiczną:** oporowe, indukcyjne, łukowe, elektrodowe, pojemościowe, promiennikowe, elektronowe, plazmowe, mikrofalowe
- **Sposób konstrukcji:** komorowe, bezkomorowe
- **Częstotliwość zasilającą:** stałoprądowe, sieciowe, średniej częstotliwości do 10^5 Hz , wielkiej częstotliwości do 10^9 Hz , mikrofalowe
- **Umiejscowienie mocy w układzie:** bezpośrednie (wsad jest częścią obwodu), pośrednie (wsad leży obok elementu grzewczego)

Ogólna charakterystyka urządzeń elektrotermicznych

Uwzględniając podział na sposób konstrukcji, urządzenia można ogólnie scharakteryzować w sposób jak poniżej.

Urządzenia komorowe

Urządzenia komorowe zawierają komorę grzejną, czyli przestrzeń ograniczoną ścianami utrudniającymi odpływ ciepła do otoczenia. Można do nich zaliczyć:

1. **Piece elektryczne** - urządzenia przeznaczone do procesów technologicznych, polegających na zmianie stanu skupienia, struktury lub przemianach chemicznych wsadu
2. **Suszarki elektryczne** - urządzenia przeznaczone do procesów suszenia, polegających na przemianie stanu skupienia składników związanych z wsadem (parowanie wilgoci z drewna, parowanie rozcieńczalnika z powłok lakierowych)
3. **Cieplarki elektryczne** - urządzenia przeznaczone do wygrzewania wsadu w określonej temperaturze, zwykle niezbyt wysokiej.

Urządzenia bezkomorowe

Zasadniczą cechą urządzeń bezkomorowych jest brak komory grzejnej opisanej powyżej. Do urządzeń bezkomorowych są zaliczane:

1. **Elektryczne urządzenia grzejne** - np.. Lutownice, żelazka do prasownia
2. **Elektryczne przyrządy grzejne** - np. ogrzewacze wewnętrzowe, grzałki
3. **Nagrzewnice elektryczne** - np.. Nagrzewnice oporowe, nagrzewnice indukcyjne.
 - Nagrzewnice to urządzenia służące do generowania ciepła we wsadzie zaciśniętym między elektrodami połączonymi z zaciskami wtórnego uzwojenia transformatora zasilającego.

Źródło

1. Teresiak - Przemiany Energii Elektrycznej
2. Wykład z EUO
3. Notatki do wykładu z EUO

E. Zasada działania, budowa i właściwości wybranych urządzeń elektrotermicznych: oporowych, łukowych, indukcyjnych, pojemnościowych, mikrofalowych, promiennikowych.

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

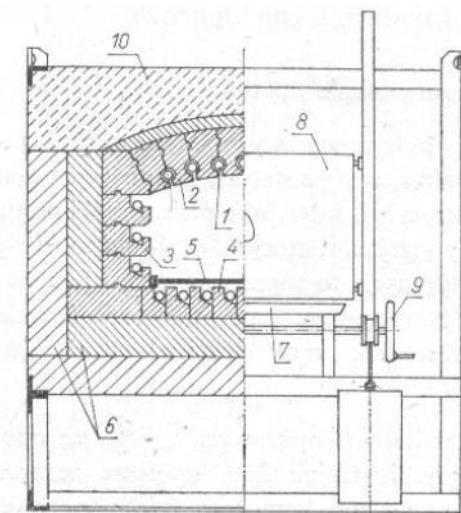
Urządzenia elektrotermiczne oporowe

Ciepło wytwarzane w urządzeniach oporowych powstaje zgodnie z prawem Joule'a ze względu na przepływ prądu przez mające opór ciało stałe, stanowiące element obwodu zasilanego ze źródła energii elektrycznej. Jeśli jako przewodniki prądu wykorzystuje się przewody grzejne, z których ciepło przenosi się do wsadu przez procesy termokinetyczne, mowa o przemianie oporowej pośredniej. Jeśli wsad jest częścią obwodu - przewodnikiem prądu elektrycznego, przez który płynie prąd powodujący wydzielanie ciepła - mowa o przemianie oporowej bezpośredniej.

Elementy grzejne to na ogół przewody wykonane z materiału oporowego, ukształtowanego w takiej postaci, w jakiej mają pracować w urządzeniu. Wykonuje się je ze specjalnych oporowych materiałów grzejnych mogących pracować w wysokich temperaturach.

Piece oporowe pośrednie

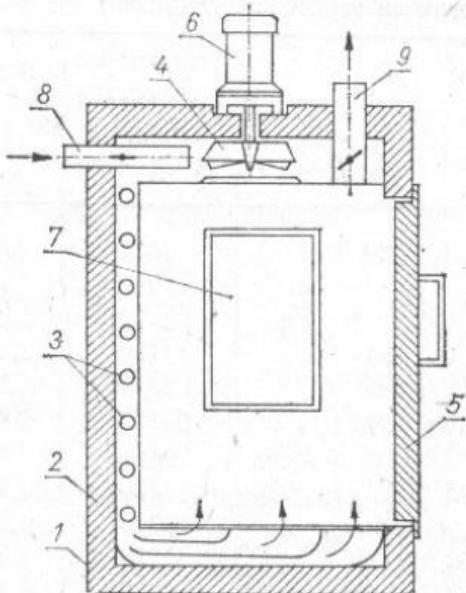
Piece oporowe pośrednie są najczęściej stosowanymi urządzeniami oporowymi w przemyśle. Wyróżnia się wśród nich piece wytopowe i nagrzewcze (ze względu na zastosowanie) oraz piece przelotowe i nieprzelotowe (ze względu na sposób umieszczania wsadu w komorze grzejnej). W konstrukcji pieców można wyróżnić obudowę zewnętrzną, wyprawę ogniotrwałą, izolację cieplną, elementy grzejne, instalację elektryczną, elementy mechaniczne (podajniki wsadu, mechanizm otwierania drzwi itp.), urządzenia pomiarowo-kontrolne i regulacyjne.



RYS. 8.3. Budowa pieca oporowego pośredniego
1 — elementy grzejne, 2, 3, 4 — kształtki ogniotrwałe, 5 — płyta denna, 6 — cegły ogniotrwałe, 7 — stół załadowczy, 8 — drzwi, 9 — mechanizm otwierania drzwi, 10 — materiał termoizolacyjny

Suszarki oporowe

Suszarki oporowe są urządzeniami pośrednimi. Odbywa się w nich suszenie konwekcyjne za pomocą powietrza nagrzanego od elementów grzejnych. Nagrane powietrze opływa wsad umieszczony w komorze.



RYS. 8.4. Suszarka oporowa komorowa

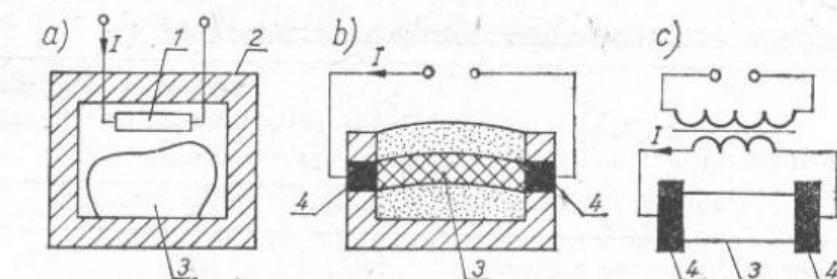
1 — obudowa stalowa, 2 — izolacja cieplna, 3 — elementy grzejne, 4 — wentylator, 5 — drzwi, 6 — silnik, 7 — ścianka bezpieczeństwa (przeciwwybuchowa), 8 — wlot powietrza, 9 — wylot powietrza (strzałkami zaznaczono kierunek przepływu powietrza w suszarce)

Piece oporowe bezpośrednie

Piece oporowe bezpośrednie są stosowane w niektórych procesach technologicznych, szczególnie do produkcji grafitu i karborundu. Prąd płynący przez wsad jest doprowadzany za pośrednictwem elektrod umieszczonej w ścianach pieca.

Nagrzewnica oporowa

Nagrzewnica oporowa jest urządzeniem elektrotermicznym bezkomorowym, w którym ciepło jest generowane we wsadzie zaciśniętym między elektrodami połączonymi z zaciskami wtórnego uwojenia transformatora zasilającego. Nagrzewanie oporowe może służyć do nagrzewania skrośnego wsadów stalowych przed kuciem czy tłoczeniem, jest też podstawą procesu zgrzewania (zgrzewarki oporowe).



RYS. 8.2. Zasady budowy urządzeń elektrotermicznych oporowych:
a) piec oporowy pośredni; b) piec oporowy bezpośredni; c) nagrzewnica oporowa bezpośrednią

1 — elementy grzejne, 2 — komora grzejna, 3 — wsad, 4 — elektrody

Urządzenia elektrotermiczne łukowe

Wytwarzanie ciepła w urządzeniach łukowych jest skutkiem przepływu prądu elektrycznego przez ośrodek gazowy w obszarze wyładowania łukowego wielkoprądowego. W procesie nagrzewania pośredniego łuk płynie między specjalnymi elektrodami, a ciepło przenosi się do wsadu termokinetyczne, głównie przez promieniowanie łuku. W nagrzewaniu bezpośrednim wsad spełnia rolę jednej z elektrod, czyli łuk styka się z wsadem, a wsad stanowi część obwodu łukowego.

Nagrzewanie łukowe charakteryzuje bardzo wysoka temperatura 7000-10000 K i nierównomierny rozkład temperatury w komorze grzejnej.

Piece łukowe pośrednie

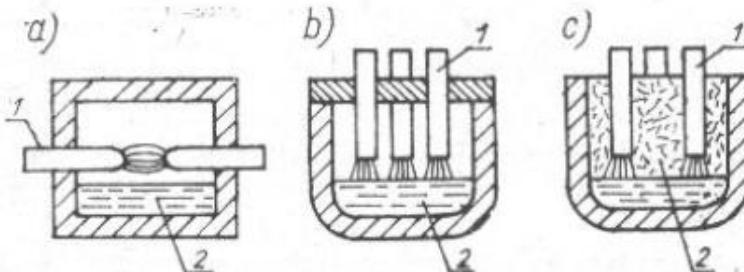
Obecnie budowane są jako trójfazowe (bo powodowały duże asymetrie sieci). Mają niewielkie zastosowanie ze względu na trudność regulacji w mocy grzejnej i szybkie zużywanie się wskutek promieniowania łuku.

Piece łukowe bezpośrednie

Budowane są jako trójfazowe o dużych mocach (rzędu MVA) i pojemnościach do kilkuset ton. Mają duże zastosowanie jako piece hutnicze do wytapiania stali. Elektrody trójfazowego pieca łukowego są rozmieszczone tak, że punkty przecięcia ich osi z płaszczyzną poziomą tworzą trójkąt równoboczny. Wsad jest pakowany do nich od góry. Piece tego typu wyposażane są w mieszacze indukcyjne, które mają za zadanie wskutek działania wirującego pola magnetycznego wprawiać w ruch dolne, stopione warstwy wsadu.,

Piece oporowo-łukowe

W piecach oporowo-łukowych łuk płonie między elektrodami, których końce są pogrążone we wsadzie stałym o znacznej rezystwności. Buduje się je jako wielofazowe o dużych mocach i pojemnościach (jak w piecach łukowych bezpośrednich). Stosowane są w hutnictwie i przemyśle chemicznym.



RYS. 8.22. Zasady budowy urządzeń elektrotermicznych łukowych: a) piec łukowy bezpośredni; b) piec łukowy bezpośredni; c) piec oporowo-łukowy
1 — elektrody, 2 — wsad

Spawarki łukowe

Spawarki są urządzeniami łukowymi pośrednimi bezkomorowymi. Wykorzystują one "wsad", czyli materiał do zespawania, jako elektrodę uziemioną

Urządzenia elektrotermiczne indukcyjne

W urządzeniach indukcyjnych wykorzystuje się zjawisko indukcji elektromagnetycznej, podobnie jak w transformatorach. Urządzenie elektrotermiczne ma jedno uzwojenie, nazywane wzbudnikiem, które spełnia analogiczną rolę do uzwojenia pierwotnego transformatora. Zamiast uzwojenia wtórnego występuje przewodzący elektrycznie wsad. Nagrzewanie indukcyjne stosuje się zazwyczaj do wsadów przewodzących i w związku z tym jest ono nagzewaniem bezpośrednim. Grzejnictwo indukcyjne pośrednie ma niewielkie zastosowanie do nagrzewania materiałów nieprzewodzących (np. indukcyjne suszenie powłok lakierowych na podłożach metalicznych).

Piece indukcyjne

Piece indukcyjne są urządzeniami komorowymi bezpośrednimi, stosowanymi do topienia metali.

Nagrzewnice indukcyjne

Nagrzewnice indukcyjne są urządzeniami bezkomorowymi służącymi do nagrzewania i obróbki cieplnej przedmiotów metalowych. Rozróżnia się nagrzewnice częstotliwości sieciowej, średniej i wielkiej. Dzielą się je też na skrócone i powierzchniowe.

Piece rdzeniowe

W piecach rdzeniowych nagrzewanie topionego metalu odbywa się w specjalnie ukształtowanym kanale grzejnym opasującym rdzeń ferromagnetyczny, na którym osadzony jest wzbudnik. Rozróżnia się piece z kanałem otwartym i zamkniętym. W piecach tego typu reluktancja jest niewielka, więc mogą być zasilane częstotliwością sieciową.

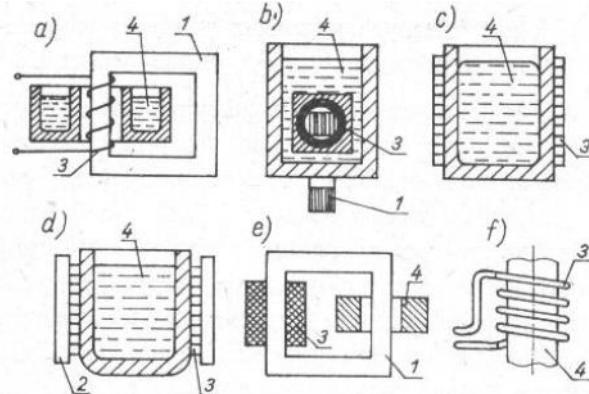
Piece bezrdzeniowe

W piecach indukcyjnych bezrdzeniowych komora grzejna jest umieszczona wewnętrz wzbudnika, a

strumień magnetyczny zamyka się przez powietrze i przez wsad. Permeancja takiego obwodu jest mała, więc strumień również. Piece te muszą pracować przy odpowiednio wysokich częstotliwościach.

Piece tyglowe

Są pośrednią konstrukcją między piecami rdzeniowymi i bezrdzeniowymi. Zasilane są prądem o częstotliwości sieciowej. Wyposażane są w tygiel ogniotrwały na zewnątrz którego jest umieszczony wzbudnik i boczniaki magnetyczne mające wzmacnić strumień magnetyczny wnikający we wsad. Piece tego typu mają pojemność kilku ton i służą do topienia stali, żeliwa i metali kolorowych.



RYS. 8.32. Zasady budowy urządzeń elektrotermicznych indukcyjnych: a) piec rdzeniowy z kanałem otwartym; b) piec rdzeniowy z kanałem zamkniętym; c) piec bezrdzeniowy; d) piec tyglowy; e) nagrzewnica rdzeniowa; f) nagrzewnica bezrdzeniowa
1 — rdzeń ferromagnetyczny, 2 — boczniak magnetyczny, 3 — wzbudnik, 4 — wsad

Urządzenia elektrotermiczne pojemnościowe

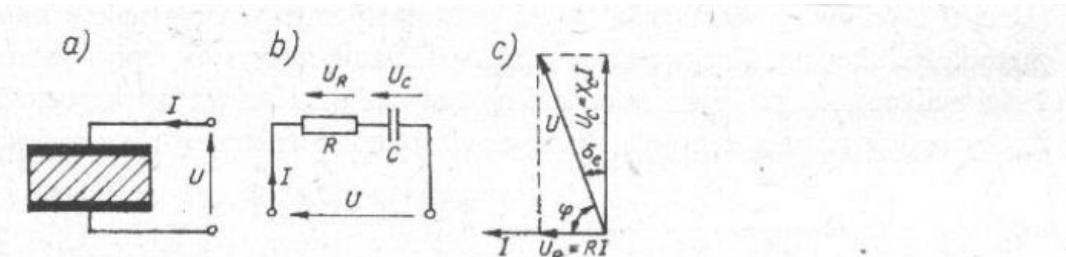
Urządzenia pojemnościowe wykorzystują zjawisko pochłaniania energii pola elektromagnetycznego przez materiały wsadowe będące dielektrykami niedoskonałymi. Pod wpływem pola elektrycznego wielkiej częstotliwości, we wsadzie następuje polaryzacja. Energia tracona na polaryzację cząstek wsadu wydziela się w nim w postaci ciepła. Częściowo udział ma tu też ciepło Joule'a, związane z przepływem prądu przewodzenia.

Nagzewanie pojemnościowe jest nagzewaniem bezpośrednim i może być stosowane do wsadów o bardzo dużej rezystywności. Korzysta się z niego np. w produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych termoutwardzalnych i termoplastycznych, klejenia drewna żywicami termoutwardzalnymi, wulkanizacji kauczuku i produkcji wyrobów gumowych czy tropienia i spajania szkła.

Zasadniczo, urządzenia pojemnościowe są bardzo dużymi kondensatorami.

Nagrzewnice pojemnościowe

Nagrzewnica pojemnościowa składa się z elektronicznego generatora wielkiej częstotliwości i przyłączonych do niego elektrod zwanych elektrodami grzejnymi. Między elektrodami umieszcza się wsad. Pole elektromagnetyczne w układach elektrotermicznych pojemnościowych jest związane z układem elektrod grzejnych. Częstotliwości pól elektromagnetycznych stosowanych w grzejnictwie pojemnościowym zawierają się w granicach 1-100 MHz.



RYS. 8.43. Układ elektrotermiczny pojemnościowy: a) kondensator grzejny; b) schemat zastępczy; c) wykres wektorowy

Urządzenia elektrotermiczne mikrofalowe

Przemiana elektrotermiczna mikrofalowa polega na wytwarzaniu ciepła kosztem energii fal

elektromagnetycznych o częstotliwościach rzędu gigaherców. W tym zakresie częstotliwości jako źródła fal elektromagnetycznych stosuje się generatory magnetronowe.

Magnetron jest lampą elektronową, w której na elektrony emitowane przez katodę działa pole elektryczne wytworzone pod wpływem napięcia anodowego. W wyniku oddziaływania pola magnetycznego na elektrony przemieszczające się w polu elektrycznym, w magnetronie powstają drgania elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu mikrofal.

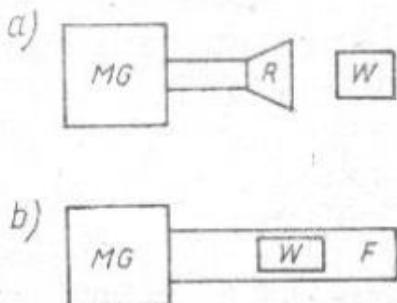
Stosuje się dwa sposoby nagrzewania mikrofalowego wsadu:

- W falowodzie lub rezonatorze sprzężonym z generatorem
- W otwartej przestrzeni, za pomocą radiatorka (anteny) sprzężonego z generatorem

Wytwarzanie ciepła jest wynikiem wnikania fali elektromagnetycznej we wsad i zużywania jej energii na straty dielektryczne. Ze względu na to, że długość fali (kilkadziesiąt cm) jest porównywalna z wymiarami wsadu, nagzewanie mikrofalowe charakteryzuje się znaczną nierównomiernością rozkładu mocy grzejnej we wsadzie.

Głębokość wnikania mikrofal we wsad to odległość od powierzchni w której gęstość objętościowa mocy jest $e=2,718\dots$ razy większa niż na powierzchni wsadu. Głębokość wnikania we wsady nagzewane mikrofalami wynosi zwykle od kilku do kilkunastu centymetrów, dlatego nagzewanie mikrofalowe jest stosowane tylko do wsadów o niewielkich wymiarach.

Nagzewanie mikrofalowe stosuje się w kuchniach mikrofalowych, przetwórstwie spożywczym i farmaceutycznym, przemyśle papierniczym i przemyśle tworzyw sztucznych.



RYS. 8.58. Nagzewanie mikrofalowe: a) w przestrzeni otwartej; b) we wnętrzu falowodu

MG — magnetronowy generator mikrofalowy, F — falowód, R — radiator, W — wsad

Urządzenia elektrotermiczne promiennikowe

Przemiana elektrotermiczna promiennikowa polega na wytwarzaniu ciepła kosztem energii promienistej emitowanej przez elektryczne promienniki podczerwieni. Nazywa się nimi urządzenia przeznaczone do przetwarzania doprowadzonej energii elektrycznej na energię promieniowania elektromagnetycznego w zakresie podczerwieni i przystosowane do kierowania tego promieniowania w żadanym kierunku.

Promienniki podczerwieni dzieli się na:

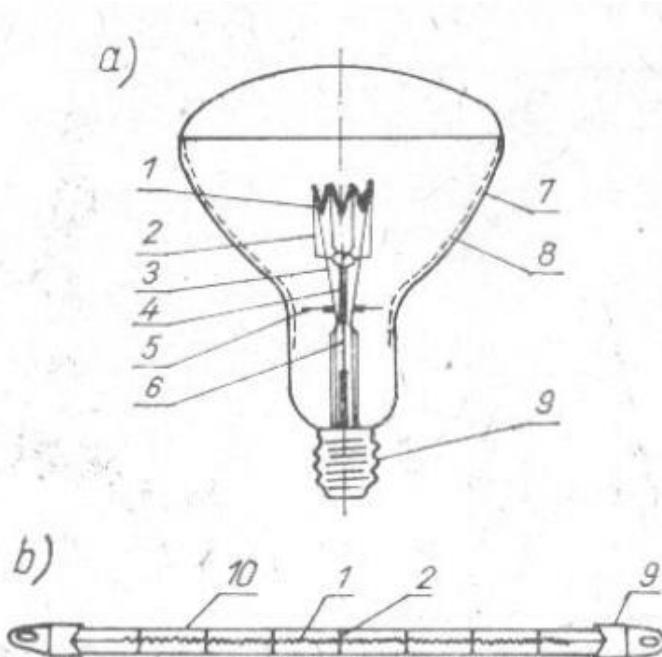
- **Promienniki przewodowe** - promienniki inkandescencyjnym, emitujące promieniowanie podczerwone wskutek nagrzania ciepłem Joule'a odpowiednio ukształtowanego przewodu grzejnego w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez ten przewód
- **Promienniki bezprzewodowe** - kwantowe generatory promieniowania podczerwonego oraz promienniki, w których energia promienista jest wytwarzana na skutek wyładowań elektrycznych w gazach lub parach metali.

W przemyśle stosuje się prawie wyłącznie promienniki o inkandescencyjnym wytwarzaniu promieniowania. Taki promiennik składa się z dwóch podstawowych elementów: elementu emittującego promieniowanie, nazywanego żarnikiem oraz elementu kierującego promieniowanie w

żądanim kierunku, nazywanego odbłyśnikiem.

Najbardziej rozpowszechnione są promienniki lampowe, mające budowę podobną do żarówki. Warstwa metaliczna pokrywająca część bańki szklanej spełnia w nich rolę odbłyśnika.

Układy większej liczby promienników można łączyć w piece (urządzenia komorowe) oraz nagrzewnice promiennikowe (urządzenia bezkomorowe). W piecach promienniki podczerwieni umieszczone są na ścianach komory i skierowane na wsad.



RYS. 8.50. Elektryczne promienniki podczerwieni: a) lampowy; b) kwarcowy
1 — żarnik, 2 — wspornik, 3 — doprowadnik prądu, 4 — słupek, 5 — odwiewka, 6 — nożka, 7 — bańka, 8 — odbłyśnik, 9 — trzonek, 10 — rura kwarcowa

Źródło

1. Teresiak - *Przemiany Energii Elektrycznej*

16. Podstawy elektrostatyki stosowanej

piątek, 8 stycznia 2021 13:02

A. Zgromadzona energia i potencjał obiektów ze stałym ładunkiem

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Podstawowe zależności

Podstawowymi zależnościami wiążącymi energię, potencjał oraz ładunek obiektów są:

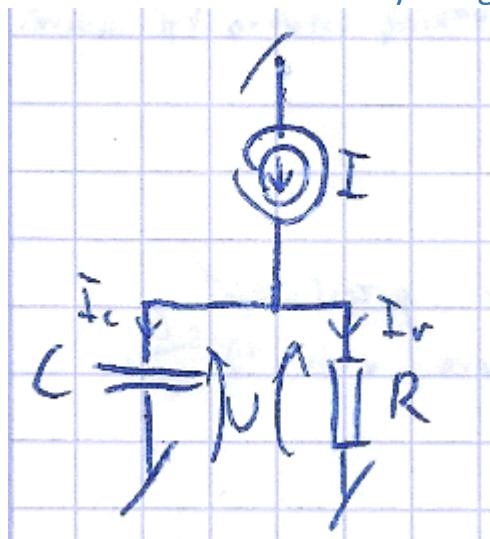
$$C = \frac{Q}{U} \left[\frac{F}{V} \right] = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} [F]$$

$$W = \frac{1}{2} C U^2 [J] = \frac{1}{2} Q U [J]$$

Zatem w przypadku układów ze stałym ładunkiem, można wyszczególnić następujące zależności:

- Zmniejszenie odległości między okładkami kondensatora powoduje wzrost jego pojemności. Wzrost pojemności przy stałym ładunku oznacza maleńcie potencjału. Maleńcie potencjału sprawia, że energia kondensatora się zwiększa.
 - W praktycznym rozumowaniu: jeżeli oddalamy okładki kondensatora o stałym ładunku od siebie, to wykonujemy pracę przeciw polu elektrycznemu - to zwiększa potencjał, a jednocześnie zmniejsza pojemność
- Zmniejszenie potencjału elektrycznego powoduje przy stałym ładunku, że spada energia, rośnie także pojemność kondensatora.
- Jeśli układ ma stosunkowo niewielką pojemność, to przy nieznacznych poziomach zgromadzonej energii może to powodować powstawanie wysokiego potencjału, przewyższającego wytrzymałość elektryczną powietrza; energia takich wyładowań zależy od zgromadzonej energii układu.
 - Wyładowania tego typu mogą być niebezpieczne zwłaszcza w ośrodku łatwopalnym.
- Włożenie między okładki kondensatora dielektryka powoduje wzrost pojemności kondensatora, co przy stałym ładunku wymaga zmniejszenia się potencjału na kondensatorze; oznacza to zmniejszenie się energii układu

Model układu elektrostatycznego



Generator prądu I odzwierciedla ciągłość procesu generacji ładunku, rezistor R - rozpraszanie ładunku, a C - pojemność obiektu. Można wyróżnić trzy fazy procesu zachodzącego w modelu elektrostatycznym:

1. Prąd I ładuje pojemność C - prowadzi to do gromadzenia się na niej ładunku Q
2. Wywołany wzrostem ładunku na pojemności C wzrost potencjału jest równoznaczny ze wzrostem potencjału na rezystancji R - przez co zaczyna przez nią płynąć prąd
3. Prąd ładowania i rozładowywania się wyrównują - proces ładowania się kończy.

Na podstawie tego modelu można opisać, że maksymalna energia układu jest równa:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}CI^2R^2$$

Źródło

1. Energooszczędne technologie w przemyśle - własne notatki + wykład + własne opracowanie do wykładu
2. https://www.if.pw.edu.pl/~anadam/WykLadyFO/FoWWW_32.html
3. <http://home.agh.edu.pl/~jankowsk/imir/elektrostatyka.htm>

B. Elektryzacja cia³ sta³ych i cieczy

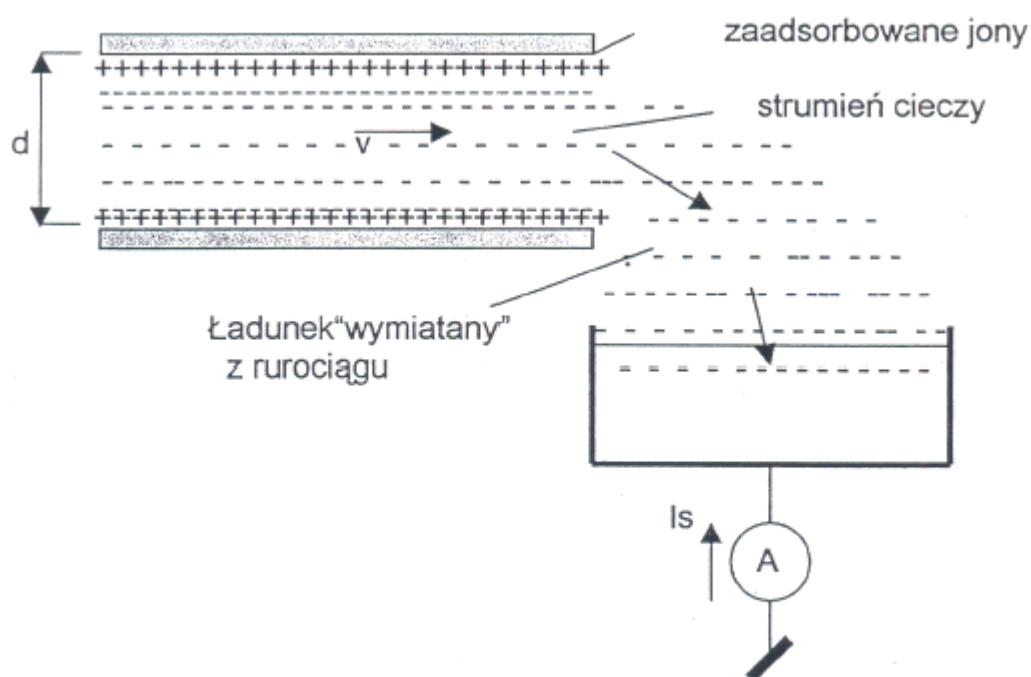
piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Elektryzacja naturalna cieczy

Elektryzacja naturalna cieczy to zjawisko, które powoduje generowanie ładunku w przepływającej przez rurę cieczy. Do wyjaśnienia tego zjawiska wykorzystuje się pojęcie tzw. **Warstwy podwójnej**, która występuje między ciecą a ścianką rury.

Warstwa podwójna prowadzi do adsorbowania jonów do powierzchni ścianki. Na ogół dotyczy to jonów dodatnich. Adsorpcja ta powoduje, że ciecz wypływająca z rury ma ładunek niezrównoważony o jednoimiennym znaku, najczęściej ujemny. W ten sposób można zgromadzić bardzo duży ładunek, co wymaga uziemienia zarówno rur jak i cystern z płynem.

W praktyce, elektryzacja naturalna nie znajduje żadnego zastosowania w przemyśle.



Rys. 2. Prąd w strumieniu cieczy. Separacja ładunku w objętości i absorpcja jonów na ściankach rurociągu prowadzi do wypływu naładowanego ujemnie strumienia cieczy.

Elektryzacja indukcyjna

Elektryzacja indukcyjna jest najpowszechniej stosowaną metodą elektryzacji w procesach technologicznych. Dotyczy ona jednak tylko **cieczy i ciał stałych przewodzących lub półprzewodzących**, czyli mających rezystywność poniżej $10^8 \Omega\text{m}$.

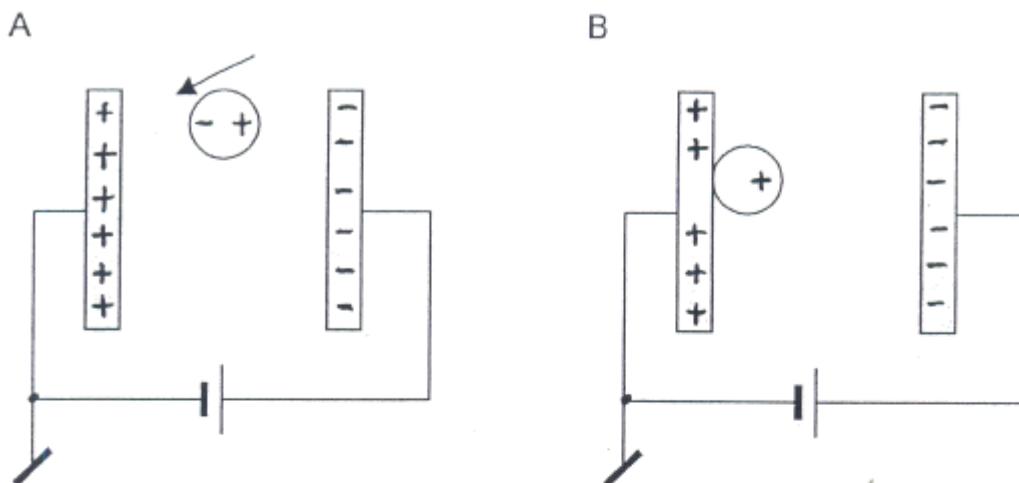
Elektryzacja przez indukcję polega na oddziaływaniu polem elektrycznym E na medium przewodzące o pewnej rezystywności. Po pewnym czasie, większym niż stała czasowa materiału ($\tau = \epsilon_0 \epsilon_r \rho_v$) na powierzchni cząstek pojawia się ładunek. Elektryzacji tej ulegają zatem media w sytuacji, gdy czas ładowania jest większy niż stała czasowa materiału.

Neutralna cząstka z materiału przewodzącego porusza się w przestrzeni między dwiema elektrodami, między którymi występuje pole elektryczne. Ładunki elektryczne w materiale przegrupowują się w taki sposób, aby doprowadzić do stałego potencjału na powierzchni cząstki. Jeżeli cząstka na chwilę zetknie się z ziemią, ładunek opuszcza ją pozostawiając nadmiar ładunku przeciwnego znaku.

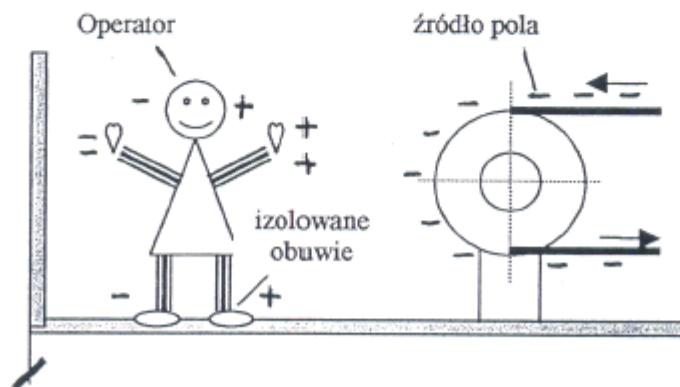
Naładowana w ten sposób cząstka będzie dalej migrować w polu elektrody o znaku przeciwnym.

Ładunek nabyty przez cząstkę zależy od pojemności C między nią a elektrodą przeciwną. Maksymalna wartość ładunku jest ograniczona przez czas relaksacji cząstki oraz granicę wyładowań koronowych.

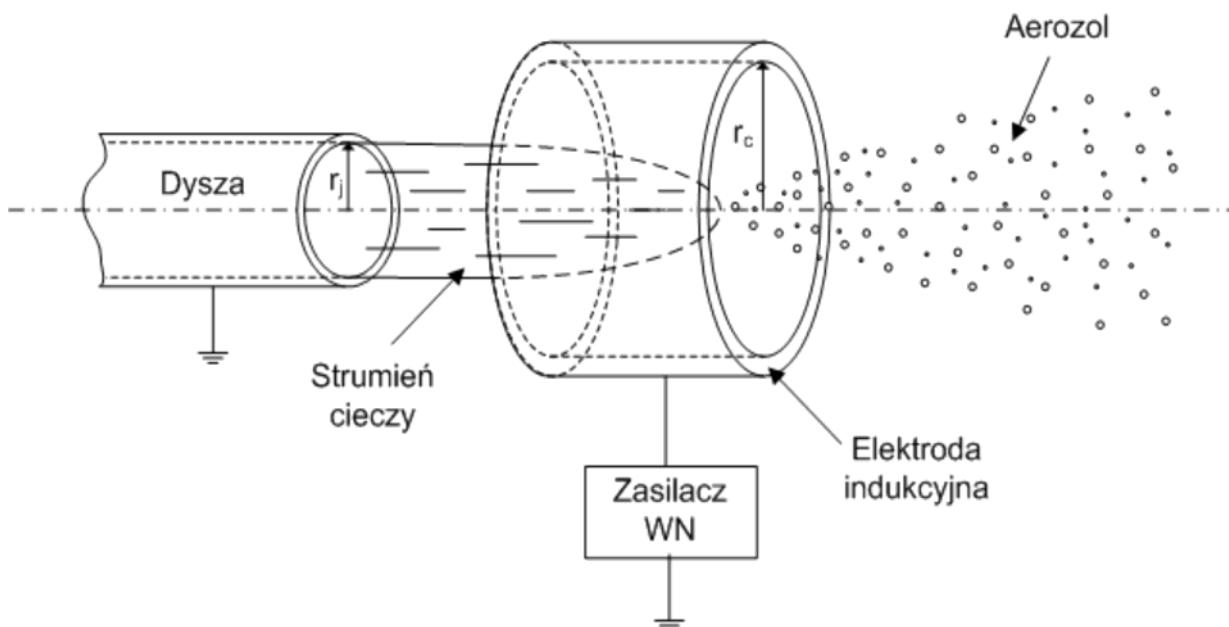
Elektryzacja indukcyjna cieczy jest wykorzystywana np. w opryskach elektrostatycznych i przy malowaniu elektrostatycznym.



Rys. 5. Ładowanie neutralnej cząstki w polu elektrycznym. Rozdział ładunku w cząstce poruszającej się w polu – A, rzeczywista elektryzacja w momencie kontaktu z elektrodą w obecności pola – B.



Rys. 6. Elektryzacja osoby przez indukcję



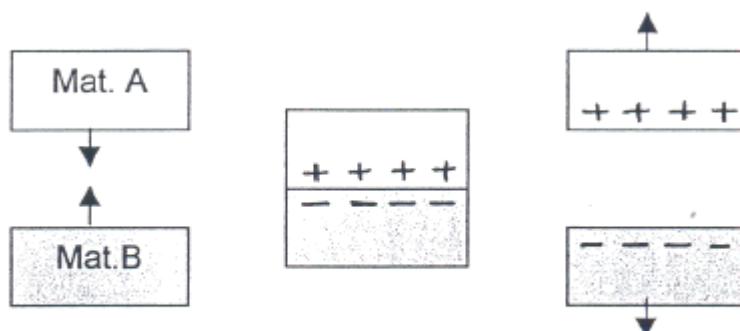
Elektryzacja kontaktowa (tryboelektryzacja)

Jeśli dwa różne i obojętne elektrycznie ciała stałe wejdą we wzajemny kontakt, następuje między nimi transfer elektronów z jednego ciała do drugiego, aż do momentu wystąpienia równowagi termodynamicznej. Powierzchnia jednego ciała zostaje wzbogacona w elektrony (naładowana ujemnie), druga zaś zubożona (ładunek dodatni). Jeżeli powierzchnie ciał zostaną rozdzielone odpowiednio szybko i obydwa ciała pozostaną odizolowane od ziemi, to będą zachowywać nabycie ładunki.

Zjawisko to tłumaczy się pasmowym modelem ciała stałego. Transfer ładunków z metalu do dielektryka następuje wtedy, gdy jest między nimi różnica prac wyjścia. Transfer elektronów twa do momentu wyrównania się poziomów Fermiego, co prowadzi do wystąpienia różnicy potencjałów.

Znaki ładunków na poszczególnych ciałach, w oparciu o powyższe, można określić na podstawie tzw. Szeregu tryboelektrycznego. Należy przy nim pamiętać, że najbardziej ujemnie elektryzuje się teflon, krzem i różne poliestry, a najbardziej dodatni - azbest, szkło, tkaniny czy włosy.

Tryboelektryzacja jest stosowana np. w procesie lakierowania proszkowego; może też prowadzić do takich zjawisk jak zatykanie silosów.



Rys. 3. Elektryzacja kontaktowa ciał stałych

Elektryzacja ulotowa (koronowa)

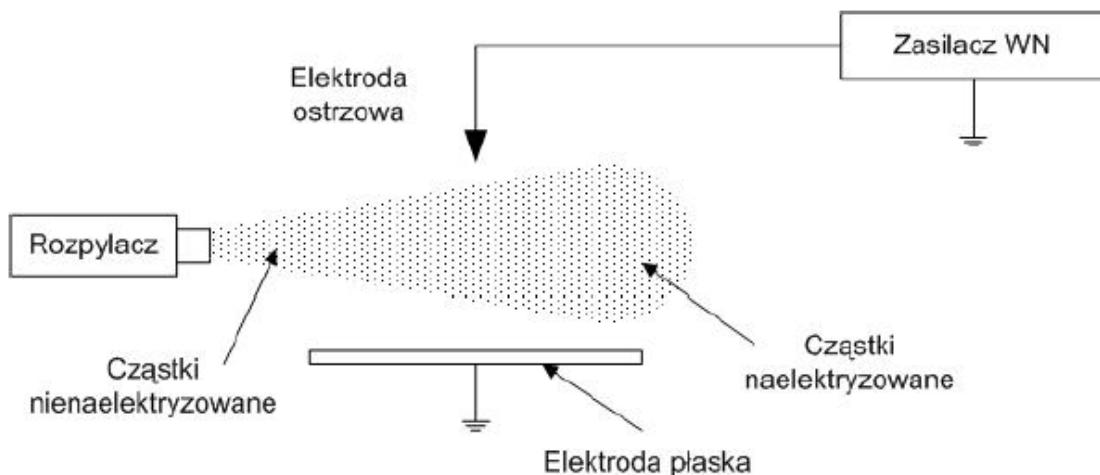
Elektryzacja ulotowa polega na ładowaniu materiałów ładunkiem poprzez umieszczanie ich w silnym

polu elektrycznym. Metoda ta jest wykorzystywana między innymi w elektrofiltrach czy przy wytwarzaniu elektretów. W elektrofiltrach polega na **ładowaniu cząstek o dużej rezystwności**, w elektretach - na **ładowaniu powierzchni materiału dielektrycznego**.

W pierwszym wykonaniu, materiał jest umieszczany pod elektrodą ostrzową wysokiego napięcia, na elektrodzie uziemionej. Silne pole elektryczne "smaruje" próbki ładunkiem o znaku takim, jaki ma elektroda. Może przy tym procesie dochodzić także do wyładowań wstecznych.

Innym zastosowaniem elektryzacji ulotowej jest malowanie elektrostatyczne. Cząstki muszą być dielektrykami, mającymi $\rho > 10^{13} \Omega\text{m}$, czyli wystarczająco dużą stałą czasową, by je ładować. Dzięki naładowaniu ulotem, lepiej przewierają do stałej powierzchni uziemionej (z różnych stron i bardziej równomiernie).

Elektryzację ulotową można wykorzystać też do ładowania ładunkiem kropel aerozolu. Muszą one mieć wtedy średnicę rzędu kilku mikrometrów. W silnym polu elektrycznym, występujące w przestrzeni ostrze-płyta jony oddziałują z neutralnymi cząstками aerozolu i prowadzą do uzyskania przez nie ładunku o znaku takim, jaki ma elektroda.



Źródło

1. ETWP - Laboratorium - Elektrostatyczny oprysk
2. ETWP - Laboratorium - Elektryzacja ciał stałych i cieczy

C. Metody rozpraszania ładunku elektrycznego

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Zasadniczo, istnieje kilka podstawowych metod rozpraszania ładunku elektrycznego. Są nimi:

- Uziemienie obiektów przewodzących
- Podwyższenie przewodności elektrycznej obiektów i umożliwienie odpływu ładunku przez uziemienie
- Obniżenie poziomu generowanego ładunku
- Neutralizacja generowanego ładunku

Uziemienie obiektów przewodzących

Maksymalna dopuszczalna rezystancja upływu przewodnika nie powinna przekraczać $10^6 \text{ M}\Omega$. Jeżeli warunek ten jest spełniony, nie występują zagrożenia wyładowaniem elektrostatycznym. Wynika to z faktu, że na ogół prędkość generacji ładunku nie przekracza 10^{-6} A , a spełnienie warunku co do tej rezystancji zapobiega wyładowaniom wynikającym z minimum prawa Paschena.

W praktyce, całkowita rezystancja sieci uziemiającej powinna być mniejsza niż 100Ω . Zaleca się przy tym, żeby uziemienia były wykonane przewodem o przekroju co najmniej $2,5\text{mm}^2$ ze względu na wytrzymałość mechaniczną.

Należy przy tym pamiętać, że uziemiać można tylko elementy przewodzące.

Antystatyki

Antystatyzacja polega na przygotowaniu wnętrza lub powierzchni polimeru w celu obniżenia jego rezystancji upływu. Antystatyki są dodatkami obniżającymi rezystywność. Dzieli się je na antystatyki powierzchniowo czynne oraz antystatyki objętościowo czynne.

Antystatyki objętościowo czynne są przewodzącym wypełniaczem dodawanym do tworzywa bazowego, znacznie obniżającym rezystancję upływu tego tworzywa. Warunkiem jest dodanie go w odpowiedniej proporcji, rzędu 30%.

Ograniczeniem tej metody są właściwości materiału antystatyzowanego - ograniczenia kolorystyczne, ograniczenia właściwości przetwórczych. Zaletami tego typu antystatyków są trwałość i niezależność właściwości elektrycznych od wilgotności.

Antystatyk powierzchniowo czynny dodaje się do polimeru podczas mieszania, następnie jest on wypacany na zewnątrz. Tworzy on warstwę hydrofobową wewnętrz powierzchni i hydrofilową na zewnątrz swojej powierzchni (względem polimeru). Tego typu antystatyki dodaje się do materiału w proporcji rzędu kilku % objętości. Zmniejszają one rezystancje upływu w gorszym stopniu od antystatyków objętościowo czynnych.

Antystatyki tego rodzaju poprawiają czasem właściwości przetwórcze materiału i nie wprowadzają ograniczeń kolorystycznych. Niestety mają one działanie selektywne i muszą być dobierane do danego polimeru, bywają toksyczne i trochę kosztują. Przestają też działać dla niższych wilgotności - wzrost wilgotności oznacza spadek rezystywności. W praktyce oznacza to, że materiał może dobrze zachowywać się w lecie przy wysokiej wilgotności, a zimą (odpalone grzejniki) zyskiwać rezystywność i mocno się elektryzować.

Neutralizatory

Zasada działania neutralizatorów polega na tym, że obiekt napelektryzowany jest konfrontowany z warstwą zjonizowanego powietrza. Rozróżnia się neutralizatory indukcyjne (pasywne), wysokonapięciowe oraz radioizotopowe.

Neutralizatory indukcyjne nie wymagają zasilania i działają dobrze dla dużych gęstości ładunku. Elektrody ostrzowe umieszcza się pod taśmą z ładunkiem elektrycznym. Wskutek działania pola wytwarzanego przez napelektryzowany obiekt, umieszczone uziemione ostrza prowadzą do jonizacji powietrza, które neutralizuje ładunek na obiekcie.

Neutralizatory tego typu są tanie, bezpieczne w użyciu i proste w budowie. Niestety, wpływ na ich skuteczność mają uziemione obiekty w sąsiedztwie, a przy tym neutralizatory tego typu nie działają poniżej pewnego progu gęstości ładunku powierzchniowego.

Neutralizatory wysokonapięciowe wykorzystują wyładowania niezupełne, powstające w otoczeniu elektrod o ostrzych krawędziach. Neutralizatory tego typu mogą być zasilane napięciem stałym lub przemiennym (nawet o wysokiej częstotliwości). Wysokie napięcie ma za zadanie wytworzyć chmurę jonów wokół szpilek elektrod. Pod wpływem działania sił elektrostatycznych, napelektryzowany materiał przyciąga jony przeciwnego znaku, które neutralizują jego ładunek.

Neutralizatory radioizotopowe powodują powstawanie zjonizowanej warstwy powietrza wskutek oddziaływania promieniowania alfa. Stosowane są tam, gdzie do przeprowadzane są reakcje chemiczne i wysokie napięcie może wpływać na ich przebieg.

Neutralizatory te to zwykle pasek metalu w ceowniku (na dnie). Energia kinetyczna cząstek alfa prowadzi do jonizacji powietrza, a powietrze zjonizowane staje się czynnikiem neutralizującym. Neutralizatory tego typu mają mały zasięg.

Jonizatory

Jonizatory są stosowane tam, gdzie istnieje zagrożenie wyładowań elektrostatycznych (czyli przede wszystkim w elektronice). Jonizator ma za zadanie generować naprzemiennie jony dodatnie oraz ujemne, przez co uzyskuje się obojętne elektrostatycznie środowisko pracy.

Jonizacja odbywa się przez zasilanie jonizatora tak, by wytwarzał on wskutek wysokiego napięcia jony dodatnie lub ujemne w powietrzu (wyładowanie koronowe). Wytworzone w ten sposób jony dodatnie i ujemne są przyciągane przez powierzchnie o przeciwnych znakach i w ten sposób ładunki na powierzchni np. urządzeń elektronicznych są neutralizowane.

Źródło

1. Notatki z wykładu Podstawy elektrostatyki stosowanej
2. <https://asystentbhp.pl/zapobieganie-elektrycznosci-statycznej/>
3. <https://technology-ionization.simco-ion.com/resources/faqs>

D. Wielkości opisujące stan naładowania obiektu oraz metody ich pomiaru

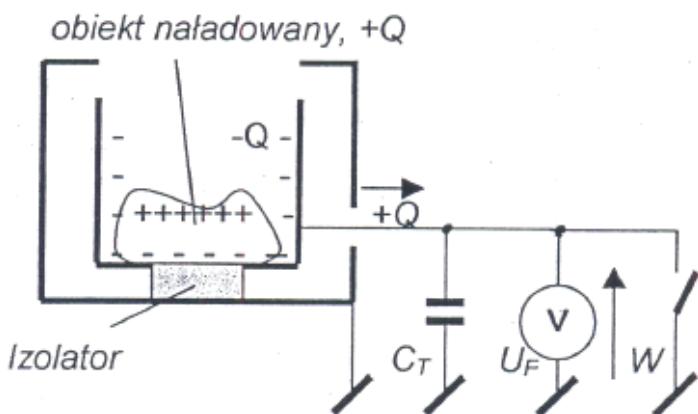
piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Ładunek całkowity

Ładunek całkowity wyrażony w [C] jest ładunkiem sumarycznym (sumą ładunku dodatniego i ujemnego), zgromadzonym w badanym obiekcie, zarówno na jego powierzchni jak i we wnętrzu. Jest to zatem suma ładunku powierzchniowego oraz przestrzennego. Ładunek sumaryczny Q nie zależy od sposobu jego rozłożenia w obiekcie i może być wyznaczony zgodnie z prawem Gaussa.

Prawo Gaussa mówi, że całka po powierzchni zamkniętej ze strumienia wektora indukcji jest równa ładunkowi zamkniętemu przez otaczającą go powierzchnię. Oznacza to, że jeżeli naładowany elektrycznie obiekt o ładunku całkowitym Q jest otoczony przez metalową puszczę - elektrodę - to całkowity ładunek indukowany na tej elektrodzie będzie równy co do wartości i przeciwny co do znaku ładunkowi Q na obiekcie zamkniętym.

Biorąc pod uwagę powyższe, pomiar ładunku całkowitego można wykonywać przy wykorzystaniu klatki Faradaya.



Rys. 7. Szkic klatki Faradaya'a

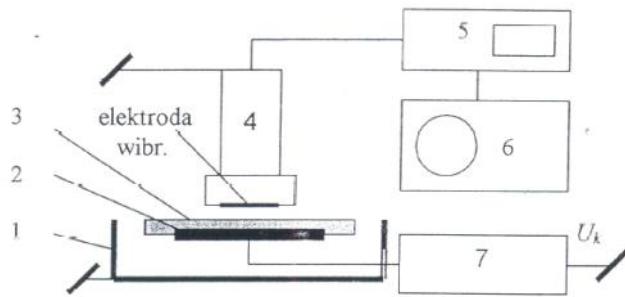
Efektywna gęstość ładunku powierzchniowego

Efektywna gęstość ładunku powierzchniowego jest mierzona w $\left[\frac{C}{m^2}\right]$. Jest to pewna zastępca gęstości ładunku powierzchniowego, która w otoczeniu obiektu wytwarza takie samo pole elektryczne jak rzeczywisty ładunek powierzchniowy umieszczony na powierzchni badanego obiektu. Na efektywną gęstość ładunku powierzchniowego mogą się składać gęstość rzeczywistego ładunku powierzchniowego, polaryzacja wolno-relaksacyjna oraz moment od ładunku przestrzennego.

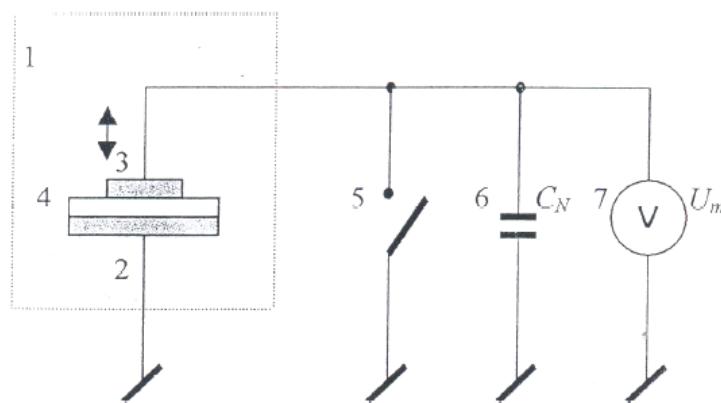
Z efektywną gęstością ładunku powierzchniowego wiąże się pojęcie tzw. Napięcia zastępczego. Napięcie zastępcze jest to napięcie, jakie wytwarza ładunek o gęstości q_s na jednostkowej pojemności próbki.

Pomiar efektywnej gęstości ładunku można wykonywać prostą metodą indukcji elektrycznej jak również przy użyciu przyrządów z przetwarzaniem, mierzących natężenie pola elektrycznego w otoczeniu próbki lub jej napięcie zastępcze. Efektywna gęstość ładunku powierzchniowego, podobnie jak i napięcie zastępcze, na ogół wykazują rozkłady powierzchniowe.

Rzeczywiste układy do pomiaru gęstości ładunku powierzchniowego to pomiar metodą podnoszonej elektrody oraz pomiar elektrody wibracyjnej (metoda kompensacyjna).



Rys. 7. Schemat układu z głowicą wibracyjną do pomiaru efektywnej gęstości ładunku metodą kompensacyjną. Objaśnienia w tekście.



Rys.8. Szkic układu do pomiaru efektywnej gęstości ładunku metodą podnoszonej elektrody. Objaśnienia w tekście.

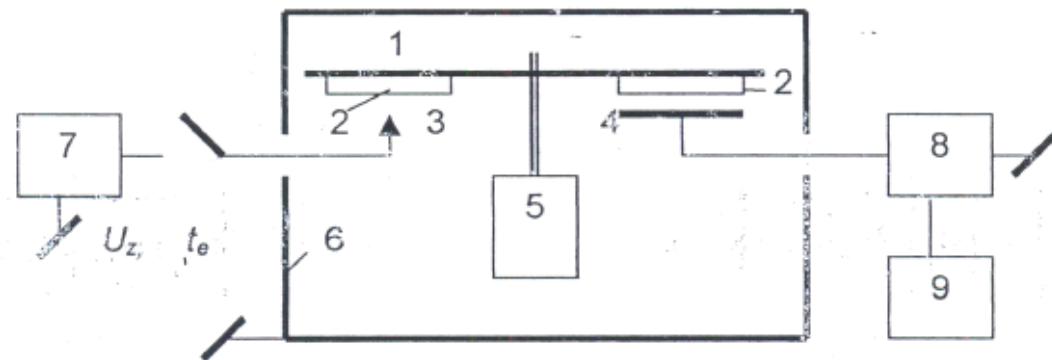
Zanik ładunku (czas półzaniku, charakterystyka zaniku)

W przypadku rzeczywistych dielektryków, ładunek naniesiony na ich powierzchnię lub wprowadzony do objętości, podobnie jak i polaryzacja, zanikają w funkcji czasu. Efekt ten można opisać podając zależność efektywnej gęstości ładunku lub napięcia zastępczego od czasu. Nazywa się to charakterystyką zaniku. Jej kształt zależy od mechanizmów rozpraszania ładunku i polaryzacji, ale w najprostszym wypadku można to zamodelować krzywą typu wykładniczego.

W rzeczywistości wykładniczy zanik ładunku obserwuje się bardzo rzadko. Dlatego dla scharakteryzowania szybkości zaniku ładunku wprowadzono pojęcie **czasu półzaniku**, czyli czasu po którym efektywna gęstość ładunku (napięcie zastępcze) maleje do połowy swej wartości początkowej.

Pomiar czasu pół-zaniku wymaga naładowania próbki. Pomiar przebiega w dwóch etapach. Pierwszy to elektryzacja próbki przy zadanych warunkach (napięcie i czas ulotu). Drugi to ciągły pomiar efektywnej gęstości naniesionego ładunku (lub wielkości związanej) na całej powierzchni próbki, co najmniej od chwili zakończenia procesu ładowania.

W układzie poniżej, generator (7) ma za zadanie naładowanie próbek materiału (2) umieszczonych na wirującej tarczy (1) napędzanej silnikiem (5). Pomiar napięcia zastępczego odbywa się poprzez indukcję napięcia na elektrodzie (4) wskutek obracania się tarczy. Indukowane napięcie jest podawane przez wzmacniacz (8) na rejestrator (9).



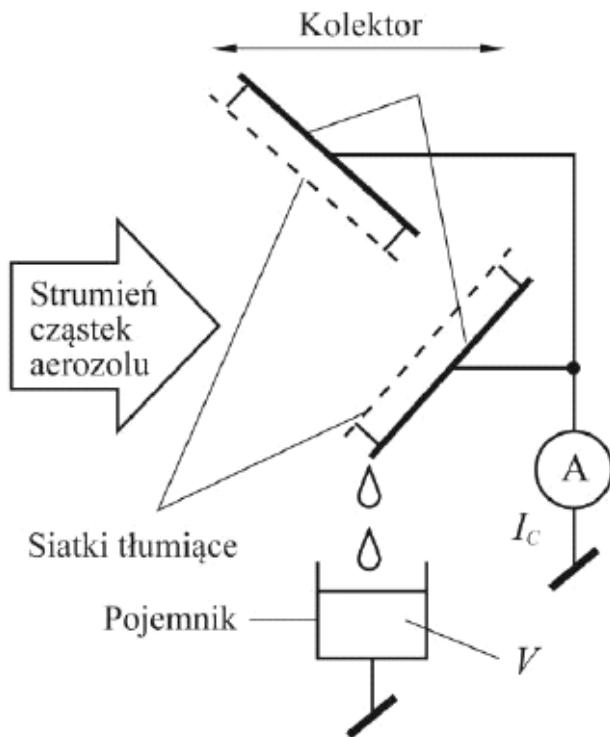
Rys.6. Schemat układu do badania czasu półzaniku. Objasnienia w tekscie.

Parametr Q/m (gęstość ładunku nasypowego)

Parametr Q/m określa (ładunek do masy) określa, w jakim stopniu można wpływać na trajektorię rozspłonnej cząstki aerozolu wskutek oddziaływania pola elektrycznego. Parametr ten wynika z porównania ze sobą działających na kropelkę sił elektrostatycznej i grawitacyjnej, zgodnie z którymi:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{qE}{mg}$$

Parametr Q/m można mierzyć poprzez pomiar strumienia cząstek aerozolu lub zbieranie w izolowanej elektrodzie sypkiego materiału o ładunku przestrzennym, następnie wyznaczenia masy lub objętości tego ładunku i sumarycznego ładunku spływającego z materiału (lub przez klatkę Faradaya).



Rys. 11.7. Szkic układu pomiarowego do wyznaczania parametru (Q/m) dla aerosolu cieczy przewodzącej.

Wartość parametru (Q/m) wyznacza się z zależności:

$$(Q/m) = \frac{Q}{m} = \frac{I_C t}{V \rho}, \quad (11.12)$$

Źródło

1. Notatki własne z wykładu Energooszczędne Technologie w Przemyśle
2. Laboratorium ETWP: Zależności w elektrostatyce; Badanie charakterystyk zaniku potencjału powierzchniowego; Badanie elektrostatycznych właściwości dielektryków stałych

E. Elektrofiltry - zasada działania, ich budowa i właściwości

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Zasada działania

W elektrofiltrze wlot gazu znajduje się na dole, a wylot gazu na górze obudowy. Do elektrofiltru wpuszcza się zapylony gaz, który przelatuje przez wytworzony obszar wyładowania ulotowego. W obszarze tym cząstki pyłu są ładowane znakiem elektrody ulotowej i uciekają do elektrody zbiorczej o znaku przeciwnym. Po dotknięciu elektrody zbiorczej, która jest na potencjale ziemi, cząstki się rozładowują i grawitacyjnie spadają. Należy przy tym zaznaczyć, że cząstki o dużej rezystywności (dużej stałej czasowej rozładowywania) mogą się przyklejać na dłużej do elektrody. Gaz oczyszczony przez elektrofiltr wylatuje przez jego górną część (wylot gazu).

W elektrofiltrach cząstki ładowane są dwiema metodami - metodą emisji polowej oraz metodą termicznej dyfuzji. Opisane są poniżej.

Ładowanie cząstek metodą emisji polowej

Ładowanie cząstek metodą emisji polowej dotyczy cząstek o średnicach rzędu kilku mikrometrów. Metoda ta polega na osiadaniu jonów na cząstках, przez co nabijają one ładunku elektrycznego. Dla naładowania cząstek w ten sposób należy zapewnić odpowiednio długi czas ładowania, równy efektywnemu czasowi ładowania - inaczej filtr nie będzie miał odpowiedniej efektywności.

Ładowanie cząstek metodą termicznej dyfuzji

Ładowanie dyfuzyjne dotyczy cząstek o średnicy rzędu ułamków mikrometra i polega na ruchach dyfuzyjnych jonów. Podgrzane jony losowe zderzają się z cząsteczkami pyłu i je oblepiają tak długo, aż cząstki te z ładunkiem zaczynają być odpychane w kierunku elektrody zbiorczej.

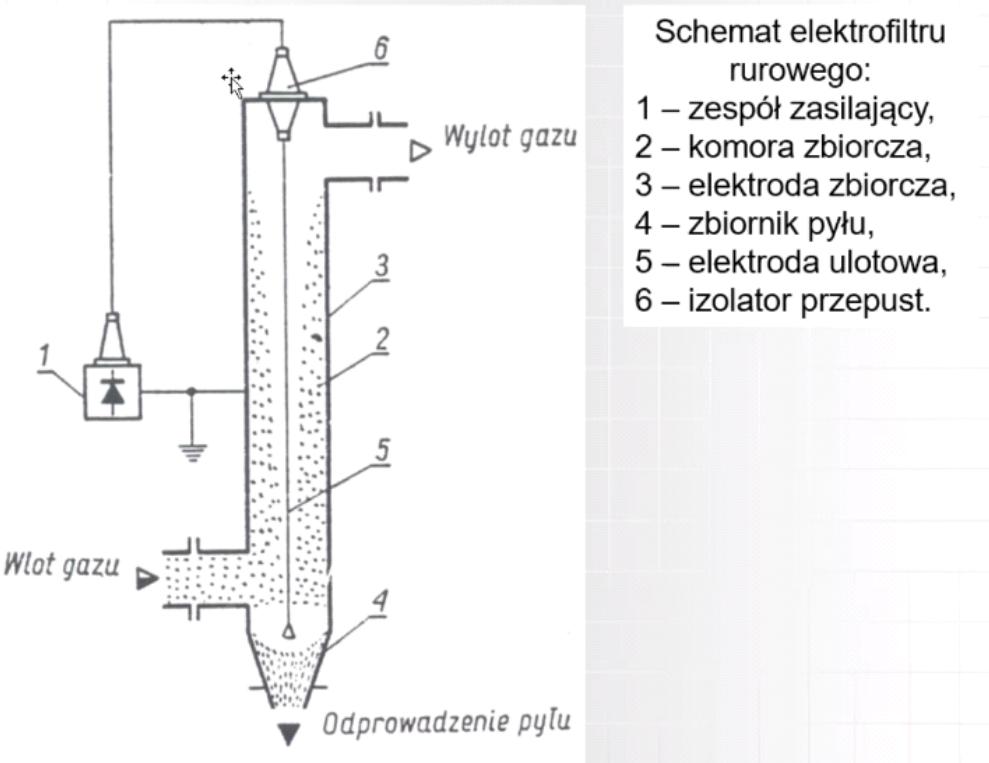
Budowa

Elektrofiltry współcześnie są budowane przede wszystkim jako olbrzymie bloki o wielkości budynku i mocy rzędu MW. Głównymi częściami elektrofiltru są:

- **Komora zbiorcza** - część, przez którą przepływa gaz; z dołu ma zbiornik pyłu a w środku podstawowe elementy urządzenia
- **Zespół zasilający** - urządzenie zasilające filtr wysokim napięciem stałym, rzędu 30 – 80 kV; na ogół w skład zespołu zasilającego wchodzi transformator podwyższający napięcie, prostownik półprzewodnikowy oraz układy sterujące i zabezpieczenia
- **Elektrody zbiorcze** - elektrody odpowiadające za zbieranie pyłu lub cieczy; są to na ogół blachy lub rury o dużej powierzchni, wyprofilowane (jest to elektroda na zewnątrz elektrofiltru)
- **Elektroda ulotowa** - elektroda w osi elektrofiltru, odpowiedzialna za rozwój wyładowań koronowych; jest wykonana zazwyczaj w postaci pręta o ostrych krawędziach, zasilana wysokim napięciem stałym

Można wyróżnić dwa układy elektrofiltrów:

- **Jednostopniowe** - układy, w których ładowanie i strącanie pyłu odbywa się w jednej komorze
- **Dwustopniowe** - ładowanie i strącanie odbywają się w dwóch oddzielnych częściach urządzenia



Schemat elektrofiltru rurowego:
 1 – zespół zasilający,
 2 – komora zbiorcza,
 3 – elektroda zbiorcza,
 4 – zbiornik pyłu,
 5 – elektroda ulotowa,
 6 – izolator przepust.

Właściwości

Elektrofiltry stosuje się do odpylania spalin kotłów opalanych pyłem węglowym, odpylania gazów z pieców przemysłowych, odsmalania i strącania pyłu węglowego. Mogą być zatem stosowane np. w blokach elektrowni do oczyszczania spalin.

Zaletami elektrofiltrów są:

- Wysoka skuteczność odpylania, rzędu 99%
- Wysokie przepływy, nawet do milionów metrów sześciennych gazów na godzinę
- Mały opór hydraliczny
- Bardzo niskie zużycie energii - rzędu kilkudziesięciu kilowatogodzin na 1000 metrów sześciennych gazu
- Możliwość strącania pyłów mokrych i suchych
- Możliwość pracy w wysokich temperaturach (500 stopni Celsjusza), przy podciśnieniu i nadciśnieniu
- Możliwość filtracji pyłów o zróżnicowanej koncentracji
- Możliwość automatyzacji

Wadami elektrofiltrów są

- Duże wymiary
- Duże koszty
- Konieczność zatrudniania wykwalifikowanej pod kątem wysokich napięć obsługi
- Rezystwność częstek musi być mniejsza od $2 \cdot 10^{10} \Omega\text{m}$ - przy wyższej mogą następować wyładowania wsteczne i wydłużać się stała czasowa ładowania; warunek ten nie dotyczy elektrofiltrów mokrych

Źródło

1. Notatki z wykładu ETWP
2. Slajdy z wykładu ETWP

17. Jakość energii elektrycznej

piątek, 8 stycznia 2021 13:03

Poszukać tu see2_w4_jakos w SEE2
Markiewicz - Instalacje Elektryczne, s.56

A. Parametry charakteryzujące jakość napięcia - metody pomiaru i limity w przepisach normalizacyjnych na przykładzie EN50160

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Zgodnie z normą EN50160, ocena jakości napięć zasilających dla niskiego napięcia obejmuje parametry przedstawione w tabeli poniżej. Zaznaczono również metody ich pomiaru i dopuszczalne wartości wynikające z tej normy.

Lp.	Parametr	Warunki pomiaru i dopuszczalne odchylenia od wartości znamionowej
1	Częstotliwość sieciowa	Wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10s powinna zawierać się w przedziale <ul style="list-style-type: none">• 50Hz: $\pm 1\%$ przez 99,5% roku (49,5Hz - 50,5 Hz);• 50Hz +4/-6% (47Hz - 52 Hz) przez 100% czasu
2	Wartość napięcia zasilającego	Znormalizowane napięcie znamionowe w publicznych sieciach rozdzielczych niskiego napięcia powinno wynosić 230/400V
3	Zmiany napięcia zasilającego	Średnia wartość skuteczna napięcia mierzona w czasie 10 min w normalnych warunkach pracy powinna się mieścić w przedziale $\pm 10\%$ napięcia znamionowego przez 95% tygodnia
4	Szybkie zmiany napięcia	Szybkie zmiany napięcia w normalnych warunkach pracy nie powinny przekraczać 5% wartości znamionowej napięcia; dopuszcza się także, aby w pewnych okolicznościach zmiany te osiągnęły kilka razy w ciągu dnia wartość do 10% wartości znamionowej napięcia
5	Zapady napięcia zasilającego	W normalnych warunkach pracy zapady napięcia przekraczające 10% napięcia znamionowego mogą występować do kilkudziesięciu do tysiąca razy w ciągu roku; większość zapadów ma czas trwania krótszy niż 1s i głębokość mniejszą niż 60%
6	Krótkie przerwy w zasilaniu (do 3 minut)	W normalnych warunkach pracy liczba krótkich przerw w zasilaniu może wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset w ciągu roku; czas trwania krótkich przerw w zasilaniu przeważnie nie jest dłuższy niż 1s
7	Długie przerwy w zasilaniu (dłuższe niż 3 min)	W normalnych warunkach pracy liczba przerw w zasilaniu trwających dłużej niż 3 minuty może dochodzić do 50 w ciągu roku; nie dotyczy to wyłączeń planowych
8	Przepięcia dorywcze o częstotliwości sieciowej	Niektóre uszkodzenia po stronie pierwotnej transformatora, głównie zwarcia, mogą powodować przepięcia po stronie niskiego napięcia, nie przekraczające z reguły 1500 V; w przypadku doziemień w sieciach niskiego napięcia, na skutek przesunięcia punktu neutralnego, napięcia faz nieuszkodzonych względem przewodu neutralnego mogą osiągać do $\sqrt{3}$ razy większe wartości
9	Przepięcia przejściowe, o krótkim czasie trwania, oscylacyjne lub nieoscylacyjne	Przepięcia przejściowe są powodowane wyładowaniami atmosferycznymi lub przez czynności łączeniowe, w tym działanie bezpieczników; w sieciach niskiego napięcia właściwie chronionych przepięcia nie przekraczają zwykle 6kV
10	Asymetria napięcia zasilającego	Średnie wartości skuteczne składowej symetrycznej przeciwniej mierzone w czasie 10 min, w normalnych warunkach pracy, w okresie każdego

		tygodnia, w 95% pomiarów nie powinny przekraczać 2% składowej zgodnej; w instalacjach odbiorców zasilanych jednofazowo lub międzyfazowo dopuszcza się asymetrię w sieci trójfazowej do 3%
11	Harmoniczne napięcia zasilającego	Średnie wartości skuteczne poszczególnych harmonicznych mierzone w czasie 10 min, w normalnych warunkach pracy, w okresie każdego tygodnia, w 95% pomiarów nie powinny przekraczać określonych dla każdej harmonicznej wartości; ponadto współczynnik THD napięcia zasilającego, uwzględniający harmoniczne do 40. rzędu nie powinien przekraczać 8%
12	Migotanie światła	95% wartości wskaźnika długotrwałego migotania światła mierzonych w ciągu 1 tygodnia nie powinno przekraczać wartości 1
13	Sygnal napięciowy do transmisji informacji nałożony na napięcie zasilające	W czasie stanowiącym 99% dnia, wartości skuteczne napięć sygnałowych nie powinny przekraczać poziomów określonych w normie

Źródło

1. Laboratorium Badania Jakości Energii Elektrycznej - ćwiczenie 1 -
http://www.kmnipl.pwr.edu.pl/files/prv/id35/zp-lab/pase/jakosc_energii/jee_parametry_napiecia.pdf
2. Markiewicz - Instalacje Elektryczne

B. Przyczyny występowania i skutki harmonicznych w systemie energetycznym. Filtry harmonicznych.

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Przyczyny występowania harmonicznych w systemie energetycznym

Harmoniczne w napięciu są skutkiem niezerowej impedancji sieci dystrybucyjnej, między generatorem a odbiornikiem.

Harmoniczne w prądzie są wynikiem nieliniowego przebiegu impedancji odbiornika. Zatem źródłami wyższych harmonicznych w prądzie są wszelkiego rodzaju odbiorniki nieliniowe, jak np. silnik z tyristorowymi rozrusznikami, prostowniki z filtrem pojemnościowym, zasilacze komputerów, piece indukcyjne i łukowe, zgrzewarki, lampy wyładowcze czy wszelkiego rodzaju przemienniki częstotliwości.

Skutki harmonicznych w systemie energetycznym

Podstawowym skutkiem wyższych harmonicznych w prądzie jest pojawianie się zjawiska naskórkowości, które powoduje że zmienia się efektywny przekrój przewodu przez który płynie tego typu prąd. Dobrym przykładem tego zjawiska jest fakt, że w instalacjach początkowo stosowano przewody neutralne o niewielkim przekroju. Okazało się, że z czasem zaczęły się mocno grzać. Wynikało to właśnie ze zjawiska naskórkowości wywołanego przebiegiem wyższych harmonicznych, a także z faktu, że harmoniczne rzędu krotności liczby 3 sumują się w przewodach neutralnych właśnie.

Zasadniczo, skutkami wyższych harmonicznych prądu w systemie energetycznym są:

- Dalsze odkształcenie napięć w sieciach
- Wzrost obciążenia przewodów i kabli w liniach
- Wzrost obciążenia uzwojeń transformatorów
- Wzrost spadków napięć w liniach
- Wzrost strat mocy czynnej i biernej w liniach i transformatorach
- Wywoływanie zjawisk rezonansowych w sieciach
- Powodowanie błędów pomiarów energii elektrycznej
- Dodatkowe straty mocy w żelazie i uzwojeniach silników i generatorów
- Wzrost obciążen urządzeń kompensacyjnych, w tym baterii kondensatorów
- Oscylacje i drgania silników i generatorów
- Wzrost poboru mocy biernej w sieciach spowodowany wzrostem strat mocy biernej w sieciach oraz wzrost mocy biernej u odbiorców o dodatkową moc bierną deformacji
- Niekorzystne oddziaływanie (uszkodzenia lub nieprawidłowe działanie) na urządzenia elektroniczne
- Zakłócający wpływ prądów wyższych harmonicznych na obwody telekomunikacyjne
- W przypadku sieci niskich napięć - pojawienie się prądów w przewodach neutralnych sieci 3-fazowych cztero- i pięcioprzewodowych

Filtry harmonicznych

W celu ograniczania odkształceń prądów, można stosować np. zastępowanie odbiorników nieliniowych innymi, o zmniejszonym odkształcaniu, np. przekształtników tyristorowych 6-pulsowych przekształtnikami 12-pulsowymi. Jednak częściej stosuje się filtry harmonicznych pasywne i aktywne

Pasywne filtry rezonansowe

Filtry rezonansowe wyższych harmonicznych są włączane poprzecznie do sieci i składają się z dławika o indukcyjności L oraz kondensatora o pojemności C. Tak dobrane urządzenia powodują wystąpienie rezonansu równoległego danej harmonicznej i w efekcie wyeliminowanie prądu tej harmonicznej.

Filtry aktywne

Filtryle aktywne to urządzenia, które przy pomocy układu sterującego tak formują odkształcony chwilowy przebieg prądu w czasie, że zmienia się on z odkształconego na sinusoidalny. Mogą to być filtry poprzeczne, podłużne lub równoległe-szeregowe. W najprostszym ujęciu, urządzenia tego typu mierzą obciążenie i na podstawie tego pomiaru generator harmonicznych wytwarza takie harmoniczne, jakie są pobierane od strony zasilania.

Źródło

1. Sonel - Instrukcja obsługi, Analizatory jakości zasilania PQM
2. Systemy elektroenergetyczne 2 - materiał do wykładu 4

C. Metody badań odporności odbiorników na zaburzenia występujące w sieci zasilającej. Sposoby zwiększenia odporności na zaburzenia.

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Zakłócenia przewodzone można podzielić na przejściowe i długotrwałe. Omówione tu metody badań dotyczą zjawisk długotrwałych, niskoczęstotliwościowych. Są nimi:

- Zapady napięcia i przerwy w zasilaniu
- Harmoniczne
- Zmiany częstotliwości sieciowej
- Wahania napięcia

Wyniki badań odporności należy klasyfikować w kategoriach utraty funkcji lub obniżenia jakości działania urządzenia badanego, w odniesieniu do poziomu jakości działania ustalonego przez wytwórcę urządzenia lub przez zleceniodawcę badań, lub uzgodnionego między wytwórcą i nabywcą wyrobu. Zalecane jest stosowanie następujących kryteriów oceny:

- A. Normalne działanie w granicach określonych przez producenta wyrobu, zleceniodawcę badań lub nabywcę wyrobu
- B. Chwilowa utrata funkcji albo obniżenie jakości działania, które ustępuje po zakończeniu zaburzeń i po którym urządzenie badane powraca do normalnego działania bez interwencji operatora
- C. Chwilowa utrata funkcji albo obniżenie jakości działania, którego skorygowanie wymaga interwencji operatora
- D. Utrata funkcji albo obniżenie jakości działania, którego nie można usunąć z powodu uszkodzenia urządzenia lub programu, albo utraty danych

Dopuszcza się, aby w specyfikacji technicznej producenta były określone skutki oddziaływanego zaburzeń na badany sprzęt zauważanie za nieistotne i dlatego możliwe do zaakceptowania.

Badanie odporności odbiornika na zapady napięcia

Zapad napięcia to nagle zmniejszenie się wartości skutecznej napięcia zasilającego do poziomu zawartego w przedziale od 90% do 1% napięcia deklarowanego lub znamionowego, po którym, w krótkim czasie, następuje wzrost napięcia do poprzedniej wartości. Umownie czas trwania zapadu napięcia wynosi od 10ms do jednej minuty. Głębokość zapadu to różnica między minimalną wartością skuteczną napięcia w czasie trwania zapadu a napięciem deklarowanym. Dopuszcza się uznanie krótkich przerw jako zapady o 100% wartości napięcia.

Parametrem zapadu podawanym przez analizatory jakości energii elektrycznej jest czas trwania oraz minimalna wartość skuteczna napięcia w czasie zapadu.

Badanie odporności odbiornika na zapady napięcia przeprowadza się poprzez symulowanie zapadu o znormalizowanym probierczym poziomie oraz czasie trwania zapadu i ocenia się jego zachowanie po wystąpieniu zaburzenia.

Zwiększenie odporności odbiornika na zapady napięcia jest gestią producenta. Producenci coraz częściej podają w informacjach o danych odbiornikach dane dotyczące wrażliwości na zapady napięcia. Dlatego użytkownikowi końcowemu pozostaje jedynie uzyskanie informacji o pracy systemu (spodziewanej liczbie zapadów i ich charakterystyk), uzyskanie informacji o czułości sprzętu (od producenta lub na podstawie testów) i określenie potencjalnego skutku zapadu napięcia na wybrane urządzenie.

Badanie odporności odbiornika na wyższe harmoniczne

Podstawową przyczyną powstawania harmonicznych są odbiorniki nieliniowe. Zależnie od rodzaju sieci, jej parametrów i numeru harmonicznej, niektóre harmoniczne są propagowane w sieci i oddziałują negatywnie na inne odbiorniki do niej przyłączone. W celu zmniejszenia wzajemnych zakłóceń odbiorników ogranicza się poziom emisji harmonicznych jak i zwiększa odporność na harmoniczne.

W celu zbadania odporności odbiornika na wyższe harmoniczne, zasila się go napięciem o odkształconym przebiegu (np. test *flat curve* - ścieży wierzchołek lub *over swing* - przebieg zbliżony do trójkątnego) i obserwuje działanie.

Zwiększenie odporności na wyższe harmoniczne można osiągnąć poprzez zmniejszenie impedancji sieci, co jest rozwiązyaniem systemowym - powoduje to mniejsze oddziaływanie źródeł wyższych harmonicznych z wrażliwymi odbiornikami. Można także w tym celu dobierać odbiorniki przewymiarowane, w których negatywne skutki wyższych harmonicznych nie powodują np. zakłóceń procesu technologicznego.

Badanie odporności na wahania napięcia

Zgodnie z wymaganiami norm, wartość skuteczna napięcia powinna zawierać się w przedziale od 90% do 110% wartości znamionowej. Wahania napięcia w tym zakresie mogą oddziaływać negatywnie na odbiornik i powodować migotanie światła.

W celu przeprowadzenia testu należy zasilić urządzenie generatorem symulującym wahania napięcia i obserwować badany odbiornik.

Zwiększenie odporności na wahania napięcia odbiornika na ogół nie są konieczne. Większość urządzeń jest projektowana z myślą o odporności na wahania napięcia. Jedynymi odbiornikami, które mogą mieć z tym problem, są źródła światła, zwłaszcza bazujące na inkandescencji. Jedynymi metodami na zredukowanie migotania światła są metody systemowe, takie jak kompensacja mocy biernej (konkretnie: wahań mocy biernej, np. układem SVC) i zwiększanie mocy zwarcioowej systemu.

Badanie odporności na zmianę częstotliwości napięcia zasilającego

W celu zbadania odporności odbiornika należy zasymulować przy wykorzystaniu generatora zasilanie napięciem o zmiennej częstotliwości. Urządzenie zasila się zgodnie z poziomami zmiany częstotliwości i czasem przejściowym opisanym w normie i obserwuje jego działanie.

Źródło:

1. Laboratorium jakości energii elektrycznej - Badanie odporności odbiorników na zakłócenia w sieci zasilającej
2. Baggini - *Handbook of Power Quality*
3. Hanelka - *Zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu* -
<https://www.cire.pl/pliki/2/hanelka-zapady1.pdf>

D. Pomiar emisji wybranych zaburzeń do sieci energetycznej przez odbiorniki energii. Sposoby ograniczania wprowadzania zaburzeń do sieci.

piątek, 8 stycznia 2021 13:12

Pomiar emisji wahań napięcia

Główną przyczyną wahań napięcia jest zmienność mocy czynnej i biernej odbiorników (skoki wartości prądu). Do tej grupy odbiorników można zaliczyć urządzenia i maszyny stosowane w przemyśle, takie jak piece łukowe, dźwigi i czy urządzenia mniejszej mocy - spawarki, silniki.

Sposób wyznaczania i pomiaru wahań napięcia powodowanych przez odbiorniki jest podany w normie. Norma podaje trzy metody wyznaczania współczynnika migotania światła P_{st} :

- **Bezpośredni pomiar** - stosuje się w tym celu specjalny miernik migotania światła, zgodny z zaleceniami IEC; metoda ta pozwala na pomiar stopnia migotania światła, nie stricte wahań napięcia; najpierw wykonuje się pomiar przed podłączeniem badanego odbiornika, następnie po podłączeniu
- **Symulacja, gdy znany jest przebieg zmian napięcia w czasie $d(t)$** -
- **Wykorzystanie krzywej $P_{st}=1$** - metoda ta jest analityczna i polega na obliczeniu spadku napięcia wywołanego działaniem odbiornika o danych parametrach, wyznaczeniu na tej podstawie współczynnika migotania światła i zestawienie go z krzywą krótkoterminowego współczynnika migotania światła.

Metodą ograniczania emisji wahań napięcia jest zmniejszanie mocy odbiorników, redukcja prądów rozruchowych maszyn czy zmiana układu sterowania urządzeń tak, by można było osiągać możliwie niższe prądy w spawarkach.

Pomiar emisji harmonicznych

Różnorodność odbiorników elektrycznych, a tym samym różny charakter obciążen sieci wywołują emisję harmonicznych o bardzo zróżnicowanych wartościach, częstotliwościach i przesunięciach fazowych. Z tego względu norma w celu odpowiedniego ograniczenia harmonicznych prądu wprowadza następującą klasyfikację:

- Klasa A: symetryczne, trójfazowe odbiorniki i wszystkie inne z wyjątkiem wymienionych w jednej z poniższych klas
- Klasa B: urządzenia przenośne
- Klasa C: sprzęt oświetleniowy wraz ze ściemniaczami
- Klasa D: sprzęt o wejściowej mocy czynnej mniejszej lub równej 600W, następującego rodzaju:
 - Komputery osobiste i monitory
 - Odbiorniki telewizyjne
 - Lodówki i zamrażarki mające regulowaną prędkość obrotową silnika kompresora

Układ do pomiaru emisji harmonicznych składa się ze źródła napięcia zasilającego odbiornik i analizatora harmonicznych. Norma określa wymogi dotyczące źródła zasilania odbiorników w czasie badań dla poszczególnych harmonicznych.

Samo badanie polega na zrobieniu dwóch pomiarów. Pierwszy pomiar to pomiar harmonicznych występujących w sieci zasilającej i określenie ich poziomów. Kolejnym pomiarem jest pomiar po przyłączeniu odbiornika. Wtedy należy również zbadać harmoniczne napięcia i określić emisyjność odbiornika.

Emisję harmonicznych można ograniczyć poprzez:

- Stosowanie dławików w obwodach przetworników energoelektronicznych

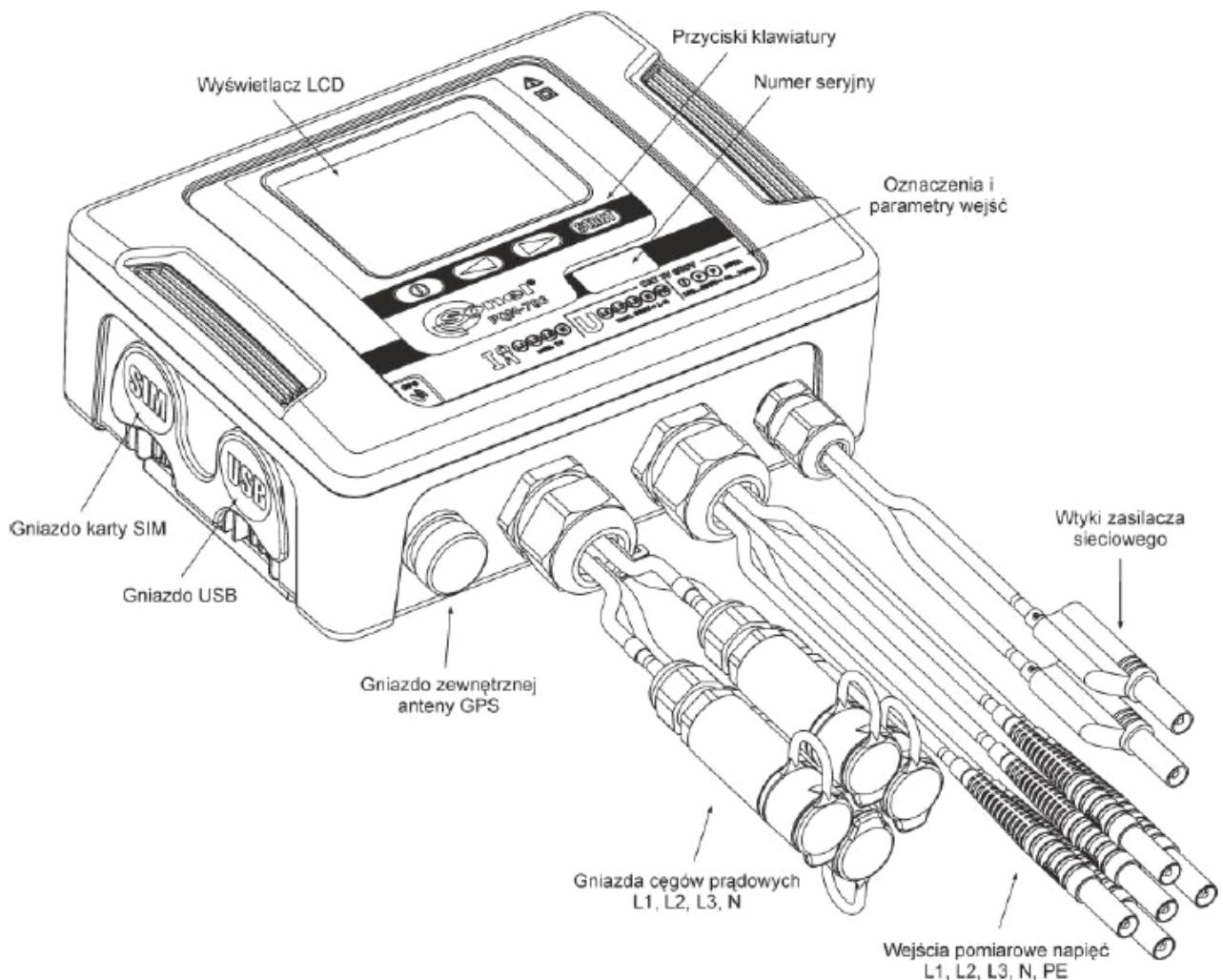
- Stosowanie przetworników (prostowników) o większej liczbie pulsów
- Aktywne kształtowanie przebiegu prądu (np. regulatory histerezowe)
- Stosowanie filtrów pasywnych i aktywnych
- Stosowanie transformatorów izolujących o uzwojeniu połączonym w zyzak

Źródło:

1. Laboratorium jakości energii elektrycznej - Analiza Harmonicznych Przebiegów prądowych odbiorników energii
2. Laboratorium jakości energii elektrycznej - Pomiar emisji wahań napięcia przez odbiorniki energii elektrycznej - wyznaczanie współczynnika migotania światła
3. Kosobudzki - *Electromagnetic Compatibility*
4. Baggini - *Handbook of Power Quality*

E. Budowa analizatora jakości energii elektrycznej

piątek, 8 stycznia 2021 13:12



Rys. 1. Analizator jakości zasilania. Widok ogólny.

Analizatory jakości zasilania wyposażone są w pięć napięciowych wejść pomiarowych wyprowadzonych przewodami, oznaczonych L1, L2, L3, N i PE. Mają one określony zakres napięć mierzonych przez cztery kanały pomiarowe, który można rozszerzać stosując zewnętrzne przekładeeniki napięciowe.

Do pomiaru prądów służą wejścia prądowe, w tym przypadku również zakres mierzonych prądów może zostać zmieniony przy użyciu przekładeników.

Przyrząd posiada wbudowaną pamięć w postaci karty pamięci oraz wbudowany czytnik kart pamięci zapewniający dużą szybkość odczytu danych. Ma również inne interfejsy komunikacyjne: USB, transmisję radiową, transmisję Wi-Fi oraz wbudowany odbiornik GPS z anteną, służący do synchronizacji z czasem uniwersalnym UTC.

Analizatory posiadają wewnętrzne zasilacze sieciowe o szerokim zakresie napięć wejściowych. Ponadto, bezprzerwowa praca w warunkach zaniku napięcia zasilania jest zapewniona przez wewnętrzny akumulator litowo-jonowy.

Dane pomiarowe można odczytywać przez wbudowany interfejs użytkownika w postaci ekranu LCD.

Z technicznych kwestii warto wymienić, że analizator jest wyposażony również w pamięć

wewnętrzna działającą na zasadzie RAM, służącą do przetwarzania aktualnie uzyskiwanych wyników pomiarów. Pomiary napięć i prądów są ze sobą synchronizowane układem synchronizującym. Z kolei obróbka pozyskanych danych odbywa się przez zastosowanie mikroprocesora. Oczywiście układ wykorzystuje przy tym przetworniki analogowo-cyfrowe.

Analizatory jakości zasilania mogą mierzyć wiele różnych parametrów sieci, w zależności od jej konfiguracji. Dotyczy to zarówno parametrów podstawowych, jak wartości skuteczne napięć i prądów, moc czynna i bierna lub współczynnik mocy, jak i również bardziej złożone parametry, takie jak składowa stała prądu i napięcia, współczynnik THD, składowe asymetrii, moc bierną i pozorną czy amplitudy i przesunięcia fazowe wyższych harmonicznych, sięgających nawet pięćdziesiątej.

Źródło

1. Sonel - Instrukcja obsługi - Analizatory Jakości zasilania PQM