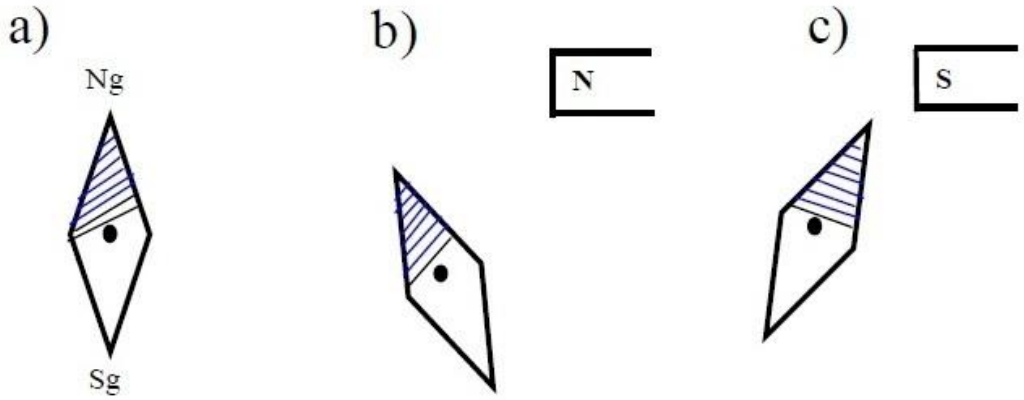
1. Obwody magnetyczne

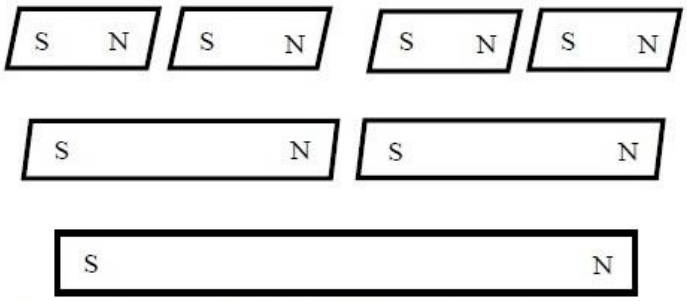
600 lat przed naszą erą odkryto, że ruda żelaza, nazwana później **magnetytem**, ma właściwości przyciągania małych przedmiotów stalowych. Stwierdzono, że taką samą właściwość można nadać prętom z twardej stali przez zetknięcie ich z magnetytem. Tak powstały pierwsze sztuczne magnesy trwałe, w odróżnieniu od magnesów naturalnych, jakimi są kawałki magnetytu. Dalsze badania wykazały, że dowolny magnes prętowy zawieszony swobodnie nad ziemią przyjmuje w każdym miejscu na kuli ziemskiej ściśle określoną pozycję, zależną od położenia geograficznego danego miejsca. Zjawisko to zostało wykorzystane w budowie kompasów. Istotną część kompasu stanowi igła magnetyczna osadzona na pionowym ostrzu tak, że może się poruszać w płaszczyźnie poziomej. Jeden koniec igły magnetycznej zwraca się na północ, nazwano go więc biegunem magnetycznym północnym N, a drugi biegunem magnetycznym południowym S. W celu ich odróżnienia nadaje się zwykle biegunowi północnemu barwę ciemnoniebieską, południowemu – szarą.



Rys. 18. Położenie igły magnetycznej w polu ziemskim a) nie poddanej wpływom zewnętrznym; b) przy zbliżeniu bieguna N magnesu; c) przy zbliżeniu bieguna S magnesu

Dwa bieguny jednoimienne (oba N lub oba S) odpychają się, a bieguny różnoimienne N i S przyciągają się. Na rys. 18a pokazano położenie igły magnetycznej nie poddanej wpływowi innych magnesów, na rys. 18b położenie tej samej igły przy zbliżeniu do jej bieguna N takiego samego bieguna N magnesu trwałego, a na rys. 18c – bieguna S magnesu. Stąd wniosek, że kulę ziemską można traktować jak olbrzymich rozmiarów magnes, którego biegun magnetyczny południowy S_m znajduje się blisko bieguna geograficznego północnego N_g i na odwrót: biegun magnetyczny N_m w pobliżu S_g.

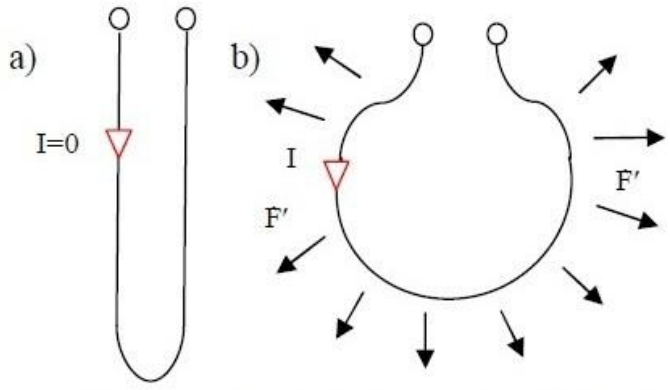
Dalsze badania nad magnesami wykazały, że **bieguny magnetyczne występują zawsze parami,** że nie jest możliwe oddzielenie bieguna magnetycznego N lub tylko S.



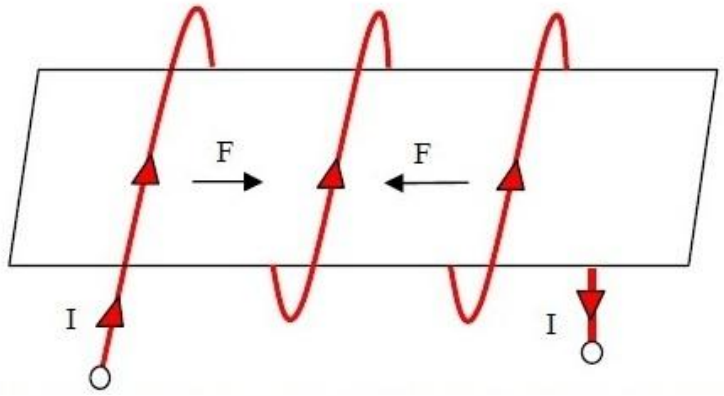
Rys. 19. Magnes po przełamaniu dzieli się na nowe magnesy

Najsilniejsze własności przyciągania przedmiotów żelaznych (stalowych) obserwujemy na końcach magnesu, tj. na biegunach. Obrazy takie można uzyskać za pomocą opiłek stalowych na kartonie. Im bliżej środka magnesu, tym działanie to jest słabsze, a w samym środku długości magnesu w ogóle nie występuje. Dlatego środkową cześć magnesu nazywamy strefą obojętną. Przez przełamanie magnesu otrzymujemy dwa nowe, krótsze magnesy, każdy o parze biegunów N, S. W

1819 r. H. Oersted odkrył oddziaływanie prądu elektrycznego na igły magnetyczne, a szczegółowe badania w tym kierunku przeprowadził Ampère w latach 1820-1823. Stwierdził on, że obwody elektryczne wywołują w otaczającej je przestrzeni działania podobne do działań magnesów, a nawet doszedł do wniosku, że istnienie magnesów trwałych i magnesów naturalnych można wyjaśnić przypuszczalnymi mikroprądami wewnątrz materii. Między ładunkami elektrycznymi będącymi w ruchu, a więc także między prądami elektrycznymi istnieją oprócz sił elektrostatycznych, podlegających prawu Coulomba, wielokrotnie większe siły elektrokinetyczne przypisywane dawniej siłom elektromagnetycznym.



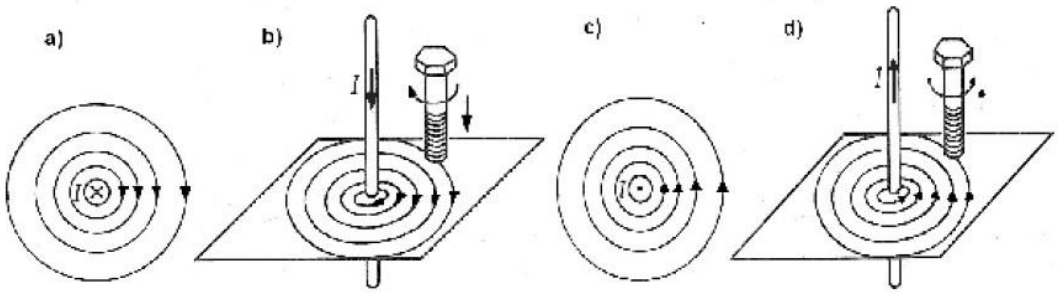
Rys. 20. Pętla z bardzo giętkiej linki miedzianej:
a) zwisająca swobodnie w stanie bezprądowym;
b) podczas przepływu prądu o dużym natężeniu



Rys. 21. Siły między zwojami cewki przy dużych prądach

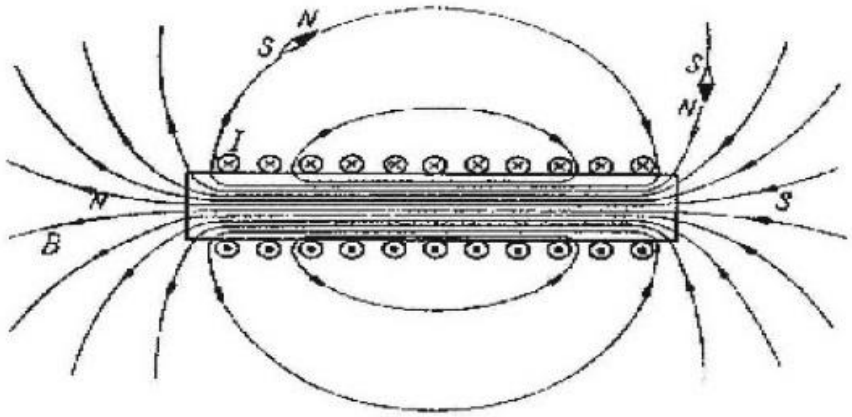
Pętla z bardzo giętkiej linki miedzianej, zwisająca swobodnie w stanie bezprądowym, stara się przyjąć kształt okręgu podczas przepływu prądu (rys. 20 a i b). Poszczególne zwoje drutu nawiniętego luźno na rurze izolacyjnej przyciągają się podczas przepływu prądu (rys. 21). Opisane zjawiska tłumaczymy istnieniem pola elektrokinetycznego. Prąd w dowolnym obwodzie elektrycznym wywołuje w otaczającej przestrzeni pole elektrokinetyczne, które nazywamy tradycyjnie polem magnetycznym. Zachowanie dawnej nazwy „pole magnetyczne" jest uzasadnione tym, że jest to pole tej samej natury co pole magnesu. W dalszym ciągu przedstawimy znane zjawiska magnetyczne jako zjawiska elektrokinetyczne, wywołane prądami elektrycznymi, jak też ruchami ładunków elementarnych w cząsteczkach materii.

Linie pola magnetycznego wytworzonego przez obwody elektryczne umieszczone w powietrzu są liniami zamkniętymi, tzn. nie mają nigdzie ani początku, ani końca. Linie pola magnetycznego na zewnątrz magnesu trwałego wychodzą z okolicy bieguna N, a kończą się w okolicy bieguna S.



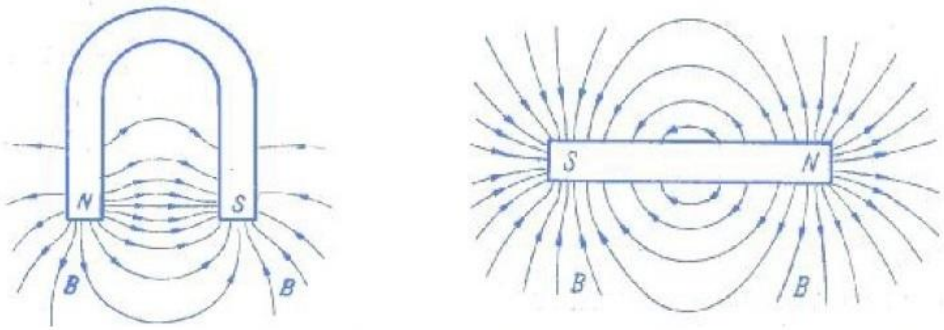
Rys. 22. Pole magnetyczne w otoczeniu przewodu prostoliniowego o prądzie I:
a), b) widok perspektywiczny;
c), d) w przekroju prostopadłym do osi przewodu

Linie pola magnetycznego wytworzonego przez prąd I płynący w przewodzie prostoliniowym są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych do osi przewodu. Na rys. 22 a i b pokazano je w widoku perspektywicznym, a na rys. 22 c i d w rzucie poziomym (rzucie z góry). Strzałki prądu, które wchodzą z góry do płaszczyzny rysunku, oznaczono ukośnie krzyżykiem, a strzałki, które wchodzą ostrzem z płaszczyzny rysunku do patrzącego, oznaczono kropką. Na rys. 23 przedstawiono cewkę nawiniętą jednowarstwowo na rurze (w przekroju podłużnym) wraz z obrazem jej pola magnetycznego.



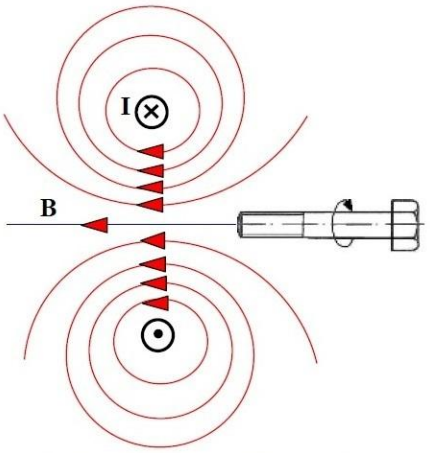
Rys. 23. Solenoid

Cewkę nawiniętą równomiernie na rurze nazywamy solenoidem. Jak widać, linie pola magnetycznego solenoidu są najbardziej zagęszczone wewnątrz samego solenoidu. Pole magnetyczne na zewnątrz solenoidu jest bardzo podobne do pola magnesu trwałego prętowego. Ten koniec solenoidu, z którego linie pola wychodzą, jest biegunem magnetycznym N solenoidu, a koniec, do którego linie pola wchodzą, jest biegunem S solenoidu.



Rys. 24. Pole magnetyczne magnesu podkowiastego i pole magnetyczne magnesu prętowego

Linie pola magnetycznego odtwarzają tylko w poglądowy sposób obraz pola. Przyjmujemy że ich gęstość, tj. liczba przypadająca na jednostkę powierzchni, jest proporcjonalna do pewnej wielkości B, charakteryzującej pole magnetyczne, którą nazywamy indukcją magnetyczną. Linie pola są więc liniami indukcji magnetycznej. Faktycznie pole magnetyczne wypełnia w sposób ciągły całą przestrzeń między liniami. W każdym punkcie pola magnetycznego igła magnetyczna przyjmuje ściśle określony kierunek. Kierunek ten przyjmujemy za kierunek wektora indukcji magnetycznej B, opisującej dane pole. Wektor B jest w każdym punkcie pola magnetycznego styczny do przechodzącej przez ten punkt linii pola. Jego zwrot jest od bieguna S do bieguna N próbnej igły magnetycznej, umieszczonej w tym punkcie, tj. zgodnie ze zwrotem strzałki linii pola. Przy wyznaczaniu kierunku wektora indukcji B w polu wytworzonym przez prąd elektryczny posługujemy się najczęściej **regułą śruby prawoskrętnej**. Chcąc wyznaczyć kierunek i zwrot wektora B w otoczeniu długiego przewodu prostoliniowego, układamy śrubę prawoskrętną w osi przewodu i obracamy ją tak, aby posuw śruby był zgodny ze zwrotem prądu I (rys. 25).



Rys. 25. Stosowanie reguły śruby prawoskrętnej do zwoju kołowego

Linie pola magnetycznego są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych od osi przewodu. Obrót śruby prawoskrętnej wyznacza zwrot obiegu linii pola magnetycznego, a wektor B jest styczny do przechodzącego przez dany punkt okręgu, którego środek leży w osi przewodu. W polu magnetycznym pojedynczego zwoju kołowego lub solenoidu należy śrubę prawoskrętną umieścić w środku zwoju, prostopadłe do jego płaszczyzny lub w osi solenoidu i obracać ją zgodnie z obiegiem prądu. Posuw śruby wyznacza zwrot linii pola wewnątrz zwoju kołowego, lub wewnątrz solenoidu (rys. 25).

Zespół elementów służących do wytworzenia strumienia magnetycznego i skierowania go wzdłuż żądanej drogi nazywamy obwodem magnetycznym. Rozróżniamy obwody magnetyczne: rdzeniowe i bezrdzeniowe. Zespół elementów, wzdłuż których strumień magnetyczny się zamyka, nazywamy magnetowodem. Przykładem obwodu magnetycznego bezrdzeniowego może być „powietrzna" cewka pierścieniowa.

Prądowi I w obwodzie elektrycznym odpowiada strumień magnetyczny Φ w obwodzie magnetycznym. Sile elektromotorycznej E odpowiada wyrażenie Iz zwane siłą magnetomotoryczną. Wzór na prawo Ohma dla obwodu magnetycznego:

$$E = I\frac{l}{\gamma \cdot S}$$

Rezystancji elektrycznej odpowiada opór magnetyczny zwany **reluktancją**, oznaczany literą R_μ.

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot S}$$

Jednostką strumienia magnetycznego jest weber (Wb), a siły magnetomotorycznej amper (A), gdyż liczba zwojów jest wielkością bezwymiarową. Jednostką reluktancji jest amper na weber:

$$1[R_\mu] = 1\frac{[Iz]}{[\phi]} = 1\frac{A}{Wb}$$

Właściwości magnetyczne materii zależą od ruchów elektronów w atomach. Oprócz ruchu orbitalnego dookoła jądra każdy elektron wykonuje jeszcze ruch obrotowy dookoła własnej osi, tzw. spin elektronu. Elektron w ruchu spinowym zachowuje się jak mikroskopijny magnes. Część elektronów w atomie ma spiny dodatnie, a część ujemne ze względu na wirowanie w przeciwne strony, tak że te mikromagnesy wewnątrzatomowe kompensują się, czyli równoważą się całkowicie albo w przeważającej liczbie. Z uwagi na bezładne ułożenie owych mikromagnesów ciało nie wykazuje stanu magnetycznego, mimo ich nieskompensowania w obrębie atomu. Wyjątek stanowią ciała ferromagnetyczne.

Jeżeli dowolne ciało materialne umieścimy w tzw. zewnętrznym polu magnetycznym, np. w solenoidzie zasilanym prądem elektrycznym, to następuje oddziaływanie pola magnetycznego solenoidu na poruszające się elektrony i wytwarza się wypadkowe pole magnetyczne wewnątrz danego ciała. W zależności od stanu skompensowania mikromagnesów wewnątrzkomórkowych może wystąpić jedna z dwóch cech magnetycznych materii: diamagnetyzm lub paramagnetyzm.

Diamagnetyzm objawia się nieznacznym osłabieniem zewnętrznego pola magnetycznego przez ruchy orbitalne elektronów, przy całkowitym skompensowaniu mikromagnesów wewnątrzatomowych. Wypadkowa indukcja magnetyczna B w ciałach diamagnetycznych jest mniejsza niż w próżni i przy danym natężeniu pola:

$$B < \mu_0 \cdot H$$

Stosunek B do H nazywamy **przenikalnością magnetyczną** danego ciała. W ciałach diamagnetycznych

$$\frac{B}{H} = \mu < \mu_0$$

Przenikalność magnetyczna ciał diamagnetycznych jest mniejsza niż przenikalność próżni.

Paramagnetyzm objawia się nieznacznym wzmacnianiem pola magnetycznego zewnętrznego w ciałach, w których każdy atom ma jeden lub więcej nie skompensowanych spinów elektronowych. Dążą one do ustawiania swych osi obrotu zgodnie z natężeniem pola magnetycznego, co utrudniają ruchy termiczne, tak że ustawianie to odbywa się tylko w małym zakresie. Wypadkowa indukcja magnetyczna B w ciałach paramagnetycznych jest większa niż w próżni, przy danym natężeniu pola magnetycznego:

$$B > \mu_0 \cdot H$$

Przenikalność magnetyczna ciał paramagnetycznych jest większa niż przenikalność próżni

$$\mu > \mu 0$$

Wyrażona stosunkiem B do H przenikalność jest **przenikalnością magnetyczną bezwzględną**, mierzoną w henrach na metr (H/m). W praktyce posługujemy się często pojęciem przenikalności magnetycznej względnej μ_r

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \qquad \text{albo} \qquad \mu = \mu_r \mu_0$$

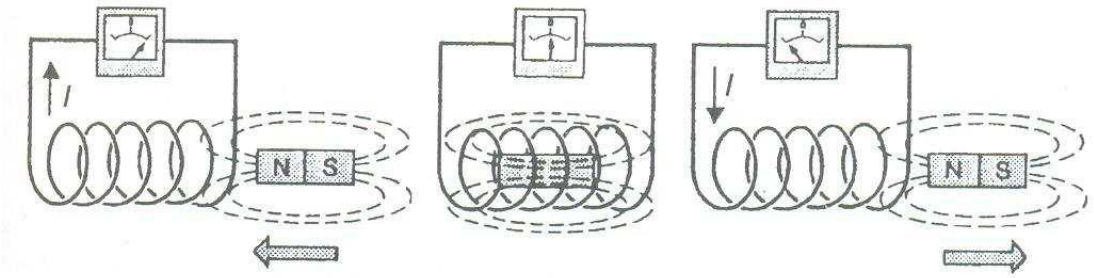
Przenikalność magnetyczna względna dowolnego środowiska jest to stosunek jego przenikalności bezwzględnej do przenikalności próżni. Przenikalność magnetyczna względna jest wielkością bezwymiarową. Dla ciał diamagnetycznych $\mu_r < 1$, a dla ciał paramagnetycznych $\mu_r > 1$. Należy zaznaczyć, że przenikalność paramagnetyków i diamagnetyków jest dla danych ciał wielkością stałą niezależną od natężenia pola magnetycznego. Wykresy zależności B = f(H) dla tych ciał, jak też dla próżni są liniami prostymi.

Oddzielną grupę stanowią **ciała ferromagnetyczne**. Należą do nich żelazo, kobalt, nikiel i gadolin. Ciała te mają, tak jak paramagnetyki, nie skompensowane mikromagnesy wewnątrzatomowe, ale dzięki odpowiedniej odległości między sąsiednimi atomami układają się one równolegle do siebie. Są to widoczne ziarenka nazwane domenami czyli obszarami. W polu magnetycznym zewnętrznym całe domeny dążą do zajęcia kierunku zgodnego z kierunkiem natężenia pola magnetycznego, co określamy jako polaryzację ciała ferromagnetycznego. Ferromagnetyki odznaczają się dużą przenikalnością magnetyczną. W ciałach ferromagnetycznych indukcja magnetyczna B nie jest proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego. W obliczeniach obwodów ferromagnetycznych nie posługujemy się przenikalnością magnetyczną, lecz korzystamy z charakterystyk magnesowania, przedstawiających zależność B = f(H) wyznaczoną doświadczalnie.

Proces magnesowania ferromagnetyków jest procesem nieodwracalnym. Zmniejszając natężenie pola magnetycznego począwszy od stanu nasycenia, otrzymujemy wartości B większe niż poprzednio przy procesie magnesowania pierwotnego. Przy H = 0 indukcja ma wartość zwaną **indukcją szczątkową**. Aby sprowadzić indukcję B do zera, należy zmienić zwrot natężenia pola magnetycznego (H < 0), przez zmianę zwrotu prądu magnesującego. Wartość H, przy której indukcja B maleje do zera, nazywamy natężeniem koercji albo natężeniem powściągającym. Do wyrobu magnesów trwałych są używane **materiały magnetycznie twarde**, odznaczające się dużą wartością natężenia koercji. Takie materiały zachowują trwale stan namagnesowania.

2. Indukcja elektromagnetyczna

Jeżeli między biegunami magnesy stałego umieszczony zostanie przewód elektryczny to każdy jego ruch w poprzek linii pola magnetycznego spowoduje, Że na jego końcach pojawi się napięcie elektryczne, czyli staną się one biegunami elektrycznymi. Połączenie zewnętrzne tych biegunów (zamknięcie obwodu) spowoduje przepływ prądu elektrycznego. Analogicznie w nieruchomym przewodzie (cewce) znajdującym się w zmiennym polu magnetycznym również powstanie napięcie elektryczne. Wartość napięcia jest uzależniona od szybkości ruchu przewodnika lub od szybkości zmian pola magnetycznego a biegunowość prądu zależy od kierunku ruchu (rys. 5).



Rys. 5. Zasada powstawania napięcia wskutek indukcji magnetycznej

Źródłem zmiennego pola magnetycznego może też być elektromagnes, w którym następuje włączanie i wyłączanie prądu płynącego przez jego zwoje.

Zasada indukcji elektromagnetycznej została między innymi wykorzystana do budowy prądnic elektrycznych i transformatorów.

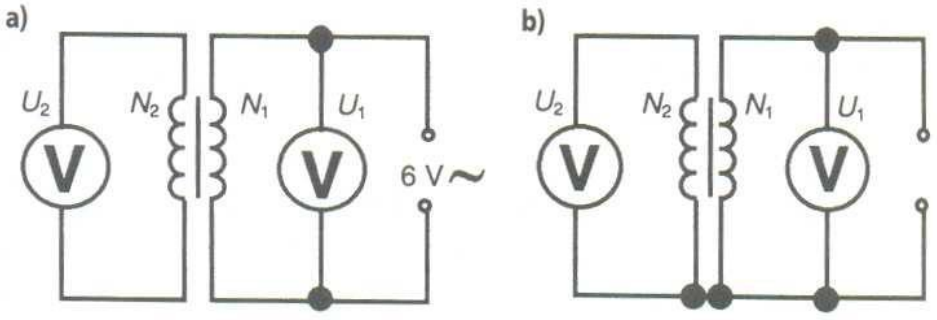
W samochodowych instalacjach elektrycznych stosuje się wiele urządzeń, których działanie opiera się o zjawiska magnetyczne i elektromagnetyczne. Do najważniejszych z nich należą: cewki, transformatory, przekaźniki.

Cewka indukcyjna stanowi podstawowy element takich urządzeń jak: rozrusznik, prądnica, alternator, przekaźnik, silnik elektryczny, cewka zapłonowa. Z działaniem cewek związane jest zjawisko samoindukcji, czyli indukowania się siły elektromotorycznej w cewce pod wpływem zmian prądu płynącego przez cewkę. Po przyłożeniu napięcia do cewki wytwarza się w niej napięcie samoindukcji, które ma kierunek przeciwny do napięcia zewnętrznego, a tym samym powoduje spowolnienie wzrostu natężenia prądu. Z kolei wyłączenie prądu w cewce powoduje powstanie wysokiego napięcia. Wyindukowane napięcie jest tym większe, im szybciej zanika pole magnetyczne. Zjawisko to jest wykorzystywane do wytwarzania napięcia zapłonu w układzie zapłonowym.

Transformator jest zespołem dwóch elektromagnesów, o wspólnym żelaznym rdzeniu. Między obydwoma uzwojeniami cewek nie ma połączenia elektrycznego i mogą być one włączane do dwóch niezależnych obwodów prądu przemiennego lub tylko zmiennego (ze zmianami wartości i napięcia, ale bez zmiany biegunowości). Jeżeli do końców jednego uzwojenia (pierwotnego) przyłożymy napięcie przemienne lub zmienne to popłynie w nim prąd (odpowiednio przemienny lub zmienny). Przepływowi prądu będą towarzyszyć zmiany pola magnetycznego, skoncentrowane w żelaznym rdzeniu. W zasięgu oddziaływania tych pól, znajduje się drugie uzwojenie (wtórne). W jego przewodzie pojawi się więc indukowane napięcie elektryczne. Napięcia na zaciskach obu uzwojeń są proporcjonalne do ilości ich zwojów. Stosunek liczby zwojów nazywamy przekładnią transformatora:

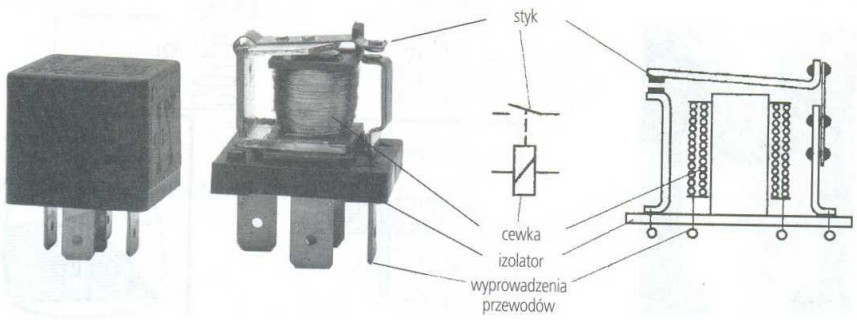
$$U1/U2 = N1/N2$$

Stosując transformatory o różnych przekładniach można więc uzyskiwać obniżone lub podwyższone napięcia. Ponieważ moc prądu elektrycznego w transformatorze jest dzięki wspólnemu rdzeniowi w obu uzwojeniach jednakowa, to maksymalne natężenia prądu muszą być odwrotnie proporcjonalne do liczby zwojów. Wiąże się to z koniecznością stosowania większych przekrojów przewodu (mniejszej oporności) w uzwojeniach o mniejszej liczbie zwojów. Na rysunku 6 przedstawiono schematy transformatorów elektrycznych.



Rys. 6. Transformatory: a) z parą uzwojeń niezależnych, b) z parą uzwojeń o wspólnym początku

Przekaźnik jest to przełącznik, w którym sterujący prąd o małym natężeniu powoduje złączenie styków zamykających obwód o dużym natężeniu. Przekaźnik składa się z cewki z rdzeniem stanowiącej elektromagnes oraz styków. Przekaźnik w zależności od zastosowania może być wyposażony w jeden lub więcej styków, a każdy ze styków może być wykonany jako zwierny lub rozwierny. Budowę i oznaczenie przekaźnika z jednym stykiem zwiernym przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Budowa przekaźnika

Zastosowanie przekaźników daje wiele korzyści, z których najważniejsze to:

- sterowanie za pomocą małego prądu przepływem dużych prądów co daje możliwość zmniejszenia przekroju przewodów jak też stosowania małych przełączników do uruchamiania odbiorników o dużej mocy,
- bezawaryjne włączanie odbiorników o dużym początkowym poborze mocy,
- możliwość stosowania innego napięcia sterującego niż napięcie w obwodzie obciążenia.

Coraz częściej znajdują zastosowanie w układach elektrycznych pojazdów (i nie tylko) zminiaturyzowane przekaźniki zamknięte – kontaktrony. Składają się one z rurki szklanej, w której hermetycznie zatopione są dwa podłużne styki sprężyste. Gdy kontaktron znajdzie się pod działaniem pola magnetycznego np. cewki, przez którą płynie prąd lub magnesu trwałego styki zostają zwarte. Po ustąpieniu działania pola magnetycznego rozwierają się. Rurka jest wypełniona gazem szlachetnym, dzięki czemu uzyskuje się dużą trwałość styków. W pojazdach samochodowych kontaktrony nadzorują między innymi poziom płynów eksploatacyjnych (płyn hamulcowy, ciecz chłodząca, olej, płyn do spryskiwaczy szyb itp.).

3. Maszyny elektryczne

Pod względem przeznaczenia maszyny elektryczne dzielą się na prądnice i silniki. Prądnice służą do przetwarzania energii mechanicznej w elektryczną, a silniki elektrycznej w mechaniczną. Podział ten istotny z punktu widzenia zastosowania nie ma znaczenia, jeżeli spojrzymy na maszynę elektryczną pod kątem jej budowy i zasady działania. Okazuje się, iż każda z tych maszyn funkcjonuje jako odwracalna, czyli napędzana mechanicznie wytwarza energię elektryczną a zasilana prądem elektrycznym wykonuje pracę mechaniczną. Istotne znaczenie dla konstrukcji maszyny ma rodzaj wytwarzanej lub pobieranej przez nią energii elektrycznej. Pod tym względem prądnice i silniki można podzielić na urządzenia:

- prądu stałego,
- prądu przemiennego jednofazowego,
- prądu przemiennego trójfazowego.

Budowa maszyn elektrycznych

Podstawowymi częściami każdej maszyny elektrycznej wirującej są: ruchomy wirnik (rotor) i nieruchomy stojan (stator).

W skład stojana maszyny elektrycznej wchodzą:

- jarzmo lub rdzeń będące częścią nieruchomą obwodu magnetycznego maszyny. W nim jest umieszczone uzwojenie rozłożone równomiernie na obwodzie (np. w maszynach prądu przemiennego) lub są przymocowane bieguny magnetyczne (np. w maszynach prądu stałego), których zadaniem jest wytworzenie pola magnetycznego,
- kadłub stanowiący część konstrukcyjna maszyny,
- tarcze łożyskowe i łożyska do osadzania wirnika i szczotkotrzymacze i szczotki.

W skład wirnika wchodzą:

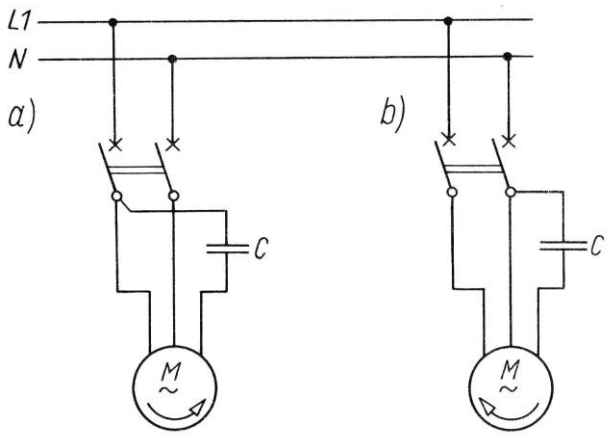
- rdzeń będący częścią ruchomą obwodu magnetycznego maszyny, a w nim uzwojenia,
- wał, na którym umieszczony jest rdzeń,
- pierścienie ślizgowe lub komutator, służące do połączenia uzwojenia wirnika z obwodem zewnętrznym.

Maszyny indukcyjne są to takie maszyny elektryczne, w których napięcie do obwodu wirnika nie jest doprowadzone z zewnątrz, lecz pojawia się w wyniku indukcji elektromagnetycznej. Maszyny indukcyjne maja prostą budowę charakteryzują się dużą pewnością ruchową, łatwością obsługi oraz niską ceną. Dzięki temu znalazły szerokie zastosowanie, najczęściej jako silniki lub hamulce elektryczne, rzadziej jako prądnice.

Silniki indukcyjne ze względu na sposób zasilania dzielimy na:

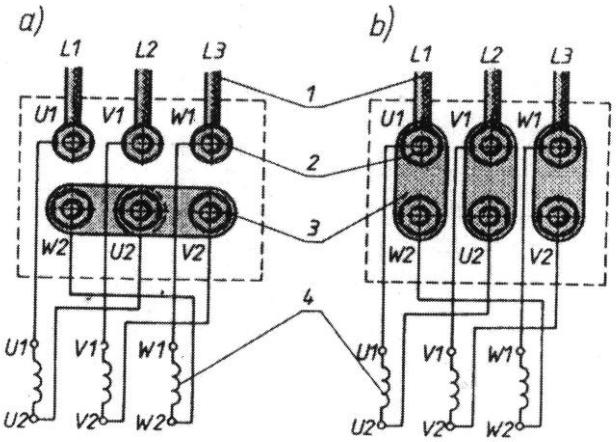
- maszyny indukcyjne jednofazowe,
- maszyny indukcyjne dwufazowe,
- maszyny indukcyjne trójfazowe.

Silnikami indukcyjnymi jednofazowymi nazywa się silniki indukcyjne z wirnikiem jednoklatkowym zasilane z sieci jednofazowej niskiego napięcia i przeznaczone do napędzania mechanizmów i urządzeń o nie regulowanej prędkości wirowania. Silniki indukcyjne jednofazowe powszechnie stosuje się w urządzeniach gospodarstwa domowego. W maszynach jednofazowych występują dwa uzwojenia przesunięte w przestrzeni o kąt 90°. Jedno z nich stanowi uzwojenie rozruchowe a drugie jest uzwojeniem głównym (roboczym).



Rys. 9. Sposób dołączenia do sieci jednofazowej – przy różnych kierunkach wirowania – silnik indukcyjnego z trójfazowym uzwojeniem stojana i jednym kondensatorze

Silnik indukcyjny 3-fazowy zbudowany jest z stojanu i wirnika. W stojanie nawinięte są trzy uzwojenia fazowe, które w czasie pracy mogą być połączone w gwiazdę lub trójkąt.



Rys. 10. Połączenia uzwojeń stojana silnika indukcyjnego 3-fazowego: a) połączony w gwiazdę, b) połączony w trójkąt; 1) przewody fazowe sieci zasilające, 2) śruby zaciskowe, 3) zwieracze metalowe, 5) uzwojenie stojana

Uzwojenia stojanów wykonuje się z drutu nawojowego izolowanego umieszczonego w izolowanych żłobkach i dodatkowo impregnowanego. Uzwojenia wirnika mogą być wykonane podobnie jak w stojanie z drutu nawojowego (silniki pierścieniowe) lub nieżelaznych prętów wypełniających cały żłóbek połączonych po obu stronach pierścieniami tworząc klatkę (silniki klatkowe lub zwarte).

Rozruch silników klatkowych i pierścieniowych trwa od chwili przyłączenia obwodu stojana do sieci zasilającej do chwili osiągnięcia przez wirnik ustalonej prędkości obrotowej. Silniki klatkowe uruchamiamy przez bezpośrednie włączenie silnika do sieci (dotyczy to silników o mocy do 5 kW) lub za pomocą przełącznika gwiazda – trójkąt.

Regulacja prędkości obrotowej w silnikach indukcyjnych

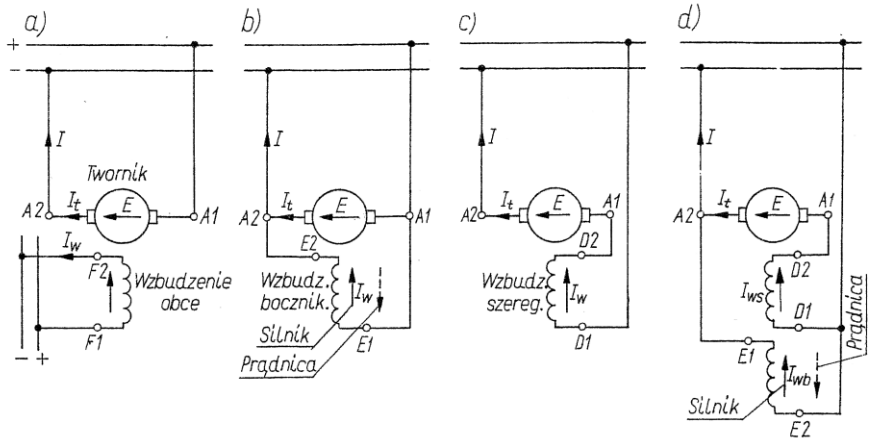
Prędkość obrotową silnika klatkowego można regulować przez:

- zmianę liczby par biegunów – regulacja jest bardzo ekonomiczna tam, gdzie wymagana liczba stopni prędkości nie przekracza 2–4; do takiej regulacji stosuje się silniki wielobiegowe,
- przez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego.

Maszyny prądu stałego

Zależnie od rodzaju wykonania uzwojenia wzbudzenia oraz sposobu jego zasilania, maszyny prądu stałego dzieli się na:

- obcowzbudne,
- bocznikowe,
- szeregowe,
- szeregowo-bocznikowe.



Rys. 11. Rodzaje maszyn prądu stałego: a) obcowzbudna, b) bocznikowa, c) szeregowa, d) szeregowobocznikowa

Rodzaje silników prądu stałego:

- silniki prądu stałego obcowzbudne – wymagają niezależnego źródła do zasilania uzwojenia wzbudzającego, są one stosowane głównie w napędach wymagających regulacji prędkości w szerokim zakresie,
- silniki prądu stałego samowzbudne – silniki z elektromagnesem w stojanie mogą mieć połączone uzwojenia stojana i wirnika szeregowo, równolegle (bocznikowo) lub w sposób mieszany. Sposób podłączenia określa rodzaj silnika.

Do grupy silników samowzbudnych należą:

- Silniki szeregowe – o uzwojeniu wzbudzenia w stojanie połączonym szeregowo z uzwojeniem twornika. Charakteryzują się dużą zależnością prędkości obrotowej od obciążenia. Zmniejszanie obciążenia powoduje wzrost prędkości obrotowej (teoretycznie do nieskończenie wielkiej) i grozi tzw. rozbieganiem, a w konsekwencji zniszczenie silnika. Jest to jego poważna wada. Dlatego tego typu silników nie wolno włączać bez obciążenia. Stosowane są głównie w trakcji elektrycznej (napędy lokomotyw, tramwajów, trolejbusów) i pojazdach mechanicznych (wózki akumulatorowe, rozruszniki samochodów), w napędach dźwigów, wentylatorów itp.
- Silniki bocznikowe – o uzwojeniu wzbudzenia w stojanie przyłączonym równolegle z uzwojeniem twornika. Charakteryzuje się małą podatnością na zmianę prędkości obrotowej na skutek zmiany obciążenia.
- Silniki szeregowo-bocznikowe – o uzwojeniu wzbudzenia w stojanie połączonym z uzwojeniem twornika w sposób mieszany (część szeregowo, a część równolegle). Charakteryzują się brakiem głównej wady silnika szeregowego – możliwości jego rozbiegania i mają duży moment rozruchowy.

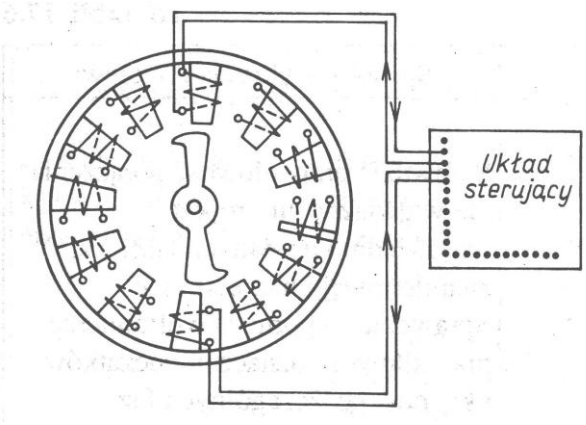
Silniki wykonawcze

Silniki wykonawcze przetwarzają impulsy elektryczne na przesunięcia kątowe i liniowe. Do silników wykonawczych doprowadza się dwa napięcia:

- napięcie wzbudzenia, przyłączone na stałe, utrzymuje silnik w gotowości do przetwarzania sygnałów,
- napięcie sterujące, doprowadzone (do innego uzwojenia) tylko na czas przetworzenia sygnału.

Jako silniki wykonawcze stosuje się:
– silniki prądu stałego – obcowzbudne i skokowe (krokowe),
– silniki prądu przemiennego – indukcyjne dwufazowe.

Silnik krokowy – silnik elektryczny, w którym impulsowe zasilanie prądem elektrycznym powoduje, że jego wirnik nie obraca się ruchem ciągłym, lecz wykonuje za każdym razem ruch obrotowy o ściśle ustalonym kącie. Dzięki temu, kąt obrotu wirnika jest ściśle zależny od liczby dostarczonych impulsów prądowych, a prędkość kątowa wirnika jest dokładnie równa częstotliwości impulsów pomnożonej przez wartość kąta obrotu wirnika w jednym cyklu pracy silnika.



Rys. 12. Zasada działania silnika skokowego

We współczesnych pojazdach samochodowych stosuje się wiele maszyn elektrycznych. Z reguły są to komutatorowe silniki prądu stałego niewielkiej mocy. Konstrukcje takie odznaczają się stabilną prędkością, wysoką sprawnością i znaczną trwałością. Są one stosowane między innymi do napędu wentylatora chłodnicy, wycieraczek szyb, pompki spryskiwaczy, dmuchawy urządzenia grzewczo-wentylacyjnego, elektrycznej pompy paliwa. Silniki takie nie mają uzwojenia w stojanie, lecz jedynie stałe magnesy, które są źródłem pola magnetycznego, w którym obraca się wirnik. Napięcie jest doprowadzane do wirnika za pomocą szczotek węglowych współpracujących z komutatorem. W najnowszych rozwiązaniach małych silników komutatory i szczotki zostały zastąpione przez elektroniczne urządzenia typu EC (electronically commutated). Urządzenia takie sterują przełączaniem dopływu prądu stałego do poszczególnych obwodów uzwojenia wirnika za pomocą układów tranzystorowych. W ten sposób zostały wyeliminowane iskrzenia szczotek oraz zmniejszył się hałas towarzyszący pracy silnika.

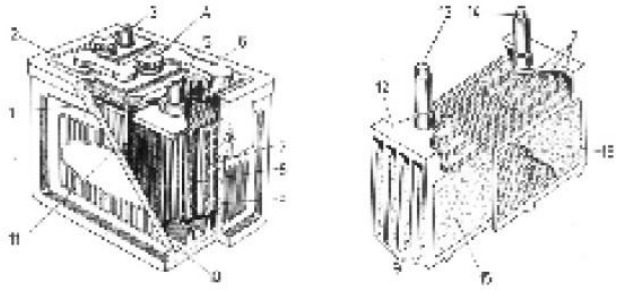
Innym przykładem stałoprądowego silnika komutatorowego pracującego w pojeździe samochodowym jest rozrusznik. W pojazdach samochodowych stosuje się również maszyny prądu przemiennego. Przykładem takiego urządzenia jest powszechnie stosowany w układzie zasilania pojazdów samochodowych alternator. Konstrukcja i zasada działania alternatorów i rozruszników zostanie omówiona w kolejnym rozdziale niniejszego poradnika.

Elementy elektryczne i elektroniczne są wykonywane z różnych materiałów, które różnie reagują na warunki otoczenia. Instalacja elektryczna pojazdów samochodowych jest szczególnie narażona na działanie wilgoci, wibracje, czynniki chemiczne i zmiany temperatury. Mimo, iż konstruktorzy starają się zabezpieczyć pojazd przed tymi czynnikami niektóre elementy instalacji elektrycznej przy dłuższym użytkowaniu pojazdu mogą ulec uszkodzeniu na przykład na wskutek korozji. Wilgoć i sól używana w zimie do posypywania dróg ma szczególny wpływ na przyspieszoną korozję. Zmiany korozyjne na złączach przewodów zwiększają rezystancję obwodów elektrycznych a w połączeniu z wstrząsami, jakim podlega samochód podczas jazdy mogą spowodować przerwy w obwodach. Urządzeniem, które szczególnie silnie reaguje na zmienne warunki otoczenia jest akumulator. Niska temperatura powoduje spadek jego pojemności, a wilgoć korozję na końcówkach

biegunowych i klemach. Właściwa eksploatacja urządzeń elektrycznych powinna być zgodna z wytycznymi producenta urządzenia.

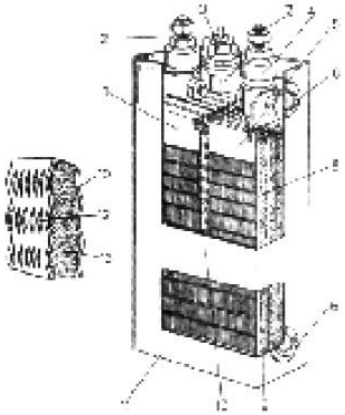
4. Źródła energii elektrycznej i odbiorniki energii w pojeździe samochodowym

Współczesne pojazdy samochodowe wyposażone są w dwa źródła energii elektrycznej. Urządzenia wysyłające energię elektryczną nazywa się źródłami energii elektrycznej. Do nich zalicza się akumulator oraz prądnicę. Prądnica napędzana przez silnik wytwarza energię, a akumulator tę energię magazynuje. Akumulatory dzieli się na kwasowe i zasadowe.
W pojazdach samochodowych stosuje się powszechnie akumulatory kwasowe, czyli ołowiowe. Podstawowymi odbiornikami energii elektrycznej są urządzenia układu zapłonowego i rozrusznik, oraz reflektory i lampy. Odbiornikami energii elektrycznej są również urządzenia układu sygnalizacji świetlnej i dźwiękowej, urządzenia, kontrolno-sygnalizacyjne, zabezpieczenia instalacji itp. Wobec powyższego w rozdziale tym będą opisane źródła energii elektrycznej.
Akumulator ołowiowy rys. 1. nazywany również kwasowym składa się z kilku połączonych ze sobą ogniw umieszczonych w jednej obudowie. Ogniwo składa się z płyt dodatnich oraz ujemnych zanurzonych w elektrolicie.



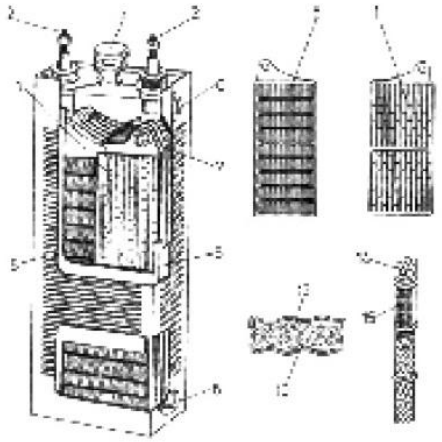
Rys. 1. Akumulator kwasowy: 1 - ogniwo akumulatora, 2 - pokrywa ogniwa, 3 - biegun ujemny, 4 - korek wlewu 5 - biegun ujemny, 6 - mostek, 7 - płyta ujemna, 8 - separator płyt, 9 - płyta dodatnia, 10 - komora osadowa, 11 - grodź międzyogniwowa, 12 - mostek biegunowy zespołu płyt dodatnich, 13 - dodatnia końcówka ogniwa, 14 - ujemna końcówka ogniwa, 15 - czynna masa płyty

Naczynie akumulatorowe wykonane jest z półprzezroczystego polipropylenu i zamknięte pokrywą nazywaną wieczkiem. W wieczku wykonane jest sześć otworów umieszczonych na środku i zamkniętych korkami. Płyty dodatnie wykonane są z dwutlenku ołowiu (PbO_2), który stanowi masę czynną, natomiast w płytach ujemnych występuje ołów gąbczasty (Pb). Elektrolitem akumulatora jest wodny roztwór kwasu siarkowego o gęstości 1,265 g/cm^3.
Akumulatory zasadowe występują zazwyczaj jako: kadmowo-niklowe, żelazowo-niklowe i srebrowo-cynkowe.
Akumulator kadmowo-niklowy rys. 2. Składa się z płyt – elektrod dodatnich, które stanowi wodorotlenek lub tlenek niklu w postaci proszku oraz dodatków zwiększających przewodność, którymi może być sadza lub grafit. Płyty elektrod ujemnych stanowi masę czynną sporządzaną z tlenku kadmu (CdO) lub ze sproszkowanego kadmu metalicznego (Cd).



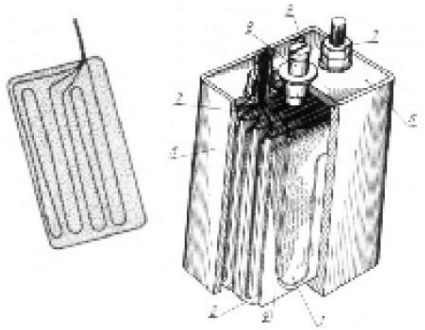
Rys. 2. Akumulator kadmowo-niklowy: 1 – płyta dodatnia, 2 – zacisk akumulatora, 3 – korek ogniwa akumulatora, 4 – tuleja izolacyjna, 5 – płyta ujemna, 6 – czop zawieszenia ogniwa, 7 – śruba złączna płyt, 8 – rama płyty, 9 – okładzina izolacyjna, 10 – niklowana blacha stalowa, 11 – naczynie ogniwa akumulatora, 12 – perforacja, 13 – czynny wypełniacz

Elektrolitem jest roztwór wodorotlenku potasowego KOH o gęstości ok. 1,2 g/cm3, z dodatkiem niewielkiej ilości wodorotlenku litu. Elektrody te są rozdzielone separatorami z materiałów syntetycznych. Obudowa wykonana jest najczęściej z tworzywa sztucznego.
Akumulator żelazowo-niklowy rys. 3. Składa się z płyt – elektrod dodatnich, które stanowi wodorotlenek lub tlenek niklu w postaci proszku oraz dodatków zwiększających przewodność, którymi może być sadza lub grafit. Płyty elektrod ujemnych stanowi masę czynną sporządzaną z metalicznego żelaza (Fe). Elektrolitem jest roztwór wodorotlenku potasowego KOH o gęstości ok. 1,2 g/cm3, z dodatkiem niewielkiej ilości wodorotlenku litu.



Rys. 3. Akumulator żelazowo-niklowe: 1 – płyta dodatnia, 2 – zacisk akumulatora, 3 – korek ogniwa akumulatora, 4 – tuleja izolacyjna, 5 – płyta ujemna, 6 – czop zawieszenia ogniwa, 7 – śruba złączna płyt, 8 – rama płyty, 9 – okładzina izolacyjna, 10 – niklowana blacha stalowa, 11 – naczynie ogniwa akumulatora, 12 – perforacja, 13 – czynny wypełniacz, 14 –rura elektrody płyty dodatniej, 15 – wodorotlenek niklu

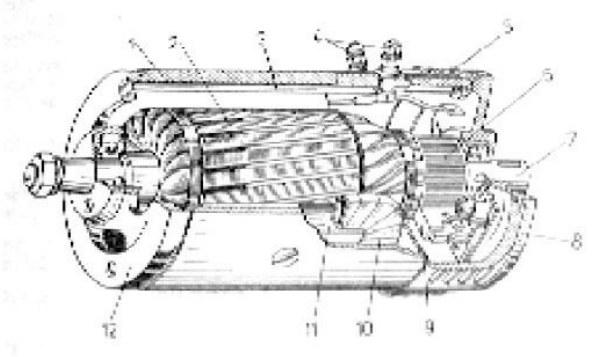
Akumulator srebrowo-cynkowy rys. 4 – składa się z cienkich płytek o grubości od 0,5 do 3 mm i elementów przewodzących prąd, którym jest drut srebrny umieszczony w materiale elektrody w postaci kilku pętli z końcami skręconymi ze sobą. Elektrodę srebrową (dodatnią) wykonuje się przez sprasowanie pod ciśnieniem bardzo drobnego proszku czystego srebra metalicznego i spiekanie w temperaturze 450°C, a elektrodę cynkową ujemną najczęściej przez sprasowanie tlenku cynku zmieszanego z pyłem cynkowym. Elektrolitem jest 40 % roztwór wodorotlenku potasu (KOH). Sita elektromotoryczna wynosi 1,85 V i jest równa, a napięcie pracy podczas długotrwałego wyładowania wynosi 1,5 V i jest stałe.



Rys. 4. Akumulator srebrowo-cynkowy: 1 – elektroda dodatnia, 2 – elektroda ujemna, 3 – drut srebrny, 4 – separator, 5 – naczynie akumulatorowe, 6 – pokrywa, 7 – zacisk, 8 – zawór, 9 – otwór do wlewania elektrolitu.

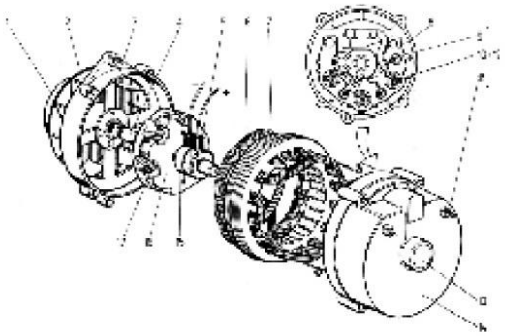
Prądnica jest podstawowym źródłem energii elektrycznej. Rozróżnia się prądnice komutatorowe nazywane potocznie prądnicami prądu stałego oraz prądnice bezkomutatorowe nazywane potocznie prądnicami prądu przemiennego lub alternatorami.
Prądnica prądu stałego – jest zbudowana ze stojanu wykonanego z blachy stalowej zwijanej i spawanej, do którego mocowane są nabiegunniki wykonane z odkuwek stalowych, walcowanych profili stalowych lub spiekanych ze sproszkowanego żelaza za pomocą wkrętów. Na biegunach osadzone są cewki uzwojenia wzbudzenia z drutu miedzianego. Twornik prądnicy osadzony jest na wałku stalowym. Rdzeń twornika wykonany jest z pakietu blach prądnicowych. Żłobki twornika są zwykle o przekroju półzamkniętym. Uzwojenie twornika wykonane jest z drutu miedzianego izolowanego emalią. Uzwojenie izolowane jest za pomocą wkładek izolacyjnych. Komutator wykonany jest przez zaprasowanie wycinków miedzianych w izolowanej tulei stalowej lub w

sztucznym tworzywie termoutwardzalnym. Stojan prądnicy zamknięty jest przez tarcze łożyskowe. Części prądnicy przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Prądnica prądu stałego: 1– stojan, 2 – twornik, 3 – śruba ściągająca, 4 – zacisk przewodu, 5 – opaska ochronna, 6 – komutator, 7 – wał twornika, 8 – wspornik łożyska tylnego, 9 – szczotkotrzymacz ze szczotką węglową, 10 – uzwojenie wzbudzenia, 11 – nabiegunnik, 12 – przednia płyta łożyskowa

Prądnica prądu przemiennego – alternator. Jest zbudowana rys. 6. ze stojanu, twornika i pełnookresowego prostownika. Stojan (7) - element nieelektryczny obwodu magnetycznego jest złożony ze spakietowanych ze sobą blach magnetycznych jednostronnie izolowanych. Uzwojenie twornika (6) – trójfazowe uzwojenie połączone **w** gwiazdę wykonane z drutu nawojowego miedzianego. Prostownik trójfazowy składa się z sześciu diod krzemowych (9 i 10). Uzwojenie wzbudzenia (17) jest usytuowane pod biegunami kłowymi, tworząc elektromagnesy o przeciwnej biegunowości. Dwa końce uzwojenia wzbudzenia są połączone z pierścieniami ślizgowymi (15) (wykonane z metalu dobrze przewodzącego prąd elektryczny i odpornego na ścieranie). Pierścienie ślizgowe współpracują ze szczotkami węglowymi (5). Szczotki węglowe wykonuje się jako lite kompozycje węglowe z wyprowadzeniami elektrycznymi w postaci linek miedzianych.



Rys. 6. Prądnica prądu przemiennego – alternator: 1– koło pasowe, 2 – wentylator chłodzący, 3 – pokrywa przednia, 4 – wał twornika, 5 –szczotka węglowa, 6 – uzwojenie stojana, 7–stojan, 8 – płytka osadcza diod, 9 –dioda dodatnia, 10 – dioda ujemna, 11 – zacisk prądu wyprostowanego, 12 – prostownik, 13 –gniazdo tylnego łożyska tocznego, 14 – pokrywa tylna, 15 – pierścień ślizgowy, 16– kieł rdzenia twornika 17 – uzwojenie twornika

Odbiorniki energii elektrycznej w pojeździe samochodowym są to urządzenia elektryczne pojazdu samochodowego. Do podstawowych urządzeń elektrycznych pojazdu samochodowego – odbiorników energii należą między innymi: cewka zapłonowa, rozrusznik, rozdzielacz zapłonu, świece zapłonowe, świece żarowe, reflektory, lampy, przerywacz kierunkowskazów, włącznik świateł hamowania, lampki kontrolo-sygnalizacyjne, bezpieczniki, przekaźniki, sygnał dźwiękowy, elektryczna pompa paliwa, miernik poziomu paliwa, wskaźnik temperatury cieczy chłodzącej, wycieraczka szyby, silnik wentylatora chłodnicy, sprzęgło elektromagnetyczne wentylatora chłodnicy, prędkościomierz i licznik kilometrów, tylna szyba ogrzewana, zapalniczka elektryczna itp.