

Moduł 1

Budowa, zasada działania i diagnozowanie układu rozruchu i ładowania

1. Wprowadzenie
2. Bezpieczeństwo i higiena pracy
3. Układ ładowania
 - 3.1 Akumulator
 - 3.2 Prądnica prądu przemiennego (alternator)
 - 3.3 Regulatory napięcia alternatora
 - 3.4 Diagnostyka podzespołów układu zasilania
4. Układ rozruchu
5. Bibliografia

1. Wprowadzenie

Moduł 1 obejmuje swoim zakresem diagnozowanie układu zasilania w energię elektryczną (układ ładowania) oraz układu rozruchowego.

Zadaniem układu zasilania jest dostarczenie do rozruchu silnika, do obwodu zapłonowego silnika i do pozostałych odbiorników odpowiednią ilość energii elektrycznej. Dostarczanie energii odbywa się przy pomocy akumulatora, który współpracuje z prądnicą i regulatorem prądnicy.

Jednym z ważniejszych obwodów elektrycznych jest układ rozruchu silnika spalinowego. Składa się on z akumulatora, rozrusznika i urządzenia sprzęgającego, które ułatwia rozruch. Rozruch silnika polega na pokonaniu momentu sił tarcia, momentu potrzebnego do sprężenia czynnika w cylindrach silnika i momentu bezwładnościowego mas wirujących. Wielkości te zależą od rodzaju silnika spalinowego, jego pojemności skokowej, temperatury oraz liczby cylindrów. Zapłon rozpoczyna się po nadaniu wałowi korbowemu początkowej prędkości obrotowej.

2. Bezpieczeństwo i higiena pracy

Wykonywanie prac związanych z obsługą, naprawą oraz diagnostyką wiąże się z ryzykiem zawodowym, narażeniem na oddziaływanie szkodliwych, uciążliwych i niebezpiecznych czynników.

Są to między innymi:

- podnoszenie i przenoszenie ciężarów;
- wymuszone pozycje ciała;
- hałas emitowany przez maszyny, urządzenia czy narzędzia;
- wysoka/niska temperatura, duża wilgotność powietrza;
- nieprawidłowe oświetlenie;
- przebywanie w pomieszczeniach, gdzie występują spaliny i paliwa;
- rozpuszczalniki;
- substancje wykorzystywane do mycia, lakierowania, suszenia pojazdów;
- prąd elektryczny (możliwość wystąpienia porażenia);
- zagrożenie wybuchem;
- ruchome części maszyn;
- podnośniki (np. awaria podnośnika samochodowego może spowodować utknięcie pod samochodem);
- ostre, ręczne narzędzia.

Aby uniknąć lub zminimalizować działanie tych czynników należy:

- wietrzyć pomieszczenia – w pomieszczeniach, gdzie znajdują się stanowiska do pomiarów i weryfikacji części, wystarczy wentylacja naturalna. W pomieszczeniach, gdzie występuje większe stężenie składników trujących, wymagana jest wentylacja wymuszona;
- osłaniać wirujące części maszyn i urządzeń;
- osłaniać odcinki i elementy, które mogłyby spowodować poparzenie;
- umożliwiać łatwy dostęp do sprzętu przeciwpożarowego (koce, gaśnice proszkowe, gaśnice piankowe, gaśnice śniegowe);
- sprawdzać stan wyłącznika przed każdym przyłączeniem układu pomiarowego do sieci zasilającej;

- pamiętać, że nie wolno przyłączać przewodów zasilających układ do zacisków znajdujących się pod napięciem;
- utrzymywać stanowiska w czystości.

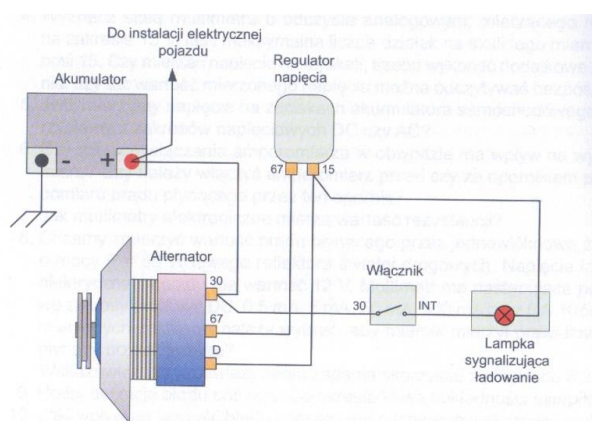
3. Układ ładowania

Współczesne pojazdy samochodowe są wyposażone w dwa źródła energii elektrycznej. Są to:

- alternator – prądnicą prądu zmiennego,
- akumulator.

Parametry elektryczne tych podzespołów dobrano tak, aby pokrywały zapotrzebowanie na energię elektryczną wszystkich odbiorników występujących w pojeździe samochodowym (Rys. 1.1). Akumulator jest przeznaczony do zasilania odbiorników elektrycznych podczas postoju samochodu, natomiast zadaniem alternatora jest wytwarzanie energii elektrycznej podczas pracy silnika, doładowuje on również akumulator.

Rys. 1.1. Schemat funkcjonalny układu zasilania samochodu w energię elektryczną



Źródło: Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2011, 224

3.1 Akumulator

Łączenie ogniów

Gdy z jednego ogniwa nie można uzyskać prądu o dostatecznie dużym natężeniu, łączy się ogniwa w baterie (szeregowo lub równoległe).

Podczas szeregowego łączenia dodatni biegun każdego ogniwa łączy się z ujemnym biegunem następnego. Biegunami tak połączonej baterii są bieguny skrajnych ogniów. Podczas równoległego łączenia wszystkie bieguny poszczególnych ogniów jednego znaku łączy się razem. Bieguny ujemne wszystkich ogniów tworzą więc wspólny biegun ujemny baterii, bieguny dodatnie – wspólny biegun dodatni.

Łączy się w baterie tylko ogniwa jednakowe, to znaczy o tej samej sile elektromotorycznej, oporze wewnętrznym (aby jedno ogniwo lub grupy ogniów nie pracowały na inne ogniwa, lecz oddawały wszystkie tę samą moc do obciążenia). Takie równomierne obciążenie poszczególnych jednakowych ogniów daje w efekcie możliwość maksymalnego wykorzystania całej energii zgromadzonej w baterii.

Akumulator

Aby utrzymać przepływ prądu w obwodzie, konieczne jest urządzenie, które wytwarzałoby różnicę potencjałów na jego biegunach. Źródłami napięcia są urządzenia, w których energia chemiczna, mechaniczna lub inne jej rodzaje są przekształcane w energię elektryczną. Na przykład energia chemiczna dostarczana przez ogniwo jest przekształcana na energię pola elektrycznego i magnetycznego, które otaczają obwód. Duże zastosowanie znalazły ogniwa wielokrotnego użytku – akumulatory. Są to baterie, które można ponownie naładować poprzez odwrócenie przebiegu reakcji chemicznych, jakie zachodzą podczas rozładowania. Możliwość ładowania odróżnia akumulatory od pierwotnych ogniw galwanicznych, których zasada działania jest taka sama, tylko że swą funkcję spełniają jednorazowo.

Akumulator jest źródłem energii elektrycznej prądu stałego. Akumulator ołowiowy składa się z ogniw połączonych szeregowo, ze względu na to, że napięcie jednego naładowanego ogniwa wynosi ok. 2,1 V. Akumulator 6-cio woltowy składa się z trzech, a 12-sto woltowy z sześciu ogniw. W skład ogniwa wchodzi płytka dodatnia i ujemna oraz naczynie z elektrolitem. Płytki elektrod mają postać krat ołowiowych, wypełnionych masą czynną w postaci dwutlenku ołowiu na płytce dodatniej i gąbczastego ołowiu na płytce ujemnej.

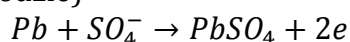
Rys. 1.2. Budowa akumulatora



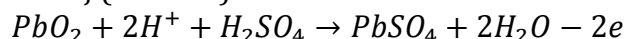
Źródło: Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2011, 225

W czasie pracy akumulatora zachodzą następujące reakcje:

- na elektrodzie ujemnej (katodzie)

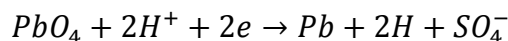


- na elektrodzie dodatniej (anodzie)

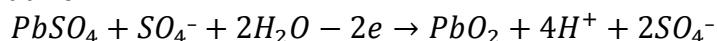


W wyniku tych reakcji powstaje siarczan ołowiowy i wydzielą się woda. Podczas ładowania akumulatora na płytach zachodzą następujące reakcje:

- na płytach ujemnych



- na płytach dodatnich



Na anodzie powstaje dwutlenek ołowiu, na katodzie czysty ołów, przy czym zmniejsza się ilość wody, a zwiększa się ilość kwasu. Siła elektromotoryczna naładowanego ogniwa elektrochemicznego wynosi około $2,1 \div 2,45$ V. Podczas wyładowania prąd płynie w kierunku przeciwnym. Elektrody wracają do stanu początkowego, równocześnie ilość kwasu się zmniejsza, a zawartość wody w roztworze (elektrolicie) rośnie. Stężenie elektrolitu podczas wyładowania maleje.

Wielkości charakterystyczne akumulatora:

- **pojemność elektryczna Q** – ilość ładunku elektrycznego, który można pobrać z akumulatora przy wyładowaniu aż do napięcia końcowego 1,75 V na ogniwie, temperaturze elektrolitu 298 K oraz gęstości początkowej elektrolitu $1,28 \text{ g/cm}^3$. Najczęściej podaje się pojemność dwudziestogodzinną, która jest pojemnością znamionową akumulatora. Pojemność elektryczna zależy od ilości płyt, gęstości, temperatury elektrolitu oraz od wartości prądu wyładowania.

$$Q = I_w \cdot t_w$$

gdzie: I_w – prąd wyładowania [A]

t_w – czas wyładowania [h]

Wielkość Q wyrażona jest w amperogodzinach.

- **znamionowy prąd I_n** – prąd, którego pobranie z akumulatora w ciągu 20 godzin spowoduje jego wyładowanie do napięcia końcowego 1,75 V na ogniwie;
- **zdolność rozruchowa** – czas nieprzerwanego wyładowania w pełni naładowanego akumulatora w określonej temperaturze prądem rozruchowym o wartości $I_w \geq 60 I_n$, do momentu zmniejszenia się średniego napięcia do wartości 1 V na ogniwo.
- **samowyładowanie S** – jest to zmniejszenie się pojemności akumulatora na skutek zanieczyszczenia elektrolitu lub masy czynnej, wyładowania przez czynniki uboczne, uszkodzenie segregacji płyt, wytwarzanie się samorzutnie $PbSO_4$.

$$S = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

gdzie: Q_1 - pojemność początkowa;

Q_2 - pojemność po n dniach przechowywania.

- **sprawność akumulatora** – wyróżniamy dwa rodzaje sprawności akumulatora sprawność elektryczną i energetyczną. Sprawność elektryczna η_{el} – jest to stosunek pojemności elektrycznej akumulatora przy całkowitym wyładowaniu Q_w , do jego pojemności potrzebnej do ponownego całkowitego naładowania Q_μ . Sprawność elektryczna akumulatorów wynosi 0,8–0,9.

$$\eta_{el} = \frac{Q_w}{Q_\mu}$$

Sprawność energetyczna η_{en} – jest to stosunek energii pobranej z akumulatora przy całkowitym wyładowaniu E_w , do energii zużytej na naładowanie akumulatora E_μ . Sprawność energetyczna akumulatorów wynosi 0,6–0,7.

$$\eta_{en} = \frac{E_w}{E_\mu} = \frac{Q_w \cdot U_w}{Q_\mu \cdot U_\mu} = \eta_{el} \cdot \frac{U_w}{U_\mu}$$

- **gęstość elektrolitu** – parametr wskazujący stan naładowania akumulatora. Pomiaru gęstości dokonuje się aerometrem po co najmniej 30 minutach od zakończenia pracy lub ładowania akumulatora, po dolaniu elektrolitu pomiar gęstości można dokonać dopiero po upływie doby. Gęstość elektrolitu zmienia się wraz ze zmianami temperatury. Dlatego, aby możliwe było porównywanie akumulatorów, przyjęto że pomiaru gęstości dokonuje się w temperaturze 20°C (293 K). Jeżeli temperatura elektrolitu T różni się od temperatury odniesienia, to zmierzoną areometrem gęstość ρ_{zmierz} należy przeliczyć w następujący sposób:

$$\rho_{293} = \rho_{zmierz} + 0,007 \cdot (T - 293)$$

- **rezystancja wewnętrzna akumulatora R_w** – zależy od stopnia naładowania akumulatora oraz od gęstości elektrolitu. Gdy gęstość elektrolitu maleje, zmniejsza się wartość SEM a rezystancja wewnętrzna wzrasta. Ze wzrostem temperatury elektrolitu rezystancja wewnętrzna maleje. Im mniejsza wartość rezystancji wewnętrznej, tym mniejszy spadek napięcia i większe napięcia na zaciskach akumulatora.

$$R_w = \frac{K}{Q}$$

Gdzie: R_w – rezystancja wewnętrzna,
 K – współczynnik rezystancji,
 Q – pojemność.

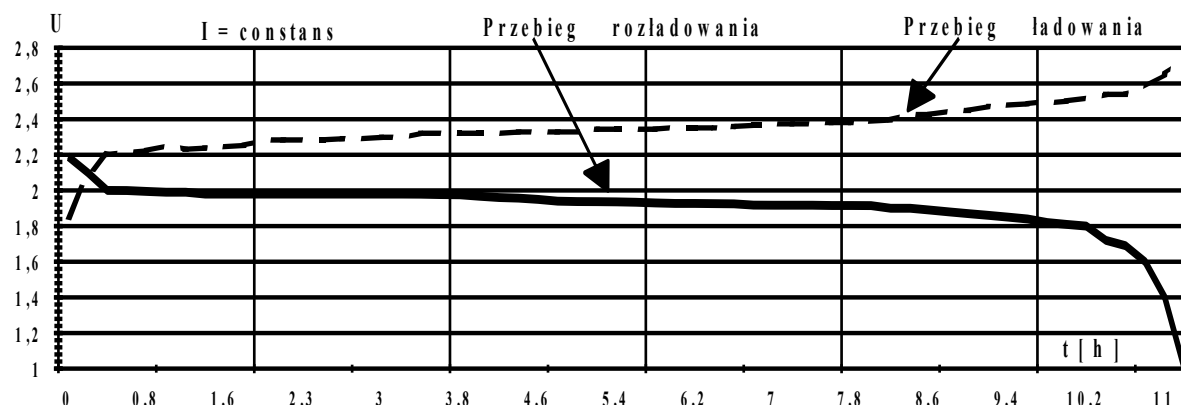
Najprostszym sposobem pomiaru rezystancji wewnętrznej jest pomiar wykonywany przy określonej wartości prądu w obwodzie zewnętrznym akumulatora w stanie jałowym i pod obciążeniem, a następnie wykonanie obliczeń w oparciu o poniższą zależność:

$$R_w = \frac{U_o - U_p}{I}$$

Gdzie: U_o – napięcie akumulatora nieobciążonego [V];
 U_p – napięcie akumulatora pod obciążeniem [V],
 I – prąd obciążenia [A].

- **siła elektromotoryczna** – określa różnicę potencjałów na zaciskach biegunowych przy otwartym obwodzie zewnętrznym. Siła SEM jednego ogniwa akumulatora naładowanego wynosi około 2,2 V i mierzy się ją na zaciskach akumulatora nieobciążonego.
- **pojemność dziesięciogodzinna** – jest to pojemność, jaką posiada dany akumulator przy ciągłym wyładowaniu trwającym 10 godzin, a normalny 10 godzinny prąd wyładowania jest to natężenie prądu potrzebnego do wyładowania tego akumulatora w ciągu 10 godzin.
- **ładowanie akumulatora** – akumulator ładuje się prądem stałym. Podczas ładowania napięcie na zaciskach wzrasta i w końcowym czasie osiąga 2,7 V na ogniwo. W miarę upływu czasu gęstość elektrolitu równomiernie wzrasta. Ustawienie się gęstości i napięcia wskazuje o całkowitym naładowaniu akumulatora. Oznaką naładowania jest wydzielanie się pęcherzyków gazu (tzw. gazowanie akumulatora).

Rys. 1.3. Przebieg ładowania i wyładowania akumulatora ołowiowego przy prądzie $I = \text{constans}$



Źródło: Materiały własne.

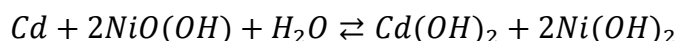
Podczas obsługi akumulatora należy **PAMIĘTAĆ**, że:

1. Akumulatory należy przechowywać w chłodnym, wentylowanym, oddzielnym pomieszczeniu. Temperatura pomieszczenia powinna wynosić ok. 15–20°C. Wiąże się to z tym, iż podwyższona temperatura sprzyja rozładowaniu akumulatora.
2. Podczas ładowania akumulatorów kwasowych powstaje wybuchowa mieszanka wodoru i tlenu, w związku z tym należy zachować szczególną ostrożność i pamiętać o tym, że przebywając w pomieszczeniu, gdzie znajdują się akumulatory, nie należy używać otwartego ognia i palić papierosów.
3. Zużyty akumulator należy przekazać do recyklingu. Akumulatory niklowo-kadmowe zawierają toksyczny kadm oraz kancerogeny nikiel, dlatego nie wolno ich wyrzucać razem z innymi odpadami.
4. Akumulator nieużytkowany podlega procesowi samowyładowania.
5. Akumulator nie powinien pozostawać w stanie wyładowania. Siarczan ołowiu ulega krystalizacji na płytach, powoduje to zmniejszenie pojemności.
6. Uzupełnienie ubytków elektrolitu akumulatorów kwasowo-ołowiowych, przy pomocy wody destylowanej, powinno odbywać się w odzieży ochronnej, okularach oraz w rękawicach roboczych.
7. Poziom elektrolitu powinien być większy od górnej krawędzi płyt. W miarę ubytku elektrolitu należy dolewać destylowanej wody.
8. Zasada użytkowania akumulatorów niklowo-kadmowych wiąże się z ich całkowitym rozładowaniem i naładowaniem.
9. Stan wyładowania i naładowania można ocenić na podstawie zmian gęstości elektrolitu.
10. Podczas wymontowania akumulatora z samochodu, jako pierwszy należy odłączyć biegun ujemny od masy pojazdu, w dalszej kolejności biegun dodatni. Podczas montażu postępujemy odwrotnie.
11. **Wlewać kwas do wody, a nie odwrotnie. Woda wlewana do kwasu powoduje rozpryskiwanie się, co grozi uszkodzeniem oczu i skóry.**

Akumulatory bezobsługowe

Wykorzystano w nich proces rekombinacji eliminujący konieczność uzupełniania wody destylowanej w akumulatorze (podczas przeładowania zachodzi reakcja chemiczna, która zatrzymuje tlen i wodór w postaci wody w akumulatorze). Do grupy akumulatorów bezobsługowych można zaliczyć akumulatory zasadowe kadmowo-nikłowe.

Reakcja ładowania i rozładowania w ogniwie przebiega w następujący sposób:



W akumulatorach pracujących powyżej -10° , jako elektrolit stosuje się *KOH* o gęstości 1,2–1,3 g/cm³. Eksploatacja akumulatora powoduje zestalenie masy katodowej *NiO(OH)*. Aby zapobiec koagulacji do elektrolitu, dodaje się 1–2% wodorotlenku litu – powodującego zwiększenie jego rezystancji. Obniżenie pracy temperatury akumulatora powoduje wzrost rezystancji elektrolitu, z tego też względu do pracy w niskich temperaturach elektrolit ma gęstość 1,3 g/cm³. Roztwór *NaOH* jest elektrolitem przeznaczonym do pracy w wysokich temperaturach.

Metody oceny stanu akumulatora

Wyróżnia się następujące sposoby oceny stanu akumulatora:

1. Przez pomiar gęstości elektrolitu – gęstość elektrolitu maleje ze wzrostem temperatury. Znając gęstość elektrolitu, można dokonać oceny stanu akumulatora wg poniższej tabeli.

Tabela 1.1. Ocena stanu akumulatora w zależności od gęstości elektrolitu

Gęstość elektrolitu [g/cm ³]	Diagnoza stanu naładowania akumulatora
1,285–1,3	Zbyt duża gęstość elektrolitu. Należy ją obniżyć poprzez usunięcie części elektrolitu, zastępując go wodą destylowaną.
1,28	Pełny stopień naładowania akumulatora.
1,2–1,24	Wymagane doładowanie akumulatora.
1,15–1,2	Wymagane natychmiastowe naładowanie.
poniżej 1,15	Akumulator może ulec zasiarczeniu, czyli trwałemu uszkodzeniu.
1,1	Zupełnie rozładowany (uszkodzony).

Źródło: Opracowanie własne.

2. Przez pomiar napięcia podczas rozruchu – pomiaru można dokonać poprzez pomiar dynamicznie obciążonego akumulatora.
3. Przez poziom świecenia reflektorów – gdy światła mijania są zapalone, a silnik nie pracuje całą energią, do zasilania reflektorów jest czerpana energia z akumulatora. Poziom świecenia może być wyznacznikiem naładowania akumulatora.
4. Za pomocą próbnika – dokonuje się pomiaru napięcia akumulatora pod obciążeniem (przy włączonym rozruszniku).

Tabela 1.2. Ocena stanu akumulatora w zależności od napięcia prądu

Wskazanie próbnika	Diagnoza
$U_{aku} > 11$ [V]	Akumulator naładowany
11 [V] – 10,2 [V]	Akumulator naładowany w połowie
$U_{aku} < 10,2$ [V]	Akumulator rozładowany

Źródło: Opracowanie własne.

Typowe usterki akumulatorów i przyczyny ich występowania

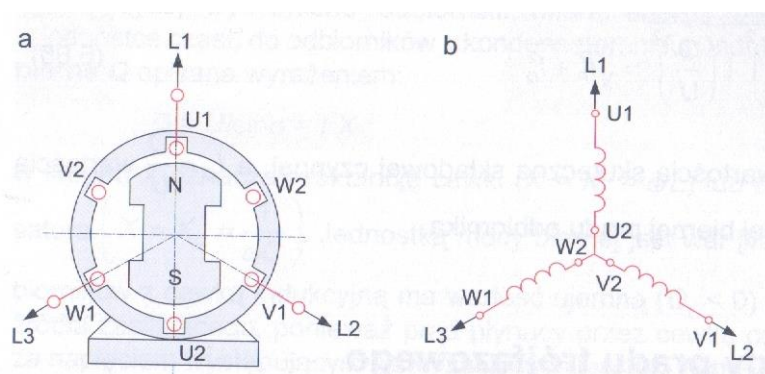
- Zasiarczenie płyt może być spowodowane:
 - wyładowaniem poniżej dopuszczalnego napięcia wyładowania i pozostawieniem akumulatora w takim stanie przez dłuższy czas;
 - zbyt niskim poziomem elektrolitu;
 - długotrwałym nieużytkowaniem akumulatora;
 - zbyt małą gęstością elektrolitu;
 - ciągłym niedoładowaniem akumulatora.
- Wyginanie płyt może być spowodowane nagromadzeniem siarczanu ołowianego na płytach dodatnich w skutek nadmiernego wyładowania. Przyczyną tego rodzaju uszkodzenia może być również wyładowanie akumulatora zbyt dużym prądem.
- Gromadzenie się zanieczyszczeń – zanieczyszczenia mogą się gromadzić między żebrami na dnie naczynia akumulatora, jest to spowodowane opadaniem rozluźnionej masy czynnej, w wyniku przemian elektrochemicznych.
- Gazowanie elektrolitu – może być spowodowane przeładowaniem akumulatora, objawia się tworzeniem pęcherzyków. Ich pojawienie jest niekorzystne dla masy czynnej, powodując wypadanie masy, a tym samym zniekształcenie płyt.
- Przebiegunowanie ogniw – może wystąpić, gdy akumulator zostanie wadliwie połączony ze źródłem napięcia, tzn. biegun ujemny akumulatora z biegunem dodatnim źródła napięcia.

3.2 Prądnica samochodowa prądu przemiennego (alternator)

Alternator jest trójfazową samochodową prądnicą. W prądnicy trójfazowej prądu przemiennego można wyodrębnić uzwojony nieruchomy stator zwany stojanem, w którego wnętrzu obraca się wirnik, tzw. rotor. Uzwojenie stojana stanowią umieszczone w żłobkach trzy jednakowe cewki fazowe, przesunięte przestrzennie o kąt $2/3 \pi$ rad. Umieszczając boki każdego zwoju jednej fazy uzwojenia w przeciwległych żłobieniach, uzyskano rozmieszczenie przestrzenne uzwojeń.

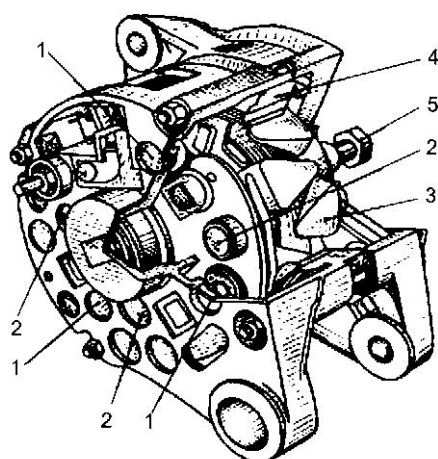
Źródłem stałego pola magnetycznego alternatora jest wirujący ze stałą prędkością kątową ω rotor wewnątrz uzwojonego, nieruchomego statora. Wirujące stałe pole magnetyczne wirnika (rotora), podczas swego ruchu indukuje w uzwojeniach statora napięcie fazowe, które nazywa się symetrycznym, gdyż ma ono jednakową amplitudę i częstotliwość, a różni się jedynie przesunięciem fazowym określonym rozmieszczeniem przestrzennym uzwojenie fazowych na statorze prądnicy. Uproszczoną strukturę alternatora przedstawiono na rys. 1.4.

Rys. 1.4. a) Struktura prądnicy prądu przemiennego b) połączenie uzwojeń stojana w gwiazdę



Źródło: Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2011, 184

Rys. 1.5. Budowa alternatora



1-diody ujemne, 2-diody dodatnie, 3-wirnik pazurowy, 4-stojan, 5-mocowanie koła pasowego

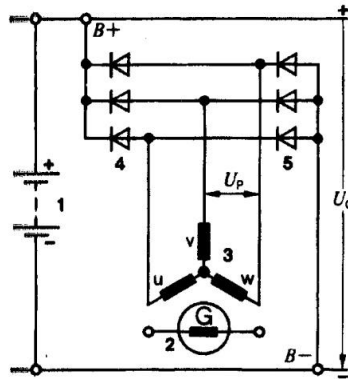
Źródło: Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2011, 234

Aby na zaciskach prądnicy utrzymać stałą wartość napięcia, alternator musi współpracować z regulatorem napięcia, który podczas wzrostu prędkości obrotowej poprzez zmianę prądu wzbudzenia zmniejsza strumień magnetyczny wirnika.

Prądnica trójfazowa w samochodach wytwarza prąd przemienny. Musi on zostać zamieniony na prąd stały, aby mógł zostać wykorzystany przez akumulator. Prostowanie odbywa się przy pomocy wbudowanego w prądnicę układu mostkowego składającego się z sześciu diod – prostowanie dwukierunkowe (rys. 1.6.)

Przez zaciski B+ i B- płynie jednokierunkowy, pofalowany prąd. Nierównomierności są dodatkowo wygładzane przez równolegle podłączony do prądnicy akumulator. Przez uzwojenie wirnika płynie prąd wzbudzenia, którego zadaniem jest namagnesowanie biegunów wzbudzenia. Odbywa się to dzięki trzy diodowemu półmostkowi wzbudzenia, dołączonemu do zacisków uzwojenia twornika (rys. 1.8.).

Rys. 1.6. Układ mostkowy prądnicy trójfazowej

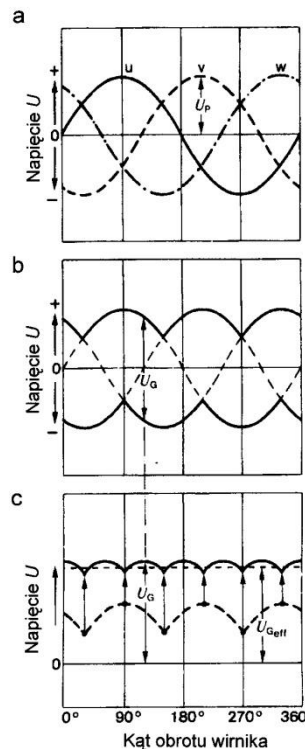


1-akumulator, 2-uzwojenie wzbudzenia, 3- uzwojenie stojana, 4-diody dodatnie, 5-diody ujemne

Źródło: Herner A. Riehl H. J., *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2007, str. 85

Prostowanie dwukierunkowe odbywa się w następujący sposób. Diody dodatnie prostują półfale dodatnie, a diody ujemne prostują półfale ujemne płynącego prądu. Ostatecznie sumą dodatnich i ujemnych obwiedni tych półfale jest jednokierunkowe napięcie prądnicy.

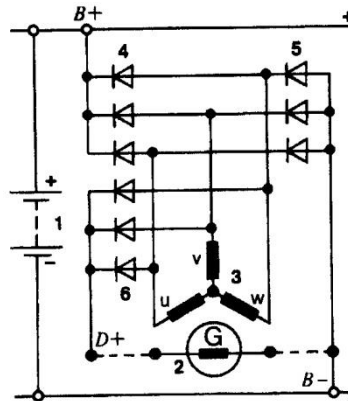
Rys. 1.7. Przebieg napięcia



a) Prąd przemienny trójfazowy bez prostowania, b) przebieg obwiedni trójfazowego układu napięć na zaciskach roboczych twornika alternatora, c) przebieg napięcia wyprostowanego dwukierunkowo, U_p - napięcie fazowe, U_G - napięcie prądnicy

Źródło: Herner A. Riehl H. J., *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2007, str. 86.

Rys. 1.8. Wytwarzanie prądu wzbudzenia



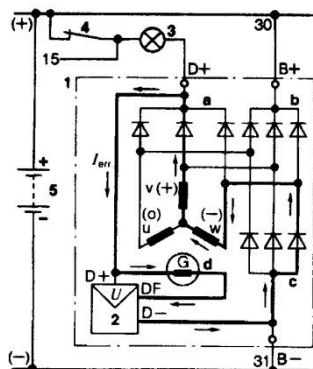
1-akumulator, 2-uzwojenie wzbudzenia, 3- uzwojenie stojana, 4-diody dodatnie, 5-diody ujemne, 6- diody wzbudzenia, I_B - prąd z akumulatora

Źródło: Herner A. Riehl H. J., *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2007, str. 86

W alternatorze prądnicy prądu trójfazowego występują trzy obwody elektryczne:

- obwód prądu wzbudzenia wstępnego – prąd z akumulatora wzbudza prądnicę w następujący sposób: po zwarceniu styków wyłącznika zapłonu, prąd z akumulatora I_B – poprzez lampkę kontrolną prądnicy – płynie do uzwojenia wzbudzenia wirnika, regulatora i do masy akumulatora. Magnetyzm szczątkowy występujący w żelaznym rdzeniu uzwojenia nie jest wystarczający, aby przy małych prędkościach obrotowych wirnika wywołać samowzbudzenie alternatora. Samowzbudzenie może nastąpić dopiero, gdy prądnica wytworzy napięcie większe niż 1,4 V;
- obwód prądu wzbudzenia – zadaniem obwodu jest wytworzenie pola magnetycznego w uzwojeniu wzbudzenia wirnika. Prąd składowy uzwojenia fazowego jest prostowany przez trzy diody wzbudzenia. Dalej, już jako prąd wzbudzenia, jest kierowany do uzwojenia wzbudzenia i regulatora, następnie poprzez zacisk D- i diodę ujemną, do uzwojenia twornika.

Rys. 1.9. Obwód prądu wzbudzenia



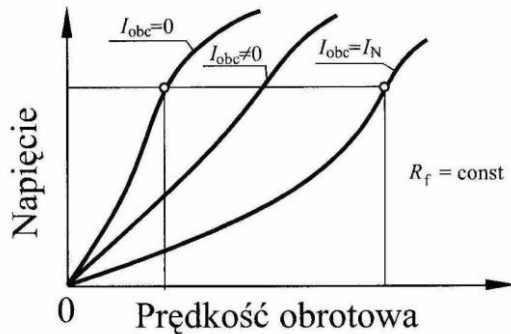
Źródło: Herner A. Riehl H. J., *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2007, str. 87

- obwód główny (prądnicy) – prąd płynący przez sekcje prądnicy trójfazowej zostaje wyprostowany przez diody obciążeniowe, dalej jest kierowany do akumula-

tora i innych odbiorników. Aby prąd z prądnicy mógł popłynąć, wartość napięcia między zaciskami mostka alternatora, musi być większa niż wartość napięcia na zaciskach akumulatora. Odpowiednia wartość napięcia na diodach obciążenia utrzymywana jest przez regulator.

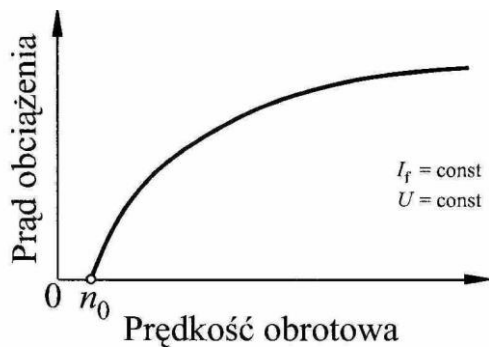
Charakterystyki alternatora

Rys. 1.10. Charakterystyka elektromechaniczna



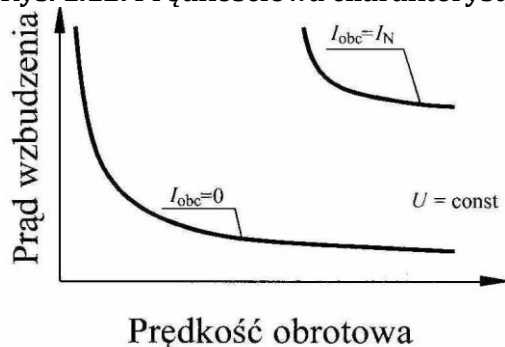
Źródło: Ocioszyński J., *Elektrotechnika i elektronika pojazdów samochodowych. Podręcznik dla technikum.* WSiP, Warszawa, 1996, 50

Rys. 1.11. Charakterystyka prądowo-prędkościowa



Źródło: Ocioszyński J., *Elektrotechnika i elektronika pojazdów samochodowych. Podręcznik dla technikum.* WSiP, Warszawa, 1996, 50

Rys. 1.12. Prędkościowa charakterystyka regulacyjna



Źródło: Ocioszyński J., *Elektrotechnika i elektronika pojazdów samochodowych. Podręcznik dla technikum.* WSiP, Warszawa, 1996, 51

Tabela 1. 3. Najczęściej spotykane nieprawidłowości w działaniu alternatora

OBJAWY USZKODZENIA	DIAGNOZA
Pomimo zwiększonej prędkości obrotowej lampka kontrolna nie gaśnie	- zużyte szczotki; - uszkodzone diody; - zwarcie uzwojenia wirnika z masą; - zwarcie uzwojenia stojana z masą; - zerwany pasek klinowy napędzający alternator.
Lampka kontrolna miga przy stałej prędkości silnika	-zużyte szczotki; - słabo naciągnięty pasek klinowy; - uszkodzony regulator napięcia; - uszkodzony kondensator przeciwzakłóceńowy.
Alternator hałasuje	-wadliwy montaż; -luz koła pasowego; - uszkodzone łożysko; - luźno osadzone szczotki; - zwarcie/przerwa w prostowaniu; - zwarcie/przerwa w uzwojeniu stojana.

Źródło: Opracowanie własne.

3.3 Regulatory napięcia

Przełącznikowy regulator alternatora (wibracyjny dwustopniowy)

Jest to regulator o działaniu dwustopniowym. Regulacja napięcia odbywa się w dwóch stopniach. W pierwszym stopniu prąd przepływa przez rezystor dodatkowy, natomiast w drugim stopniu następuje zwarcie styków i zbocznikowanie uzwojenia wzbudzenia.

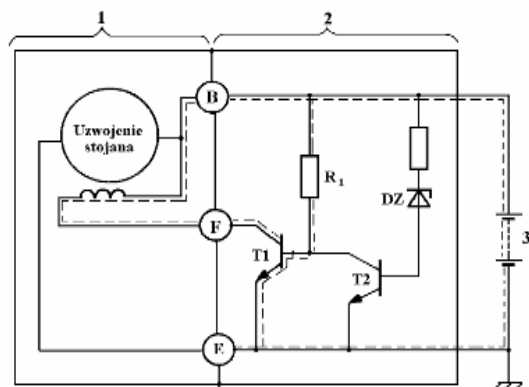
Elektroniczne regulatory prądu

Regulatory te występują przeważnie jako regulatory napięcia. Działają na tej samej zasadzie co przełącznikowe regulatory, powodują poprzez tranzystor okresowe osłabienie prądu wzbudzenia prądnicy. Obecnie stosuje się dwa rodzaje elektronicznych regulatorów:

- jednofunkcyjne;
- wielofunkcyjne.

Elektroniczne regulatory napięcia wykorzystują zasadę impulsowej regulacji prądu wzbudzenia. W układzie regulatora wyróżnić można dwa bloki: sterujący i wykonawczy. Bloki są połączone ze sobą pętlą sprzężenia zwrotnego z elementem R, C. Elementem członu wykonawczego – regulującym prąd w obwodzie – jest tranzystor bądź para tranzystorów pracujących w układzie Darlingtona (emiter tranzystora sterującego jest bezpośrednio połączony z bazą tranzystora sterowanego, kolektory obu tranzystorów pracują na wspólne obciążenie, baza tranzystora sterującego jest wejściem układu wzmacniającego).

Rys. 1.13. Schemat elektronicznego regulatora napięcia połączonego z alternatorem



1-alternator, 2-regulator napięcia, 3-akumulator, B,F,E- zaciski alternatora, T₁- tranzystor członu wykonawczego, T₂-tranzystor sterowany, R₁-rezystor dzielnika napięcia, DZ- dioda zenera

Źródło: Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S., *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1999, 71

Przepływ prądu – w obwodzie bazy tranzystora – powoduje napięcie akumulatora zasilającego bazę tranzystora, wówczas gdy wartość rzeczywista napięcia na zaciskach alternatora jest mniejsza od wartości zadanej napięcia. Przepływ prądu powoduje wzrost napięcia na zaciskach alternatora. Gdy wartość napięcia wzrośnie powyżej wartości zadanej, wówczas prąd popłynie przez Diode Zenera (jednocześnie wystąpi przepływ prądu w obwodzie bazy tranzystora T₂). Gdy tranzystor T₂ osiągnie stan nasycenia, nastąpi odcięcie tranzystora T₁. Jest to równoznaczne z otwarciem obwód wzbudzenia i przerwaniem przepływu prądu w obwodzie, napięcie na zaciskach alternatora maleje.

Tabela 1.4. Typowe usterki regulatora napięcia w alternatorach

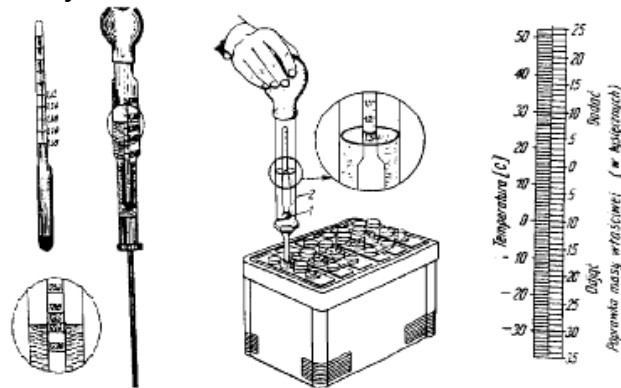
OBJAWY	PRZYCZYNA
Wyładowanie akumulatora podczas normalnej eksploatacji	- nieprawidłowa regulacja regulatora; - częsty rozruch; - nadmierna liczba dodatkowych odbiorników prądu w samochodzie.
Lampka kontrolna miga przy stałej prędkości obrotowej silnika	- zanieczyszczone styki; - przepalony rezystor; - zwarcie w kondensatorze przeciwzakłóceniovym.
Lampka kontrolna nie gaśnie, mimo wzrostu prędkości obrotowej silnika	- nadpalone styki; - przerwa w połączeniach.
Lampka kontrolna nie zapala się po włączeniu stacyjki	- brak połączenia zacisku regulatora z masą; - zanieczyszczone styki; - przerwa w uzwojeniu cewki.

Źródło: opracowanie własne.

3.4 Diagnostyka podzespołów układu zasilania

Jednym z parametrów, umożliwiającym ocenę stanu akumulatora, jest jego napięcie i gęstość elektrolitu. Pomiar przeprowadza się w sposób przedstawiony na rys. 1.14.

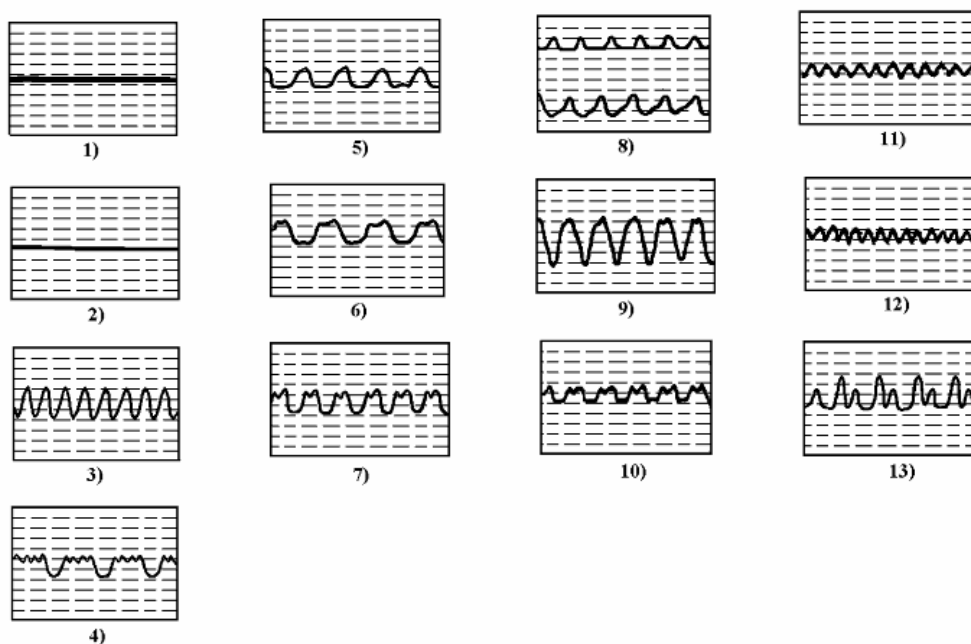
Rys. 1.14. Pomiar przy pomocy areometru



Źródło: Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S., *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1999, 48

Diagnostyki alternatora można dokonać przy pomocy oscyloskopu. Wyjście urządzenia należy podłączyć do zacisku U_{30} lub B+. Prędkość kątową wirnika należy tak ustawić, aby wartość napięcia wytwarzanego przez prądnicę wynosiła 13 V. Przy pomocy oscyloskopu należy dokonać odczytu. Otrzymane wskazania porównaj z rys. 1.15., przedstawiającym przykładowe wskazania przyrządu. Dokonaj oceny uzyskanych przez siebie wskazań.

Rys. 1.15. Wskazania oscyloskopu



1-Brak uszkodzeń, 2- przerwa w obwodzie wzbudzenia, 3- przerwa w uzwojeniu stojana lub przerwa w dwóch diodach zasilających tej samej fazy, 4- przerwa w jednej diodzie dodatniej lub ujemnej, 5-przerwa w dwóch diodach dodatnich lub ujemnych, 6-przerwa w diodzie dodatniej

i ujemnej zasilających różnych faz, 7- zwarcie jednej diody dodatniej lub ujemnej, 8-zwarcie dwóch diod dodatnich lub ujemnych, 9-zwarcie diody dodatniej i ujemnej zasilającej różnymi fazami, 10-zwarcie uzwojenia stojana z masą, 11- zwarcie międzyfazowe uzwojeń stojana, 12-zwarcie środka gwiazdy uzwojeń stojana, 13-błędne włączenie diody dodatniej lub ujemnej

Źródło: Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S., *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1999, 75

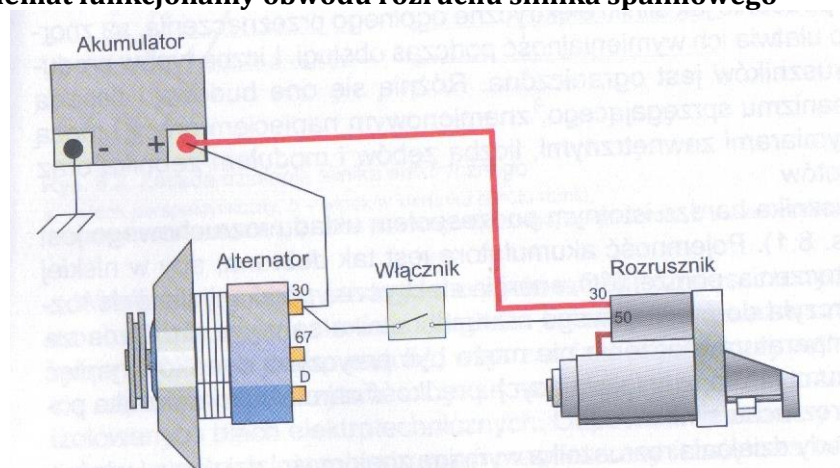
4. UKŁAD ROZRUCHU

Jednym z najważniejszych obwodów elektrycznych jest układ rozruchowy. Składa się on z akumulatora, rozrusznika i urządzenia sprzęgającego, które ułatwia rozruch (rys. 1.16.).

Rozrusznik jest szeregowym lub szeregowo-bocznikowym silnikiem elektrycznym prądu stałego. Na rozruch silnika spalinowego składają się dwie fazy. Pierwsza obejmuje wytrącenie wału korbowego silnika ze stanu spoczynku i nadanie mu ruchu obrotowego. W drugiej fazie silnik osiąga minimalną prędkość obrotową rozruchu wskazaną do zapłonu paliwa w cylindrach.

Rozrusznik składa się z korpusu stojana z wbudowanymi dwoma lub czterema nabiegownikami z umieszczonymi na nich uzwojeniami wzbudzenia.

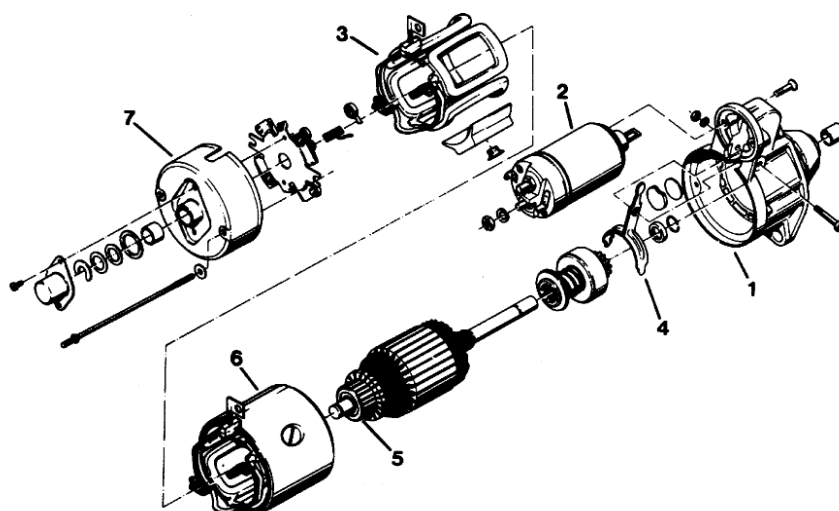
Rys. 1.16. Schemat funkcjonalny obwodu rozruchu silnika spalinowego



Źródło: Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2011, 249

Zadaniem silnika rozrusznika jest wytwarzanie w trakcie rozruchu momentu elektromagnetycznego. Rozrusznik wymaga źródła zasilania o odpowiedniej wydajności. Źródłem zasilania jest akumulator, który przejmuje obciążenie w trakcie rozruchu. Prąd zasilający z akumulatora przepływa przez twornik oraz cewki elektromagnesowe stojana. Przy maksymalnym prądzie zasilającym uzyskany zostanie maksymalny moment obrotowy rozrusznika, zatem im słabszy akumulator, tym mniejsza szansa na uruchomienie silnika.

Rys. 1.17. Części składowe rozrusznika



1-obudowa, 2- wyłącznik elektromagnetyczny, 3- uzwojenie stojana, 4-dzwigienka sprzęgająca, 5-komutator, 6-magnetowód, 7-obudowa komutatora

Źródło: Paszkowski J., *Diagnostyka układu zasilania energią elektryczną pojazdu samochodowego, Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego*, Laboratorium Systemów pomiarowych i Diagnostycznych Pojazdów Samochodowych, 37

Rozrusznik wykorzystuje zjawisko powstawania siły elektrodynamicznej (reguła lewej dłoni). W rozruszniku można wyróżnić dwa obwody: obwód wysokoprądowy i obwód sterujący.

Obwód wysokoprądowy jest obwodem głównym, jest to bezpośrednie połączenie z akumulatorem. Dodatni przewód podłączony jest do dodatniego bieguna akumulatora i do zacisku głównego automatu rozrusznika, natomiast przewód ujemny łączy masę rozrusznika z masą pojazdu i biegunem ujemnym akumulatora.

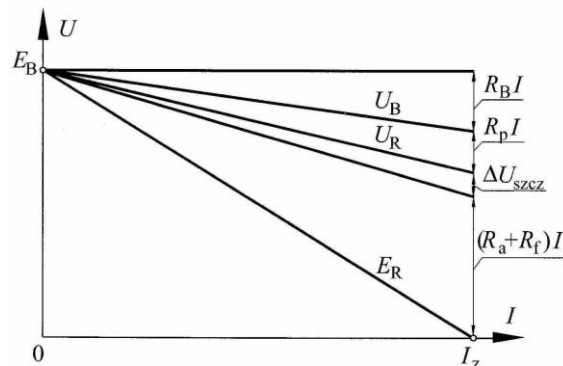
Obwód sterujący to zasilanie cewki wyłącznika elektromagnetycznego, poprzez zestyk umieszczony w stacyjce. Prace obwodu sterującego przejmuje zestyk główny przekaźnika. Zamknięcie obwodu sterującego powoduje, że cały prąd z akumulatora płynie do uzwojenia wyłącznika elektromagnetycznego. Pole magnetyczne wciąga rdzeń. Połączona z rdzeniem dźwignia – ruchem śrubowym – przesuwa zębnik w kierunku wieńca koła zamachowego. Po zazębieniu zębника, zwora popychana przez rdzeń wyłącznika, załącza obwód główny, następuje pełny moment obrotowy rozrusznika. Prąd elektryczny rozpoczyna płynąć od akumulatora poprzez zwarte styki włącznika do silnika rozrusznika. W zależności od rodzaju silnika prąd wewnątrz równolegle zasila wirnik i uzwojenie wzbudzenia stojana – silnik szeregowo-bocznikowy lub w przypadku silników szeregowych prąd przepływa przez uzwojenie stojana, a następnie przez uzwojenie wirnika. Przepływ prądu powoduje, że w uzwojeniu stojana wytwarza się pole magnetyczne. Obrót wirnika wewnątrz stojana rozpoczyna pracę silnika rozrusznika. Następuje obrót wału korbowego, który odbywa się poprzez sprzęgnięty zębnik z wieńcem koła zamachowego.

Podstawowymi elektrycznymi parametrami rozrusznika są:

- moc znamionowa – maksymalna moc oddawana przez rozrusznik, przy określonym napięciu i pojemności źródła zasilającego;
- napięcie znamionowe – napięcie odpowiadające napięciu akumulatora;
- pojemność akumulatora współpracującego z rozrusznikiem;

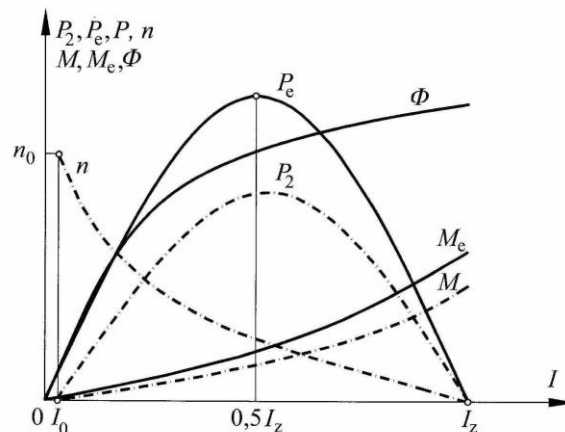
- znamionowa prędkość obrotowa – prędkość silnika rozrusznika podczas oddawania mocy maksymalnej.

Rys. 1.18. Spadki napięć w obwodzie rozrusznika



Źródło: Ćwiczenie 2, Badanie stanów dynamicznych rozrusznika, 21

Rys. 1.19. Charakterystyki elektromechaniczne rozrusznika



Źródło: Ćwiczenie 2, Badanie stanów dynamicznych rozrusznika, 22

Badanie układu rozruchowego w pojeździe samochodowym polega na:

- sprawdzeniu kompletności układu;
- prawidłowości połączeń;
- możliwości uruchomienia silnika;
- wyłączeniu się rozrusznika po rozpoczęciu pracy przez silnik.

Układ można uznać jako dobry, jeśli podczas takiej próby rozrusznik włącza się i wyłącza natychmiast bez problemów i bez zgrzytów oraz obraca wałem korbowym silnika z dostateczną prędkością obrotową.

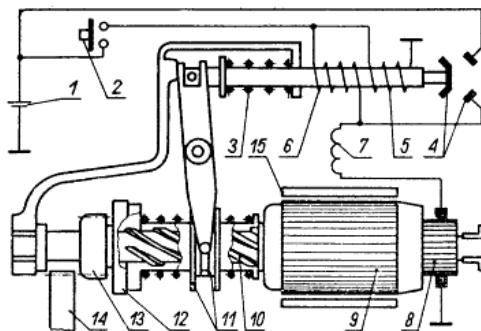
W pojazdach samochodowych stosuje się rozruszniki elektryczne wirujące. W rozruszniku najczęściej stosuje się silnik prądu stałego szeregowy, szeregowo-bocznikowy lub silnik z magnesami trwałymi. Rozruszniki można podzielić wg:

- budowy mechanizmu sprzęgającego – rozróżnia się rozrusznik ze śrubowym mechanizmem sprzęgającym o włączaniu jedno lub dwustopniowym, rozrusznik z przesuwym zębniakiem o włączaniu jedno lub dwu stopniowym, rozrusznik ze śrubowo-przesuwym zębniakiem;

- mechanizmu przeniesienia napędu – rozróżnia się rozrusznik z reduktorem, rozrusznik z przekładnią planetarną.

Rozrusznik z przesuwным zębnikiem jest rozrusznikiem montowanym do Fiata 126p, jest to najmniejszy rozrusznik występujący w pojazdach osobowych.

Rys. 1.20. Budowa rozrusznika ze śrubowo-przesuwным zębnikiem



1-akumulator, 2-przycisk rozruchowy, 3-sprężyna zwrotna, 4- styki wyłącznika, 5-uzwojenie trzymające, 6-uzwojenie wciągające, 7-uzwojenie wzbudzające rozrusznik, 8-komutator, 9-twornik, 10-wielowypust śrubowy, 11-tulejoprowadzące, 12-sprzęgło jednokierunkowe, 13-zębniak, 14-wieniec koła zamachowego, 15-biegun rozrusznika

Źródło: Paszkowski J., *Diagnostyka układu zasilania energią elektryczną pojazdu samochodowego, Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego*, Laboratorium Systemów pomiarowych i Diagnostycznych Pojazdów Samochodowych, 33

Zasada działania rozrusznika z przesuwным śrubowym mechanizmem sprzęgającym: urządzenie, włączające i wyłączające rozrusznik w postaci kółka zębatego (zębniaka), osadzone jest na wale wirnika na wielowypuście (rys. 1.21.). Ma ono kształt śruby. Kółko to może poruszać się wzdłuż wałka rozrusznika, podobnie jak nakrętka na śrubie o dużym skoku gwintu. Gwint nie jest nacięty bezpośrednio na wałku rozrusznika, lecz na obrotowej tulei, połączonej z wałkiem wirnika za pośrednictwem mocnej sprężyny.

Po uruchomieniu silnika wieniec zębaty zaczyna obracać się z większą prędkością niż kółko zębate rozrusznika, a więc zaczyna je napędzać, w wyniku czego kółko to wyzębina się i przesuwa z powrotem w kierunku wirnika. W tej chwili należy wyłączyć przepływ prądu przez uzwojenie rozrusznika.

System ten ma tę zaletę, że włączanie prądu w obwodzie rozrusznika, samoczynnie wywołuje jego sprzęgnięcie z wałem korbowym silnika, bez potrzeby stosowania dźwigni włączanej nożnie lub elektromagnetycznie przesuwałcej koło zębate. Samoczynnie również następuje odłączenie rozrusznika od wału korbowego.

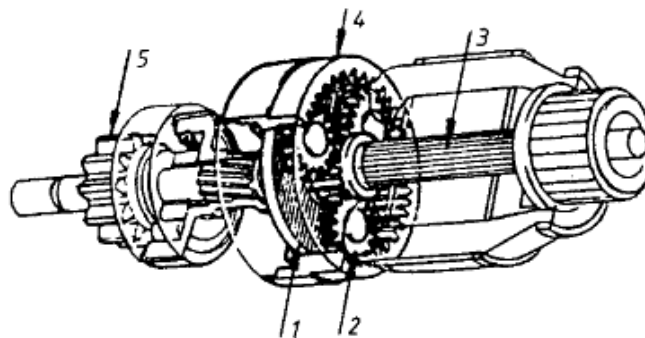
We współczesnych samochodach coraz powszechniej stosowane są rozruszniki z silnikami o magnesach trwałych. Są one zwykle wyposażone w przekładnię planetarną, gdzie do wytwarzania pola magnetycznego stosuje się wycinki magnesów ferrytowych. Taki rozrusznik ma mniejszy wirnik przekazujący moment obrotowy na przekładnię planetarną, następnie poprzez zębniak na zębatkę koła zamachowego. Przekładnię planetarna tworzą uzębione wewnętrznie koło koronowe oraz uzębione zewnętrznie trzy satelity i koło słończne. Redukcji prędkości obrotowej dokonują satelity i koło wieńcowe. Podczas obrotu wału twornika silnika elektrycznego, satelity obracają się w przeciwnym kierunku, próbując obrócić koło wieńcowe. Satelity za pomocą kosza obra-

cają wałkiem wyjściowym przekładni. Prędkość obrotowa wałka wyjściowego jest pięciokrotnie mniejsza niż prędkość obrotowa wałka twornika.

Głównymi zaletami rozruszników z magnesami trwałymi i przekładnią planetarną są:

- prostsza konstrukcja i technologia wytwarzania,
- mniejsza objętość i zużycie materiałów,
- większa sprawność,
- niższe koszty produkcji.

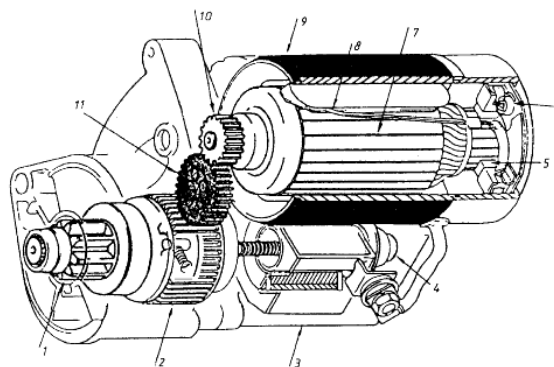
Rys. 1.21. Mechanizm redukcji prędkości obrotowej w rozruszniku z przekładnią planetarną



1-wałek wyjściowy i kosz satelitów, 2-satelita, 3-wałek twornika, 4-koło wieńcowe, 5-zębnik

Źródło: Paszkowski J., *Diagnostyka układu zasilania energią elektryczną pojazdu samochodowego, Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego*, Laboratorium Systemów pomiarowych i Diagnostycznych Pojazdów Samochodowych, 35

Rys. 1.22. Rozruszniki z reduktorem



1-zębnik, 2-sprzęgło jednokierunkowe, 3-wyłącznik elektromagnetyczny, 4-rdzeń wyłącznika elektromagnetycznego, 5-szczotka, 7-twornik silnika, 8-cewka magnetyczna, 9-jarzmo magnetyczne, 10-koło zębate napędowe, 11-pośrednie koło zębate

Źródło: Ocioszyński J., *Elektrotechnika i elektronika pojazdów samochodowych*, WSiP, Warszawa 1996, 151

Rozrusznik z reduktorem wytwarza znacznie mniejszy moment obrotowy, niż moment obrotowy rozrusznika konwencjonalnego. Zasada działania rozrusznika jest taka sama jak w przypadku rozrusznika konwencjonalnego.

Szczególnym rodzajem rozrusznika, stosowanego w pojazdach samochodowych, jest rozrusznik znajdujący się na wale silnika spalinowego – dynamostarter. Jest to wielobiegunowy silnik szeregowo-bocznikowy, który łączy funkcje prądnicy i rozrusznika. Podczas prądnicowego trybu pracy wykorzystywane jest uzwojenie bocznikowe, natomiast w trybie rozrusznika czynne są wszystkie uzwojenia stojana.

Rozrusznik możemy sprawdzić poprzez pomiar napięcia w czasie rozruchu. Gdy będzie za duży spadek napięcia, przy naładowanym akumulatorze, może to świadczyć o zwarciu uzwojeń lub zużyciu tulejek ślizgowych. Ten stan też świadczy o dobrym połączeniu w instalacji elektrycznej.

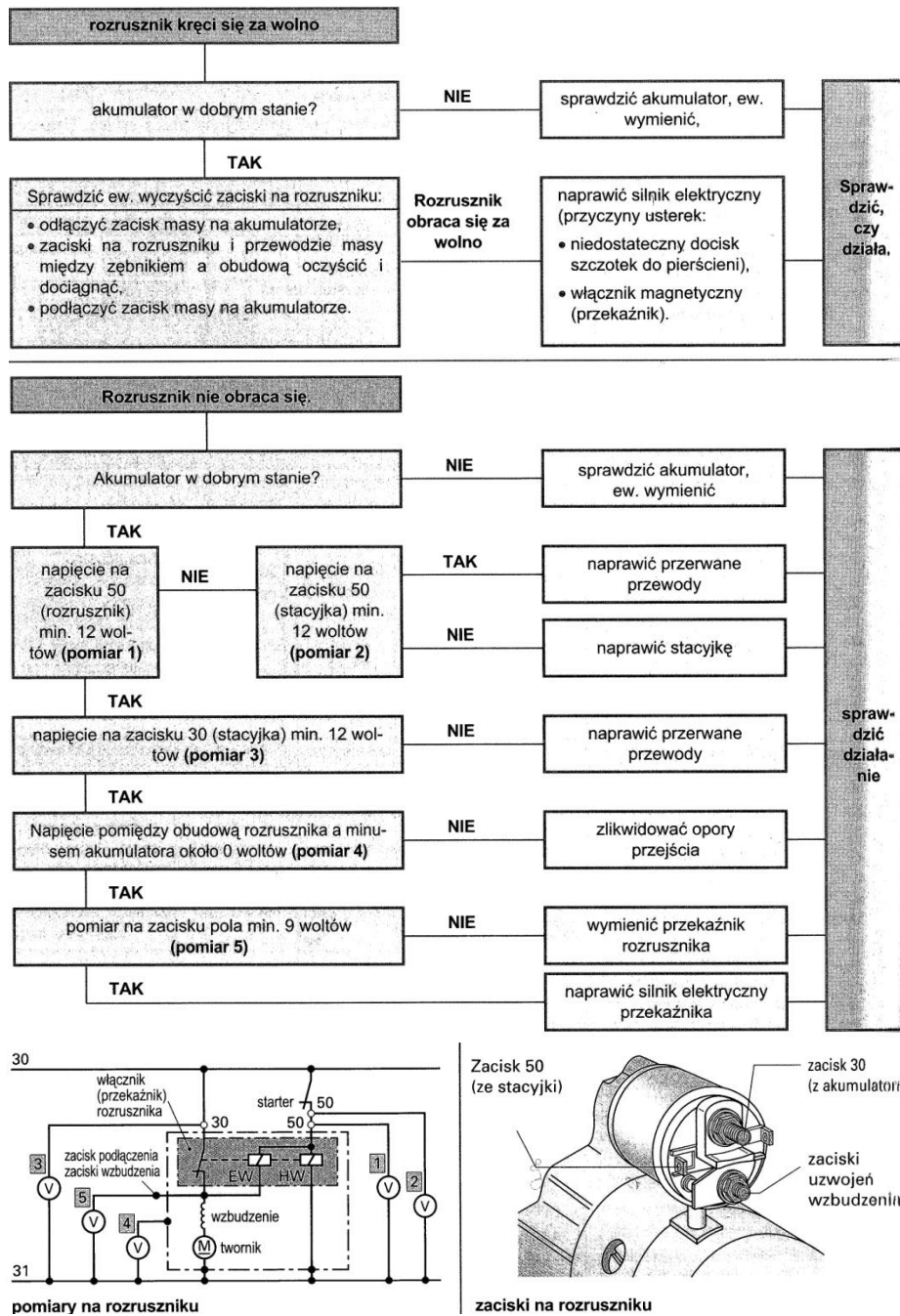
Innym sposobem jest pomiar prądu zwarcia (podanie prądu na rozrusznik, gdy jest zablokowany, przez włączenie biegu wstecznego i zaciągnięcie hamulca ręcznego). Jeżeli prąd zwarcia będzie za mały to może to świadczyć o uszkodzeniu rozrusznika lub braku należytego styku połączenia przewodów elektrycznych, gdy prąd będzie za duży to może to świadczyć o uszkodzeniu rozrusznika lub zwarciu na przewodach elektrycznych.

Sprawdzanie obwodu rozruchowego przeprowadza się w ujemnej temperaturze otoczenia -15°C . Temperatura oleju w silniku i elektrolitu w akumulatorze nie powinna różnić się od temperatury otoczenia więcej niż 10°C . Podczas próby rozruchu sprzęgło oraz urządzenia wspomagające rozruch powinny być włączone, a układ zapłonowy (lub dopływ paliwa) wyłączony, by silnik nie mógł pracować. Dla tak przygotowanego pojazdu wykonuje się cyklicznie kilka lub kilkanaście rozruchów, przy czym pod koniec próby trzeba zmierzyć:

- prędkość obrotową wału korbowego za pomocą obrotomierza elektronicznego, która powinna być równa między innymi dla silników wysokoprężnych z wtryskiem bezpośrednim – 100 do 120 obr/min; silników wysokoprężnych z komorą wstępną i świecami żarowymi – 30 do 100 obr/min; silników wysokoprężnych z komorą wstępną, ale bez świec żarowych – 100 do 200 obr/min;
- napięcie na zaciskach cewki zapłonowej lub świec żarowych nie powinno być niższe niż 50% napięcia znamionowego;
- przy pomocy amperomierza prąd rozruchowy płynący w uzwojeniu twornika rozrusznika. Nie powinien być większy od podanego w dokumentacji technicznej.

Wstępną diagnostykę rozrusznika przeprowadza się w poprzez wykonanie testu zwarcia. Przed przystąpieniem do badania pojazd należy unieruchomić, zablokować na najwyższym biegu silnik spalinowy.

Rys. 1.23. Schemat sposobu wykrywania usterek w układzie rozruchu



Źródło: Potrykus J., *Poradnik techniki samochodowej*, REA, Warszawa, 2010, 418

Tabela 1.6 Usterki rozruszników

OBJAWY	PRZYCZYNY
Rozrusznik nie działa	<ul style="list-style-type: none"> - rozładowany/uszkodzony akumulator; - wadliwe styki na drodze prądu w obwodzie rozruchu; - brak styku szczotek z komutatora; - uszkodzenie uzwojenia wirnika, uszkodzenia szeregowego lub komutatora; - uszkodzony przycisk rozruchowy; - uszkodzony wyłącznik elektromagnetyczny
Rozrusznik za wolno obraca koło zamachowe silnika	<ul style="list-style-type: none"> - akumulator częściowo rozładowany; - niedokręcone złącze rozrusznika; - zużyte szczotki; - zwarcie w uzwojeniu wzbudzenia lub wirnika; - zanieczyszczony/opalony komutator.
Rozrusznik nie wyłącza się po włączeniu przycisku rozruchowego	<ul style="list-style-type: none"> - zakleszczenie mechanizmu sprzęgającego na wielowypuście wału silnika rozruchowego; - sklejenie styków wyłącznika elektromagnetycznego.
Hałas podczas pracy rozrusznika	<ul style="list-style-type: none"> - zużyte tuleje rozrusznika; - ocieranie się wirnika o nabiegunniki; - opóźnione wyłączenie z wieńca koła zamachowego
Wirnik rozrusznika nie powoduje obracania się koła zamachowego silnika	<ul style="list-style-type: none"> - poślizg sprzęgła w mechanizmie sprzęgającym; - zużyte zęby zębniaka lub wieńca koła zamachowego

Źródło: Opracowanie własne.

Bibliografia:

1. P. Kubiak, M. Zalewski (2012). *Pracownia diagnostyki pojazdów samochodowych*. Warszawa: WKŁ.
2. A.Herner, H.J. Reihl (2007). *Elektronika i elektrotechnika w pojazdach samochodowych*. Warszawa: WKŁ.
3. K.Pacholski (2011). *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych, cz.1 Wyposażenie elektryczne i elektromechaniczne*. Warszawa: WKŁ.
4. M.Dąbrowski, S. Kowalczyk, G. Trawiński (2011). *Pracownia diagnostyki pojazdów samochodowych*. Warszawa: WSiP.