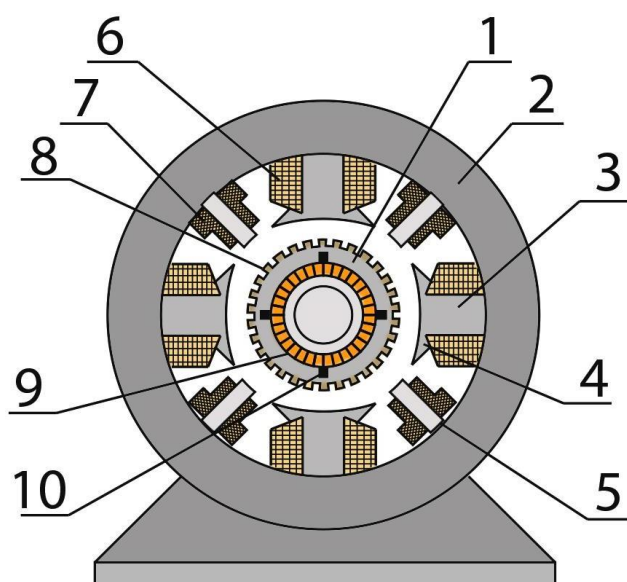


4. Budowa maszyn prądu stałego

Maszyna prądu stałego składa się z dwóch zasadniczych części:

- nieruchomej czyli stojana,
- wirującej czyli wirnika.



Rys. 2.2 Szkic maszyny prądu stałego

1 – twornik, 2 – jarzmo stojana, 3 – biegun główny, 4 – nabiegunnik, 5 – biegun komutacyjny, 6 – uzwojenie wzbudzające, 7 – uzwojenie biegunów komutacyjnych, 8 – uzwojenie twornika, 9 – komutator, 10 – szczotki

Źródło: Opracowanie własne

Zadaniem stojana, zwanego inaczej magneśnicą, jest wytworzenie przez magnesy trwałe lub elektromagnesy napięcia magnetycznego powodującego powstanie strumienia magnetycznego. W tej części maszyny prądu stałego można wyróżnić:

- jarzmo,
- bieguny główne wraz z nabiegunnikami,
- bieguny komutacyjne.

Nabiegunniki wykonane są z blach o płaszczyznach prostopadłych do osi maszyny, czyli powierzchnie blach nabiegunnika, mają kierunek zgodny z kierunkiem blach w wirniku. Taki układ stosuje się dla zmniejszenia strat pulsacyjnych powstających na wewnętrznej (od strony wirnika) powierzchni nabiegunników. Na biegunach znajdują się uzwojenia wykonane w formie cewek z izolowanego drutu nawojowego, są to uzwojenia wzbudzenia. Przez połączone ze sobą w szereg uzwojenia magnesów płynie podczas pracy maszyny prąd zwany prądem magnesowania lub prądem wzbudzenia.

Jarzmo jest najczęściej odlewem żeliwnym i stanowi część obwodu magnetycznego. Jednocześnie pełni rolę obudowy maszyny. Maszyny elektryczne prądu stałego średniej mocy mają najczęściej cztery bieguny magnetyczne. Pomiędzy biegunami z uzwojeniami wzbudzającymi umieszczane są bieguny komutacyjne służące do poprawy komutacji (zmianie kierunku przepływu prądu), a uzwojenia tych biegunów są połączone w szereg z uzwojeniem twornika. Na stojanie umieszczona jest tabliczka zaciskowa. Na tabliczce znajdują się zaciski, do których dołączone są końce uzwojeń biegunów magnetycznych oraz zaciski połączone przewodami z grupami jednoimiennych szczotek.

Zadaniem wirnika, zwanego inaczej twornikiem, jest wytworzenie napięcia warunkującego przepływ odpowiedniego prądu. Rdzeń twornika spełnia dwie zasadnicze role:

- tworzy drogę o małej reluktancji dla strumienia magnetycznego od jednego nabiegunnika do drugiego,
- służy jako konstrukcja nośna dla prętów miedzianych, w których płynie prąd i indukuje się napięcie.

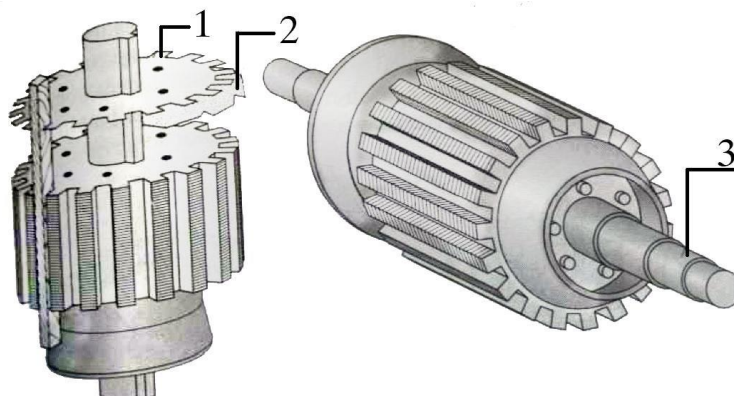
Stalowy rdzeń twornika, wirując w przestrzeni, przecina nieruchome linie pola magnetycznego, w skutek czego indukują się w rdzeniu napięcia wywołujące w nim prądy wirowe. Powoduje to powstawanie strat. Aby straty były jak najmniejsze, rezystancja stawiana prądom wirowym powinna być jak największa. Napięcie indukowane w rdzeniu twornika, podobnie jak napięcia indukowane w prętach uzwojenia, są skierowane wzdłuż maszyny. Prąd płynący pod ich wpływem ma kierunek zgodny z nimi. Aby zapobiec powstawaniu zbyt dużego prądu, twornik musi być wykonany z izolowanych od siebie blach stalowych z dodatkiem krzemu ułożonych prostopadle do osi wału maszyny. Blachy są izolowane jednostronnie w jeden z następujących sposobów:

- pokrycie ich lakierem izolacyjnym,
- pokrycie ich szkłem wodnym,
- poprzez oklejenie cienką bibułą,
- poprzez utlenienie,
- lub fosforanowanie powierzchni.

Pakiet blach jest osadzony na wale maszyny bezpośrednio albo za pośrednictwem piasty.

Na zewnętrznym obwodzie wirnika wykonane są w blachach żłobki, w których umieszczone są pręty uzwojenia. W jednym żłobku znajduje się zwykle kilka prętów uzwojenia. Pręty uzwojenia zabezpieczone są przed wypadnięciem klinami z materiału

niemagnetycznego. Końce elementów uzwojenia przyłączone są do wycinków komutatora, umocowanego obok żelaza wirnika na wspólnym wale. Wycinki komutatora są izolowane od siebie i od wału. Na komutatorze są ustawione szczotki utrzymywane przez szczotkotrzymacze. Do obu stron jarzma przykręcone są tarcze z łożyskami, w których obraca się wał wirnika.



Rys. 2.3 Budowa wirnika

1 - izolacja, 2 - blacha, 3 - miejsce na komutator

Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, s. 257

Aby zapewnić prostoliniowy przebieg napięcia otrzymanego z maszyny prądu stałego, komutator musi mieć odpowiednio dużo wycinków. Do każdego z tych wycinków przymocowane jest odpowiednie odprowadzenie uzwojenia bezpośrednio lub za pomocą chorągiewki. Charakterystyczny jaskółczy ogon przy wycinkach komutatorowych służy do ich umocowania za pomocą specjalnych pierścieni. Wycinki komutatorowe są wykonane z miedzi i izolowane między sobą miką lub mikanitem. Wszystkie zamocowane wycinki tworzą miedziany walec, poprzedzielany zakładkami izolacyjnymi.

Komutator maszyny prądu stałego jest elementem zużywającym bardzo dużo miedzi, dlatego w znacznym stopniu wpływa on na wysoką cenę. Z tej też przyczyny wszędzie tam, gdzie jest to możliwe, maszyna prądu stałego jest zastępowana tańszymi rozwiązaniami maszyn prądu przemiennego.

5. Budowa maszyn prądu zmiennego

Maszyna prądu zmiennego składa się z dwóch zasadniczych części:

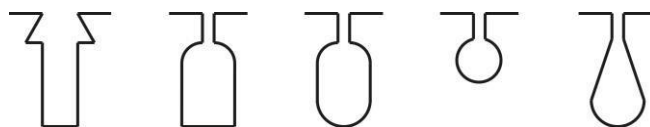
- nieruchomej, czyli stojana,
- wirującej, czyli wirnika.

Strumień magnetyczny maszyny indukcyjnej, wirując w przestrzeni, przemagnesowuje rdzeń stojana z częstotliwością f , zaś rdzeń wirnika z częstotliwością sf . Przy czym s to poślizg wirnika w silniku asynchronicznym, opisujący różnicę pomiędzy prędkością obrotową wirnika a prędkością wirowania pola magnetycznego. Na skutek tego zjawiska powstają prądy wirowe generujące straty, dlatego też w celu zmniejszenia tych strat rdzeń stojana i wirnika wykonany jest w formie pakietów blach z dodatkiem krzemu o grubości nie większej jak 0,5 mm. Blachy te są izolowane w jeden z następujących sposobów:

- jednostronne oklejenie cienkim papierem,
- powlekanie odpowiednim lakierem izolacyjnym.

Odpowiednio sprasowany pakiet blach stojana jest osadzony w kadłubie i zamocowany za pomocą śrub lub przez ściśnięcie odpowiednimi pierścieniami dociskowymi. Wzdłuż osi maszyny blachy są podzielone kanałami, które pełnią rolę wentylacji promieniowej. Przy promieniowym systemie wentylacji powietrze wyrzucane jest z maszyny na zewnątrz w kierunku promieniowym. Pomiędzy pakietem blach a kadłubem znajduje się zazwyczaj wolna przestrzeń umożliwiająca chłodzenie blach stojana od strony zewnętrznej przez zapewnienie przepływu powietrza.

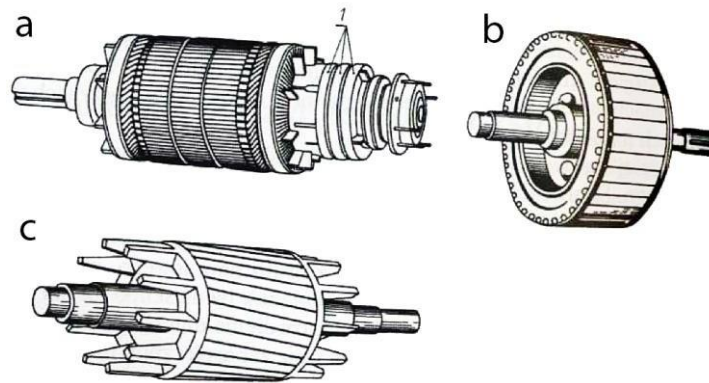
Kadłub maszyny jest odlewem żeliwnym lub stalowy (spawany) i nie stanowi części czynnej maszyny, pełni tylko rolę konstrukcyjną. Blachy wirnika i stojana są ułożkowe dla umieszczenia w nich uzwojeń. Własności maszyn są uzależnione od kształtu żłobków. Wyróżnia się kilka kształtów żłobków:



Rys. 2.4 Kształty żłobków

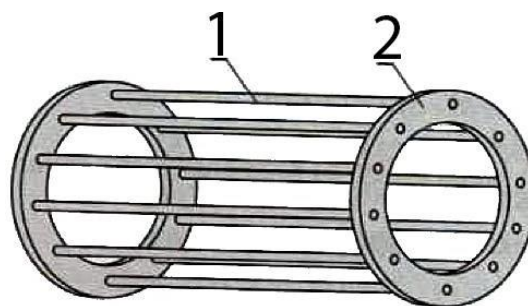
Źródło: Latek W., *Zarys maszyn elektrycznych*, WNT, Warszawa 1978, 171 s

Żłobki otwarte są najwygodniejsze przy układaniu uzwojeń, ale powodują zwiększenie szczeliny przywirnikowej, czyli zwiększenie prądu magnesowania. To zjawisko jest bezpośrednim skutkiem zmniejszenia współczynnika mocy $\cos\varphi$ maszyny prądu przemiennego. Przed wypadnięciem uzwojeń za żłobków zabezpieczają specjalne kliny wykonane z materiału izolacyjnego, jakim może być preszpan lub drewno. Na stojanie znajduje się tabliczka zaciskowa, do której doprowadzone są końcówki uzwojeń stojana. Jeżeli maszyna ma wirnik z uzwojeniem fazowym, a nie klatkowym, to na stojanie znajduje się także tabliczka zaciskowa, do której doprowadzone są końcówki uzwojenia wirnika za pośrednictwem pierścieni ślizgowych na wirniku i szczotek na stojanie. Szczotki umieszczone są w odpowiednich gniazdach szczotkowych. Szczotki mogą stale przylegać do pierścieni lub mogą być podnoszone przy równoczesnym zwieraniu pierścieni ślizgowych przez przesunięcie odpowiedniego zwieracza. Wirnik może posiadać również uzwojenie klatkowe. Klatki wirników odlewane są najczęściej z aluminium, które wypełnia żłobki wirnika, tworząc pręty uzwojenia i pierścienienie zwierające pręty po obu stronach wirnika. Wraz z pierścieniami odlewane są skrzydełka wentylatora. Na wale wirnika osadzony jest wentylator.



Rys. 2.5 Wirniki silników indukcyjnych

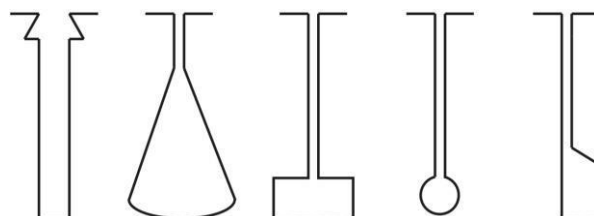
a – pierścieniowy, b – klatkowy, c – klatkowy o żłobkach skośnych
 Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, 142 s



Rys. 2.6 Uzwojenie klatkowe wirnika maszyny indukcyjnej

1 – pręty, 2 – pierścienie
 Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, 142 s

Wirnik z uzwojeniem fazowym ma żłobki o kształcie podobnym do żłobków stojana, zaś wirnik klatkowy posiada żłobki okrągłe. Dla poprawienia parametrów rozruchowych bardzo często stosuje się w wirniku uzwojenia dwuklatkowe lub głębokożłobkowe. Pręty uzwojenia dwuklatkowego mogą być zwierane w taki sposób, że pręty zewnętrznej klatki są zwarte za pomocą jednego pierścienia, natomiast pręty klatki wewnętrznej za pomocą drugiego pierścienia. W innym rozwiązaniu wszystkie pręty są połączone ze sobą jednym pierścieniem zwierającym.



Rys. 2.7 Kształty żłobków wirników głębokożłobkowych

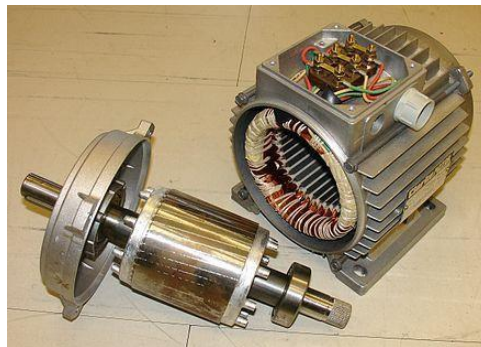
Źródło: Latek W., *Zarys maszyn elektrycznych*, WNT, Warszawa 1978, 173 s



Rys. 2.8 Żłobek wirnika dwuklatkowego

Źródło: Latek W., *Zarys maszyn elektrycznych*, WNT, Warszawa 1978, 173 s

Pomiędzy blachami wirnika i stojana znajduje się tzw. szczelina przywirnikowa. Prąd magnesujący maszyny indukcyjnej jest częścią prądu płynącego w obwodzie maszyna-sieć. Aby współczynnik mocy $\cos\varphi$ był duży, prąd magnesujący powinien mieć jak najmniejszą wartość. Szczelina powietrzna stanowi dla strumienia magnetycznego drogę, na której znajduje się największa reluktancja (rezystancja magnetyczna). Dlatego w celu zmniejszenia oporu magnetycznego szczelina powietrzna powinna być jak najmniejsza – a to uwarunkowane jest względami konstrukcyjnymi. W dużych maszynach szczelina nie przekracza 2 mm.



Rys. 2.9 Silnik indukcyjny klatkowy

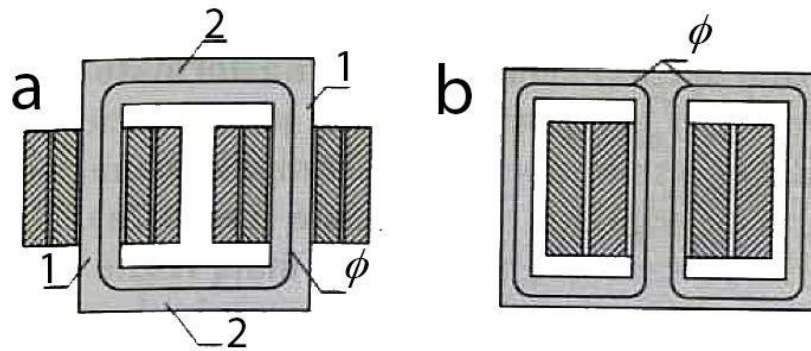
Źródło: <http://www.wikipedia.org/>, stan na dzień: 07.08.2013

6. Budowa transformatorów

Zasadniczymi częściami transformatora są:

- rdzeń wykonany z blach technicznych,
- uzwojenia wykonane z miedzi lub aluminium.

Poza powyższymi transformator ma zawsze układ izolacyjny oraz bardzo często kadź z olejem, rury lub radiatory chłodzące, izolatory przepustowe i przełącznik zacze- pów. Obwodem magnetycznym służącym do przewodzenia strumienia magnetycznego jest rdzeń transformatora. Składa się on z kolumn, na których osadzone są uzwojenia i z jarzm łączących kolumny. Strumień magnetyczny w transformatorze jest strumie- niem zmiennym w czasie, dlatego też w rdzeniu powstają straty na skutek prądów wi- rowych i histerezy. Dla zmniejszenia tych strat rdzeń transformatora buduje się z blach technicznych o grubości 0,35 mm odpowiednio izolowanych. Są to blachy z dużą, bo 4%, domieszką krzemu. Tak duża zawartość *Si* powoduje, że blachy transformatorowe są twarde i kruche.



Rys. 2.10 Budowa rdzenia transformatora jednofazowego.

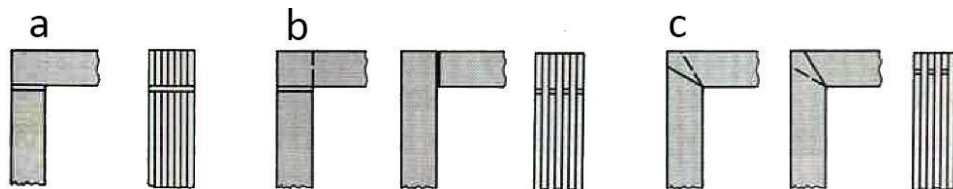
a) rdzeniowego, b) płaszczowego, 1 – kolumny, 2 – jarzma

Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, 63 s

Jednofazowy transformator rdzeniowy posiada dwie kolumny połączone ze sobą jarzmami. Uzwojenia górne oraz dolne umiejscowione są na obydwóch kolumnach transformatora. W transformatorze płaszczowym całe uzwojenie jest osadzone na kolumnie środkowej. Druga kolumna jest podzielona na połowy, z których każda – podobnie jak jarzmo – przewodzi połowę strumienia. Dlatego też przekroje jarzm i zewnętrznych kolumn są odpowiednio mniejsze.

Większość transformatorów ma kolumny, jak i jarzma, składane z pojedynczych blach. Blachy jarzm mogą się łączyć z blachami kolumn na zakładkę.

Taki sposób łączenia blach zmniejsza szczelinę powietrzną na drodze strumienia magnetycznego, wymaga natomiast znacznie większego nakładu pracy jak składanie kolumn i jarzm na styk. W przypadku składania rdzenia na styk, w celu uniknięcia zwarć w blachach miejsca styku izoluje się materiałem izolacyjnym np. preszpanem.

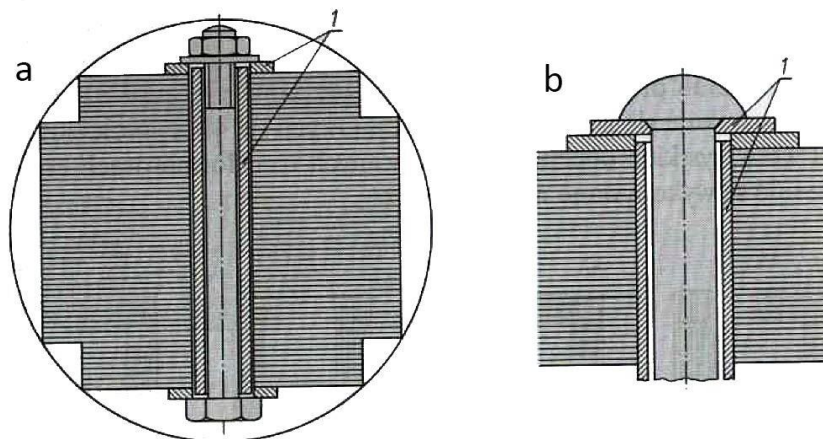


Rys. 2.11 Sposoby składania blach rdzenia

a) na styk, b) na zakładkę zaplecenie prostokątne, c) na zakładkę zaplecenie ukośne

Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, 65 s

Uzwojenia transformatorów osadzone na kolumnach mają kształt kołowy, dlatego dla zwiększenia przekroju żelaza kolumny objętej okręgiem uzwojenia, przekrój kolumny również powinien być zbliżony do koła. Po spakowaniu blachy transformatora są mocowane za pomocą śrub lub nitów przechodzących na wskroś przez cały pakiet. Śruba odizolowana jest od pakietu blach za pomocą tulei wykonanej z materiału izolacyjnego. Ma to na celu wyeliminowanie zwarć w rdzeniu przez śrubę i zmniejszenie zmiennego strumienia magnetycznego przechodzącego przez litą stal śruby. Dzięki temu zmniejszają się straty energii i śruby mniej się nagzewają.



Rys. 2.12 Sposób mocowania pakietu blach transformatora

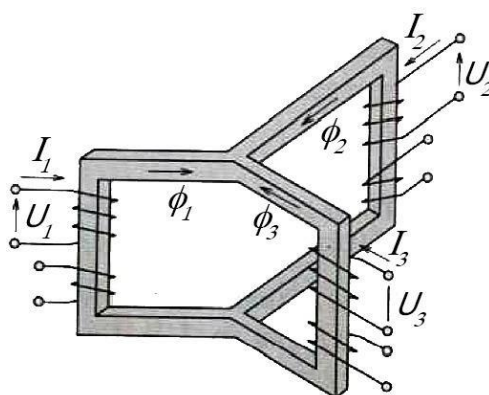
a) za pomocą śrub, b) za pomocą nitów, 1 - izolacja

Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, 66 s

Trójfazowy układ transformacji można utworzyć przez zestawienie i odpowiednie połączenie ze sobą trzech oddzielnych transformatorów jednofazowych w symetryczną gwiazdę. Przy takim połączeniu suma chwilowych wartości strumieni fazowych jest równa zeru:

$$\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = 0$$

Dzięki temu można usunąć środkowy rdzeń i uzyskać w ten sposób transformator trójfazowy.



Rys. 2.13 Zasada budowy trójfazowego transformatora symetrycznego

Źródło: Goźlińska E., *Maszyny elektryczne*, WSiP, Warszawa 2007, 63 s

Obwody elektryczne transformatora stanowią osadzone na kolumnach uzwojenia wykonane z przewodów miedzianych lub aluminiowych. Przy małych przekrojach przewody te mają przekroje kołowe i najczęściej izolowane są oprzędem lub oplotem. Przewody okrągłe o większych przekrojach i przewody o przekroju prostokątnym izolowane są przez taśmowanie przewodu na zakładkę lub na styk. Robi się to zwykle za pomocą taśmy papierowej. Najczęściej spotykanym uzwojeniem transformatora jest uzwojenie cylindryczne, w którym uzwojenie górne i dolne wykonane są w formie koncentrycznych cylindrów. Cylinder dolnego napięcia jest osadzony na kolumnie, a na nim znajduje się cylinder górnego napięcia. Uzwojenia są oddzielone od siebie izolacją.

Ze względu na rodzaj czynnika chłodzącego transformatory energetyczne można podzielić na trzy grupy:

- transformatory powietrzne – najczęściej chłodzone w obiegu otwartym, w którym powietrze chłodzące jest pobierane bezpośrednio z otoczenia transformatora. Tego typu transformatory są zazwyczaj stosowane w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem,
- transformatory olejowe – są umieszczane w kadzi wypełnionej specjalnym olejem transformatorowym. Kadź jest wykonana z blachy, zaś olej oddaje ciepło do otoczenia poprzez cieńsze od podstawy i przykrywy ścianki kadzi. Olej pełni rolę chłodziwa i izolatora, dlatego też jego jakość jest bardzo istotna i badana podczas eksploatacji transformatora,
- transformatory suche – to transformatory z izolacją żywiczną, mają moce do 4 MVA i są ostatnio coraz częściej stosowane.