

1 Układy sterowania elektrycznego

1.1 Zasilanie elektryczne urządzeń i systemów mechatronicznych

1.1.1 Transformatory

Transformator jest urządzeniem elektrycznym, które umożliwia – za pośrednictwem pola magnetycznego – przetwarzanie wartości napięć i prądów przemiennych przy zachowaniu niezmienności częstotliwości.

Transformator jest zbudowany z **rdzenia ferromagnetycznego**, na który nawinięte są dwa (lub więcej) **uzwojenia**. Uzwojenia można podzielić według kryterium kierunku przepływu energii elektrycznej na: pierwotne – do którego dostarcza się energię elektryczną prądu przemiennego i wtórne – z którego pobiera się energię. Wielkości dotyczące **uzwojenia pierwotnego** są nazywane **wielkościami pierwotnymi**: napięcie pierwotne U_1 , prąd pierwotny I_1 itp. Wielkości odnoszące się do **uzwojenia wtórnego** nazywają się **wielkościami wtórnymi**: napięcie wtórne U_2 , prąd wtórny I_2 itp.

Wyróżnia się trzy stany pracy transformatora zasilanego od strony pierwotnej. Pierwszy stan, zwany często **stanem jałowym**, występuje wtedy, gdy zaciski uzwojenia wtórnego są rozwarte, czyli natężenie prądu wtórnego jest równe zero. Transformator pracuje w **stanie obciążenia**, jeżeli do zacisków uzwojenia wtórnego jest dołączony odbiornik (w szczególnym przypadku o charakterze rezystancyjnym). Bezpośrednie połączenie zacisków wtórnych ze sobą powoduje **stan zwarcia** transformatora.

Zastosowanie transformatorów stwarza możliwości:

- zmiany parametrów energii elektrycznej, tj. obniżenie lub podwyższenie napięcia, prądu, a także ewentualną zmianę liczby faz,
- dopasowania impedancyjnego odbiornika do źródła zasilającego,
- oddzielenia galwanicznego obwodów elektrycznych przy przekazywaniu energii elektrycznej,
- tłumienia niektórych zakłóceń przenoszonych przez linie zasilające.

Transformatory znajdują szerokie zastosowanie w następujących dziedzinach:

- w energetyce elektrycznej do podwyższania napięcia przy przesyłaniu energii liniami wysokiego napięcia, a następnie do obniżania i rozdziału w rejonie, gdzie są zlokalizowani odbiorcy,
- przy pomiarach wysokich napięć i dużych prądów przemiennych, przez transformowanie wartości odpowiadających zakresom stosowanych przyrządów pomiarowych i wymogom bezpieczeństwa pomiarowego,
- do nastawiania żądanych napięć (transformatory regulacyjne),
- do zasilania obiektów przemysłowych wymagających odpowiedniego dopasowania parametrów energii elektrycznej (piece łukowe, prostowniki itp.),
- w układach elektronicznych i urządzeniach automatyki, do oddzielenia galwanicznego obwodów oraz dopasowania impedancji odbiornika do źródła.

Ze względu na zastosowanie transformatory można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- **transformatory energetyczne**,
- **transformatory małej mocy**,
- **transformatory specjalne**.

W mechatronice istotne znaczenie mają budowa i warunki pracy transformatorów małej mocy i transformatorów specjalnych.

1.1.1.1 Budowa i sposób działania

W transformatorze wyróżnia się trzy zasadnicze zespoły elementów warunkujące poprawną pracę:

- **obwód magnetyczny** wykonany z ferromagnetyku, który stanowi drogę o dużej przenikalności magnetycznej dla strumienia magnetycznego (**rdzeń magnetyczny**),

- **obwody elektryczne**, przez które płyną prądy obu uzwojeń transformatora,
- **układy izolacyjne**, mające na celu izolację zwojów, cewek i stron transformatora.

Obwód magnetyczny transformatora jest wykonany z odizolowanych od siebie blach transformatorowych, o grubości od 0,05 do 0,35 mm, przy czym najmniejsze grubości stosuje się do transformatorów o wielkiej częstotliwości. W transformatorach największej częstotliwości obwód magnetyczny wykonany jest jako powietrzny. Celem stosowania blach do budowy rdzenia transformatora jest ograniczenie prądów wirowych indukowanych w przekroju prostopadłym do kierunku zmiennego w czasie wektora indukcji magnetycznej. Jeżeli przekrój ten jest podzielony na cienkie, odizolowane wzajemnie warstewki, to prądy wirowe mogą się zamykać jedynie w polu pojedynczego przekroju poprzecznego blachy.

Zmniejszenie grubości blachy ogranicza możliwość powstawania prądów wirowych, a tym samym zmniejsza straty mocy czynnej spowodowane prądami wirowymi.

Do wykonywania blach magnetycznych, służących do wyrobu rdzeni magnetycznych, stosuje się **materiały magnetycznie miękkie**. Zasadniczo blachy elektrotechniczne stosowane do wyrobu obwodów magnetycznych dzieli się na gorącwalcowane i zimnowalcowane.

Stosowanie **blach gorącwalcowanych** ze względu na znacznie gorsze właściwości magnetyczne stopniowo zostaje ograniczane. Natomiast **blachy zimnowalcowane** wykonuje się jako nieorientowane (izotropowe) i zorientowane (anizotropowe), przy czym właściwości te nadaje się blasze w procesie walcowania na zimno.

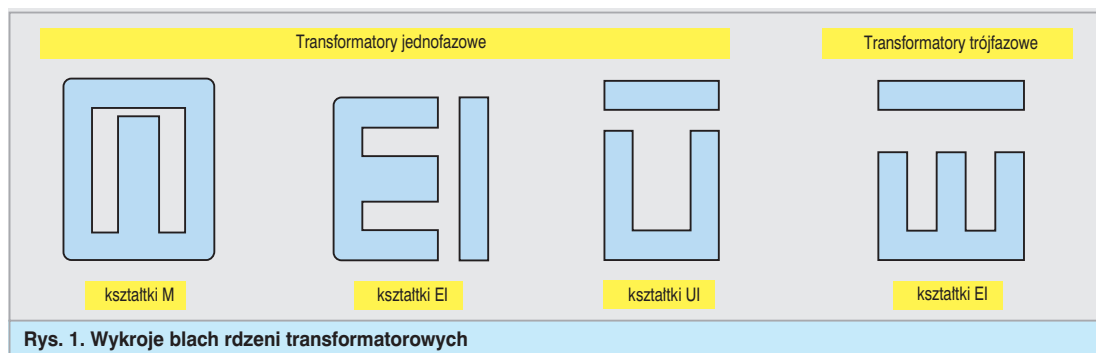
Blachy izotropowe mają jednakowe właściwości magnetyczne we wszystkich kierunkach w płaszczyźnie blachy (**stratność i przenikalność magnetyczna**) i są stosowane w obwodach magnetycznych, w których kierunek wektora indukcji ulega zmianie. Natomiast **blachy anizotropowe** charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami magnetycznymi dla kierunku pola magnetycznego zgodnego z kierunkiem walcowania blachy, natomiast dla innych kierunków właściwości magnetyczne blachy znacznie się pogarszają (najgorsze właściwości magnetyczne występują na ogół dla kierunku magnesowania pod kątem 54° w stosunku do kierunku walcowania blachy). Do wykonywania rdzeni transformatorów stosuje się anizotropowe blachy zimnowalcowane. Poszczególne fragmenty obwodu magnetycznego wykrawa się tak, aby kierunek strumienia magnetycznego pokrywał się z kierunkiem walcowania blachy.

Najczęściej stosowanym materiałem rdzenia jest stal silnie nakrzemiona (zawierająca około 4% Si), dzięki czemu możliwe jest osiągnięcie dużej rezystywności rdzenia przy zachowaniu właściwości materiału magnetycznie miękkiego. Blacha krzemowa jest twarda i krucha, a jej obróbka możliwa metodą wykrawania. Innymi materiałami stosowanymi do budowy rdzeni są **permaloje** oraz **magnetycznie miękkie ferryty**.

Izolację blach magnetycznych wykonuje się przez dwustronne powlekanie lakierami termoutwardzalnymi, natomiast blachy zimnowalcowane są pokrywane izolacją ceramiczną już w procesie walcowania, a następnie mogą być dodatkowo dolakierowane.

Rdzeń transformatora z blachy elektrotechnicznej wykonany jest z kształtek ciętych (**rys. 1**) oraz związanych i ciętych (**rys. 1 na następnym stronie**).

W zależności od drogi strumienia magnetycznego wyróżniamy transformatory o rdzeniu płaszczyznowym stanowiącym obwód magnetyczny rozgałęziony i transformatory tzw. rdzeniowe o obwodzie magnetycznym nierozgałęzionym. W transformatorze rdzeniowym uzwojenie pierwotne i wtórne są dzielone na połówki



i umieszczone na obu kolumnach. W transformatorze płaszczyzowym (złożonym z trzech kolumn), uzwojenia umieszczone są na środkowej kolumnie rdzenia transformatora.

Uzwojenia transformatora wykonuje się przeważnie z drutu miedzianego w izolacji emaliowej. Izolacja taka wytrzymuje temperatury rzędu 373÷393 K, a jej napięcie przebicia wynosi od 0,5 do 2 kV. Średnica drutu zależy od wartości natężenia prądu płynącego przez uzwojenie. Spotykane są również uzwojenia wykonywane z drutu lub z taśmy aluminiowej.

Działanie transformatora jest oparte na zjawisku indukcji elektromagnetycznej.

Jeżeli zaciski uzwojenia pierwotnego zostaną przyłączone do źródła napięcia przemiennego, to w uzwojeniu tym popłynie prąd wzбудzający w rdzeniu przemienny strumień magnetyczny Φ (rys. 2).

Strumień ten, przepływając przez uzwojenie wtórne, indukuje w nim siłę elektromotoryczną e_2 o wartości

$$e_2 = -N_2 \cdot \Delta\Phi/\Delta t.$$

Indukowanie siły elektromotorycznej występuje też w uzwojeniu pierwotnym, wzбудzającym strumień

$$e_1 = -N_1 \cdot \Delta\Phi/\Delta t.$$

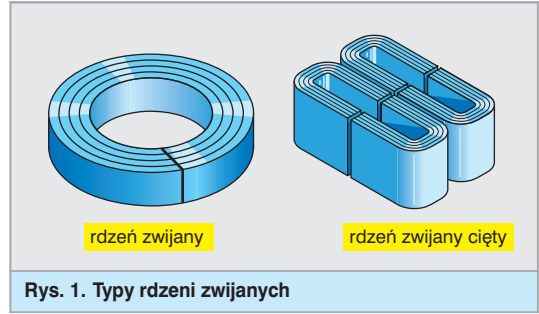
Zgodnie z **drugim prawem Kirchhoffa**¹ napięcie U_1 na zaciskach uzwojenia pierwotnego jest w każdej chwili równoważone przez napięcie indukowane w uzwojeniu pierwotnym oraz spadek napięcia na rezystancji tego uzwojenia, wywołany przepływem prądu wzбудzającego strumień. Prąd ten jest zwany **prądem magnesującym** i ma zwykle niewielką wartość w porównaniu z wartością natężenia prądu w uzwojeniu pierwotnym podczas normalnej pracy. Spadek napięcia na rezystancji uzwojenia pierwotnego R_1 nie przekracza 1% wartości siły elektromotorycznej e_1 , dlatego w dalszych rozważaniach można go pominąć. Przy takim uproszczeniu otrzymuje się

$$U_1 = -e_1 = N_1 \cdot \Delta\Phi/\Delta t$$

oraz

$$U_2 = -e_2 = N_2 \cdot \Delta\Phi/\Delta t,$$

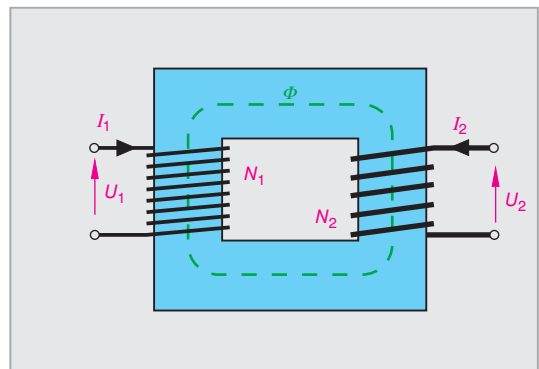
gdzie: Φ – strumień magnetyczny, N – liczba zwojów, e – siła elektromotoryczna, U_1 – napięcie wejściowe, U_2 – napięcie wyjściowe, $\Delta\Phi/\Delta t$ – szybkość zmian strumienia magnetycznego, N_1 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego, N_2 – liczba zwojów uzwojenia wtórnego.



Rys. 1. Typy rdzeni zwijanych

$\Theta_1 = \Theta_2$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$
$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$	
$\frac{Z_1}{Z_2} = n^2$	$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$
$\frac{C_2}{C_1} = n^2$	$\frac{L_2}{L_1} = n^2$
$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$

- Θ_1, Θ_2 – przepływ
 - I_1, I_2 – natężenie prądu
 - N_1, N_2 – liczba zwojów
 - Z_1, Z_2 – impedancja
 - n – przekładnia napięciowa
 - C_1, C_2 – pojemność
 - L_1, L_2 – indukcyjność
- Indeks 1 dotyczy uzwojenia pierwotnego,
Indeks 2 dotyczy uzwojenia wtórnego



Rys. 2. Ilustracja zasady działania transformatora

¹ Gustaw Robert Kirchhoff (1824–1887) – fizyk niemiecki

Przy zasilaniu transformatora sinusoidalnie przemiennym napięciem U_1 siła elektromotoryczna e_1 indukowana w uzwojeniu pierwotnym zmienia się również w sposób sinusoidalny

$$e_1 = E_{1\max} \sin \omega t = E_1 \sqrt{2} \sin \omega t,$$

gdzie ω – pulsacja.

Strumień magnetyczny w rdzeniu zmienia się również sinusoidalnie i wyprzedza indukowaną siłę elektromotoryczną o kąt $\pi/2$.

Po podstawieniu $\omega = 2\pi f$ otrzymuje się zależność na maksymalną wartość strumienia w rdzeniu

$$\Phi_{\max} = E_1 / 4,44 N_1 f,$$

gdzie f – częstotliwość.

Po przeprowadzeniu analogicznych rozważań dla siły elektromotorycznej e_2 indukowanej w uzwojeniu wtórnym

$$\Phi_{\max} = E_2 / 4,44 N_2 f.$$

Z obu powyższych zależności otrzymuje się zależności

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = n,$$

gdzie n jest **przekładnią napięciową** transformatora. Wynika stąd, że stosunek napięć indukowanych w uzwojeniach transformatora jest równy ilorazowi liczby zwojów.

1.1.1.2 Warunki pracy transformatorów

Transformatory o małym spadku napięcia wyposażone są w rdzeń bez szczelin powietrznych – obydwa ich uzwojenia nawinięte są jedno na drugim (**rys. 1a na następnej stronie**).

Mówi się o nich, że charakteryzują się „**sztynnym napięciem**”.

Transformatory o małym spadku napięcia mogą pełnić funkcję transformatorów bezpieczeństwa – sterujących i sieciowych.

Jeżeli uzwojenia strony wysokonapięciowej i niskonapięciowej rozmieszczone są oddzielnie, np. na różnych kolumnach albo na podzielonych na sekcje karkasach (rys. 1b na następnej stronie), powstają pola rozproszone. Nadają one transformatorowi cechę „**miękkości napięcia**”. Napięcie zwarcia U_k jest wtedy większe. Takie transformatory znajdują zastosowanie jako transformatory do zabawek, dzwonek i zapłonowe.

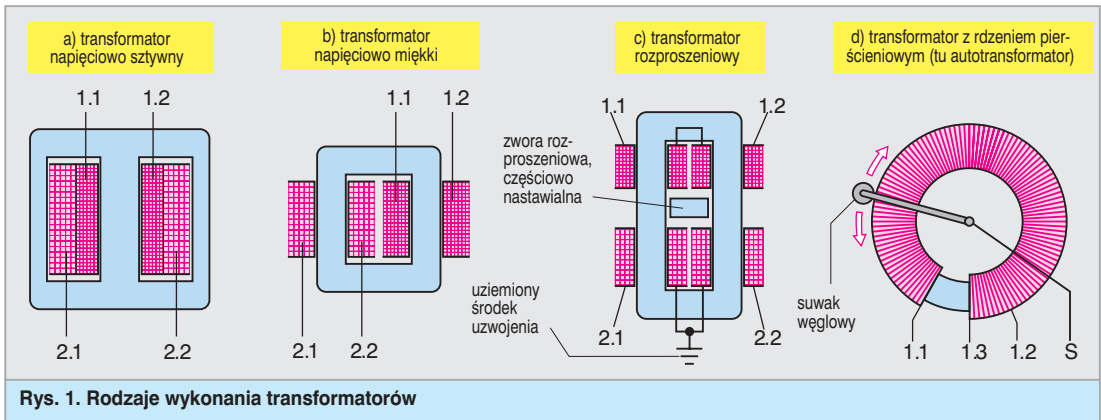
Do spawarek i do gazowanych lamp wyładowczych buduje się **transformatory rozproszeniowe**, zaopatrzone w zworę rozpraszającą, umieszczoną pomiędzy uzwojeniem wejściowym i wyjściowym (**rys. 1c na następnej stronie**).

Jako źródła napięcia nastawianego budowane są **transformatory regulowane z rdzeniami pierścieniowymi**. Są one najczęściej nawijane jednowarstwowo i wyposażone w suwak z uszlachetnioną szczotką węglową, pozwalający na odbiór napięć w granicach od zera do wartości napięcia wejściowego (**rys. 1d na następnej stronie**). Jednowarstwowo nawinięte pierścieniowe transformatory regulowane są **autotransformatorem**.

Prąd załączania transformatora może osiągnąć dziesięciokrotną wartość prądu znamionowego. Jest on największy, gdy wartość chwilowa napięcia sieciowego w momencie załączania jest równa zeru, a **pozostałość magnetyczna** rdzenia ma ten sam kierunek, co narastający strumień magnetyczny. Rdzeń nasycy się wtedy magnetycznie i nie ma działania ograniczającego prąd.

Napięcie zwarcia mierzy się przy zwartym uzwojeniu wtórnym. Uzwojenie pierwotne przyłącza się do źródła o regulowanym napięciu i zwiększa się to napięcie od zera do chwili, gdy w uzwojeniu pierwotnym będzie płynął prąd o wartości znamionowej. Napięcie zmierzone w tych warunkach jest napięciem zwarcia U_k .

Napięcie zwarcia transformatora podaje się zwykle w procentach, w stosunku do znamionowego napięcia wejściowego.



Rys. 1. Rodzaje wykonania transformatorów

Jeżeli na zaciskach wyjściowych transformatora wystąpi zwarcie, to w pierwszej chwili popłynie prąd nazywany **początkowym prądem zwarciovym**. Może on być prawie dwukrotnie większy od **długotrwałego prądu zwarciovego**, który ustala się po kilku okresach.

Im mniejsze jest napięcie zwarcia transformatora, tym większy i groźniejszy jest przy zwarciu początkowy i długotrwały prąd zwarciovym.

Stosunek mocy oddawanej P_2 do mocy pobieranej P_1 nazywa się **sprawnością transformatora**. Moc pobierana jest większa od oddawanej o wartość strat w żelazie i strat w uzwojeniach.

Transformator, którego uzwojenie wtórne nie jest obciążone, pobiera po stronie pierwotnej prąd stanu jałowego, pobiera po stronie pierwotnej prąd stanu jałowego. W stanie jałowym straty w uzwojeniach są pomijalnie małe, więc moc stanu jałowego odpowiada mocy strat w żelazie rdzenia.

Podczas pomiaru napięcia zwarcia przy zwartym uzwojeniu wtórnym, już przy bardzo małym napięciu wejściowym, płyną w uzwojeniach prądy znamionowe. Przy takim małym napięciu namagnetyzowanie rdzenia jest tak nieznaczne, że praktycznie nie występują straty w żelazie. Moc pobierana przez transformator podczas pomiaru napięcia zwarcia odpowiada wielkości strat w uzwojeniach.

1.1.1.3 Transformatory trójfazowe

Transformatory trójfazowe (rys. 2) służą do zasilania urządzeń przelączających i sterujących.

Procentowe napięcie zwarcia

$$u_k = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100\%$$

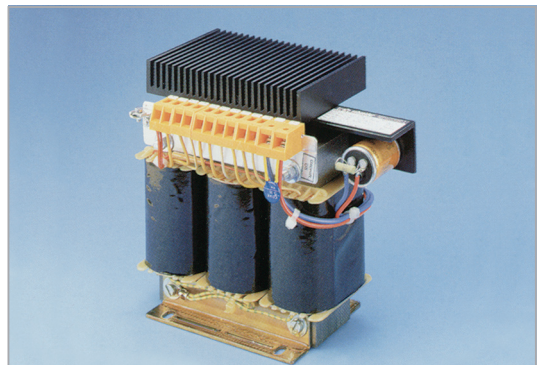
- u_k – napięcie zwarcia w %
- U_k – zmierzone napięcie zwarcia
- U_n – napięcie znamionowe

Prąd zwarcia

$$i_{kd} = \frac{I_n}{u_k} \cdot 100\%$$

$$i_s \geq 2,55 \cdot I_{kd}$$

- i_{kd} – długotrwały prąd zwarcia
- I_n – prąd znamionowy
- U_k – napięcie zwarcia w %
- i_s – udarowy prąd zwarciovym



Rys. 2. Transformator trójfazowy z prostownikiem

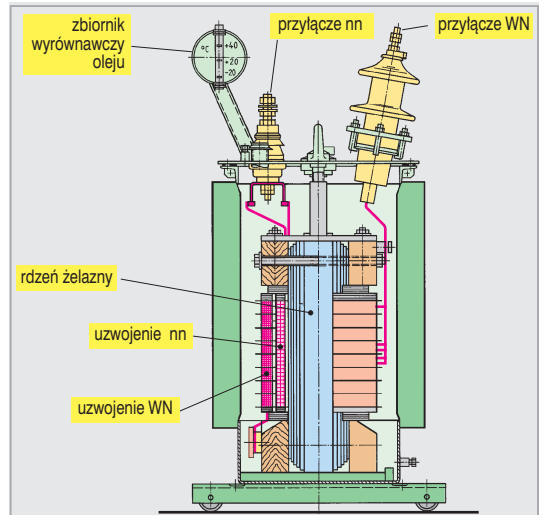
Transformatory zasilające łączą sieć wysokiego napięcia z siecią niskiego napięcia. Mają one małe straty, niskie napięcie zwarciovym i wobec tego są „napięciowo sztywne”.

Tab. 1. Grupy połączeń i zastosowanie transformatorów trójfazowych							
Liczba	Oznaczenie Grupa połączeń	Wykres wskazowy		Schemat		Przekładnia $n = U_1 : U_2$	Zastosowanie
		wn	nn	wn	nn		
0	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$	Transformatory do obciążeń symetrycznych. Obciążenie przewodu neutralnego maks. 10%.
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	Duże transformatory rozdzielcze. Przewód neutralny obciążalny w pełni.
	Yd5					$\frac{\sqrt{3} \cdot N_1}{N_2}$	Transformatory główne w elektrorowniach i stacjach napięciowych.
	Yz5					$\frac{2 \cdot N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	Małe transformatory rozdzielcze. Przewód neutralny obciążalny w pełni.

Uzwojenia transformatorów trójfazowych są łączone w trójkąt, w gwiazdę albo w zygzak. Układ połączeń uzwojeń wysokiego napięcia (WN) jest oznaczony dużą literą (D – trójkąt, Y – gwiazda), a układ połączeń uzwojeń niskiego napięcia (nn) małą literą (d – trójkąt, y – gwiazda, z – zygzak).

Zależnie od układów połączeń stron wysokiego i niskiego napięcia (tzw. grupa połączeń) otrzymuje się różne przesunięcia fazowe pomiędzy napięciami (tab. 1). Cyfra oznaczająca grupę połączeń, pomnożona przez 30°, określa kąt fazowy pomiędzy górnym i dolnym napięciem transformatora. Grupa połączeń Dy5 oznacza: strona WN połączona w trójkąt, strona nn połączona w gwiazdę, kąt fazowy $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$ (rys. 1).

Transformatory trójfazowe, np. w energetycznych sieciach zasilających, pracują w układzie równoległym.



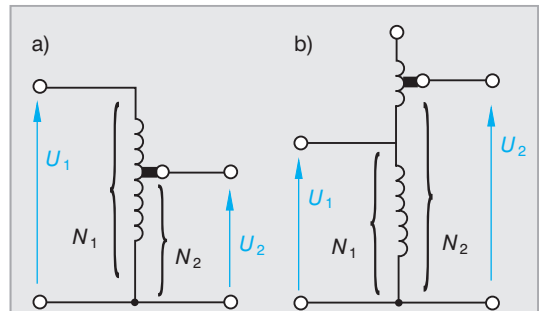
Rys. 1. Przekrój transformatora trójfazowego 100 kVA, $U_1 = 10$ kV, $U_2 = 0,4$ kV

Warunki pracy równoległej transformatorów trójfazowych:

- jednakowe grupy połączeń,
- jednakowe napięcie wejściowe,
- jednakowe napięcie wyjściowe,
- stosunek mocy znamionowych nie powinien być większy niż 1 : 3,
- napięcia zwarcia mogą się różnić między sobą najwyżej o 10%.

1.1.1.4 Transformatory specjalne

Transformatory specjalne to autotransformatory, transformatory sprzęgające, przekształtniki pomiarowe i inne, wykonane do specjalnych zastosowań, np. jako transformatory separacyjne, spawalnicze, pobiercze, piecowe itd.



Rys. 2. Schemat połączeń autotransformatora: a) obniżającego napięcie, b) podwyższającego napięcie

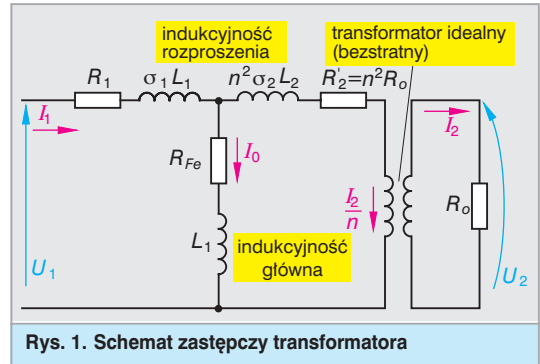
Autotransformatorem nazywa się odmianę konstrukcyjną transformatora o jednym uzwojeniu (**rys. 2 na poprzedniej stronie**).

Całkowita liczba zwojów tego uzwojenia jest zasilana i stanowi uzwojenie pierwotne, a część uzwojenia o odpowiedniej liczbie zwojów, proporcjonalnej do napięcia znamionowego – stronę wtórną. W autotransformatorze łączy się więc galwanicznie obie strony, zasilającą i zasilaną, co stanowi jego wadę.

Autotransformatory wykonuje się z liczbą zwojów uzwojenia wtórnego:

- stałą,
- zmieniając skokowo za pomocą odczepów,
- zmieniając płynnie.

Płynną zmianę liczby zwojów strony wtórnej autotransformatora realizuje się przez ślizgowe rozwiązanie punktu początkowego strony wtórnej.



Transformatory sprzęgające to transformatory, które przesyłają sygnały, np. ze wzmacniacza do głośnika (**transformatory głośnikowe**).

Indukcja magnetyczna w tych transformatorach musi być mniejsza niż w innych transformatorach, ponieważ nie mogą w nich wystąpić zniekształcenia napięcia wyjściowego. Indukcja magnetyczna jest w tym przypadku mniejsza niż 0,4 T.

Uzwojenia w transformatorze sprzęgającym muszą być tak ułożone, aby uzyskać możliwie najmniejszą **indukcyjność rozproszenia** (**rys. 1**). Jest to indukcyjność odpowiadająca strumieniowi rozproszonemu, czyli tej części strumienia magnetycznego, który nie przechodzi przez drugą z cewek. Im mniejsza indukcyjność rozproszenia, tym lepiej będą przenoszone przez transformator wysokie częstotliwości.

Przekładnikami pomiarowymi nazywa się transformatory przeznaczone do zasilania przyrządów pomiarowych prądów i napięć przemiennych.

Działają one na zasadzie transformowania wielkości mierzonej (napięcia lub prądu po stronie pierwotnej) na wielkości proporcjonalne, o wartościach dopasowanych do układu pomiarowego lub zasilanego urządzenia pomiarowo-kontrolnego po stronie wtórnej.

Do zalet stosowania przekładników pomiarowych należy:

- możliwość pomiaru dużych napięć i prądów,
- odizolowanie układu pomiarowego i urządzeń zasilanych wielkością mierzoną od wysokiego napięcia po stronie pierwotnej przekładnika,
- możliwość standaryzacji przyrządów pomiarowych i innych urządzeń zasilanych z przekładników dzięki znormalizowaniu napięć i prądów strony wtórnej przez odpowiednie ukształtowanie charakterystyk przekładników, chroniące układ pomiarowy przed uszkodzeniami w przypadku stanów awaryjnych po stronie pierwotnej przekładnika.

Transformator separujący to specjalny transformator, którego przekładnia jest równa 1 (napięcie wejściowe jest równe napięciu wyjściowemu), chronionego wzmocnioną izolacją między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym. Często uzwojenia oddzielone są uziemionym ekranem.

Rola takiego transformatora polega na galwanicznym rozdzieleniu obwodów zasilającego i zasilanego. Zasilany odbiornik jest odseparowany od sieci zasilającej. W razie uszkodzenia jego izolacji nie płynie prąd rażeniowy, gdyż nie ma dla niego drogi powrotnej.

Transformatory separujące są stosowane wszędzie tam, gdzie istnieje zagrożenie życia oraz gdzie wymagane jest pełne napięcie zasilania, tzn. w pomieszczeniach o dużej wilgotności, o dużym zagrożeniu wybuchami, warsztatach itp.

Transformator spawalniczy jest to transformator obniżający napięcie elektryczne i jednocześnie zwielokrotniający natężenie prądu elektrycznego.

Transformator spawalniczy jest głównym elementem transformatorowych spawarek elektrycznych. W zależności od technologii spawania napięcie wtórne, bez obciążenia, wynosi od 20 V do 60 V i obniża się podczas spawania, natężenie prądu zawiera się od 20 do 600 A.

Transformator bezpieczeństwa to transformator jednofazowy obniżający napięcie do poziomu napięcia bezpiecznego, najczęściej o napięciu wtórnym 24 V.

Transformator bezpieczeństwa jest wykorzystywany do zasilania obwodów elektrycznych w miejscach o dużym zagrożeniu porażeniem prądem elektrycznym oraz miejsc, dla których jest to określone i wymagane przez przepisy bhp. Stosowany np. do zasilania oświetlenia w kanałach warsztatowych.

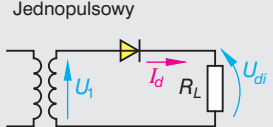
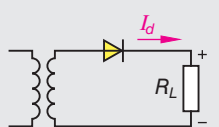
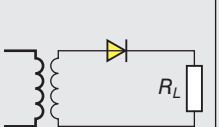
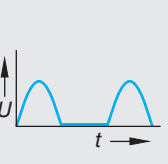
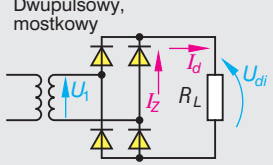
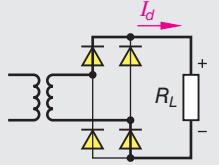
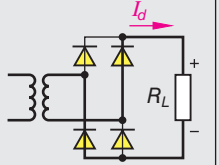
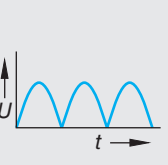
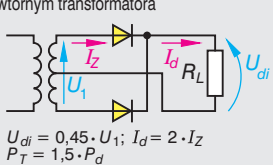
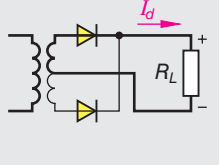
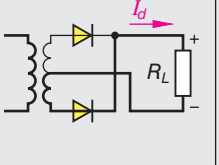
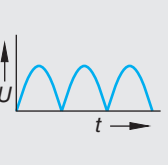
Transformator dzwonkowy to rodzaj taniego transformatora zasilanego z domowej sieci elektrycznej, przeznaczonego głównie do zasilania domowego dzwonka elektrycznego, zamków elektromagnetycznych, urządzeń alarmowych itp.

Transformatory dzwonkowe stosuje się w instalacjach domowych przede wszystkim ze względów bezpieczeństwa: obniżają napięcie sieci 230 V do poziomu – zależnie od konstrukcji – 3, 5, 8, 12 lub co najwyżej 24 V. Dzięki temu instalacje dzwonkowe mogą być bezpiecznie wyprowadzone także np. do wyłącznika znajdującego się przy furtce w ogrodzie, bez niebezpieczeństwa porażenia ludzi prądem elektrycznym. Moc znamionowa dzwonkowych transformatorów spotykanych na rynku wynosi zazwyczaj od 4 do 16 VA, maksymalny prąd pobierany z uzwojenia wtórnego zazwyczaj nie powinien przekraczać od 0,5 do 2,0 A.

1.1.2 Prostowniki

Prostownik jest to element lub zestaw elementów elektronicznych służący do zamiany napięcia przemiennego na napięcie jednego znaku, które po dalszym odfiltrowaniu może być zmienione na napięcie stałe.

Tab. 1. Najczęściej stosowane układy prostownikowe

Układ	Obwód prądu przy dodatniej półfali napięcia zasilającego	Obwód prądu przy ujemnej półfali napięcia zasilającego	Napięcie wyjściowe	Zastosowanie
<p>Jednopulsowy</p>  <p>$U_{di} = 0,45 \cdot U_1$; $I_d = I_Z$ $P_T = 3,1 \cdot P_d$</p>				Proste układy zasilaczy, np. do zabawek.
<p>Dwupulsowy, mostkowy</p>  <p>$U_{di} = 0,9 \cdot U_1$; $I_d = 2 \cdot I_Z$ $P_T = 1,23 \cdot P_d$</p>				Zasilacze, przyrządy pomiarowe, układy przekaźnikowe, domofony, alarmy.
<p>Dwupulsowy z dzielonym uzwojeniem wtórnym transformatora</p>  <p>$U_{di} = 0,45 \cdot U_1$; $I_d = 2 \cdot I_Z$ $P_T = 1,5 \cdot P_d$</p>				

U_1 – wartość skuteczna napięcia zasilającego, U_{di} – napięcie stałe biegu jałowego (wartość średnia), I_d – prąd stały (wartość średnia), I_Z – prąd diody prostownika (wartość średnia), P_T – moc transformatora, P_d – moc w obwodzie prądu stałego

Prostowniki są stosowane w energetyce, zasilaniu maszyn i urządzeń (np. w elektrowozach), w galwanotechnice oraz w większości urządzeń elektronicznych zasilanych z sieci energetycznej lub jakimkolwiek napięciem przemiennym (np. układy elektryczne samochodów).

Prostownikiem jest również detektor diodowy wykorzystywany do detekcji sygnału radiowego zmodulowanego AM lub FM.

Nazwa prostownik jest używana również w języku potocznym jako określenie ładowarki akumulatorów samochodowych. Technicznie nie jest to jednak określenie poprawne, ponieważ ładowarki takie składają się z transformatora, prostownika właściwego (często sterowanego) oraz układu regulującego prąd ładowania.

1.1.2.1 Układy prostownikowe

Prostowniki jednofazowe

Jednopulsowe (jednopołówkowe, półokresowe)

Najprostszym prostownikiem jest pojedyncza dioda prostownicza włączona w układ napięcia przemiennego. Pomimo prostoty takiego układu jest on bardzo rzadko stosowany z uwagi na występowanie dużego tętnienia napięcia wyjściowego. Dodatkowo, energia dostarczana przez źródło wykorzystywana jest tylko przez pół okresu – podczas drugiej połowy okresu napięcie jest po prostu blokowane i prąd w układzie nie płynie. Wprowadza to asymetrię obciążenia układu prądu przemiennego, co jest niekorzystne dla sieci prądu przemiennego. Z powyższych powodów rozwiązanie stosowane jest tylko w układach niewielkiej mocy, np. w zasilaczach impulsowych małych mocy.

Dwupulsowe (dwupołówkowe, całookresowe)

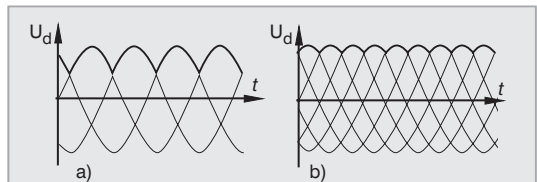
Prostowniki dwupulsowe umożliwiają wykorzystanie mocy źródła napięcia przemiennego przez cały okres. Napięcie wyjściowe takiego prostownika charakteryzuje się mniejszymi tętnieniami niż w przypadku prostowników jednopołówkowych. Jedyną wadą jest to, że układ elektryczny jest nieznacznie bardziej skomplikowany. Układ mostkowy, tzw. **mostek Graetz**, wykorzystuje cztery diody prostownicze i pozwala na prostowanie napięcia z dowolnego źródła napięcia przemiennego. Istnieje również konstrukcja oparta na dwóch diodach, jednak wymaga ona specjalnego zasilania – uzwojenie wtórne transformatora musi być podzielone na dwie jednakowe części. Obecnie układy takie stosuje się bardzo rzadko, ponieważ koszt dzielonego uzwojenia jest znacznie większy niż koszt diod użytych w układzie mostkowym.

Prostowniki trójfazowe

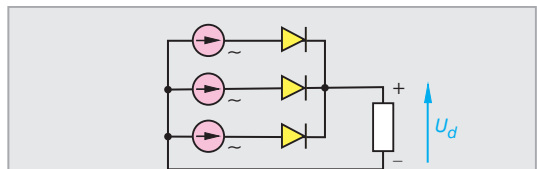
Prostowniki trójfazowe wykorzystuje się tam, gdzie dostępne jest trójfazowe zasilanie. Generalnie charakteryzują się znacznie mniejszym tętnieniem napięcia wyjściowego niż prostowniki jednofazowe (rys. 1).

Jednopołówkowe

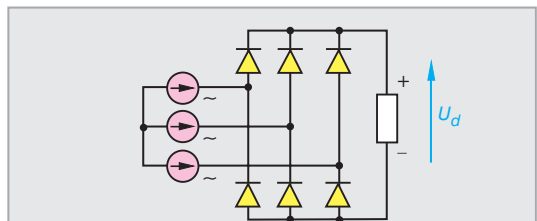
Trójfazowy prostownik jednopołówkowy może działać tylko w układzie trójfazowym z przewodem neutralnym. Oznacza to, że układ źródeł napięcia (lub uzwojeń wtórnych transformatora) musi być połączony w gwiazdę (połączenie w trójkąt nie posiada przewodu neutralnego) (rys. 2).



Rys. 1. Napięcie wyjściowe prostownika trójfazowego: a) jednopołówkowego, b) dwupołówkowego



Rys. 2. Prostownik jednopołówkowy



Rys. 3. Prostownik dwupołówkowy