



Marek Adamiec

Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych



PODRECZNIKI

Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych

Podręczniki – Politechnika Lubelska



LUBLIN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY
MECHANICAL
ENGINEERING FACULTY

Marek Adamiec

Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDAWNICTWO

Lublin 2023

Recenzenci:

dr hab. inż. Zbigniew Kneba, prof. uczelni, Politechnika Gdańska

dr hab. inż. Krzysztof Górski, prof. uczelni, Uniwersytet Technologiczno-
-Humanistyczny w Radomiu

Wszystkie rysunki i zdjęcia, o ile nie wskazano inaczej, zostały wykonane
przez autora podręcznika.

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

ISBN: 978-83-7947-570-4

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej

www.wpl.pollub.pl

ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59

Druk: Drukarnia Akapit sp. z o.o.

drukarniaakapit.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl
Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na
tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

Nakład: 50 egz.

Spis treści

Streszczenie.....	7
Abstract.....	8
Wykaz oznaczeń i skrótów.....	9
Wstęp	13

Część pierwsza

Podstawy teoretyczne

1. Instalacje elektryczne.....	17
2. Akumulatory	23
3. Alternatory	31
4. Ogniwa paliwowe	37
5. Rozruszniki	41
6. Elektryczne silniki wykonawcze.....	45
7. Elektryczne elementy wykonawcze.....	53
8. Czujniki.....	69
9. Elementy układu oświetlenia	91
10. Układy elektroniczne	103

Część druga

Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych

1. Badanie instalacji elektrycznych.....	115
2. Badanie akumulatorów	117
3. Badanie alternatora	121
4. Badanie ogniwa paliwowego	125
5. Badanie rozrusznika.....	129
6. Badanie elektrycznych silników wykonawczych	133
7. Badanie elektrycznych elementów wykonawczych.....	137
8. Badanie czujników	141
9. Badanie elementów układu oświetlenia.....	145
10. Badanie układów elektronicznych	147
Zakończenie	151
Literatura.....	153

Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych

Streszczenie

Podręcznik pt. *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych* zawiera część teoretyczną oraz instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych. Obydwie części opracowania złożone są z dziesięciu takich samych tematów. Główne zagadnienia opisane w podręczniku to: instalacje elektryczne, źródła energii, elementy wykonawcze, czujniki, silniki elektryczne, elementy układu oświetlenia i układy elektroniczne. W części teoretycznej zamieszczono opis budowy, zasadę działania, definicje, zależności matematyczne, dane liczbowe, właściwości, cechy charakterystyczne, uszkodzenia, schematy, zdjęcia, charakterystyki i przebiegi napięciowe elementów, urządzeń i układów elektronicznych. W części praktycznej podano cele ćwiczeń, zagadnienia do opracowania, opisy wykonania badań i opracowania wyników oraz tabele służące do wpisywania wyników pomiarów i obserwacji. Na końcu podręcznika zamieszczono wykaz literatury.

Celem części teoretycznej podręcznika jest przedstawienie zagadnień związanych z elektrotechniką i elektroniką w pojazdach samochodowych oraz przygotowanie do wykonania ćwiczeń laboratoryjnych. Celem części praktycznej podręcznika jest pomoc w wykonaniu badań, opracowaniu ich wyników oraz w analizie zjawisk fizycznych, właściwości i uszkodzeń elementów, urządzeń oraz układów elektrycznych i elektronicznych w pojazdach samochodowych.

Słowa kluczowe: elektrotechnika samochodowa, elektronika samochodowa, pojazd samochodowy, elementy elektryczne, urządzenia elektryczne, układy elektroniczne

Electrical and elektronik engineering in motor vehicles

Abstract

The handbook entitled *Electrical and electronic engineering in motor vehicles* includes a theoretical part and instructions for laboratory exercises. Both parts of the study consist of the same ten topics. The main issues described in the handbook are: electrical installations, energy sources, actuators, sensors, electric motors, lighting system components and electronic systems. The theoretical part includes a description of the structure, principle of operation, definitions, mathematical relationships, numerical data, properties, characteristics, defects, schematics, photos, characteristics and voltage courses of elements, devices and electronic systems. The practical part includes the purpose of the exercise, the issues to be developed, a description of the performance of tests and the development of results, and tables for entering the results of measurements and observations. At the end of the handbook a list of literature is included.

The purpose of the theoretical part of the handbook is to be able to learn the issues of electrical and electronic engineering in motor vehicles and to prepare for the performance of laboratory exercises. The purpose of the practical part of the handbook is to be able to do research, develop its results and analyze physical phenomena, properties and defects of elements, devices and electrical and electronic systems in motor vehicles.

Keywords: automotive electrotechnology, automotive electronics, motor vehicle, electrical components, electrical equipment, electronic systems

Wykaz oznaczeń i skrótów

A	– pole powierzchni
B	– indukcja magnetyczna
C	– pojemność elektryczna kondensatora
c	– stała konstrukcyjna silnika, prądnicy, cewki
$\cos \varphi$	– współczynnik mocy elektrycznej
d	– grubość
E	– siła elektromotoryczna, natężenie oświetlenia, moduł Younga
e	– siła elektromotoryczna chwilowa
f	– częstotliwość napięcia (prądu)
F	– siła, stała Faradaya [96485 A · s/mol]
I	– prąd elektryczny stały lub wartość skuteczna prądu zmiennego, światłość
i	– prąd chwilowy
J	– moment bezwładności
K_m	– fotometryczny równoważnik promieniowania (683 lm/W)
k_t	– stała tensometru
L	– indukcyjność cewki, luminancja
l	– długość
M	– moment siły
m_{H_2}	– masa molowa wodoru (2,016 g/mol)
m_{O_2}	– masa molowa tlenu (16 g/mol)
N	– liczba zwojów cewki (uzwojenia)
N	– typ półprzewodnika o przewodnictwie elektronowym
n	– prędkość obrotowa
P	– moc elektryczna, moc elektryczna czynna
P	– typ półprzewodnika o przewodnictwie dziurowym
$P-N$	– złącze półprzewodników o różnych rodzajach przewodnictwa
p	– ciśnienie
P_p	– moc promienista źródła światła
q	– ładunek elektryczny
Q	– pojemność elektryczna akumulatora
R	– rezystancja, wskaźnik oddawania barw
r	– długość ramienia działania siły
R_H	– stała Halla (zależna od materiału)

t	– czas
T	– temperatura, stała czasowa obwodu, trwałość źródła światła
T_c	– temperatura barwowa
U	– napięcie elektryczne stałe lub wartość skuteczna napięcia zmiennego
u	– napięcie chwilowe
V	– prędkość liniowa
V_λ	– względna skuteczność świetlna promieniowania monochromatycznego
W	– energia
W_{H_2}	– zapotrzebowanie ogniwa paliwowego na wodór
W_{O_2}	– zapotrzebowanie ogniwa paliwowego na tlen
α	– kąt płaski, współczynnik temperaturowy termistora
ΔU	– spadek napięcia
ε	– wydłużenie względne tensometru
ε_0	– przenikalność elektryczna próżni ($8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m)
ε_r	– przenikalność elektryczna względna środowiska
η	– sprawność, skuteczność świetlna
λ	– współczynnik nadmiaru powietrza w mieszanke paliwowo-powietrznej
μ_0	– przenikalność magnetyczna próżni ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)
μ_r	– przenikalność magnetyczna względna środowiska
ρ	– rezystywność, natężenie przepływu gazu
σ	– naprężenie
Φ	– strumień magnetyczny, strumień świetlny, strumień energetyczny źródła światła
ω	– prędkość kątowna, kąt bryłowy
A/F (AFR)	– <i>air to fuel ratio</i> (stosunek masy powietrza do masy paliwa)
ABS	– <i>anti-lock braking system</i> (system zapobiegający blokowaniu kół pojazdu podczas hamowania)
ACC	– <i>adaptive cruise control</i> (tempomat adaptacyjny)
AFC	– <i>alkaline fuel cell</i> (alkaliczne ogniwo paliwowe)
AGM	– <i>absorbent glass mat</i> (akumulator z matą szklaną absorbującą elektrolit)
BLDC	– <i>brushless direct current</i> (bezszcotkowy silnik prądu stałego)
BLSM	– <i>brushless synchronous motor</i> (bezszcotkowy silnik synchroniczny)
CTR	– <i>critical temperature resistor</i> (termistor o skokowej zmianie rezystancji)

EFB	– <i>enhanced flooded battery</i> (ulepszony akumulator z płytami dodatnimi pokrytymi powłoką z poliestru)
ESP	– <i>electronic stability program</i> (system stabilizacji toru jazdy samochodu)
LED	– <i>light emitting diode</i> (dioda emitująca światło)
LPG	– <i>liquid petroleum gas</i> (gaz płynny ropopochodny)
NTC	– <i>negative temperature coefficient</i> (termistor o ujemnym współczynniku temperaturowym)
OBD	– <i>on board diagnostics</i> (diagnostyka pokładowa)
OLED	– <i>organic light emitting diode</i> (organiczna dioda emitująca światło)
PEMFC	– <i>proton exchange membrane fuel cell</i> (ogniwo paliwowe z membraną protonowymienną)
PMDC	– <i>permanent magnet direct current</i> (silnik prądu stałego z magnesami trwałymi)
PTC	– <i>positive temperature coefficient</i> (termistor o dodatnim współczynniku temperaturowym)
PWM	– <i>pulse width modulation</i> (modulacja szerokości impulsu)
SLA	– <i>sealed lead acid</i> (szczelny bezobsługowy akumulator kwasowo-ołowiowy)
VRLA	– <i>valve regulated lead acid</i> (akumulator bezobsługowy z ciśnieniowymi zaworami gazowymi)

Wstęp

Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych jest zagadnieniem bardzo rozbudowanym, połączonym ściśle z wieloma dziedzinami wiedzy i ulegającym ciągłym zmianom. Jednym z problemów przy tego typu opracowaniach jest wyodrębnienie zagadnień najbardziej kluczowych, które tworzą spójną całość i nie wykraczają poza główną tematykę. W przypadku tego podręcznika dodatkowym wyzwaniem stało się prawidłowe połączenie części teoretycznej z ćwiczeniami laboratoryjnymi. Głównym celem i założeniem przy opracowaniu części teoretycznej było jak najlepsze przygotowanie do wykonania ćwiczeń praktycznych, ale również pozostawienie pewnej części zagadnień do samodzielnej analizy po wykonaniu badań laboratoryjnych. Dotyczy to zwłaszcza funkcji poszczególnych elementów w działaniu urządzenia czy układu oraz analizy wyników pomiarów prezentowanych w formie liczbowej i graficznej (charakterystyki i przebiegi napięciowe). Analiza ta powinna wyjaśniać zjawiska fizyczne i chemiczne, zasadę działania, właściwości oraz przyczyny i skutki uszkodzeń badanych elementów, urządzeń i układów.

Podręcznik jest przeznaczony głównie dla studentów Wydziału Mechanicznego i kierunku inżynieria pojazdów. Może być także wykorzystywany przez wszystkich zainteresowanych techniką motoryzacyjną, a szczególnie zagadnieniami związanymi z elektrotechniką i elektroniką. W programie studiów pierwszego stopnia na tym kierunku przewidziano trzy przedmioty związane z zagadnieniami elektrycznymi, są to w kolejności: podstawy elektrotechniki i elektroniki, elektrotechnika i elektronika w pojazdach oraz systemy sterowania w pojazdach. Każdy z przedmiotów realizowany jest w formie wykładów i laboratoriów, a pierwszy z nich dodatkowo w formie ćwiczeń rachunkowych. Dlatego w tym opracowaniu nie znalazły się zarówno zagadnienia elektrotechniki podstawowej, jak i tematy związane z elektrycznym sterowaniem pracą silników spalinowych i różnych układów elektrycznych oraz mechanicznych w pojazdach. W ramach zajęć laboratoryjnych z przedmiotu podstawy elektrotechniki i elektroniki łączenie układów elektrycznych odbywa się głównie na podstawie schematów. Natomiast w tym opracowaniu, w niektórych ćwiczeniach, opisano, jakie elementy i w jaki sposób należy ze sobą połączyć, a dodatkowym zadaniem jest narysowanie schematu montowanego układu elektrycznego. W części praktycznej przewidziano również kilka zadań, które pozwolą przypomnieć, utrwalić lub uzupełnić umiejętności zdobyte w ramach przedmiotu podstawy elektrotechniki i elektroniki. Większość zagadnień związanych z tematyką pojazdów elektrycznych i hybrydowych przewidziana jest na drugi stopień studiów, ale w tym opracowaniu w kilku rozdziałach znajduje się już wprowadzenie do tej tematyki (akumulatory, ogniwa paliwowe, silniki elektryczne, czujniki).

Główne ogólne zagadnienia i tematy omówione w podręczniku to instalacje elektryczne, źródła energii, elementy wykonawcze, czujniki, silniki elektryczne, elementy układu oświetlenia i układy elektroniczne. Struktura poszczególnych rozdziałów jest

podobna, główny nacisk położono na omówienie budowy i zasady działania, a w dalszej kolejności zamieszczono najważniejsze definicje, symbole, zależności matematyczne, dane liczbowe, właściwości, cechy charakterystyczne i uszkodzenia urządzeń, elementów i układów. W części graficznej podręcznika pokazano budowę zewnętrzną i wewnętrzną elementów oraz urządzeń elektrycznych, a także schematy, charakterystyki i przebiegi napięciowe. Z powodu dużej liczby czujników i ich różnorodności zamieszczono typowe oznaczenia „pinów” w złączu elektrycznym. Podjęto starania, aby nazewnictwo techniczne było prawidłowe, wiele zagadnień opracowano w punktach w celu przejrzystości, uporządkowania tematu i łatwiejszego zapamiętania.

Część teoretyczna opracowania ma za zadanie wyjaśnić trudne zagadnienia, umożliwić poznanie fachowego słownictwa i przygotować do wykonania ćwiczeń laboratoryjnych, których celem jest zapoznanie się z budową i doświadczalne sprawdzenie specyfiki pracy oraz właściwości urządzeń, elementów i układów elektrycznych w pojazdach. Ćwiczenia laboratoryjne są zaplanowane do wykonania na stanowisku, bez udziału pojazdu, jak również w hamowni, bezpośrednio z wykorzystaniem pojazdu samochodowego. Pierwsza metoda dydaktyczna pozwala na dokładniejsze oględziny i bezpośrednie pomiary elektryczne wielkości fizycznych związanych z elementami i urządzeniami stosowanymi w pojazdach. Natomiast badanie elementów i układów w samochodzie daje możliwość zobaczenia, jak i gdzie montowane są poszczególne urządzenia oraz poznania i zastosowania specjalistycznego osprzętu i metodyki badań ogólnych oraz diagnostycznych. Bardzo istotnym aspektem ćwiczeń laboratoryjnych jest uświadomienie sobie konieczności przestrzegania zasad bezpiecznego postępowania w czynnościach związanych z pomiarami wielkości elektrycznych i obsługą urządzeń badawczych. Procedura pomiarów została opisana dokładnie, ale nie szczegółowo, ponieważ obiekt badań, aparatura i metodyka mogą ulegać zmianom. Przewiduje się około trzech godzin na wykonanie każdego ćwiczenia. W praktyce tematy mogą być łączone w celu przeprowadzenia ćwiczeń najpierw na stanowisku pomiarowym, a później na hamowni z wykorzystaniem pojazdu samochodowego, diagnostyki i testera OBD. Do wszystkich tematów zostały również opracowane zagadnienia służące do indywidualnego przygotowania się uczestnika zajęć oraz zbiorczy wykaz fachowej literatury.

Część pierwsza

Podstawy teoretyczne



1. Instalacje elektryczne

Zadaniem instalacji elektrycznej pojazdu jest doprowadzenie energii elektrycznej ze źródła zasilania (akumulator, alternator) do wszystkich zespołów i podzespołów, które wymagają zasilania oraz przekazywania sygnałów sterujących, niezbędnych do ich poprawnego działania. Sygnały są przekazywane z czujników do sterowników i ze sterowników do elementów wykonawczych. W instalacji występują wiązki przewodów zasilających i przesyłających sygnały elektryczne analogowe oraz magistrale danych do transmisji sygnałów cyfrowych. Instalacje w pojazdach samochodowych ze względu na konfigurację i napięcie można podzielić w następujący sposób:

- jedнопrzewodowe (potencjał dodatni zasilania połączony jest z odbiornikami, a potencjał ujemny z masą pojazdu),
- dwuprzewodowe (np. w pojazdach do transportu ładunków niebezpiecznych),
- dwunapięciowe (12 i 24 V lub 12 i 48 V),
- wysokonapięciowe 400–800 V (w pojazdach hybrydowych i elektrycznych, występuje tam również instalacja niskonapięciowa).

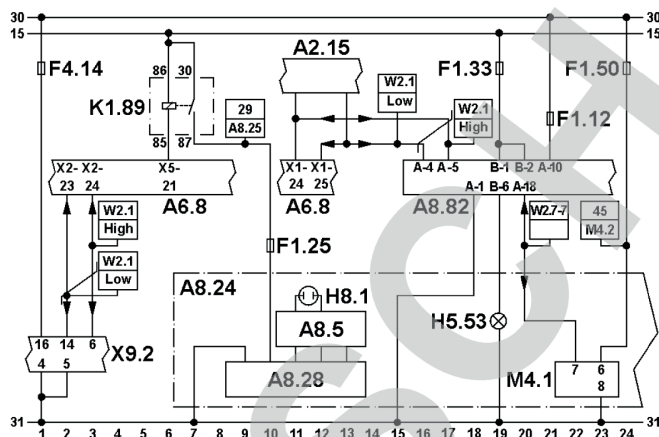
W instalacji dwunapięciowej rozrusznik może być zasilany napięciem 24 V, a pozostałe elementy napięciem 12 V, źródło energii stanowią dwa akumulatory połączone szeregowo, a po rozruchu silnika przełączane do konfiguracji równoległej. W innym przypadku, oprócz standardowego akumulatora 12 V, może być stosowany dodatkowy akumulator litowo-jonowy o napięciu 48 V, a także maszyna elektryczna spełniająca funkcję rozrusznika oraz alternatora, która dodatkowo może być używana do wspomagania układu napędowego przez połączenie z wałem korbowym za pomocą paska wieloklinowego (np. w czasie przyspieszania pojazdu). W takim przypadku stosuje się również układ odzyskiwania energii podczas hamowania i zasilanie klimatyzacji w czasie działania systemu start–stop [39]. Oprócz stosowania standardowych wartości napięcia wykorzystuje się także przetwornice, które wytwarzają napięcie o wartości 80–150 V w celu zasilania wtryskiwaczy paliwa i 20–30 kV do zapłonu lamp wyładowczych. Natomiast wiele czujników i nastawników jest zasilanych mniejszym napięciem o wartości 5 V. Poniżej wymieniono główne elementy samochodowych instalacji elektrycznych, które służą do łączenia i zabezpieczania elementów aktywnych (źródeł) i pasywnych (odbiorników) oraz sterowników, czujników i elementów wykonawczych:

- przewody (w postaci linki, drutu lub plecionki; ekranowane; zapłonowe),
- złącza (konektory, gniazda, wtyczki),
- zaciski,
- przekaźniki elektromagnetyczne,
- bezpieczniki,
- włączniki,
- przyciski,
- wskaźniki,

- lampki sygnalizacyjne,
- elementy izolacyjne.

Połączenia poszczególnych elementów elektrycznych z instalacją obrazowane są za pomocą schematów głównych i częściowych zawierających różne obwody. Na schematach, w zależności od ich rodzaju i szczegółowości, mogą znajdować się oznaczenia złącz i gniazd, kolory, funkcje i przekroje poprzeczne przewodów, moc i symbole odbiorników, układy połączeń przekaźników i wartości zabezpieczeń prądowych (rys. 1.1). Oznaczenia głównych punktów na schematach elektrycznych i kolory przewodów są następujące:

- 15 – punkt zasilany napięciem źródła energii po włączeniu zapłonu (przewód zielony lub zielony z kolorowymi paskami),
- 30 – punkt zasilany bezpośrednim napięciem źródła energii (przewód czerwony lub czerwony z paskami),
- 31 – masa (przewód brązowy lub czarny),
- x – punkt zasilany napięciem źródła energii po włączeniu zapłonu, połączony z odbiornikami dużej mocy (np. światła drogowe) i odłączany w chwili uruchomienia rozrusznika.



Rys. 1.1. Przykładowy schemat częściowy układu oświetlenia pojazdu (źródło: oprogramowanie testera OBD). Najważniejsze oznaczenia: A2.15 – sterownik ESP, A6.8 – centralny moduł elektroniczny, A8.24 – reflektor lewy, A8.28 – urządzenie preselekcyjne lewe, A8.5 – układ zapłonowy lewy, A8.82 – sterownik automatycznej regulacji świateł mijania i kierunkowskazów, F1.12, F1.25, F1.33, F1.50 – bezpieczniki w skrzynce nr 1, F4.14 – bezpiecznik w skrzynce nr 4, H5.53 – światło kierunkowe lewe, H8.1 – lampa wyładowcza lewa, K1.89 – przekaźnik świateł mijania, M4.1 – siłownik przedni lewy

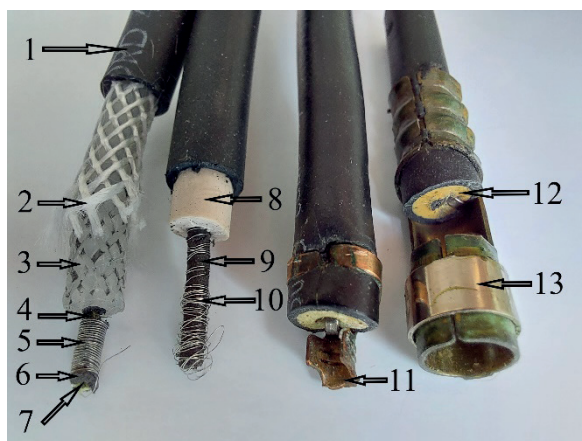
Przewody są oznaczane za pomocą liter i cyfr, które symbolizują kolor izolacji i pole przekroju poprzecznego żyły przewodzącej [60]. Oznaczenia literowe są następujące: ge – żółty, gn – zielony, gr – szary, bl – niebieski, br – brązowy, sw – czarny, li – fioletowy, ro – czerwony, or – pomarańczowy. W przypadku oznaczenia np. gn/ge kolorem podstawowym jest zielony, a dodatkowym żółty. Przewody połączone

za pomocą złącz jedno – lub wielostykowych posiadają dodatkowo oznaczenie literowe T oraz oznaczenia cyfrowe z dodatkową literą symbolizującą kolor obudowy, np:

- T10d – złącze dziesięciostykowe brązowe,
- T16 – złącze szesnastostykowe,
- T32b – złącze trzydziestodwustykowe zielone,
- T16/27 – złącze szesnastostykowe z punktem styku 27.

Wzajemne połączenie wtyczki i gniazda zabezpieczone jest specjalną blokadą chroniącą przed samoczynnym rozłączeniem w wyniku drgań. W celu poprawnego rozłączenia takich elementów należy nacisnąć na zatrzask, który, unosząc się, umożliwi wysunięcie wtyczki z gniazda. Dla przewodów o znormalizowanych przekrojach poprzecznych określa się maksymalne obciążenie prądowe: $0,75 \text{ mm}^2 - 4 \text{ A}$, $1 \text{ mm}^2 - 6 \text{ A}$, $1,5 \text{ mm}^2 - 10 \text{ A}$, $2,5 \text{ mm}^2 - 15 \text{ A}$, $4 \text{ mm}^2 - 25 \text{ A}$, $6 \text{ mm}^2 - 40 \text{ A}$, $10 \text{ mm}^2 - 60 \text{ A}$ [60]. W układach zapłonowych, w przypadku gdy cewki nie są łączone bezpośrednio ze świecami, stosowane są przewody zapłonowe wykonane z następujących elementów (rys. 1.2):

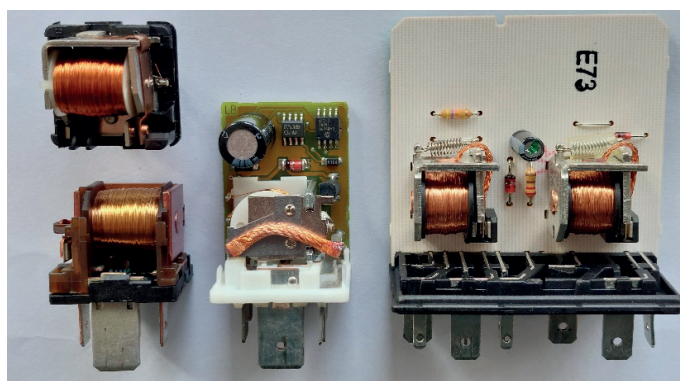
- rdzeń wewnętrzny syntetyczny (na bazie włókna szklanego i poliamidu),
- rdzeń ferromagnetyczny,
- przewód elektryczny spiralnie nawinięty na rdzeniu,
- powłoka izolacyjna (syntetyczny elastomer),
- opłot lub taśma wzmacniająca,
- osłona zewnętrzna (syntetyczny elastomer),
- złącze elektryczne,
- rezystor przeciwzakłóceńowy (opcjonalnie).



Rys. 1.2. Budowa wewnętrzna przewodów zapłonowych (1 – osłona zewnętrzna, 2 – opłot syntetyczny, 3 – powłoka izolacyjna, 4 – rdzeń syntetyczny, 5 – spiralny przewód elektryczny, 6 – materiał ferromagnetyczny, 7 – rdzeń syntetyczny, 8 – powłoka izolacyjna, 9 – materiał ferromagnetyczny, 10 – spiralny przewód elektryczny, 11 – złącze elektryczne, 12 – powłoka izolacyjna, 13 – złącze elektryczne)

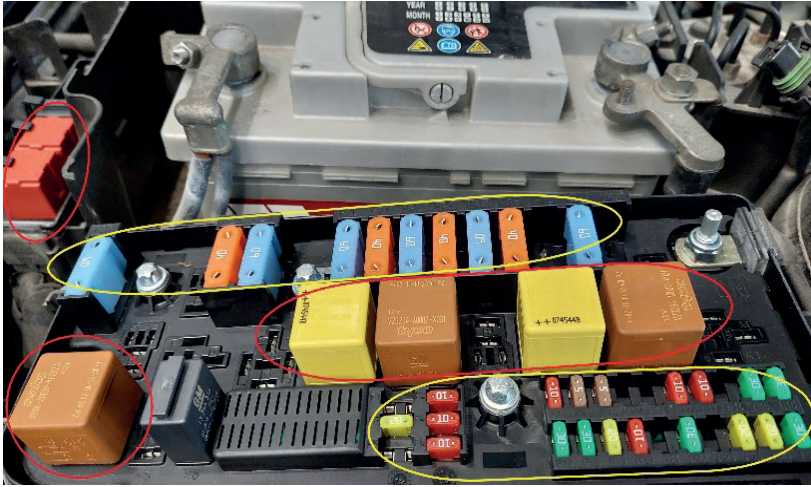
Izolacja przewodów wykonywana jest z polichlorku winylu, w niektórych przypadkach dodatkowo stosuje się warstwę oplotu stalowego lub folię aluminiową łączoną z masą pojazdu. Ekranowanie wykorzystuje się w celu zmniejszenia generowania pola elektromagnetycznego, np. w przewodzie zapłonowym lub przewodzie połączonym z czujnikiem spalania stukowego. Przewody magistrali danych (CAN, LIN) nie posiadają dodatkowego ekranowania.

Przełączniki elektromagnetyczne w instalacjach pojazdów zbudowane są z cewki, ruchomego rdzenia ferromagnetycznego, sprężyny, styków ruchomych i nieruchomych, układów elektronicznych, obudowy i zacisków. Posiadają obwody główne i sterujące oraz styki zwierne (normalnie otwarte), rozwierne (normalnie zamknięte) i przełączające. Styki są wykonywane z materiałów dobrze przewodzących prąd i odpornych na utlenianie, np. ze związków chemicznych AgNi lub AgSnO . Przykładowe odbiorniki włączane za pomocą przełączników to źródła światła, elementy ogrzewania szyby, pompa paliwa, wentylator chłodnicy czy generator sygnału dźwiękowego. Zacziski obwodu sterowania przełącznika mają oznaczenia 85 i 86, a obwodu głównego 30 i 87 (dla styków przełączających 87a i 87b). Elektroniczne układy sterowania cewką przełącznika mogą znajdować się w module przełącznika (rys. 1.3).



Rys. 1.3. Przełączniki elektromagnetyczne stosowane w pojazdach samochodowych

Skrzynki przełączników i bezpieczników w pojazdach umieszczane są w komorze silnika, w przedziale deski rozdzielczej, pod podłogą bagażnika, a nawet pod fotelem i podnóżkiem kierowcy (rys. 1.4). Zabezpieczeń nie stosuje się w obwodach łączących rozrusznik, alternator, włącznik zapłonu i skrzynkę bezpieczników z akumulatorem oraz w układzie zapłonowym. W obwodach, które mogą spowodować wyłączenie silnika pojazdu, mogą być używane bezpieczniki termiczne wielokrotnego użytku. Powszechnie wykorzystuje się bezpieczniki topikowe płytkowe, w niektórych pojazdach występują topikowe rurkowe lub nożycowe dużej mocy. Bezpieczniki rurkowe i nożycowe montuje się za pomocą specjalnych gniazd bezpośrednio na przewodach zasilających. Rozwiązania niekonwencjonalne to bezpieczniki półprzewodnikowe i polimerowe wielokrotnego użytku.



Rys. 1.4. Skrzynki przekaźników i bezpieczników w komorze silnika obok akumulatora (przekaźniki zaznaczono czerwoną obwódką, bezpieczniki zaznaczono żółtą obwódką)

Bezpieczniki są włączane szeregowo do obwodu odbiornika energii elektrycznej, a na schematach oznaczane literą S i jedną lub dwoma cyframi odpowiadającymi numerowi bezpiecznika w skrzynce. Dla liczby większej od 22 numeracja zmienia się według poniższego przykładu [60]:

- S4 – bezpiecznik czwarty w skrzynce bezpieczników,
- S22 – bezpiecznik dwudziesty drugi w skrzynce bezpieczników,
- S223 – bezpiecznik dwudziesty trzeci w skrzynce bezpieczników.

Bezpieczniki płytkowe dzieli się na grupy i charakteryzuje prądem zadziałania oraz wymiarami (szerokość, głębokość i wysokość korpusu wraz z nóżkami):

- bezpieczniki maxi 20–100 A (29 x 7,5 x 34 mm),
- bezpieczniki normalne 1–40 A (19 x 5,5 x 20 mm),
- bezpieczniki mini 1–30 A (11,9 x 3,5 x 16 mm),
- Low-Profile Mini 2–30 A (10,9 x 3,81 x 8,73 mm).

Bezpieczniki topikowe nożycowe mają prądy zadziałania 60–200 A, napięcie maksymalne 100 V i wymiary 80 x 22 mm. Bezpieczniki topikowe rurkowe mają prądy zadziałania 20–80 A, napięcie maksymalne 50 V, wymiary 10,3 x 38 mm i dzielą się na grupy:

- WTA (szybkie) – litera F,
- WTA-T (zwłoczne) – litera T,
- WTA-G (duża zdolność wyłączenia) – litery F i G.

W instalacjach elektrycznych pojazdów samochodowych mogą występować następujące uszkodzenia:

- nieprawidłowe połączenie (styk) części przewodzących,
- przerwane połączenie,

- niewłaściwe połączenie z masą pojazdu,
- zwarcie elementów przewodzących,
- korozja elementów przewodzących,
- uszkodzenie izolacji,
- zawilgocenie elementów instalacji,
- zanieczyszczenia i oddziaływanie chemiczne,
- uszkodzenie obudowy przełącznika, bezpiecznika, złącza,
- nieprawidłowe ułożenie przewodów i złącz.

2. Akumulatory

2.1. Akumulatory kwasowo-ołowiowe

Akumulatory kwasowo-ołowiowe stosowane w pojazdach samochodowych można podzielić na kilka kategorii:

- akumulatory standardowe obsługowe (z otwieranymi celami),
- akumulatory standardowe bezobsługowe typu SLA (*sealed lead acid*),
- akumulatory bezobsługowe typu EFB (*enhanced flooded battery*) – płyty dodatnie pokryte są dodatkową powłoką poliestrową, uzyskuje się większą stabilność masy czynnej płyty i jej odporność na pracę cykliczną przy dużych prądach,
- akumulatory bezobsługowe typu AGM (*absorbent glass mat*) – kwas siarkowy jest absorbowany w mikroporowatym separatorze z włókna szklanego,
- akumulatory bezobsługowe żelowe – kwas siarkowy w połączeniu z krzemianami przyjmuje postać żelu.

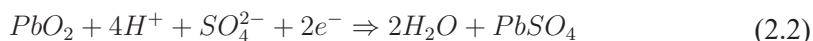
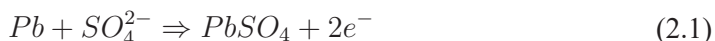
Akumulatory obsługowe umożliwiają uzupełnienie wody w roztworze elektrolitu i pomiar jego gęstości. Zostały już praktycznie zastąpione przez akumulatory bezobsługowe ze szczelną obudową, w której występują tylko zawory ciśnieniowe odprowadzające do otoczenia nadmiar gazów powstających w wyniku elektrolizy wody. Dodatkowo zachodzi w nich zjawisko rekombinacji gazów powstających wewnątrz akumulatora i odzyskiwanie wody. Tlen poprzez pory separatora doprowadzany jest do elektrody ujemnej, gdzie reaguje z wodorem, tworząc wodę. Dla tego typu akumulatorów stosowane jest też określenie VRLA (*valve regulated lead acid*). Akumulatory typu AGM mogą posiadać ogniwa konwencjonalne w kształcie prostopadłościanu lub ogniwa ze spiralnie zwiniętymi elektrodami w kształcie walca (rys. 2.1). Akumulatory zbudowane są z następujących elementów:

- element konstrukcyjny elektrody (kratka, szkielet),
- masa czynna elektrody (ołów gąbczasty, dwutlenek ołowiu),
- separator kopertowy z polietylenu,
- separator z włókna szklanego (w akumulatorach AGM),
- łączniki międzyelektrodowe i międzyogniowe,
- zaciski elektryczne zewnętrzne (końcówki elektrod, mostki biegunowe),
- elektrolit w roztworze wodnym (33, 37 lub 40% H_2SO_4),
- elektrolit w postaci żelu (w akumulatorach żelowych),
- obudowa z celami ogniwowymi – naczynie akumulatorowe (polichlorek winylu),
- otwory wlewowe (w akumulatorach obsługowych),
- korki lub pokrywy otworów wlewowych (w akumulatorach obsługowych),
- gazowe kanały przepływowe i skraplające (w akumulatorach bezobsługowych),
- zawory gazowe,
- wskaźnik stanu naładowania,
- uchwyt do przenoszenia,
- tabliczka znamionowa.



Rys. 2.1. Budowa wewnętrzna akumulatora standardowego i akumulatora typu AGM z elektrodami spiralnymi

W czasie rozładowania akumulatora zachodzą reakcje utleniania ołowiu na elektrodzie ujemnej (anodzie) oraz redukcji ołowiu na elektrodzie dodatniej (katodzie):



W wyniku tych reakcji powstaje siarczan ołowiu i woda, elektrony przepływają od anody do katody przez zaciski, przewody i odbiornik, a jony przepływają przez roztwór elektrolitu i separatory. Podczas ładowania akumulatora reakcje zachodzą w odwrotnym kierunku i wytwarza się ołów, dwutlenek ołowiu oraz jony wodoru i reszty kwasowej. Elektrody akumulatora są tak skonstruowane, żeby osadzanie się na nich nieprzenikalnej warstwy kryształów siarczanu ołowiu było utrudnione. Wzrost prądu wyładowania akumulatora przyspiesza szybkość reakcji chemicznych, przez co kwas siarkowy ma ograniczony dostęp do powierzchni płyt. Akumulator wyładowywany prądem o różnej wartości i z przerwami wykazuje większą pojemność niż w przypadku wyładowania ciągłego przy stałej wartości prądu. Charakterystyka napięciowo-prądowa akumulatora jest nieliniowa w początkowej fazie przebiegu z powodu spadku napięcia na styku elektrody i elektrolitu oraz strat energii związanych z aktywacją reakcji chemicznych. Główna część charakterystyki jest liniowa, ponieważ dominują wtedy omowe spadki napięcia, natomiast w końcowej fazie pojawia się nieliniowość spowodowana gwałtownym zmniejszeniem stężenia substratów w pobliżu elektrody [2].

Poniżej zamieszczono najważniejsze definicje związane z akumulatorami:

- Pojemność elektryczna znamionowa Q_{20n} jest to ładunek elektryczny, wyrażony w amperogodzinach, który można pobrać z akumulatora przy wyładowaniu prądem znamionowym (dwudziestogodzinnym) do napięcia końcowego 1,75 V na ogniwo

i przy temperaturze elektrolitu 298 K oraz początkowej gęstości elektrolitu równej $1,28 \text{ g/cm}^3$.

- Siła elektromotoryczna E jest to różnica potencjałów między zaciskami akumulatora w stanie jałowym (bez obciążenia).
- Napięcie znamionowe U_n jest to umowna wartość napięcia między zaciskami akumulatora, czyli iloczyn napięcia znamionowego ogniwa i liczby ogniw połączonych szeregowo. W przypadku akumulatorów samochodowych rozruchowych napięcie znamionowe wynosi 12 V (6 ogniw po 2 V) lub 24 V (12 ogniw po 2 V).
- Prąd znamionowy I_n jest to prąd, który pobierany z akumulatora w ciągu dwudziestu godzin powoduje jego wyładowanie do napięcia końcowego 1,75 V na ogniwo.
- Prąd rozruchowy I_r jest to prąd, który akumulator może dostarczać w temperaturze równej -18°C w ciągu czasu t do uzyskania minimalnego napięcia U :
 - według normy EN: $t = 10 \text{ s}$; $U = 7,5 \text{ V}$ (po przerwie równej 10 s i dla prądu równego $0,6 I_r$; $t = 73 \text{ s}$ lub 133 s ; $U = 6 \text{ V}$),
 - według normy SAE: $t = 30 \text{ s}$; $U = 7,2 \text{ V}$,
 - według normy IEC: $t = 60 \text{ s}$; $U = 8,4 \text{ V}$,
 - według normy DIN: $t = 30 \text{ s}$; $U = 9 \text{ V}$ (pierwsza wersja),
 - według normy DIN: $t = 150 \text{ s}$; $U = 6 \text{ V}$ (druga wersja).

Stosuje się następujące rodzaje ładowania akumulatora:

- doładowanie – jego celem jest uzupełnienie ładunku elektrycznego w akumulatorze,
- podładowanie – przyspieszone doładowanie, mające na celu doprowadzenie do akumulatora dużego ładunku elektrycznego w krótkim czasie,
- ładowanie wyrównawcze – jest stosowane w celu wyrównania stanu naładowania wszystkich ogniw akumulatora,
- ładowanie odsiarczające – przeprowadzane w przypadku osadzenia się grubokryształicznego siarczanu ołowiu na płytach akumulatora.
- W zależności od rodzaju ładowania akumulatora stosuje się odpowiednie sposoby ładowania:
- przy stałej wartości napięcia – na zaciskach akumulatora utrzymuje się stałą wartość napięcia podczas całego okresu ładowania, prąd ładowania samoczynnie maleje; napięcie ładowania ustala się w przedziale od 2,35 do 2,45 V/ogniwo, czyli od 14,1 do 14,7 V dla akumulatorów o napięciu znamionowym 12 V,
- przy stałej wartości prądu:
 - jednostopniowe, w czasie całego ładowania utrzymuje się wartość przepływającego przez akumulator prądu na jednakowym poziomie, najczęściej $I_{\text{lad}} = 0,1 Q_{20}$,
 - dwustopniowe, utrzymuje się stałą wartość prądu ładowania dla każdej z dwóch faz ładowania osobno:
 - a) w pierwszej fazie (do osiągnięcia napięcia gazowania) $I_{\text{lad}} = 0,1 Q_{20}$ (w przypadku podładowywania akumulatora $I_{\text{lad}} = 0,8 Q_{20}$)
 - b) w drugiej fazie (do oznak pełnego naładowania) $I_{\text{lad}} = 0,05 Q_{20}$ (w przypadku podładowywania akumulatora $I_{\text{lad}} = 0,1 Q_{20}$),

- przy stałej wartości prądu i napięcia – w pierwszej fazie ładowania, do osiągnięcia napięcia gazowania i uzyskania około 80% pełnego naładowania, akumulator ładuje się prądem o stałej wartości, zwykle $I_{\text{lad}} = 0,1 Q_{20}$; w drugiej fazie, do wystąpienia oznak pełnego naładowania, akumulator ładuje się przy stałej wartości napięcia zawartej w przedziale od 2,4 do 2,45 V/ogniwo, a prąd samoczynnie maleje.

Powyższe procedury, w zależności od potrzeby i rodzaju akumulatora, realizują ładowarki automatyczne, przechodząc płynnie od jednego etapu ładowania do następnego. Ponadto mogą jeszcze wykorzystywać funkcję ładowania odsiarczającego przez impulsowe zmiany napięcia i prądu w pierwszej fazie ładowania. Akumulatory niestandardowe powinny być ładowane za pomocą ładowarek automatycznych.

Poniżej zamieszczono najważniejsze właściwości i cechy charakterystyczne akumulatorów kwasowo-ołowiowych:

- siła elektromotoryczna ogniwa elementarnego wynosi 2,2 V,
- stężenie elektrolitu zależy od stanu naładowania akumulatora, w temperaturze 20 °C maksymalna gęstość elektrolitu wynosi 1,26–1,28 g/cm³,
- akumulator nie powinien być rozładowywany do napięcia mniejszego niż 10,6 V, a po utracie ładunku powinien być jak najszybciej doładowany,
- właściwości akumulatora są zależne od pierwiastków i związków chemicznych dodawanych do szkieletu elektrody (antymon, wapń, srebro i inne),
- szkielet elektrody powinien mieć dobrą przewodność elektryczną, wytrzymałość mechaniczną oraz odporność korozyjną i erozyjną,
- masowa gęstość energii w akumulatorach przyjmuje wartość 20–40 Wh/kg, sprawność około 70%, a rezystancja wewnętrzna sprawnego akumulatora od kilku do kilkunastu mΩ,
- akumulator kwasowo-ołowiowy charakteryzuje się zdolnością przewodzenia znacznego prądu,
- pojemność akumulatora jest zależna od temperatury i zmniejsza się nieproporcjonalnie w stosunku do wzrostu prądu wyładowania,
- akumulatory typu AGM mają większą pojemność od żelowych, w których część elektrolitu stanowi substancja żelująca,
- akumulatory żelowe mogą pracować w różnych pozycjach, ale prąd wyładowania mają bardziej ograniczony,
- akumulatory typu EFB i AGM, w porównaniu ze standardowymi, charakteryzują się mniejszą rezystancją wewnętrzną, większą liczbą cykli ładowania i rozładowania, odpornością na większe rozładowanie i mniejszą masą,
- akumulatory typu EFB i AGM spełniają wymagania systemów start–stop, w pojazdach współpracują często z mikroprocesorowym czujnikiem, który nadzoruje ich pracę, rejestrując napięcie, prąd i temperaturę,
- akumulatory typu EFB i AGM muszą być ładowane specjalną elektroniczną ładowarką, a w samochodzie nie mogą być wymieniane na akumulatory standardowe,

- w niektórych pojazdach można spotkać dodatkowy akumulator, o mniejszej pojemności i wielkości, który zapewnia stabilne napięcie dla wrażliwych układów elektronicznych podczas rozruchu silnika, szczególnie w systemach start-stop (akumulator taki może być umieszczony w bagażniku, pod silnikiem wycieraczek przednich, w podłodze pod fotelem pasażera lub w pobliżu przedniego zderzaka).

Uszkodzenia, które mogą powstać w akumulatorze, są następujące:

- wytworzenie się w strukturze elektrody grubokrystalicznego siarczanu ołowiu,
- ubytek masy czynnej,
- zmniejszenie się porowatości elektrody i powierzchni czynnej,
- zniszczenia korozyjne i erozyjne elektrod,
- zniszczenia cieplne w strukturze elektrody,
- odkształcenie i zanieczyszczenie łączników zewnętrznych (końcówek biegunowych),
- zanieczyszczenie roztworu elektrolitu,
- zużycie separatora elektrod,
- pęknięcia elementów wewnętrznych i zewnętrznych,
- odkształcenie obudowy,
- ubytek wody w roztworze elektrolitu,
- wyciek elektrolitu,
- przerwane połączenia elektryczne,
- zwarcie wewnętrzne,
- niewłaściwe zamontowanie akumulatora,
- niewłaściwe zaciśnięcie i ułożenie przewodów.

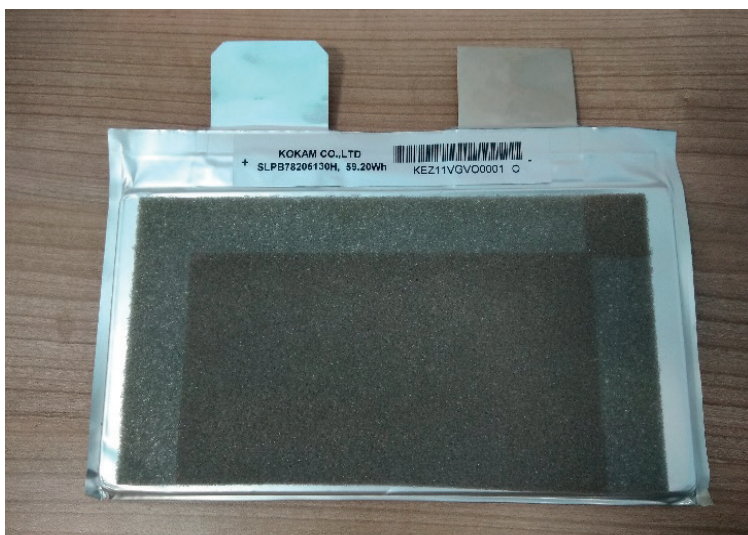
2.2. Akumulatory litowo-jonowe

Akumulatory litowo-jonowe są stosowane w pojazdach elektrycznych i hybrydowych jako wysokonapięciowe źródło zasilania [18, 35]. Elementarne ogniwa są łączone szeregowo oraz równolegle, tworząc moduły, które grupowane są w bloki i łączone zewnętrznie ze sobą, przyjmując kształt prostopadłościenny, walcowy lub saszetkowy (rys. 2.2). Pogrupowane ogniwa tworzą w pojeździe trakcyjną baterię litowo-jonową, do której należy także układ sterowania, skrzynka przyłączeniowa z przełącznikami, bezpiecznikami, kondensatorami i rezystorami, złącza i przewody wysokonapięciowe, układy odprowadzania gazów i chłodzenia oraz czujniki napięcia, prądu i temperatury.

Metale stosowane do produkcji akumulatorów litowo-jonowych to lit, mangan, kobalt, nikiel, miedź i aluminium. Ponadto wykorzystuje się takie materiały, jak stal, tworzywa sztuczne, grafit i półprzewodnikowe elementy elektroniczne. Elektrody ogniwa mają strukturę porowatą, ujemna anoda wykonywana jest z miedzianej folii pokrytej obustronnie warstwą grafitu, a dodatnia katoda z folii aluminiowej pokrytej obustronnie warstwą tlenków metali (w tym litu).

Ciekły elektrolit organiczny tworzy roztwór przewodzących soli litu, a między elektrodami znajdują się separatory membranowe przewodzące jony litu. Ze względu na materiał katody ogniwa można podzielić w następujący sposób:

- litowo-tlenkowo-kobaltowe (LiCoO_2),
- litowo-tlenkowo-manganowe (LiMn_2O_4),
- litowo-tlenkowo-niklowe (LiNiO_2),
- litowo-tlenkowo-fosforanowe (LiFePO_4).

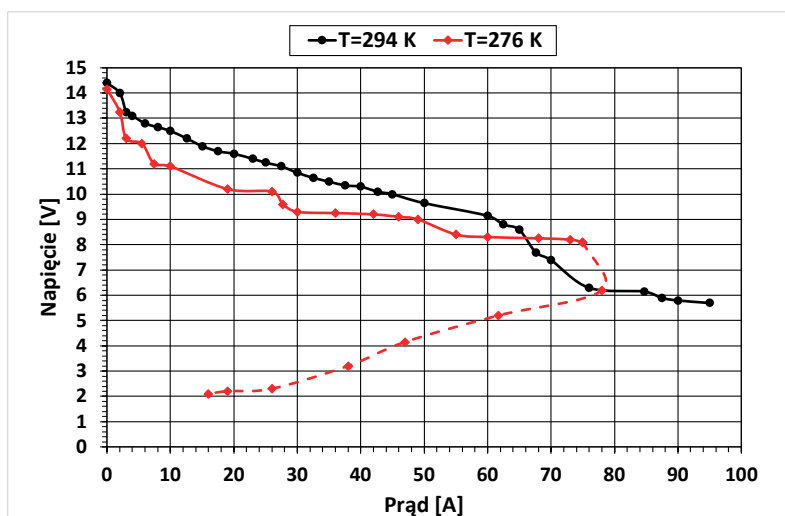


Rys. 2.2. Ogniwo akumulatora litowo-jonowego typu saszetkowego

W procesie rozładowania lit oddaje elektrony do elektrody ujemnej, a podczas ładowania jony litu przemieszczają się w kierunku elektrody ujemnej i tam łączą się z elektronami. Zależność 2.3 opisuje reakcje chemiczne dla przykładowego akumulatora litowo-jonowego:



Charakterystyka napięciowo-prądowa akumulatora litowo-jonowego ma podobny przebieg jak w przypadku akumulatora kwasowo-ołowiowego, z charakterystycznymi cechami chemicznego źródła energii elektrycznej. Przykładowe charakterystyki napięciowo-prądowe, wyznaczone dla akumulatora litowo-jonowego w różnych temperaturach pracy, zamieszczono na rysunku 2.3.



Rys. 2.3. Charakterystyki napięciowo-prądowe akumulatora litowo-jonowego 12 V wyznaczone w temperaturze 294 K i 276 K

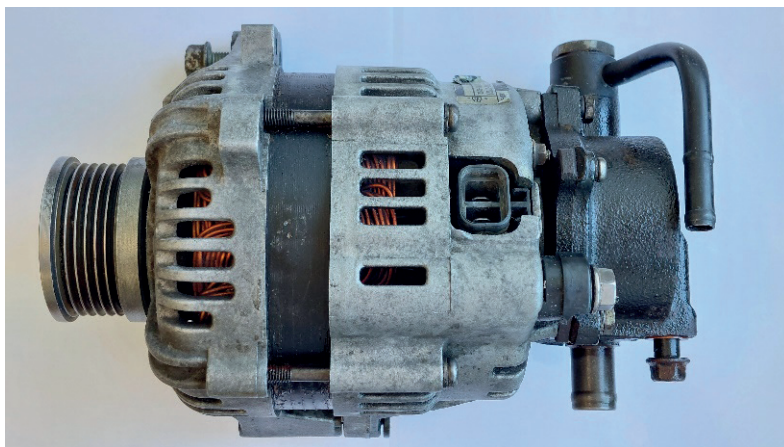
Poniżej zamieszczono najważniejsze właściwości i cechy charakterystyczne akumulatorów litowo-jonowych:

- siła elektromotoryczna ogniwa elementarnego: 2,8–4,2 V,
- masowa gęstość energii: 100–180 Wh/kg,
- objętościowa gęstość energii: 250–360 Wh/dm³,
- masowa gęstość mocy: 3–5 kW/kg,
- sprawność energetyczna: 90%,
- liczba cykli ładowania i rozładowania: 1200–3000,
- optymalna temperatura pracy: 20–40 °C,
- napięcie baterii trakcyjnej pojazdu: 300–800 V,
- stan naładowania ogni w pojeździe utrzymywany przez układ sterowania: (15–20%) – (80–90%),
- w pojazdach stosowany jest układ wyrównywania napięć poszczególnych ogniw oraz system chłodzenia i ogrzewania baterii (cieczowy, powietrzny lub wykorzystujący układ klimatyzacji pojazdu),
- bateria w samochodzie jest chroniona sztywną i wytrzymałą obudową, włączoną w strukturę nośną nadwozia.

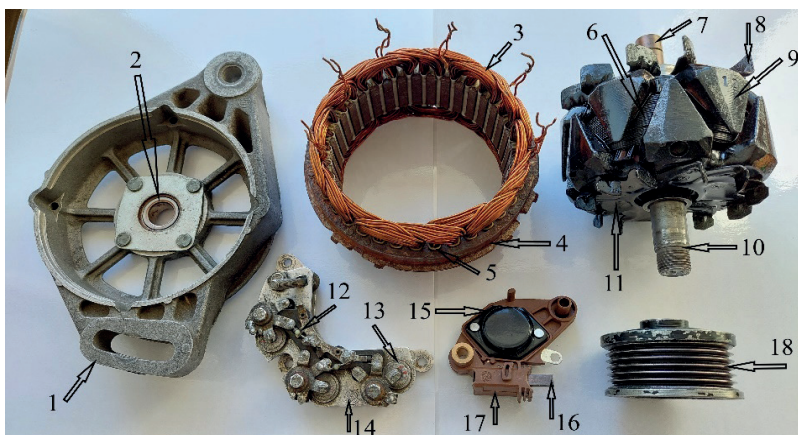
3. Alternatory

Alternator jest synchroniczną trójfazową prądnicą prądu przemiennego z wbudowanym układem prostowniczym i konwencjonalnym lub wielofunkcyjnym regulatorem napięcia (rys. 3.1 i 3.2). Alternator jest zbudowany z następujących elementów:

- uzwojenie wzbudzenia,
- trójfazowe uzwojenie twornika,
- rdzeń ferromagnetyczny pakietowany (jarzmo),
- rdzeń ferromagnetyczny kłowy (pazurowy),
- pierścienie ślizgowe,
- szczotki grafitowe,
- szczotkotrzymacz,
- sprężyny szczotek,
- wałek wirnika,
- wentylatory,
- łożyska,
- tuleje dystansowe,
- zaciski przewodów i złączki,
- elementy izolacyjne (lakier, przekładki, taśmy),
- obudowa (tarcza przednia i tylna, osłony z otworami wentylacyjnymi),
- śruby łączące,
- koło pasowe wielorowkowe,
- sprzęgło jednokierunkowe lub sprzęgiełko na kole pasowym,
- nakrętka koła pasowego,
- układ prostowniczy (diody dodatnie i ujemne, diody wzbudzenia, radiatory),
- elektroniczny regulator napięcia.

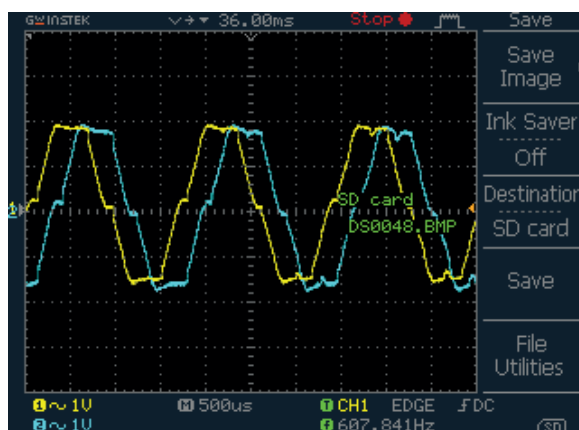


Rys. 3.1. Budowa zewnętrzna alternatora z pompą próżniową i złączem diagnostycznym

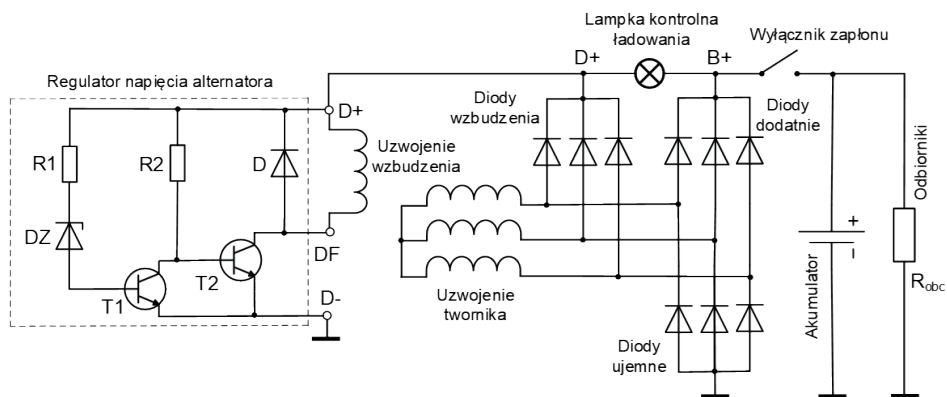


Rys. 3.2. Elementy alternatora samochodowego (1 – tarcza przednia, 2 – łożysko, 3 – trójfazowe uzwojenie twornika, 4 – rdzeń ferromagnetyczny pakietowany, 5 – przekładki izolacyjne, 6 – uzwojenie wzbudzenia, 7 – pierścienie ślizgowe, 8 – wentylator, 9 – rdzeń ferromagnetyczny kłowy, 10 – wałek wirnika, 11 – wentylator, 12 – dioda wzbudzenia, 13 – dioda dodatnia, 14 – radiator, 15 – elektroniczny regulator napięcia, 16 – szczotka grafitowa, 17 – szczotkotrzymacz, 18 – koło pasowe wielorowkowe)

Alternator działa na zasadzie indukowania siły elektromotorycznej w nieruchomym uzwojeniu twornika, które znajduje się w obszarze wirującego pola magnetycznego. Pole magnetyczne jest wytwarzane przez prąd uzwojenia wzbudzenia, a jego strumień zostaje wzmocniony i ukierunkowany przez specjalnie ukształtowany rdzeń magnetyczny wirnika oraz rdzeń stojana. Strumień magnetyczny indukuje trzy sinusoidalnie zmienne napięcia w poszczególnych uzwojeniach twornika, przesunięte względem siebie o kąt fazowy 120° (rys. 3.3). Napięcie jest prostowane przez trójfazowy pełnookresowy układ prostowniczy, zbudowany z trzech diod dodatnich i trzech ujemnych, a jego maksymalna wartość jest ograniczana przez elektroniczny regulator napięcia (rys. 3.4).

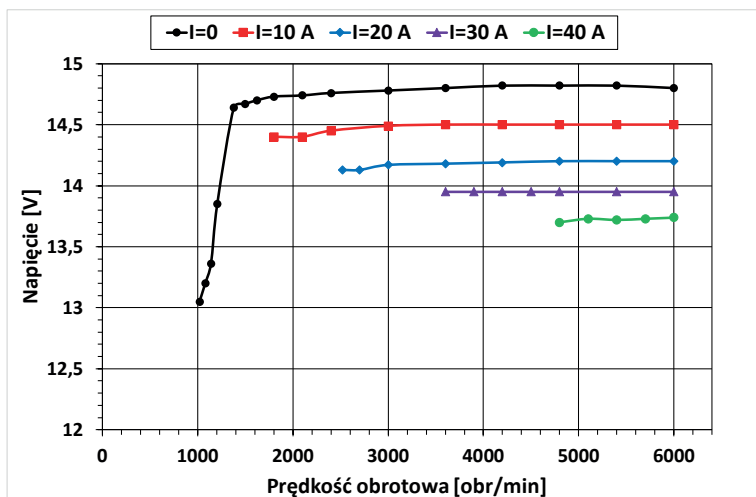


Rys. 3.3. Przebiegi dwóch napięć międzyfazowych alternatora (10 V/dz, 0,5 ms/dz)

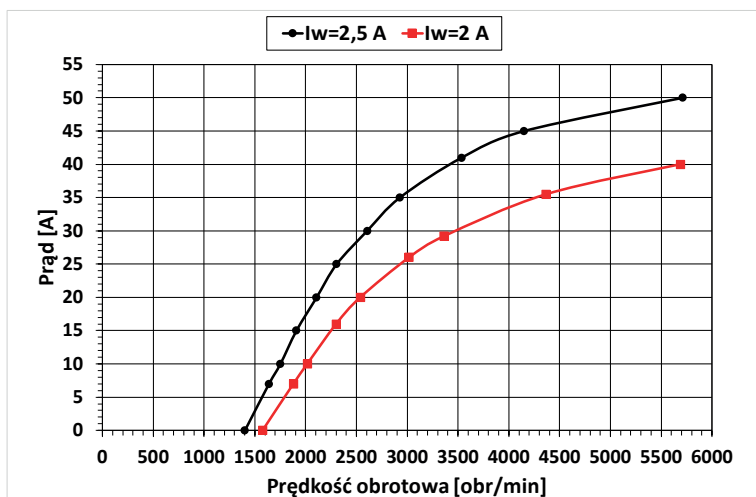


Rys. 3.4. Schemat elektryczny alternatora i regulatora napięcia w połączeniu z akumulatorem i odbiornikami

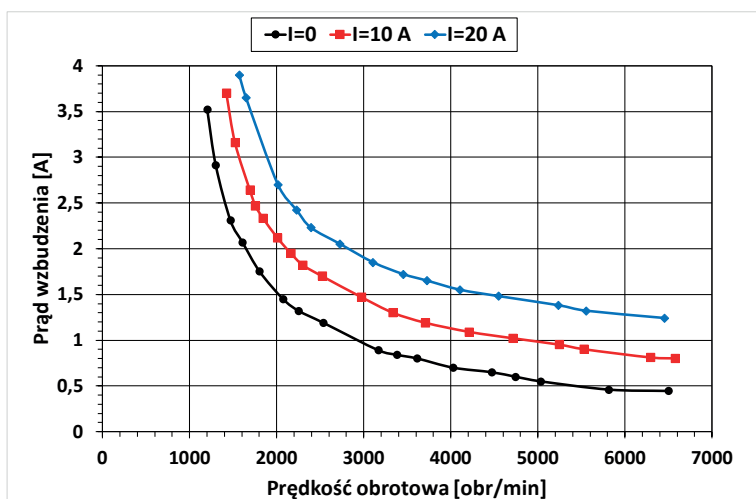
Prąd wytwarzający pole magnetyczne jest początkowo pobierany z akumulatora, a po wzbudzeniu alternatora płynie pod wpływem jego napięcia i prostowany jest przez trójfazowy pełnookresowy układ prostowniczy, zbudowany z trzech dodatnich diod wzbudzenia i trzech diod ujemnych. Prąd wzbudzenia płynie przez regulator napięcia i dopływa do wirnika przez szczotki i pierścienie ślizgowe. Potencjał na połączeniu trzech katod diod dodatnich jest oznaczany na schematach symbolem „B+”, a potencjał na połączeniu trzech katod diod dodatnich wzbudzenia ma oznaczenie „D+”. Potencjał na połączeniu trzech anod diod ujemnych jest oznaczany symbolem „31-”, punkt ten połączony jest z masą pojazdu. Prąd alternatora płynie pod wpływem różnicy potencjałów między punktami „B+” i „31-”, rozdziela się na prąd obciążenia (odbiorników) oraz prąd ładowania akumulatora. Przy bardzo dużym obciążeniu lub nieprawidłowej pracy alternatora prąd obciążenia może być także pobierany z akumulatora. Prąd wzbudzenia płynie pod wpływem różnicy potencjałów między punktami „D+” i „31-”, a początkowo pod wpływem napięcia akumulatora. Diody ujemne spełniają podwójną rolę, ponieważ biorą udział w prostowaniu prądu zasilającego odbiorniki i ładującego akumulator oraz prądu wzbudzenia alternatora. Prąd wzbudzenia pobierany z akumulatora płynie przez lampkę kontrolną ładowania, a po wytworzeniu napięcia przez alternator potencjały w punktach „B+” i „D+” wyrównują się i lampka gaśnie, ponieważ jest włączona pomiędzy te punkty. Regulator napięcia ogranicza jego wartość do 14,2–14,8 V przez regulację prądu wzbudzenia. Przykładowe charakterystyki alternatora zamieszczono na rysunkach 3.5, 3.6 i 3.7.



Rys. 3.5. Zależność napięcia alternatora od prędkości obrotowej przy różnych obciążeniach (praca z regulatorem napięcia)



Rys. 3.6. Zależność prądu obciążenia alternatora od prędkości obrotowej przy różnych prądach wzbudzenia i stałym napięciu $U = 14$ V (praca bez regulatora napięcia)



Rys. 3.7. Zależność prądu wzbudzenia alternatora od prędkości obrotowej przy różnych obciążeniach i stałym napięciu $U = 14$ V (praca bez regulatora napięcia)

Wartość skuteczna siły elektromotorycznej indukowanej w jednej fazie uzwojenia twornika opisana jest zależnością:

$$E = c \cdot \phi \cdot n \quad (3.1)$$

gdzie:

- E – wartość skuteczna siły elektromotorycznej,
- c – stała konstrukcyjna prądnicy,
- ϕ – strumień magnetyczny,
- n – prędkość obrotowa wirnika.

Przykładowy schemat konwencjonalnego regulatora napięcia alternatora zamieszczono na rysunku 3.4. W momencie gdy przewodzi tranzystor T1, a tranzystor T2 jest w stanie odcięcia, prąd płynie przez uzwojenie wzbudzenia alternatora. Gdy napięcie alternatora wzrośnie do odpowiedniej wartości, wtedy zaczyna przewodzić dioda Zenera i tranzystor T2, natomiast T1 jest w stanie odcięcia i nie przewodzi prądu. Prąd przestaje płynąć przez uzwojenie wzbudzenia i napięcie alternatora obniża się. Procesy te powtarzają się cyklicznie, a napięcie alternatora oscyluje wokół nastawionej wartości średniej.

W odróżnieniu od układu konwencjonalnego, wielofunkcyjny regulator napięcia jest systemem mikroprocesorowym i realizuje wiele dodatkowych funkcji, takich jak:

- regulacja wartości napięcia w szerszym zakresie,
- odłączanie prądu wzbudzenia podczas rozruchu silnika (zmniejszenie oddziaływania pola magnetycznego i momentu obciążenia silnika),
- opóźnienie odpowiedzi alternatora na zmianę jego obciążenia (np. podczas gwałtownego przyspieszania pojazdu),

- możliwość wzbudzenia alternatora mimo uszkodzenia lampki kontrolnej ładowania akumulatora,
- zabezpieczenie uzwojenia wzbudzenia przed zwarciem,
- zabezpieczenie termiczne alternatora i akumulatora,
- kontrola wartości napięcia na zaciskach akumulatora,
- czasowe odłączanie zbędnych odbiorników,
- samodiagnostyka alternatora.

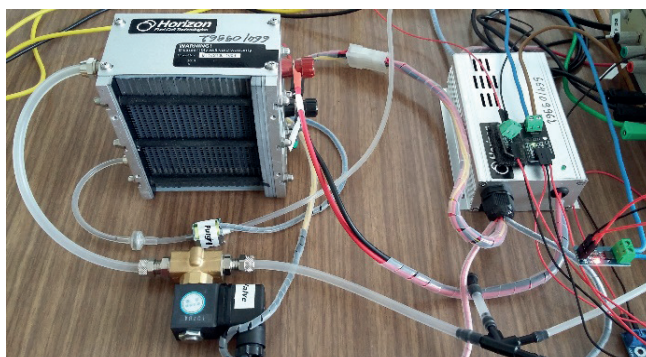
Alternator może ulec uszkodzeniom, takim jak:

- nadmierne zużycie szczotek,
- nieprawidłowy docisk szczotek do pierścieni ślizgowych,
- nieprawidłowe zamontowanie i ustawienie szczotkotrzymacza,
- zużycie sprężyn dociskających szczotki,
- pęknięcie obudowy,
- zużycie łożysk,
- nie osiowe ułożenie wałka wirnika,
- uszkodzenie sprzęgła na kole pasowym,
- uszkodzenie izolacji uzwojeń,
- zwarcia międzyzwojowe,
- przerwy w połączeniach elektrycznych,
- przerwy i zwarcia w diodach prostowniczych,
- nieprawidłowe przyleganie diody do radiatora,
- odkształcenie rdzenia ferromagnetycznego,
- uszkodzenie elementów regulatora napięcia,
- oddziaływanie substancji chemicznych,
- zanieczyszczenia wewnętrzne,
- zużycie korozyjne.

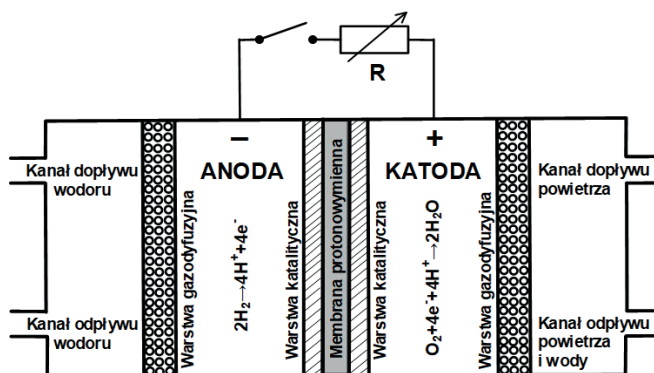
4. Ogniwa paliwowe

W pojazdach samochodowych z elektrycznym układem napędowym źródłem zasilania silnika może być również ogniwo paliwowe. Rozwiązanie to jest jeszcze mało rozpowszechnione, ale wykonano w tym zakresie wiele badań oraz skonstruowano i przetestowano tego rodzaju pojazdy. Ogniwa paliwowe, które przetwarzają energię chemiczną wodoru na energię elektryczną i ciepłą, są stosowane najczęściej w większych pojazdach, przewożących ludzi i towary (np. w autobusach miejskich). Takie rozwiązania używa się też w pojazdach osobowych. Ponadto ogniwa są wykorzystywane w systemach energetyki rozproszonej, która daje większą niezależność niż duże jednostki wytwórcze. Oprócz samych ogniw w tego rodzaju systemach potrzebne są jeszcze zbiorniki paliwa wodorowego i możliwość ich zatankowania, co wiąże się z nowymi wyzwaniami w dziedzinie transportu i odnawialnych źródeł energii stosowanych do wytwarzania wodoru. Rozwój pojazdów hybrydowych i elektrycznych wymaga już teraz przygotowywania się do postępu w dziedzinie technologii wodorowych i związanych z tym badań naukowych oraz prac prototypowych. Spośród kilku rodzajów ogniw paliwowych, pracujących w różnych temperaturach i inaczej zbudowanych, w pojazdach samochodowych stosuje się niskotemperaturowe ogniwa z elektrolitem stałym typu PEMFC (*proton exchange membrane fuel cell*). Wcześniej w motoryzacji były jeszcze stosowane ogniwa typu AFC (*alkaline fuel cell*), z elektrolitem ciekłym, który stanowi wodorotlenek potasu KOH w roztworze wodnym. Ogniwa wodorowe elementarne wytwarzają jeszcze niższe napięcie od akumulatorów (około 1 V w stanie jałowym), dlatego są łączone w podobny sposób szeregowo i równolegle, tworząc stosy o wymaganym napięciu i mocy. Ogniwa paliwowe typu PEM zbudowane są z następujących elementów (rys. 4.1 i 4.2):

- elektrody (porowata warstwa gazodyfuzyjna i metalowa część przewodząca),
- elektrolit (membrana protonowymienna),
- katalizator reakcji chemicznych (rozdrobniona czerń platynowa w elektrodach i elektrolicie),
- kanały przepływowe dla gazów,
- zaciski i łączniki elektryczne,
- elementy izolacyjne,
- elementy uszczelniające i dociskające,
- króćce wlotowe i wylotowe dla gazów,
- wentylator,
- obudowa,
- sterownik i czujniki (temperatury, ciśnienia gazów).



Rys. 4.1. Ogniwo paliwowe typu PEM ze sterownikiem (moc 100 W)



Rys. 4.2. Schemat strukturalny ogniwa paliwowego typu PEM

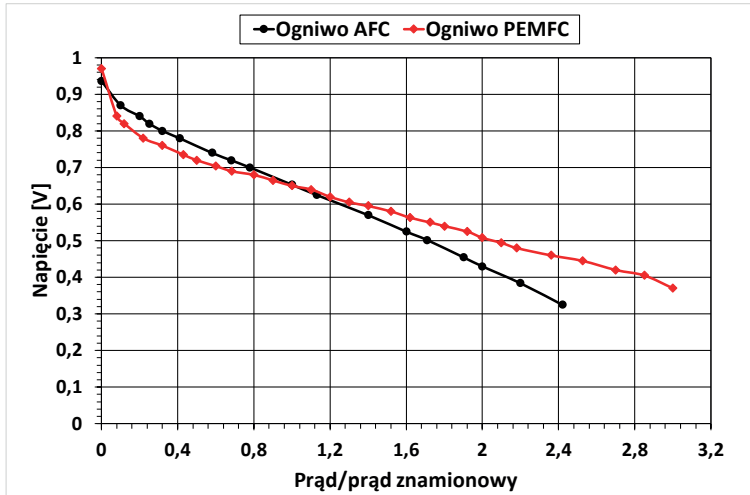
Ogniwo paliwowe jest przetwornikiem energii chemicznej wodoru w energię elektryczną i ciepłą. Podstawę jego działania stanowi reakcja chemiczna, w której zachodzą procesy utleniania i redukcji:



Pomiędzy reagującymi pierwiastkami następuje wymiana elektronów i zmieniają one swój stopień utlenienia. Powyższą reakcję można zapisać w postaci dwóch etapów, w których wodór się utlenia (oddaje elektrony), a tlen się redukuje (przyłącza elektrony):



Przestrzenne rozdzielanie etapów utleniania i redukcji oraz przeprowadzenie tych reakcji na dwóch elektrodach (anodzie i katodzie) umożliwia przemianę energii chemicznej głównie w energię elektryczną [1]. Natomiast bezpośrednie spalanie wodoru jest przemianą energii chemicznej głównie w energię cieplną. Efekt energetyczny reakcji jest w obu przypadkach taki sam, natomiast różne są formy uzyskanej energii. Charakterystyka napięciowo-prądowa ogniwa paliwowego jest podobna do charakterystyki akumulatorów, oprócz części liniowej występuje początkowa i końcowa strefa dużej nieliniowości, mająca związek z różnymi etapami reakcji chemicznych (rys. 4.3).



Rys. 4.3. Charakterystyki napięciowo-prądowe elementarnych ogniw paliwowych typu AFC i PEMFC

Teoretyczne zapotrzebowanie na wodór i tlen podczas pracy ogniwa paliwowego jest proporcjonalne do jego prądu obciążenia i opisane zależnościami [44]:

$$W_{H_2} = m_{H_2} \frac{n_{op} \cdot I_{st}}{2F} \quad (4.4)$$

$$W_{O_2} = m_{O_2} \frac{n_{op} \cdot I_{st}}{4F} \quad (4.5)$$

gdzie:

- W_{H_2} – zapotrzebowanie na wodór [kg/s],
- W_{O_2} – zapotrzebowanie na tlen [kg/s],
- m_{H_2} – masa molowa wodoru [2,016 g/mol],
- m_{O_2} – masa molowa tlenu [16 g/mol],
- n_{op} – liczba ogniw paliwowych w stosie,
- I_{st} – natężenie prądu stosu ogniw paliwowych [A],
- F – stała Faradaya [96485 A · s/mol].

Przykładowa specyfikacja elektrycznego pojazdu osobowego wyposażonego w stos ogniw paliwowych została zamieszczona poniżej:

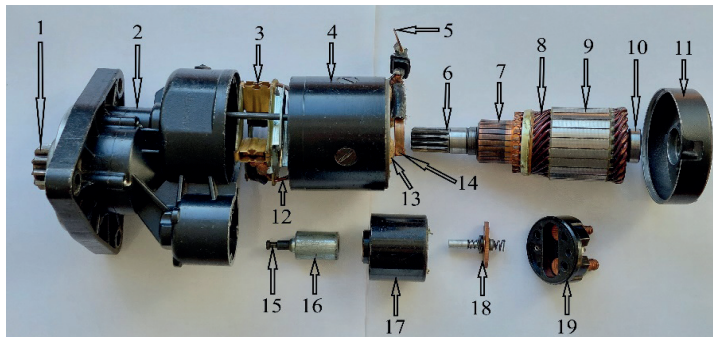
- masa pojazdu – 1850 kg,
- prędkość maksymalna – 179 km/h,
- zasięg (cykl homologacyjny) – 483 km,
- rodzaj ogniwa paliwowego – PEMFC,
- moc ogniwa paliwowego – 114 kW,
- masowa gęstość mocy ogniwa paliwowego – 2 kW/kg,
- objętościowa gęstość mocy ogniwa paliwowego – 3,1 kW/dm³,
- liczba ogniw elementarnych w stosie – 370,
- sposób nawilżania membrany – wewnętrzny obieg,
- rodzaj silnika napędowego – synchroniczny AC,
- moc maksymalna silnika – 113 kW,
- moment maksymalny silnika – 335 Nm,
- rodzaj akumulatora – NiMH (niklowo-wodorkowy),
- objętość zbiorników wodoru – 60 dm³ (przód), 62,4 dm³ (tył),
- masa wodoru w zbiornikach – 5 kg,
- ciśnienie wodoru w zbiornikach – 70 MPa,
- czas tankowania – 3 minuty.

Ogniwo paliwowe może mieć następujące uszkodzenia:

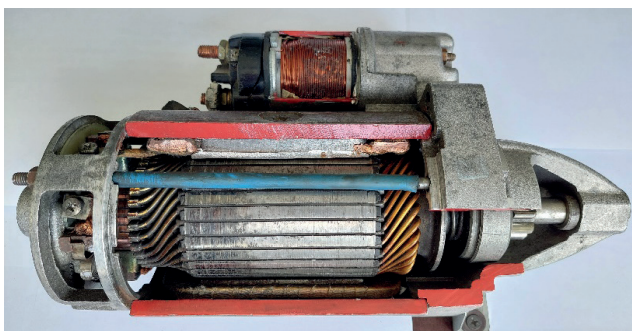
- nieszczelność połączeń gazowych,
- zanieczyszczenia w kanałach gazowych,
- zmniejszenie porowatości elektrody i powierzchni czynnej,
- zmiany chemiczne materiału elektrody,
- uszkodzenia cieplne struktury elektrod,
- uszkodzenie separatora (np. pęknięcie, przegrzanie),
- przerwy w połączeniach elektrycznych,
- uszkodzenia elementów izolacyjnych,
- uszkodzenie lub przerwa w połączeniu między ogniwami elementarnymi,
- pęknięcia, zanieczyszczenia i odkształcenia zacisków,
- zwarcia wewnętrzne,
- uszkodzenie wentylatora,
- uszkodzenie nawilżacza membrany protonowymiennej,
- uszkodzenie sterownika.

5. Rozruszniki

Urządzenie stosowane do rozruchu silnika spalinowego pojazdu zbudowane jest z silnika elektrycznego, wyłącznika elektromagnetycznego i zespołu sprzęgającego. Układ tego typu nazywa się rozrusznikiem (rys. 5.1 i 5.2).



Rys. 5.1. Elementy rozrusznika samochodowego (1 – zębnik, 2 – obudowa przednia, 3 – szczotkotrzymacz ze szczotką i sprężyną, 4 – obudowa środkowa, 5 – złącze elektryczne, 6 – wałek wirnika, 7 – komutator, 8 – uzwojenie twornika, 9 – rdzeń ferromagnetyczny wirnika, 10 – łożysko, 11 – obudowa tylna, 12 – przewód elektryczny, 13 – uzwojenie wzbudzenia, 14 – płaskownik miedziany, 15 – trzpień rdzenia wyłącznika, 16 – rdzeń ferromagnetyczny wyłącznika, 17 – tuleja rdzenia z uzwojeniami, 18 – zwora styków ze sprężyną, 19 – obudowa ze stykami elektrycznymi)



Rys. 5.2. Budowa wewnętrzna rozrusznika samochodowego

W rozrusznikach stosuje się następujące rodzaje silników elektrycznych:

- silnik komutatorowy szeregowy,
- silnik komutatorowy szeregowo-bocznikowy,
- silnik bezszczotkowy z magnesem trwałym.

W konstrukcji zespołu przeniesienia napędu z wirnika silnika elektrycznego na wieniec koła zamachowego silnika spalinowego stosuje się następujące rozwiązania:

- przesuwno-obrotowy zębnik,
- przesuwny wirnik z zębniakiem,
- reduktor prędkości obrotowej, przekładnia planetarna.

Sposoby sprzęgania zębника z wieńcem koła zamachowego dzielą się na:

- elektromagnetyczne,
- mechaniczne,
- bezwładnościowe.

Elementy elektrycznego silnika rozrusznika to:

- uzwojenie wzbudzenia (druć miedziany lub płaskownik),
- uzwojenie twornika (druć miedziany lub płaskownik),
- rdzeń ferromagnetyczny ruchomy i nieruchomy,
- nabiegunniki rdzenia,
- magnes trwały (w przypadku silnika bezszczotkowego),
- komutator,
- szczotki grafitowe,
- szczotkotrzymacze,
- sprężyny szczotek,
- wałek wirnika,
- łożyska (tuleje),
- zaciski przewodów,
- elementy izolacyjne (lakier, przekładki, taśmy),
- obudowa,
- śruby łączące.

Włącznik elektromagnetyczny rozrusznika zbudowany jest z następujących elementów:

- uzwojenie wciągające rdzeń ferromagnetyczny,
- uzwojenie trzymające rdzeń ferromagnetyczny,
- rdzeń ferromagnetyczny,
- tuleja rdzenia,
- styki elektryczne,
- zwora styków,
- sprężyna,
- obudowa.

Elementy zespołu sprzęgającego rozrusznika to:

- zębnik,
- wielowypust śrubowy wałka wirnika,
- sprzęgło jednokierunkowe,
- dźwignia włączająca (przewadnica, cięgło widełkowe, widełki),
- pierścień przewodniczy,
- sprężyna śrubowa,
- reduktor prędkości obrotowej,
- przekładnia planetarna.

Po zamknięciu włącznika zapłonu i rozpoczęciu procedury uruchomienia silnika pojazdu, prąd płynie z akumulatora w dwóch obwodach równoległych, przez uzwo-

jenie trzymające włącznika elektromagnetycznego oraz przez uzwojenie wciągające włącznika i uzwojenia silnika. Prądy w uzwojeniach włącznika elektromagnetycznego wytwarzają pole magnetyczne, które działa siłą na rdzeń ferromagnetyczny i pokonując opór sprężyny powoduje jego wciągnięcie w obszar działania uzwojeń. Natomiast prąd płynący przez silnik jest ograniczony przez rezystancję uzwojenia trzymającego i ma za małą wartość, aby go uruchomić. Przesuwający się rdzeń magnetyczny powoduje za pośrednictwem dźwigni włączającej ruch tulei po wielowypuszcie wałka wirnika i przesuwanie się zębika w kierunku wieńca koła zamachowego. Z drugiej strony rdzenia następuje zwarcie styków przez zworę i przepływ dużego prądu przez uzwojenia silnika. Równocześnie prąd płynący przez uzwojenie wciągające włącznika znacznie się zmniejsza, ponieważ jego rezystancja jest dużo większa niż opór w obwodzie zamkniętym przez zworę. Silnik zaczyna pracować, zwiększa swoją prędkość obrotową i następuje pełne zazębienie z wieńcem koła zamachowego. Po uzyskaniu odpowiedniej prędkości obrotowej przez wał korbowy silnika następuje jego uruchomienie, gwałtowny wzrost prędkości i odłączenie zębika rozrusznika przez sprzęgło jednokierunkowe. W tej chwili powinno dojść do przerywania przepływu prądu przez uzwojenia włącznika i silnika oraz odciągnięcia rdzenia magnetycznego przez sprężynę włącznika. Poniżej zamieszczono zależności matematyczne dotyczące obwodu rozruchu i silnika elektrycznego:

$$U_s = E_a - I_r (R_{wa} + R_p + R_s) \quad (5.1)$$

$$P_e = U_s \cdot I_r \quad (5.2)$$

$$P_m = \omega \cdot M_s \quad (5.3)$$

$$M_{es} = c \cdot \phi \cdot I_{ts} \quad (5.4)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} \quad (5.5)$$

gdzie:

- U_s – napięcie na zaciskach silnika elektrycznego,
- E_a – siła elektromotoryczna akumulatora,
- I_r – prąd w obwodzie rozruchu,
- I_{ts} – prąd twornika silnika,
- R_{wa} – rezystancja wewnętrzna akumulatora,
- R_p – rezystancja przewodów zasilających,
- R_s – rezystancja styków w obwodzie rozruchu,
- P_e – moc elektryczna (wejściowa) silnika,
- P_m – moc mechaniczna (na wale silnika),
- ω – prędkość kątowa silnika,

M_s – moment obciążenia silnika (moment siły),

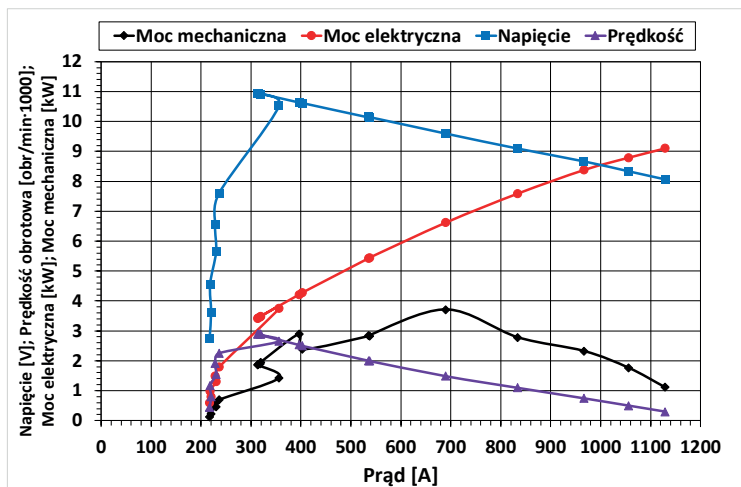
M_{es} – moment elektromagnetyczny silnika,

c – stała konstrukcyjna silnika,

ϕ – strumień magnetyczny w szczelinie silnika.

η – sprawność rozrusznika

Praca rozrusznika jest opisywana w sposób graficzny, za pomocą charakterystyk, które obrazują zmienność wielkości elektrycznych i mechanicznych maszyny (rys. 5.3).



Rys. 5.3. Charakterystyki rozrusznika zarejestrowane na stanowisku badawczym

Rozrusznik może mieć następujące uszkodzenia:

- zużycie, odkształcenie zębniaka,
- uszkodzenie sprężła jednokierunkowego,
- nadmierne zużycie szczotek,
- zużycie sprężyn dociskających szczotki i sprężyny włącznika elektromagnetycznego,
- zużycie komutatora (wypalenie, wykruszenie, zanieczyszczenie),
- zużycie łożysk lub tulei,
- zużycie mechaniczne kół zębatych przekładni satelitarnej,
- przerwy lub zwarcia międzyzwojowe w uzwojeniach silnika i włącznika elektromagnetycznego,
- zanieczyszczenie połączeń elektrycznych silnika i włącznika,
- uszkodzenie izolacji uzwojeń (cieplne lub mechaniczne),
- zwarcie uzwojenia z rdzeniem ferromagnetycznym,
- nadmierny luz w elementach ruchomych,
- nietrwałe zamontowanie lub przemieszczenie się rozrusznika,
- niewłaściwe połączenia śrubowe elementów obudowy,
- zużycie korozyjne.

6. Elektryczne silniki wykonawcze

Elektryczne silniki wykonawcze występują w pojazdach samochodowych w następujących zastosowaniach:

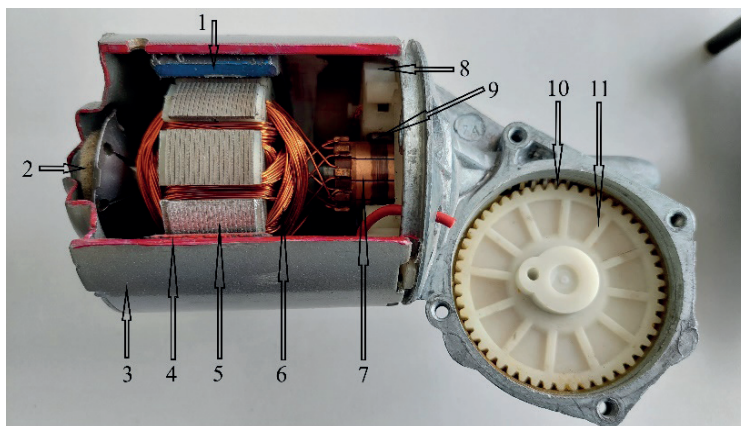
- napęd wycieraczek szyb,
- pompa spryskiwacza szyb,
- wentylator chłodnicy,
- nawiew powietrza wewnątrz pojazdu,
- pompa paliwa,
- pompa cieczy chłodzącej,
- pompa płynu AdBlue,
- pompa powietrza wtórnego,
- nastawnik przepustnicy,
- nastawnik ciśnienia doładowania,
- nastawnik zaworu recyrkulacji spalin EGR,
- wspomaganie układu kierowniczego,
- elektryczny hamulec pomocniczy,
- układ regulacji reflektorów,
- układ centralnego zamka,
- układ otwierania szyb,
- układ regulacji ustawienia foteli kierowcy i pasażera,
- układ składania lusterek bocznych,
- układ otwierania szyberdachu,
- układ otwierania i zamykania kłapy bagażnika.

W pojazdach samochodowych stosuje się następujące rodzaje silników wykonawczych:

- silnik komutatorowy z magnesem trwałym w stanie typu PMDC (*permanent magnet direct current*),
- silnik bezszczotkowy z magnesem trwałym w wirniku:
 - typu BLDC (*brushless direct current*),
 - typu BLSM (*brushless synchronous motor*),
- silnik krokowy (skokowy).

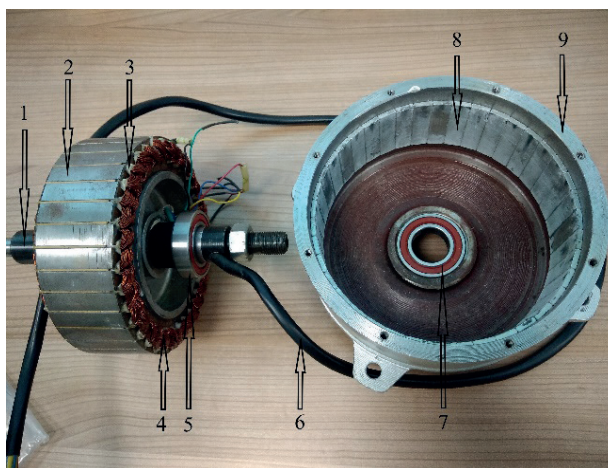
Silniki typu PMDC posiadają magnes trwały w stanie i uzwojenie twornika w wirniku połączone ze źródłem energii za pośrednictwem szczotek i komutatora. Prędkość obrotowa silnika typu PMDC jest zależna od napięcia zasilania, a moment obrotowy od natężenia prądu twornika. Zmiana biegunowości zasilania powoduje zmianę kierunku obrotów wirnika. Komutator służy do przełączania kierunku przepływu prądu w uzwojeniach twornika, które zmieniają swoje położenie względem biegunów magnetycznych magnesu trwałego, tak aby oddziaływanie ze strumieniem magnetycznym wprawiało wirnik w ruch obrotowy. Komutacja mechaniczna nie jest rozwiązaniem optymalnym i powoduje zużywanie się szczotek i komutatora w wyniku

iskrzenia i tarcia oraz elektryczne i mechaniczne straty mocy [10]. Jednak tego typu silniki dobrze nadają się do pracy dorywczej, a ich sterowanie jest bardzo uproszczone w porównaniu z silnikami komutowanymi elektronicznie (rys. 6.1).

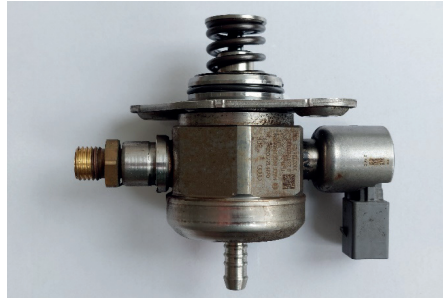


Rys. 6.1. Silnik komutatorowy z magnesem trwałym w stojanie, służący do napędu wycieraczek
(1 – magnes trwały, 2 – wałek wirnika i tulejka, 3 – obudowa, 4 – magnes trwały, 5 – rdzeń ferromagnetyczny wirnika, 6 – uzwojenie twornika, 7 – komutator, 8 – szczotkotrzymacz, 9 – szczotka grafitowa, 10 – przekładnia ślimakowa, 11 – reduktor prędkości obrotowej)

Silniki typu BLDC i BLSM posiadają magnes trwały w wirniku, a uzwojenia twornika o różnej liczbie par biegunów magnetycznych znajdują się w stojanie i są zasilane ze źródła energii za pośrednictwem układu sterującego (rys. 6.2 i 6.3).

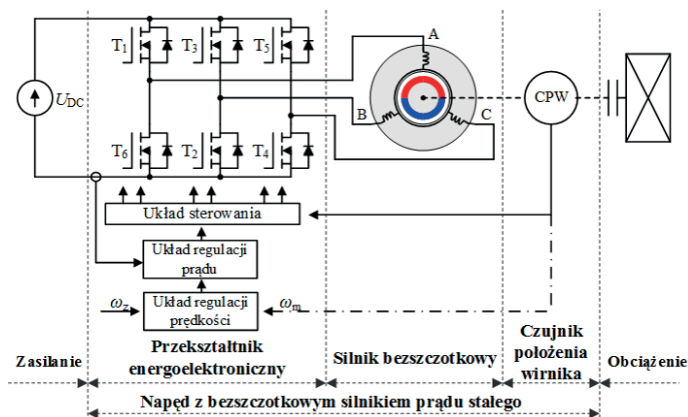


Rys. 6.2. Budowa silnika bezszczotkowego z magnesem trwałym i zewnętrznym wirnikiem
(1 – wałek stojana, 2 – rdzeń ferromagnetyczny stojana, 3 – przekładki izolacyjne, 4 – uzwojenie twornika, 5 – łożysko, 6 – przewód elektryczny, 7 – łożysko, 8 – magnesy trwałe wirnika, 9 – obudowa)



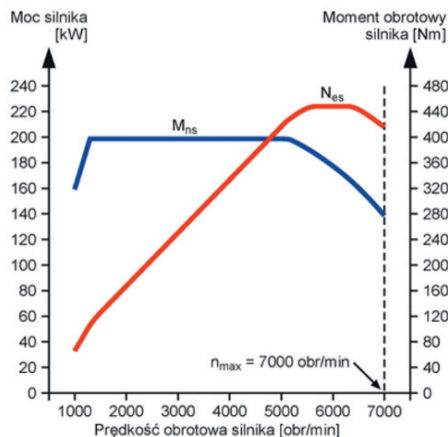
Rys. 6.3. Silnik z magnesem trwałym w wysokociśnieniowej pompie paliwa

Silniki bezszczotkowe wzbudzone magnesami trwałymi są także stosowane w układach napędowych pojazdów elektrycznych i hybrydowych, dlatego ich działanie i sterowanie w powiązaniu z budową zostanie szerzej omówione [6, 25]. W silnikach typu BLDC i BLSM częstotliwość prądu w uzwojeniu twornika jest wymuszona prędkością wirowania wirnika, a nie częstotliwością napięcia. Stosowane są czujniki kąta położenia wirnika, ponieważ w tych silnikach jest to wielkość sterowana. W tym celu wykorzystuje się także sygnał napięcia indukowanego w poszczególnych uzwojeniach przez obracający się magnes. Prędkość regulowana jest przez zmianę wartości napięcia. Silniki zasilane są napięciem stałym za pośrednictwem układu sterującego, a kształt rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie maszyny może być trapezowy (w silnikach BLDC) lub sinusoidalny (w silnikach BLSM). Rozkład trapezowy indukcji uzyskuje się, w przypadku gdy magnesy trwałe są umieszczone na powierzchni jarzma wirnika. W takiej sytuacji napięcie rotacji indukowane w uzwojeniu twornika ma także przebieg trapezowy. Dobre właściwości napędowe silnika z trapezowym rozkładem indukcji uzyskuje się wówczas, gdy przebieg prądu w pasmach uzwojenia jest także trapezowy. Taki przebieg prądu zapewniają klucze energoelektroniczne w sterowniku, złożone z tranzystorów i diod zabezpieczających (rys. 6.4).



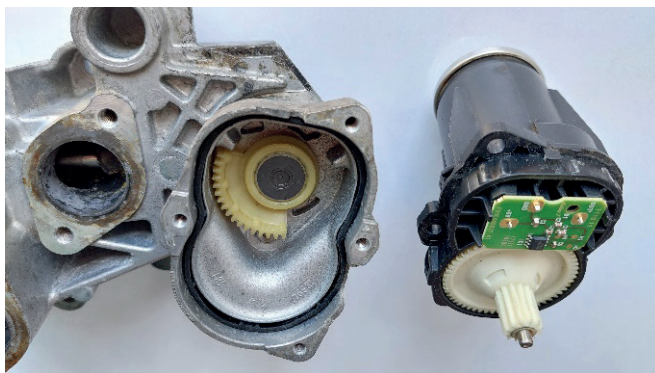
Rys. 6.4. Schemat układu sterowania silnika bezszczotkowego z magnesem trwałym

Silnik, który jest sterowany sinusoidalnie, powinien mieć zabudowane magnesy trwałe wewnątrz jarzma wirnika. Taka konstrukcja zabezpiecza magnesy przed rozmaagnesowaniem siłą magnetomotoryczną twornika. Wadą tego rozwiązania jest większy strumień rozproszenia magnesów trwałych, gdyż magnes jest częściowo bocznikowany przez jarzmo wirnika. Sterowanie kluczem sterownika jest realizowane przez modulację szerokości impulsów. Silnik sterowany trapezowo powinien pracować w zakresie prędkości obrotowej od zera do wartości znamionowej, wzrost prędkości jest realizowany przez zwiększanie napięcia zasilającego. Natomiast silnik sterowany sinusoidalnie może dodatkowo pracować w zakresie prędkości obrotowej od znamionowej do maksymalnej. Odbywa się to przy stałym napięciu zasilania i przy osłabianiu głównego strumienia magnetycznego w szczelinie powietrznej maszyny (przez oddziaływanie siły magnetomotorycznej wytwarzanej za pomocą prądu twornika). Proces ten nazywany jest odwzbudzeniem lub odmagnesowywaniem i wymaga zastosowania składowej odmagnesowującej w wektorze prądu twornika o odpowiednio dobranej wartości, przeciwnie skierowanej do wektora strumienia magnesów trwałych (w czasie normalnej pracy silnika składowa ta jest równa zero). Odmagnesowywanie pozwala ograniczyć wartość siły elektromotorycznej SEM (napięcia), indukowanej w uzwojeniu twornika. Jednak przy gwałtownym zmniejszeniu osłabiania pola magnetycznego magnesów trwałych może dojść do indukcji takiego napięcia w uzwojeniu twornika, które będzie niebezpieczne dla układu sterującego. Poza tym napięcie indukowane przez pole magnetyczne magnesów trwałych w uzwojeniu twornika jest przeciwnie skierowane do napięcia zasilającego i w efekcie może spowodować zmniejszenie prądu i momentu silnika [16]. Zakres prędkości wirnika od zera do wartości znamionowej odpowiada pracy silnika elektrycznego przy stałym momencie obrotowym, natomiast zakres prędkości wirnika od znamionowej do wartości maksymalnej odpowiada pracy silnika przy stałej mocy, zgodnie z charakterystyką silnika elektrycznego (rys. 6.5).



Rys. 6.5. Zależność mocy i momentu od prędkości obrotowej elektrycznego silnika napędowego pojazdu

Silniki krokowe posiadają magnes trwały lub rdzeń ferromagnetyczny w wirniku, a uzwojenia twornika, o różnej liczbie par biegunów magnetycznych i konfiguracji połączeń, znajdują się w stojanie i są zasilane ze źródła energii za pośrednictwem układu sterującego. Wykorzystują w swoim działaniu przekształcanie ciągu sterujących impulsów elektrycznych na ciąg przesunięć kątowych wirnika. Wirnik obraca się o pewien kąt, który jest proporcjonalny do liczby impulsów, a częstotliwość impulsów sterujących decyduje o prędkości wirnika. Kierunek obrotów zależy od sekwencji impulsów sterujących uzwojeniem silnika. Silnik przetwarza bezpośrednio sygnał sterujący na ustalone położenie wału wirnika. Silniki tego typu mogą pracować w napędach wymagających precyzyjnych ustawień elementów ruchomych (rys. 6.6).



Rys. 6.6. Silnik krokowy w układzie sterowania zaworem EGR

Występują one jako bipolarnie z dwoma uzwojeniami lub unipolarne z większą liczbą cewek i wyprowadzeń, do których dołącza się układ sterujący umożliwiający zmianę kierunku obrotów i prędkości oraz obrót o określony kąt. Silniki bipolarnie mają dwa oddzielne uzwojenia i cztery wyprowadzenia. Silniki unipolarne mają dwa uzwojenia z odczepami środkowymi połączonymi ze sobą (pięć wyprowadzeń) lub nie połączonymi (sześć wyprowadzeń). Silniki w układzie bifilarnym mają cztery oddzielne uzwojenia i osiem wyprowadzeń, co pozwala na połączenie szeregowo lub równoległe uzwojeń i pracę silnika w charakterze bipolarnym lub unipolarnym. Silnik typu unipolarnego może pracować z układami sterującymi o mniejszej komplikacji, ale charakteryzuje się mniejszym momentem obrotowym, ponieważ w danym cyklu pracy prąd płynie tylko przez połowę każdego uzwojenia. Pojedynczy skok wirnika w silnikach krokowych wynosi 0,72–3,6 stopnia. Wirnik silnika można precyzyjnie ustawić w potrzebnym położeniu, dostarczając mu odpowiednią liczbę impulsów. Maksymalna prędkość obrotowa może przyjmować wartość rzędu kilku do kilkunastu obrotów na sekundę, przy czym silnik dysponuje cały czas pełnym momentem obrotowym. Dzięki temu takie silniki mogą zastąpić stosowane wcześniej klasyczne rozwiązania z przekładnią i serwomechanizmy. Zaletą ich jest możliwość pracy w pętli otwartej, czyli bez sprzężenia zwrotnego i informacji o aktualnym położeniu wirnika. Silniki krokowe nie

mają szczotek, komutatora i elementów, w których występuje znaczne tarcie i z tego powodu są bardzo trwałe. Czas ich niezawodnego działania zależy od stanu i wytrzymałości łożysk. Wielkości fizyczne charakteryzujące silniki krokowe to napięcie, prąd, rezystancja uzwojeń, moment trzymający, bezprądowy moment spoczynkowy, rozdzielczość kątowa kroku oraz parametry zmiennoprądowe uzwojeń.

W dalszej kolejności zamieszczono matematyczne podstawy działania silników elektrycznych w celu wyjaśnienia zagadnień elektrycznych, magnetycznych i mechanicznych, które występują równocześnie w czasie pracy silników. Siła działająca na ładunek elektryczny poruszający się w polu magnetycznym wyraża się zależnością:

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) \quad (6.1)$$

gdzie:

- q – ładunek elektryczny,
- $\mathbf{V}$ – wektor prędkości ładunku elektrycznego,
- $\mathbf{B}$ – wektor indukcji magnetycznej.

Siła działająca na ładunek elementarny dq , poruszający się z prędkością $\mathbf{V}$ w przewodniku znajdującym się w polu magnetycznym jednorodnym o indukcji $\mathbf{B}$, jest równa sile elektrodynamicznej działającej na element przewodnika $d\mathbf{l}$, przez który płynie prąd o natężeniu i , wyraża się równaniem:

$$d\mathbf{F} = dq (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) = i dt \left(\frac{d\mathbf{l}}{dt} \times \mathbf{B} \right) = i (d\mathbf{l} \times \mathbf{B}) \quad (6.2)$$

gdzie:

- dt – czas, w którym nastąpiło przemieszczenie ładunku o długość $d\mathbf{l}$.
- Wartość siły elektrodynamicznej oblicza się według zależności:

$$F = i \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (6.3)$$

gdzie:

- α – kąt między przewodem o długości l , w którym płynie prąd i , a wektorem indukcji magnetycznej.

Jeżeli umieści się ramkę wykonaną z przewodnika i przewodzącą prąd stały I w obszarze między biegunami magnetycznymi, równoległe do kierunku wektora indukcji magnetycznej, wtedy na dwa boki ramki o długości l , znajdujące się naprzeciw różnoimiennych biegunów magnetycznych i oddalone od siebie o $2r$, będą działały siły powodujące powstanie momentu elektromagnetycznego o wartości:

$$M_e = 2F \cdot r = 2B \cdot I \cdot l \cdot r = 2 \frac{\phi}{A} \cdot I \cdot l \cdot r \quad (6.4)$$

gdzie:

- ϕ – strumień magnetyczny przenikający powierzchnię wyznaczoną przez ramkę,
- A – pole powierzchni wyznaczonej przez ramkę.

Jeżeli zamiast pojedynczej ramki zastosuje się cewkę o N zwojach, moment będzie większy i równy:

$$M_e = 2 \frac{\phi}{A} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot N = c_m \cdot \phi \cdot I \quad (6.5)$$

gdzie:

c_m – stała zależna od wymiarów konstrukcyjnych cewki.

Jeżeli przewodnik porusza się z prędkością V w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji B , to zaindukuje się w nim napięcie rotacji, które dla jednostki długości przewodnika dl jest równe:

$$de_r = (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} \quad (6.6)$$

Wartość napięcia rotacji oblicza się według zależności:

$$e_r = l \cdot V \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (6.7)$$

gdzie:

α – najmniejszy kąt zawarty między wektorami $\mathbf{V}$ i $\mathbf{B}$.

Przyczyną powstawania napięcia jest działanie siły i w efekcie przesunięcie elektronów w przewodniku. Jest to zjawisko działania siły na ruchomy ładunek elektryczny, który w tym przypadku porusza się wraz z przewodnikiem. Polaryzacja indukowanego napięcia jest taka, aby wymusić przepływ prądu, który spowoduje powstanie siły elektrodynamicznej o zwrocie przeciwnym do siły zewnętrznej.

Jeżeli strumień magnetyczny ϕ obejmujący swoim działaniem przewodnik elektryczny zmienia się w czasie, to w przewodniku zaindukuje się napięcie transformacji:

$$e_t = - \frac{d\phi}{dt} \quad (6.8)$$

Nazwy „napięcie rotacji” i „napięcie transformacji” związane są ze sposobem uzyskania napięcia w wyniku zjawiska indukcji (ruch przewodnika lub zmiana pola magnetycznego). Wartość indukowanego napięcia jest zależna od względnego ruchu uzwojenia i strumienia magnetycznego. W tym przypadku nie ma znaczenia, czy wiruje strumień magnetyczny, czy uzwojenie, a więc równania 6.7 i 6.8 są równoważne.

Napięcie zasilające uzwojenie twornika silnika elektrycznego jest równe sumie napięć indukowanych w tym uzwojeniu (rotacji i transformacji) oraz spadku napięcia na rezystancji uzwojenia:

$$u = e_r + e_t + i \cdot R = e_r + L \frac{di}{dt} + i \cdot R \quad (6.9)$$

gdzie:

i – prąd płynący przez uzwojenie twornika,

L – indukcyjność uzwojenia twornika,

R – rezystancja uzwojenia twornika.

Moment mechaniczny silnika elektrycznego oblicza się według zależności:

$$M_m = M_e - J \frac{d\omega}{dt} \quad (6.10)$$

gdzie:

M_e – moment elektromagnetyczny silnika,

J – moment bezwładności silnika,

ω – prędkość kątowna wirnika.

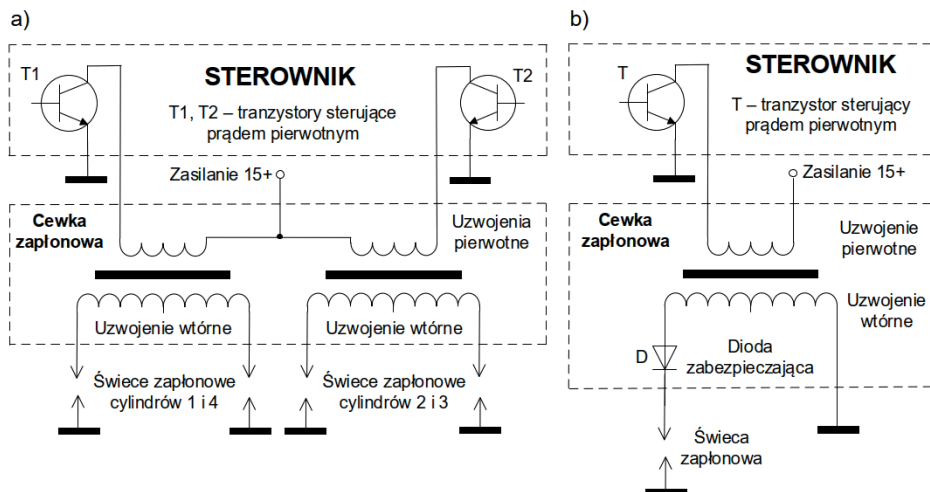
Elektryczne silniki wykonawcze w pojazdach samochodowych mogą mieć następujące uszkodzenia:

- nadmierne zużycie szczotek,
- zużycie sprężyn dociskających szczotki,
- zużycie komutatora (wypalenie, wykruszenie, zanieczyszczenie),
- zużycie łożysk,
- nierównomierna szczelina powietrzna,
- uszkodzenie wentylatora,
- przerwy lub zwarcia międzyzwojowe w uzwojeniach,
- zanieczyszczenie połączeń elektrycznych,
- uszkodzenie izolacji uzwojeń (cieplne lub mechaniczne),
- nietrwałe zamocowanie przewodów,
- nadmierny luz w elementach ruchomych,
- pęknięcia obudowy i elementów wewnętrznych,
- zużycie przekładni zębatych,
- zużycie mechaniczne elementów przeniesienia napędu,
- zużycie korozyjne,
- uszkodzenie sterownika.

7. Elektryczne elementy wykonawcze

7.1. Cewki zapłonowe

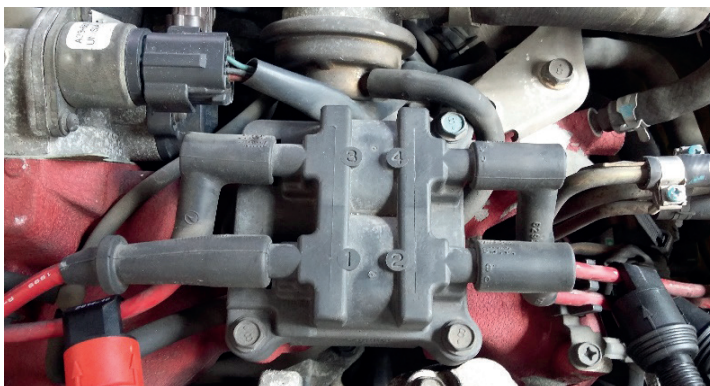
W pojazdach samochodowych z silnikiem o zapłonie iskrowym stosowane są najczęściej indywidualne (pojedyncze) cewki zapłonowe połączone z poszczególnymi świecami. Mogą występować osobno lub być przymocowane do wspólnej listwy z jednym złączem elektrycznym. W takich przypadkach są bezpośrednio połączone ze świecami zapłonowymi. W innym rozwiązaniu cewki mogą być zblokowane w jednej obudowie i wtedy do połączenia ze świecami wykorzystuje się przewody. Jednak najczęściej w układach z przewodami zapłonowymi i parzystą liczbą cylindrów stosowane są cewki dwuiskrowe (dwubiegunowe). W takim przypadku końce uzwojenia wtórnego cewki połączone są z dwiema świecami pracującymi w cylindrach, których tłoki poruszają się synchronicznie w tym samym kierunku. Między końcami uzwojenia wtórnego i masą powstają dwa napięcia i na dwóch świecach występuje równoczesne iskrzenie (rys. 7.1).



Rys. 7.1. Sposób połączenia cewki zapłonowej dwuiskrowej (a) i indywidualnej (b) ze sterownikiem i świecami

W określonej chwili w jednym cylindrze występuje sprężanie powietrza, odparowanie wprowadzonego paliwa i zapłon mieszanki, a w drugim cylindrze otwarcie zaworów wylotowych i wydech gazów spalinowych. Po obrocie wału korbowego silnika o 360° sytuacja jest odwrotna. W ten sposób następuje naturalne rozdzielanie zapłonu, a energia iskry wykorzystywanej do zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej jest znacznie większa, ponieważ przeskakuje ona w tej komorze spalania, w której występuje większe ciśnienie [32, 33]. W praktyce dla silnika czterocylindrowego najczęściej

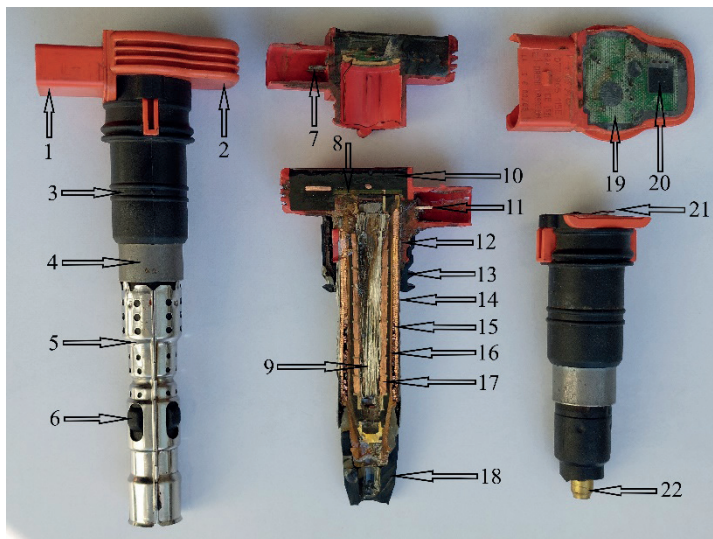
stosuje się dwie cewki tego typu, które mogą występować oddzielnie lub we wspólnej obudowie (rys. 7.2). Jedna z nich jest połączona ze świecami cylindrów 1 i 4, a druga ze świecami cylindrów 2 i 3, niezależnie od kolejności ich pracy. W szczególnych przypadkach dwie cewki dwuiskrowe mogą tworzyć w jednej obudowie zespół, w którym jedna z nich jest bezpośrednio połączona ze świecą, a druga za pośrednictwem przewodu. W silnikach z pośrednim wtryskiem paliwa mogą być stosowane cewki indywidualne i dwuiskrowe, a w silnikach z wtryskiem bezpośrednim do komory spalania wykorzystuje się cewki indywidualne. Dla obydwu rodzajów cewek zapłonowych główna część układu sterowania może występować w sterowniku silnika lub w obudowie cewki. W dużo starszych pojazdach stosowana była jedna cewka zapłonowa i mechaniczny rozdzielacz zapłonu, co uniemożliwiało precyzyjną regulację kąta wyprzedzenia zapłonu i powodowało większe straty energii w układzie.



Rys. 7.2. Zespół dwóch cewek dwuiskrowych we wspólnej obudowie

Cewki zapłonowe zbudowane są z następujących elementów (rys. 7.3):

- uzwojenie pierwotne (przykładowo 200 zwojów izolowanego drutu miedzianego o przekroju $0,75 \text{ mm}^2$),
- uzwojenie wtórne (przykładowo 20000 zwojów izolowanego drutu miedzianego o przekroju $0,063 \text{ mm}^2$),
- rdzeń ferromagnetyczny wewnętrzny,
- blacha ferromagnetyczna zewnętrzna,
- elementy izolacyjne,
- masa uszczelniająca,
- gniazda i piny elektryczne (niskonapięciowe i wysokonapięciowe),
- styk świecy zapłonowej (w cewce bezpośrednio łączonej ze świecą),
- elektroniczny moduł zapłonowy (może być też umieszczony w sterowniku),
- dioda prostownicza w uzwojeniu wtórnym (w cewce indywidualnej),
- rezystor przeciwzakłóceń (opcjonalnie),
- obudowa.



Rys. 7.3. Budowa zewnętrzna i wewnętrzna cewki zapłonowej pojedynczej (1 – osłona styków uzwojenia pierwotnego, 2 – głowica cewki, 3 – obudowa elastyczna, 4 – blacha ferromagnetyczna, 5 – osłona styku świcy zapłonowej, 6 – elastyczna osłona izolacyjna, 7 – pin uzwojenia pierwotnego, 8 – moduł elektroniczny, 9 – rdzeń ferromagnetyczny pakietowany, 10 – masa uszczelniająca, 11 – pin uzwojenia pierwotnego, 12 – obudowa z tworzywa sztucznego, 13 – obudowa elastyczna, 14 – blacha ferromagnetyczna, 15 – uzwojenie pierwotne, 16 – warstwa izolacyjna i masa uszczelniająca, 17 – uzwojenie wtórne, 18 – elastyczna osłona izolacyjna, 19 – moduł elektroniczny, 20 – tranzystor sterujący, 21 – końcówka uzwojenia pierwotnego, 22 – styk świcy zapłonowej)

Działanie cewki rozpoczyna się od połączenia jej uzwojenia pierwotnego ze źródłem energii. Prąd w uzwojeniu nie osiąga wartości ustalonej w sposób skokowy, dąży do niej z opóźnieniem czasowym uzależnionym od reaktancji indukcyjnej uzwojenia cewki. Przerwanie przepływu prądu za pomocą układu sterowania powinno nastąpić po osiągnięciu wartości ustalonej prądu cewki i zgromadzeniu odpowiedniej energii w polu magnetycznym. Wtedy zmienne w czasie pole magnetyczne, przenikające uzwojenia pierwotne i wtórne, indukuje w nich napięcia proporcjonalne do liczby zwojów i szybkości zmian strumienia magnetycznego w czasie (zjawisko indukcji elektromagnetycznej). W uzwojeniu pierwotnym powstaje napięcie rzędu kilkuset woltów, a w uzwojeniu wtórnym indukuje się napięcie rzędu kilkunastu lub kilkudziesięciu tysięcy woltów. Napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym jest dostarczane do świcy zapłonowej i powoduje przepływ prądu (przeskok iskry) między jej elektrodami oraz zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze spalania silnika. W dalszej kolejności przedstawiono zależności matematyczne opisujące działanie cewki zapłonowej:

$$i_1 = \frac{U}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = I_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{L_1/R_1}} \right) \quad (7.1)$$

$$E_{2max} = I_1 \sqrt{\frac{L_1}{C_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) + C_2}} \quad (7.2)$$

$$\frac{E_{2max}}{E_{1max}} = \frac{N_2}{N_1} \quad (7.3)$$

$$W = \frac{1}{2} L_1 \cdot i_1^2 \quad (7.4)$$

gdzie:

- i_1 – wartość chwilowa prądu pierwotnego,
- U – napięcie akumulatora (alternatora),
- R_1 – rezystancja obwodu pierwotnego,
- t – czas przepływu prądu pierwotnego,
- T – stała czasowa obwodu pierwotnego,
- L_1 – indukcyjność obwodu pierwotnego,
- I_1 – wartość ustalona prądu pierwotnego,
- E_{1max} – amplituda napięcia indukowanego w obwodzie pierwotnym,
- E_{2max} – amplituda napięcia indukowanego w obwodzie wtórnym,
- N_1 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego,
- N_2 – liczba zwojów uzwojenia wtórnego,
- C_1 – pojemność obwodu pierwotnego,
- C_2 – pojemność obwodu wtórnego,
- W – energia zgromadzona w cewce.

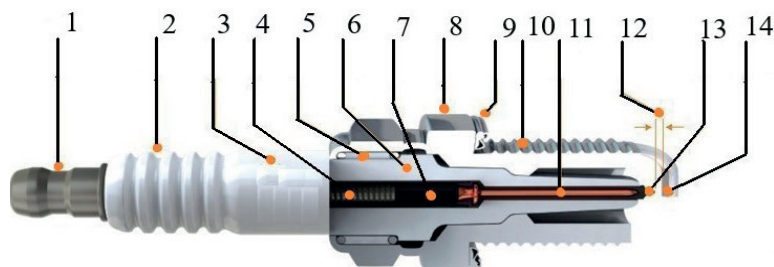
Cewki zapłonowe w pojazdach mogą mieć następujące uszkodzenia:

- przerwy w połączeniach elektrycznych,
- zwarcia międzyzwojowe,
- uszkodzenie izolacji,
- przebicie do rdzenia,
- uszkodzenie elementów elektronicznych cewki,
- pęknięcie obudowy, izolatorów, rdzenia,
- zanieczyszczenie i uszkodzenie mechaniczne elementów połączeniowych,
- zanieczyszczenie obudowy,
- ubytki i pęknięcia w substancji uszczelniającej,
- uszkodzenie złącza i zacisków,
- zużycie korozyjne.

7.2. Świece zapłonowe

Świeca zapłonowa zbudowana jest z następujących elementów (rys. 7.4):

- elektroda środkowa (centralna),
- rdzeń miedziany elektrody środkowej,
- elektroda boczna masowa (lub elektrody) – połączona z korpusem,
- izolator ceramiczny (oddziela elektrodę środkową od bocznej),
- korpus,
- nakrętka kontaktowa,
- kołek kontaktowy (łączy elektrodę środkową z nakrętką),
- uszczelka zewnętrzna (uszczelnia połączenie gwintowane świecy z głowicą),
- uszczelka wewnętrzna (między korpusem a izolatorem ceramicznym),
- uszczelniacz wewnętrzny, rezystor (proszek szklany i miedziany).



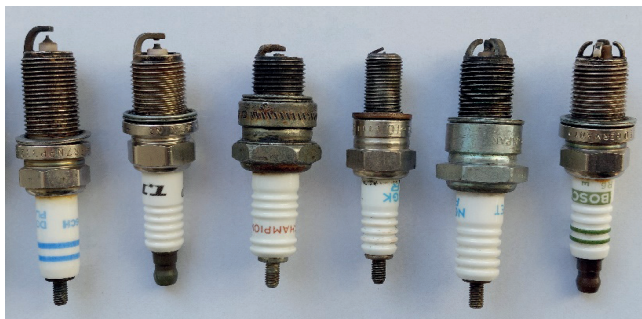
Rys. 7.4. Budowa świecy zapłonowej (1 – nakrętka kontaktowa, 2 – uzębrowana powierzchnia izolatora ceramicznego, 3 – płaska powierzchnia izolatora ceramicznego, 4 – kołek kontaktowy, 5 – warstwa uszczelniająca, 6 – izolator wewnętrzny, 7 – uszczelniacz szklany (rezystor ceramiczny), 8 – obudowa metalowa (korpus), 9 – uszczelka zewnętrzna, 10 – obudowa gwintowana, 11 – elektroda środkowa z rdzeniem miedzianym, 12 – szczelina powietrzna, 13 – końcówka elektrody środkowej, 14 – elektroda boczna masowa)

Źródło: *Spark Plug / Working of Spark Plug*, blogmech.com/spark-plug-working-of-a-spark-plug/ (dostęp 29.09.2023 r.).

Podział świec ze względu na materiał elektrod [60]:

- świece standardowe niklowo-litowe i miedziane (mała trwałość; średnia wytrzymałość dla paliwa benzynowego 30000 km, a dla paliwa gazowego 15000 km),
- świece irydowe (duża trwałość; odporność na zużycie erozyjne; mniejsza średnica elektrody, co skutkuje mniejszym napięciem zapłonu i lepszym rozchodzeniem się frontu płomienia; średnia wytrzymałość dla paliwa benzynowego 60000 km, a dla paliwa gazowego 30000 km),
- świece platynowe (płytką platynową w elektrodzie; duża trwałość; smukła elektroda; dobrze sprawdza się w instalacjach gazowych LPG i CNG; średnia wytrzymałość dla paliwa benzynowego 100000 km, a dla paliwa gazowego 30000 km).

Elektrody środkowe mogą być także wykonane ze srebra lub stopu irydu i rod. Iryd lub platyna mogą występować tylko w elektrodzie środkowej lub w środkowej i bocznej, która może też być wzbogacona itrem. Metale szlachetne w elektrodach występują najczęściej w postaci cienkich pinów lub płytek przyspawanych laserowo. Elektrody mogą mieć też rowki i nacięcia ułatwiające przeskok iskry, niekiedy są pokrywane dodatkową substancją antykorozyjną. Nikiel ma temperaturę topnienia 1440 °C, platyna 1700 °C, a iryd 2450 °C. Zastosowanie metali szlachetnych wydłużyło znacznie czas eksploatacji świecy i pozwoliło na zmniejszenie średnicy elektrody środkowej nawet do 0,4 mm. Zastosowanie kilku elektrod bocznych zwiększyło liczbę miejsc przeskoku iskry, co spowodowało ich mniejsze zużycie i zwiększyło szansę prawidłowego iskrzenia (rys. 7.5).



Rys. 7.5. Świece zapłonowe z różną liczbą i konfiguracją elektrod

Elektroda środkowa świecy jest połączona z wyjściem wysokonapięciowym cewki zapłonowej, a elektroda boczna z masą silnika. Gdy napięcie między elektrodami osiągnie odpowiednią wartość (napięcie zapłonu) i wystąpi zjawisko jonizacji cząsteczek gazu, rozpoczyna się przepływ prądu. W pierwszej fazie wyładowania ma charakter pojemnościowy, cechuje się gwałtownym wzrostem prądu (do 7–10 A) i trwa od kilku do kilkunastu mikrosekund. W drugiej fazie wyładowania ma charakter indukcyjny, prąd szybko zmniejsza się do kilkudziesięciu miliamperów, przez chwilę ma charakter oscylacyjny, następnie przyjmuje wartość stałą, a czas trwania tej fazy wynosi 1,5–2 ms. Elektroda masowa może być położona względem środkowej czołowo, bocznie lub pierścieniowo. Iskra może mieć charakter powietrzny, gdy przeskakuje bezpośrednio między elektrodami lub półślizgowy, gdy częściowo ślizga się po izolatorze. Wynika to z budowy świecy lub zanieczyszczenia izolatora, którego nagar łatwiej przewodzi prąd niż powietrze i w ten sposób zostaje wypalony, a świeca ulega oczyszczeniu. Świeca podczas pracy jest narażona na wysoką temperaturę gazów spalinowych (do 2500 °C) i duże ciśnienie (do 6 MPa). Izolator oprócz dobrych właściwości dielektrycznych musi się również charakteryzować odpornością mechaniczną. Bardziej skomplikowaną budowę mają świece stosowane w silnikach doładowanych z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania. Występują tam trudniejsze warunki zapłonu i oczyszczania świecy z powodu wyższego ciśnienia, spalania mieszanek

uwarstwionych i ubogich, krótszego czasu na odparowanie paliwa i bliskiej odległości wtryskiwacza od świecy. Ponadto występuje tendencja do wypadania zapłonów przy małych prędkościach obrotowych. Kluczowe znaczenie ma wzajemne położenie świecy i wtryskiwacza, dlatego bardzo ważne jest wkręcenie świecy z odpowiednim momentem siły i zastosowanie miedzianych uszczelek [49].

Wielkości fizyczne charakteryzujące świecę zapłonową [60]:

- wartość cieplna: 450–850 °C,
- średnica elektrody środkowej: 0,4–2,5 mm,
- średnica gwintu: typowo 10, 12, 14, 18 mm,
- długość gwintu: 19 lub 26,5 mm,
- liczba elektrod bocznych: 1, 2, 3 lub 4,
- odstęp między elektrodami: 0,5–1,5 mm,
- moment siły dokręcania: 10–30 Nm.

Wartość cieplna świecy jest to temperatura pracy, przy której następuje samoczynne oczyszczanie świecy z zanieczyszczeń powstających w procesie spalania (nagar, olej, sadza). Jednak, gdy temperatura świecy osiąga wartość około 1000 °C, mogą wystąpić niekontrolowane zapłony żarowe. W związku z tym wyróżnia się świece gorące, które trudniej odprowadzają ciepło i są przeznaczone do silników o mniejszych temperaturach pracy oraz świece zimne, które łatwiej odprowadzają ciepło i są przeznaczone do silników o większych temperaturach pracy. Świece gorące mają dłuższą stopę izolatora elektrody środkowej i większą komorę cieplną, a świece zimne mają krótszą stopę izolatora elektrody środkowej, tkwiącą w komorze cieplnej o małej pojemności. Stożek izolatora łączy się przez uszczelkę wewnętrzną z korpusem świecy i za ich pośrednictwem odprowadza ciepło do głowicy silnika.

Świece zapłonowe w pojazdach mogą mieć następujące uszkodzenia:

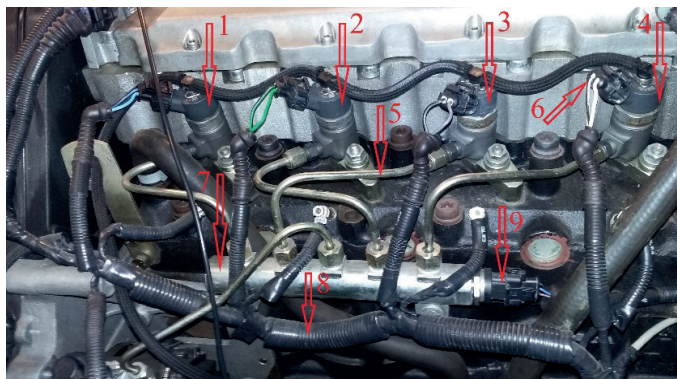
- przerwy w połączeniach elektrycznych,
- pęknięcie izolatora zewnętrznego i wewnętrznego,
- wygięcie się elektrod,
- zużycie elektrod (nagar, ubytek, wypalenie, wykruszenie, korozja),
- zaolejenie elektrod i izolatora,
- uszkodzenie gwintu i podkładek uszczelniających,
- korozja elementów przewodzących,
- nietrwałe połączenie z przewodem lub cewką.

7.3. Wtryskiwacze paliwa

W układach wtryskowych benzyny i oleju napędowego stosowane są elektryczne wtryskiwacze typu elektromagnetycznego i piezoelektrycznego. W pierwszym z nich nieruchoma cewka zasilana prądem powoduje ruch rdzenia ferromagnetycznego, a w drugim prąd ładowania stosu piezoelementów powoduje przemieszczanie się kryształów tworzących ich strukturę i zmianę długości całego stosu (zjawisko piezoelektryczne opisano w rozdziale 8.5). Wtryskiwacz elektromagnetyczny posia-

da charakterystyczne cechy elektrycznego elementu indukcyjnego (cewki), natomiast wtryskiwacz piezoelektryczny zachowuje się podobnie jak element pojemnościowy (kondensator) [19]. Wtryskiwacz typu piezoelektrycznego charakteryzuje się krótszym czasem działania, ponieważ nie ma elementów indukcyjnych, a tym samym opóźnienia podczas narastania prądu. Poza tym posiada mniejszą masę elementów ruchomych i jest stosowany w układach, w których realizuje się kilka wtrysków paliwa w krótkim czasie. Przykładowe wydłużenie stosu wynosi 30–35 μm , a czas zadziałania 0,1–0,6 ms. Rezystancja cewki wtryskiwacza elektromagnetycznego przyjmuje wartość od kilku dziesiątych do kilku omów. W układach bezpośredniego wtrysku stosuje się cewki o mniejszych rezystancjach i generowane są tam większe napięcia w celu szybszego włączenia wtryskiwacza (40–80 V). Wtryskiwacze piezoelektryczne są uruchamiane jeszcze większym napięciem (do 160 V), a rezystancja stosu piezoelementów przyjmuje wartości od 150 do 200 k Ω . Prąd ładujący piezoelementy ma często charakter oscylacyjny, a w celu wyłączenia wtryskiwacza piezoelement musi być rozładowany prądem o przeciwnym kierunku przepływu.

W zależności od systemu wtryskowego i ciśnienia wtrysku występują różne konstrukcje wtryskiwaczy. Budowę i zasadę działania omówiono dla wysokociśnieniowych wtryskiwaczy elektromagnetycznych i piezoelektrycznych, stosowanych w układach Common Rail silników z zapłonem samoczynnym (rys 7.6).

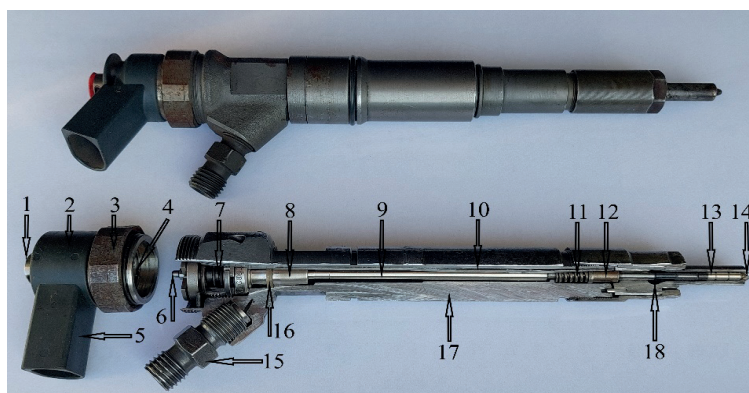


Rys. 7.6. Wtryskiwacze paliwa w układzie Common Rail (1, 2, 3, 4 – wtryskiwacze, 5 – przewód paliwowy, 6 – złącze elektryczne wtryskiwacza, 7 – zasobnik paliwa, 8 – wiązka przewodów elektrycznych, 9 – czujnik ciśnienia paliwa)

Wtryskiwacz elektromagnetyczny jest zbudowany z następujących elementów (rys. 7.7 i 7.8):

- cewka elektromagnesu,
- kotwica elektromagnesu (rdzeń ferromagnetyczny),
- iglica rozpylacza,
- zabierak iglicy (opcjonalnie),
- kotwica,

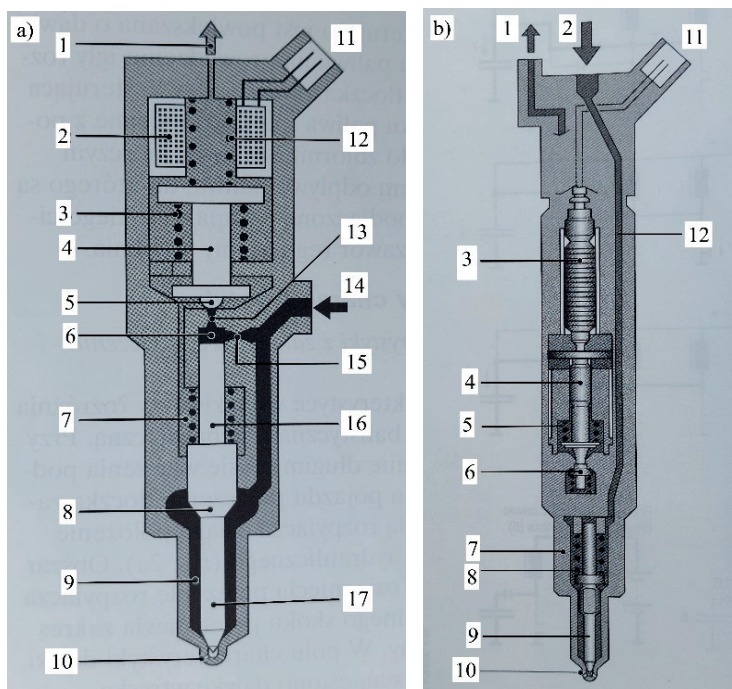
- kulka zaworu,
- tłoczek,
- sprężyny,
- rozpylacz z gniazdem zaworu,
- kanaliki dopływu i odpływu paliwa,
- dławiki dopływu i odpływu paliwa,
- komora sterująca zaworu,
- komora rozpylacza,
- pierścień uszczelniający,
- złącze elektryczne,
- króciec dopływu paliwa,
- króciec odpływu paliwa,
- filtr paliwa,
- obudowa.



Rys. 7.7. Budowa zewnętrzna i wewnętrzna wysokociśnieniowego wtryskiwacza elektromagnetycznego (1 – króciec odpływu paliwa, 2 – obudowa cewki, 3 – nakrętka, 4 – cewka i sprężyna rdzenia kotwicy, 5 – obudowa styków elektrycznych, 6 – kotwica i rdzeń ferromagnetyczny, 7 – sprężyna zaworu i komora sterująca, 8 – obudowa tłoczka, 9 – tłoczek, 10 – kanałik dopływu paliwa, 11 – sprężyna rozpylacza, 12 – górna część iglicy rozpylacza, 13 – iglica rozpylacza, 14 – gniazdo zaworu rozpylacza, 15 – króciec dopływu paliwa, 16 – pierścień uszczelniający, 17 – obudowa stalowa, 18 – komora rozpylacza)

Gdy wtryskiwacz jest zamknięty, kulka kotwicy jest dociskana siłą sprężyny zaworu do gniazda dławika odpływu. W komorze sterującej i w komorze rozpylacza panuje takie samo ciśnienie, równe ciśnieniu paliwa w zasobniku. Siła działająca na powierzchnię czołową tłoczka sterującego oraz siła sprężyny rozpylacza skierowane są przeciwnie do siły działającej na górną część iglicy rozpylacza i utrzymują iglicę w położeniu odpowiadającym zamknięciu gniazda zaworu. Gdy przez cewkę wtryskiwacza zaczyna płynąć prąd, wytwarza się pole magnetyczne, które oddziałuje z rdzeniem ferromagnetycznym kotwicy i pokonując opór sprężyny powoduje jej podniesienie. Kotwica unosi kulkę zaworu i otwiera dławik odpływu, a paliwo z komory sterującej

przepływa przez kanał przelewu i króciec odpływu do zbiornika. Ciśnienie w komorze sterującej staje się mniejsze niż ciśnienie w komorze rozpylacza, siła działająca na tłoczek zmniejsza się i iglica zostaje uniesiona, otwierając gniazdo zaworu rozpylacza. Rozpoczyna się wtrysk paliwa, a tłoczek dochodzi do górnego zderzaka i utrzymuje się na „poduszce” paliwowej, wytwarzanej przez strumień paliwa przepływającego między dławikiem dopływu i dławikiem odpływu. Przerwanie przepływu prądu w cewce powoduje, że kotwica jest dociskana w dół przez sprężynę i kulka zaworu zamyka dławik odpływu, a paliwo dopływające przez dławik dopływu zwiększa ciśnienie w komorze sterującej i następuje zamknięcie otworów wtryskowych przez iglicę rozpylacza. Kotwica może być połączona bezpośrednio z iglicą lub za pośrednictwem zabieraka [19, 61].



Rys. 7.8. Budowa wtryskiwaczy wysokociśnieniowych stosowanych w układach Common Rail:
a) elektromagnetycznego (1 – króciec odpływu paliwa, 2 – cewka, 3 – sprężyna, 4 – kotwica, 5 – kulka zaworu, 6 – komora sterująca, 7 – sprężyna rozpylacza, 8 – górna część iglicy rozpylacza, 9 – komora rozpylacza, 10 – gniazdo zaworu i kanałik wtryskowy, 11 – złącze elektryczne, 12 – sprężyna zaworu, 13 – dławik odpływu, 14 – króciec dopływu paliwa, 15 – dławik dopływu, 16 – tłoczek, 17 – iglica rozpylacza); b) piezoelektrycznego (1 – króciec odpływu paliwa, 2 – króciec dopływu paliwa, 3 – siłownik piezoelektryczny, 4 – moduł łączący i kompensator, 5 – sprężyna, 6 – zawór, komora sterująca i sprężyna, 7 – obudowa, 8 – sprężyna rozpylacza, 9 – iglica rozpylacza, 10 – gniazdo zaworu i kanałik wtryskowy, 11 – złącze elektryczne, 12 – kanałik dopływu paliwa) [61]

Wtryskiwacz piezoelektryczny jest zbudowany z następujących elementów (rys. 7.8):

- siłownik (stos kilkudziesięciu elementów piezoceramicznych),
- moduł łączący,
- kompensator (niweluje skutki wydłużenia cieplnego i zapewnia swobodę ruchu siłownika i iglicy rozpylacza),
- króciec dopływu paliwa,
- króciec odpływu paliwa,
- kanaliki dopływu i odpływu paliwa,
- dławiki dopływu i odpływu paliwa,
- zawór sterujący,
- komora sterująca,
- komora rozpylacza,
- rozpylacz z gniazdem zaworu,
- iglica rozpylacza,
- sprężyny,
- uszczelniacze,
- złącze elektryczne,
- filtr paliwa,
- obudowa.

Gdy wtryskiwacz jest zamknięty, ciśnienie paliwa w komorze sterującej utrzymuje iglicę w dolnym położeniu, odpowiadającym zamknięciu gniazda zaworu rozpylacza. Prąd zaczyna płynąć przez stos piezoelementów, który rozszerza się i – za pośrednictwem modułu łączącego – otwiera zawór sterujący, równocześnie zamykający kanał obejściowy. Odpływ paliwa przez zawór i zmniejszenie się ciśnienia w komorze sterującej powoduje uniesienie iglicy rozpylacza i wtrysk paliwa. W celu zakończenia tego procesu piezoelement jest rozładowywany prądem o przeciwnym kierunku, zmniejsza się jego objętość i moduł łączący cofa się. Zawór sterujący zamyka się i równocześnie otwiera kanał obejściowy. Komora sterująca napęnia się paliwem, wzrasta w niej ciśnienie, a iglica wspomagana przez sprężynę jest dociskana do gniazda zaworu i wtrysk paliwa zostaje zakończony [61].

Wtryskiwacze elektromagnetyczne są sterowane pojedynczym impulsem prądowym, pracują z ograniczeniem prądu w drugiej fazie wtrysku lub są zasilane prądem zmieniającym się impulsowo z dużą częstotliwością. Wszystkie zmiany prądu powodują w cewce wtryskiwacza impulsy napięciowe, które są widoczne na obrazie oscyloskopowym. Wtryskiwacze piezoelektryczne są ładowane i rozładowywane zmieniającym się impulsowo prądem, którego składowa stała może być także ograniczana w trakcie cyklu wtrysku paliwa. Napięcie osiąga maksymalną wartość po naładowaniu piezoelementu, a po zmianie kierunku prądu i rozładowaniu zmniejsza się do zera.

W układach niekonwencjonalnych bezpośredniego wtrysku paliwa mogą być stosowane dwa wtryskiwacze w jednej komorze spalania. Układ taki powoduje bardziej intensywne rozpylenie strumienia paliwa oraz skuteczniejsze napełnienie komory spa-

lania, może nieznacznie zwiększyć moment obrotowy silnika i zredukować zawartość dwutlenku węgla w spalinach. Jednak w takich systemach zwiększa się temperatura pracy głowicy silnika i występuje konieczność bardziej intensywnego chłodzenia. Innym niestandardowym rozwiązaniem jest umieszczenie jednego wtryskiwacza w komorze spalania, a drugiego w kolektorze dolotowym. Może to spowodować zmniejszenie zużycia paliwa i związków toksycznych w spalinach oraz nieznaczne zwiększenie momentu obrotowego silnika. W trakcie rozruchu zimnego silnika stosuje się wtrysk pośredni podczas suwu dolotu, a bezpośredni podczas suwu sprężania. Tworzy się uwarstwioną ubogą mieszanekę, która szybciej podgrzewa konwerter katalityczny. W czasie biegu jałowego silnika stosuje się wtrysk bezpośredni, a przy małych i częściowych obciążeniach silnika podczas suwu dolotu pracują obydwa wtryskiwacze i tworzy się stechiometryczny skład mieszanki. Przy dużych obciążeniach silnika zastosowanie wtrysku bezpośredniego powoduje zmniejszenie temperatury ładunku w fazie dolotu, większą sprawność napełniania i ograniczenie tendencji do zbyt wczesnego zapłonu. W niektórych silnikach z zapłonem samoczynnym stosuje się wtryskiwacze regeneracyjne, które wtryskują paliwo do kolektora wydechowego w celu podniesienia temperatury filtra cząstek stałych w fazie jego regeneracji.

Wtryskiwacze paliwa mogą mieć następujące uszkodzenia:

- nietrwałe połączenie elektryczne,
- zwarcia międzyzwojowe w cewce,
- uszkodzenie struktury krystalicznej piezoelementu,
- zużycie sprężyny,
- zużycie kotwicy i gniazda zaworu,
- odkształcenie otworów wtryskowych,
- niewłaściwe połączenie przewodów paliwowych,
- zanieczyszczenia i osady wewnętrzne i zewnętrzne,
- utrata drożności,
- nieszczelność,
- zużycie korozyjne.

7.4. Zawory elektromagnetyczne

Zawory elektromagnetyczne zbudowane są z następujących elementów:

- cewka elektromagnesu,
- kotwica elektromagnesu (rdzeń ferromagnetyczny),
- iglica,
- gniazdo zaworu,
- sprężyna,
- złącze elektryczne,
- elementy izolacyjne,
- obudowa.

Zawory elektromagnetyczne stosowane w pojazdach samochodowych mogą być dwustanowe, czyli ustawiane jako otwarte lub zamknięte, a także proporcjonalne, czyli regulowane w sposób płynny [55]. Zawory są najczęściej włączane sygnałem o zmiennym współczynniku wypełnienia impulsu i stałej amplitudzie (PWM), który umożliwia zmianę średniej wartości napięcia i prądu. W pojazdach samochodowych stosowane są następujące zawory elektromagnetyczne (rys. 7.9):

- zawór pochłaniacza par paliwa,
- zawór regulacyjny ciśnienia paliwa (w układach Common Rail),
- zawór regulacyjny dawkowania paliwa (w układach Common Rail),
- zawór ograniczający ciśnienie/dawkowanie paliwa (w układach bezpośredniego wtrysku benzyny),
- zawór dozujący płyn AdBlue,
- zawór zmiennych faz rozrządu,
- zawór recyrkulacji spalin EGR (*exhaust gas recirculation*),
- zawór chłodnicy układu EGR,
- zawór obejściowy ograniczający ciśnienie doładowania,
- regulator ciśnienia pompy oleju,
- zawór doładowania (steruje zaworem upustowym turbosprężarki),
- zawór sprężarki klimatyzacji,
- zawór wyłączania wtryskiwacza regeneracyjnego filtra cząstek stałych,
- regulator ciśnienia paliwa.



Rys. 7.9. Zawory elektromagnetyczne (budowa zewnętrzna)

Zawór pochłaniacza par paliwa jest umieszczony przy filtrze z węglem aktywnym i służy do odprowadzania z niego oparów benzyny do kolektora dolotowego między przepustnicą a zaworami dolotowymi. Sterownik otwiera zawór przy nagrzanym silniku na biegu jałowym i przy częściowych obciążeniach.

Zawór regulacyjny ciśnienia paliwa służy do regulacji wysokiego ciśnienia w zasobniku paliwa i może być zamontowany w zasobniku lub przy pompie wysokiego ciśnienia. Doprowadzenie napięcia do cewki zaworu powoduje dociśnięcie kotwicy do gniazda, zamknięcie przelewu paliwa i wzrost ciśnienia w zasobniku. Za pomocą współczynnika wypełnienia impulsu sygnału sterującego zaworem, regulowany jest przekrój kanału i ciśnienie w zasobniku zmienia się w zależności od ilości paliwa powracającego do zbiornika.

Zawór regulacyjny dawkowania paliwa służy do regulacji ilości paliwa dostarczanego do pompy wysokiego ciśnienia, a z kolei ciśnienie w zasobniku zależy od wydajności pompy. Zawór elektromagnetyczny działa na tłoczek regulacyjny dawkowania, który jest tak przesuwany, aby dostarczyć do pompy odpowiednią dawkę paliwa. Pompa wysokiego ciśnienia może mieć jeszcze zawór ograniczający ciśnienie, który uaktywnia się w momencie uszkodzenia zaworu regulacyjnego dawkowania paliwa. Jeżeli pompa nie posiada takiego zaworu, to pracuje tylko zawór regulacyjny ciśnienia paliwa.

Zawór ograniczający ciśnienie/dawkowanie paliwa uruchamia zawór wlotowy w pompie wysokiego ciśnienia i wtedy przetłacza ona zassane paliwo z powrotem do obwodu zasilania zamiast do kolektora wysokiego ciśnienia.

Zawór dozujący płyn AdBlue jest umieszczony między filtrem cząstek stałych a katalizatorem SCR i służy do dawkowania mocznika w układzie wylotowym silnika z zapłonem samoczynnym. Wtrysnięty płyn umożliwia przetworzenie tlenków azotu zawartych w spalinach na amoniak i kwas cyjanowy. Amoniak ulega redukcji na azot i wodę w katalizatorze SCR.

Zawór zmiennych faz rozrządu umożliwia regulację chwil otwarcia i zamknięcia zaworów dolotowych lub wylotowych w celu optymalnego napełniania cylindrów i recyrkulacji spalin. Olej pod ciśnieniem jest kierowany do przestawiacza (wariatora) wałka rozrządu. Regulacja odbywa się w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia silnika oraz sygnałów z czujnika położenia wałka rozrządu i czujnika położenia wału korbowego.

Zawór recyrkulacji spalin służy do otwarcia połączenia między kolektorem wylotowym a układem dolotowym powietrza i wprowadzenia części spalin z powrotem do komory spalania. W silnikach benzynowych z wtryskiem pośrednim zmniejsza to straty dławienia i zużycie paliwa oraz ogranicza emisję spalin. W silnikach z wtryskiem bezpośrednim i w silnikach wysokoprężnych recyrkulacja spalin powoduje zmniejszenie ilości tlenu i obniżenie temperatury w komorze spalania, co zmniejsza wytwarzanie tlenków azotu. Ma to szczególne znaczenie w trybie pracy silnika na mieszance uwarstwionej, gdy występuje nadmiar powietrza w stosunku do paliwa.

Zawór obejściowy ograniczający ciśnienie doładowania działa podczas zamykania przepustnicy i służy do połączenia strony tłoczącej turbosprężarki ze stroną ssącą. Podczas zmniejszania obciążenia silnika zapobiega to gwałtownemu spadkowi prędkości obrotowej zespołu wirników turbiny i sprężarki.

Zawory elektromagnetyczne stosowane w pojazdach mogą mieć następujące uszkodzenia:

- nietrwale połączenie elektryczne,
- uszkodzenie izolacji uzwojenia,
- zwarcia międzyzwojowe,
- zwarcie do rdzenia,
- zanieczyszczenie gniazda zaworu,
- zatarcie części ruchomej zaworu,
- utrata szczelności,
- uszkodzenia korozyjne.

7.5. Świece żarowe

Świece żarowe wykorzystuje się w silnikach o zapłonie samoczynnym do podgrzewania ładunku zasysanego powietrza. Stosuje się podgrzewanie dwustopniowe, wstępne przed rozruchem silnika i podczas rozruchu oraz trójstopniowe, gdzie dodatkowo energię ciepłą dostarcza się jeszcze przez określony czas podczas pracy silnika. Prąd świecy żarowej jest sterowany metodą zmiany współczynnika wypełnienia impulsu (PWM). Świece żarowe można podzielić na grupy [60]:

- metalowe standardowe (czas rozruchu 20–25 s, temperatura 800 °C),
- metalowe o szybkim starcie (czas rozruchu 16 s, temperatura 800 °C),
- metalowe o bardzo szybkim starcie (czas rozruchu 9 s, temperatura 900 °C),
- metalowe samosterujące (czas rozruchu 5 s, temperatura 900 °C, wzrost rezystancji wraz ze wzrostem temperatury),
- ceramiczne z samoregulacją (czas rozruchu 3 s, temperatura 1100 °C, ceramiczny element grzejny z wewnętrzną metalową spiralą),
- ceramiczne o bardzo szybkim starcie (czas rozruchu 3 s),
- ceramiczne wysokotemperaturowe (temperatura 1350 °C, ceramiczny element grzejny i dodatkowy element ceramiczny).

Świece żarowe stosowane w pojazdach mogą mieć następujące uszkodzenia:

- nietrwale połączenie elektryczne,
- uszkodzenie lub zawilgocenie złącza,
- uszkodzenie elementu ceramicznego (pęknięcie, wykruszenie),
- uszkodzenie części grzejnej (zmniejszenie przekroju, przepalenie),
- zanieczyszczenie nagarem.

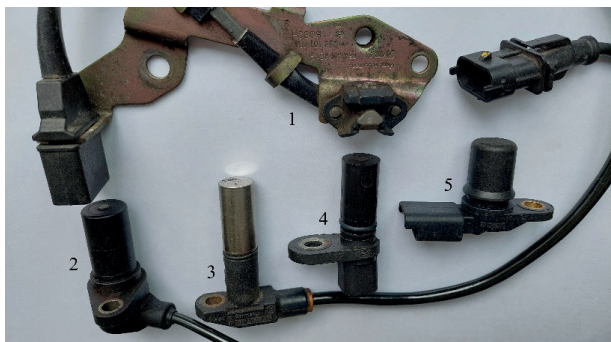
8. Czujniki

8.1. Czujnik indukcyjny

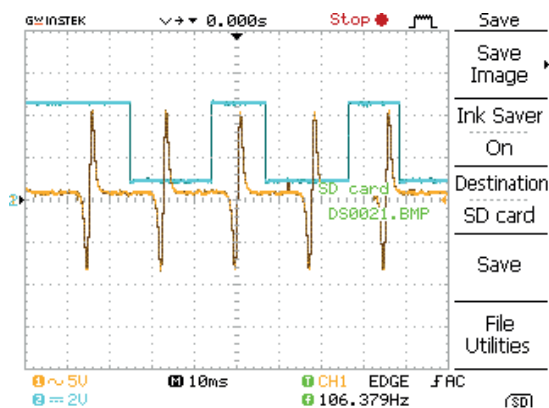
Czujnik indukcyjny zbudowany jest z następujących elementów:

- cewka,
- magnes,
- rdzeń ferromagnetyczny,
- złącze elektryczne,
- elementy izolacyjne,
- obudowa.

Czujnik indukcyjny działa na zasadzie zjawiska indukcji przemiennego napięcia w uzwojeniu, które jest obejmowane przez zmienny w czasie strumień magnetyczny. W pojazdach samochodowych czujniki współpracują najczęściej z ferromagnetycznym kołem zębatym, generując sygnały napięciowe o częstotliwości i amplitudzie proporcjonalnej do jego prędkości obrotowej (rys. 8.1 i 8.2).



Rys. 8.1. Czujniki indukcyjne (2, 3, 4, 5) i hallotronowy (1)



Rys. 8.2. Przebiegi napięciowe czujników: indukcyjnego i hallotronowego

Zmiana strumienia magnetycznego spowodowana jest zmienną przewodnością magnetyczną na drodze strumienia magnetycznego przepływającego na przemian przez ząb i szczelinę koła ferromagnetycznego. Brak jednego lub dwóch zębów na obwodzie koła powoduje chwilową zmianę amplitudy i częstotliwości sygnału napięciowego. W ten sposób czujnik współpracujący z ferromagnetycznym kołem zamachowym lub pasowym wału korbowego umożliwia określenie położenia tłoka pierwszego cylindra w punkcie GMP. Analiza przebiegu sygnałów z dwóch czujników (położenia wału korbowego i wałka rozrządu) pozwala na ustalenie suwu pracy w poszczególnych cylindrach silnika [15]. Czujnik indukcyjny ma nieskomplikowaną budowę i nie wymaga zasilania, ale nie nadaje się do pomiaru małych prędkości obrotowych i może pracować błędnie przy nieprawidłowej odległości od elementu ruchomego, która wynosi przeciętnie 0,8–1,5 mm. Złącze elektryczne czujnika posiada dwa piny, z których jeden generuje sygnał napięciowy (+), a drugi połączony jest z masą pojazdu (-). Czujnik indukcyjny w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- pomiar prędkości obrotowej i określenie położenia wału korbowego,
- pomiar prędkości obrotowej koła pojazdu,
- określenie położenia wałków rozrządu,
- pomiar wzniosu iglicy wtryskiwacza paliwa,
- pomiar kąta nachylenia osi przedniej i tylnej pojazdu.

8.2. Czujnik Halla

Czujnik Halla zbudowany jest z następujących elementów:

- płytka półprzewodnikowa lub monokrystaliczna,
- element pomiarowy (np. arsenek indu),
- złącze elektryczne,
- elementy izolacyjne,
- obudowa.

Napięcie w czujniku Halla powstaje z powodu działania siły pola magnetycznego na przepływające elektrony i ich przesunięcie w kierunku jednej z płaszczyzn bocznych czujnika (efekt Halla). Zagięcie toru ruchu nośników ładunku elektrycznego o określony kąt powoduje wygenerowanie ładunków o różnych znakach na przeciwnych płaszczyznach bocznych płytki czujnika. Największa wartość napięcia powstaje wtedy, gdy wektor indukcji magnetycznej jest prostopadły do kierunku przepływu prądu przez czujnik. Napięcie jest generowane w płaszczyźnie prostopadłej do wektora indukcji magnetycznej i kierunku przepływu prądu. Czujnik najczęściej współpracuje z wirującym elementem namagnesowanym (koło impulsowe), generując prostokątny sygnał napięciowy o częstotliwości proporcjonalnej do prędkości obrotowej (rys. 8.1 i 8.2). Czujnik hallotronowy stosowany do określenia położenia wałków rozrządu jest zamontowany w obudowie pokrywy zaworowej i współpracuje z kołem impulsowym,

które jest częścią wałka rozrządu. Może być też zamontowany pod kołem zębatym napędu rozrządu, zespolonym z kołem impulsowym [54].

Napięcie Halla wyraża się wzorem:

$$U_H = \frac{R_H}{d} \cdot B \cdot I \quad (8.1)$$

gdzie:

R_H – stała Halla (zależna od materiału),

d – grubość warstwy półprzewodnika,

B – indukcja magnetyczna,

I – natężenie prądu.

Złącze elektryczne czujnika posiada następujące piny:

- 1 – zasilanie (typowo 5 V),
- 2 – masa (-),
- 3 – sygnał napięciowy (+).

Czujnik Halla w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- określenie położenia wałków rozrządu,
- pomiar prędkości obrotowej i określenie położenia wału korbowego,
- pomiar prędkości obrotowej koła pojazdu,
- pomiar kąta obrotu koła kierownicy,
- określenie położenia neutralnego skrzynki biegów,
- pomiar kąta otwarcia przepustnicy,
- określenie położenia pedału przyspieszenia,
- określenie położenia pedału sprzęgła,
- określenie położenia łopatek turbosprężarki.

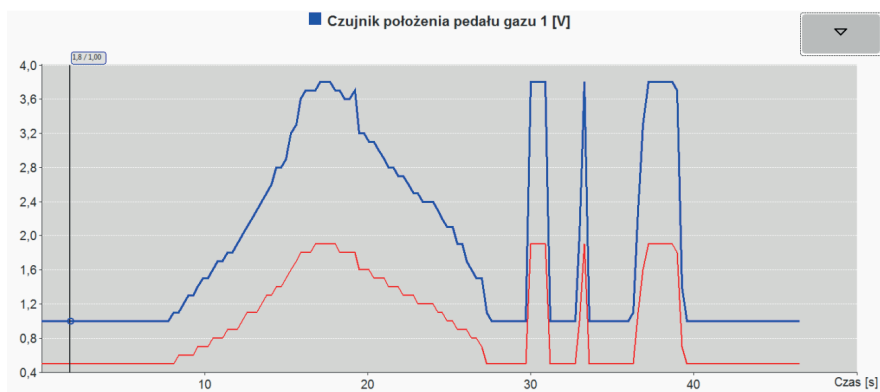
8.3. Czujnik potencjometryczny

Czujnik potencjometryczny zbudowany jest z następujących elementów:

- ślizgacze (szczotki),
- ścieżki rezystancyjne (bieżnie),
- bieżnie prowadzące (kolektorowe),
- ramię ślizgacza,
- sprężyny dociskające,
- elementy uszczelniające,
- elementy izolacyjne,
- złącze elektryczne,
- obudowa.

Potencjometry mają postać elementu z trzema końcówkami i częścią ruchomą przesuwaną się po ścieżce oporowej, dzięki czemu można je odpowiednio połączyć w celu płynnej regulacji napięcia lub natężenia prądu. Opór elektryczny tych elementów może się zmieniać liniowo, logarytmicznie lub wykładniczo. Część ruchoma

(szczotka) może poruszać się po ścieżce oporowej ruchem obrotowym lub liniowym, z tego względu potencjometry nazywane są obrotowymi lub suwakowymi. W potencjometrach węglowych ścieżka oporowa wykonana jest z grafitu naniesionego na podstawę izolacyjną, w cermetowych ścieżka przewodząca jest na płytce ceramicznej, a w drutowych szczotka przesuwana się po drucie oporowym. Potencjometryczne czujniki położenia przepustnicy to obrotowe rezystancyjne dzielniki napięcia, którego podział jest spowodowany zmianą miejsca kontaktu ruchomego styku ze ścieżką oporową. Czujnik położenia przepustnicy jest sprzężony z osią przepustnicy i w ten sposób możliwe jest określenie stopnia jej otwarcia. Czujnik najczęściej jest zasilany napięciem stabilizowanym 5 V, a sygnałem wyjściowym jest napięcie z zakresu 0,5–4,5 V. Podobnie zbudowany jest czujnik położenia pedału przyspieszenia [49]. Czujniki tego typu pracują w sposób ciągły, a ich sygnał jest bardzo istotny, dlatego są podwajane w jednej obudowie i generują dwa jednakowe lub różne sygnały wyjściowe (rys. 8.3).



Rys. 8.3. Przebiegi napięciowe czujników potencjometrycznych pedału przyspieszenia zarejestrowane przy zmianach jego położenia

Złącze elektryczne zespołu przepustnicy z podwójnym czujnikiem potencjometrycznym posiada następujące piny:

- 1 – zasilanie potencjometrów (+ 5 V),
- 2 – sygnał z potencjometru nr 1 (+),
- 3 – masa potencjometrów (-),
- 4 – sterowanie siłownika elektrycznego (-),
- 5 – sygnał z potencjometru nr 2 (+),
- 6 – sterowanie siłownika elektrycznego (+).

Złącze elektryczne podwójnego czujnika potencjometrycznego położenia pedału przyspieszenia posiada następujące piny:

- 1 – zasilanie potencjometru nr 1 (+ 5 V),
- 2 – sygnał z potencjometru nr 1 (+),
- 3 – masa potencjometru nr 1 (-),

- 4 – masa potencjometru nr 2 (-),
- 5 – sygnał z potencjometru nr 2 (+),
- 6 – zasilanie potencjometru nr 2 (+ 5 V).

Czujnik potencjometryczny w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- pomiar kąta otwarcia przepustnicy,
- określenie położenia pedału przyspieszenia,
- określenie poziomu paliwa w zbiorniku.

8.4. Czujnik termistorowy

Pomiar temperatury różnych mediów w pojazdach samochodowych jest realizowany głównie z wykorzystaniem półprzewodnikowych czujników termistorowych, których oporność zmienia się w funkcji temperatury z wystarczającą rozdzielczością i powtarzalnością. Element pomiarowy czujnika może być zbudowany z tlenków metali, krzemu lub polimerów i znajduje się w obudowie z metalu lub tworzywa sztucznego, zależnie od temperatury i charakteru substancji, z którą ma styczność. Połączenia wewnętrzne czujnika mogą być wykonywane za pomocą przewodów ze stopów platyny, a element pomiarowy ma kształt „perłowy” lub płytkowy (rys. 8.4). Przez czujnik przepływa prąd zależny od jego rezystancji, a spadek napięcia jest mierzony na rezystorze pomiarowym połączonym z czujnikiem.



Rys. 8.4. Termistorowe czujniki temperatury

W zależności od przebiegu charakterystyki $R = f(T)$ wyróżnia się trzy rodzaje termistorów:

- NTC (*negative temperature coefficient*) – wzrost temperatury powoduje zmniejszanie się rezystancji (rys. 8.5),
- PTC (*positive temperature coefficient*) – wzrost temperatury powoduje zwiększanie się rezystancji,

- CTR (*critical temperature resistor*) – niewielka zmiana temperatury powoduje skokowy wzrost lub spadek rezystancji.

Dla termistorów NTC i PTC, w stosunkowo niewielkim przedziale temperatury, zależność rezystancji od temperatury jest traktowana jako liniowa i wyrażana zależnością:

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \quad (8.2)$$

gdzie:

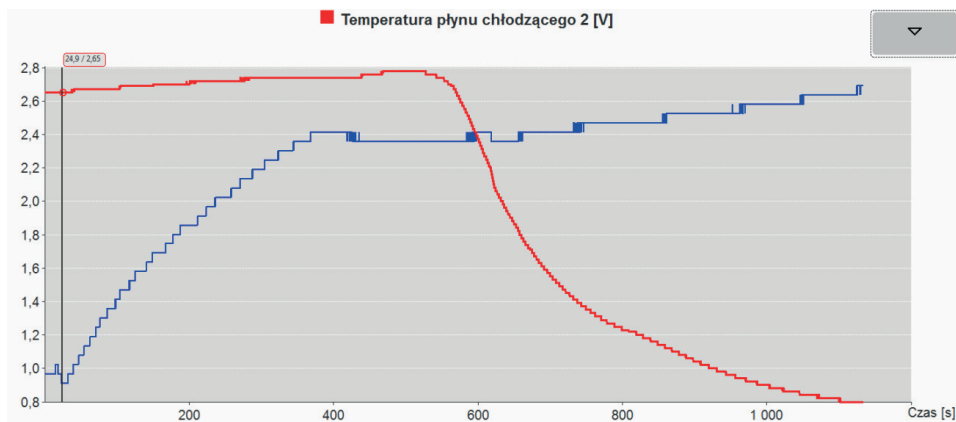
R – rezystancja termistora w temperaturze T ,

R_0 – rezystancja termistora w temperaturze odniesienia T_0 ,

α – współczynnik temperaturowy termistora.

Czujnik termistorowy w pojazdach samochodowych jest stosowany w układzie pomiaru temperatury następujących substancji [54]:

- płynu chłodzącego silnik (rys. 8.5),
- powietrza w kolektorze dolotowym,
- powietrza doładowującego,
- powietrza zewnętrznego i wewnętrznego,
- oleju silnikowego,
- paliwa,
- spalin,
- czynnika klimatyzacji.



Rys. 8.5. Przebieg napięcia czujnika temperatury płynu chłodzącego silnik – linia czerwona; linia niebieska pokazuje wzrost temperatury od 55 °C do 86 °C, a zmniejszanie się napięcia czujnika zaczyna się od 80 °C

8.5. Czujnik piezoelektryczny

Zjawisko piezoelektryczne polega na pojawieniu się niezrównoważonych ładunków elektrycznych w strukturze atomowej ciała na ściankach niektórych kryształów, w wyniku oddziaływania na nie siły zewnętrznej w granicach sprężystości. Występuje także działanie odwrotne, przyłożony do odpowiednich ścianek kryształu zewnętrzny potencjał elektryczny wywołuje zmianę jego wymiarów geometrycznych (zjawisko wykorzystywane we wtryskiwaczach paliwa). Warunkiem koniecznym do wystąpienia efektu piezoelektrycznego jest anizotropia kryształu (zależność od kierunku). Materiały piezoelektryczne można podzielić według kategorii [60]:

- naturalne kryształy piezoelektryczne (np. kwarc SiO_2),
- polaryzowane piezoelektryki ceramiczne (ferroelektryki, np. tytanian baru BaTiO_3 i jego pochodne),
- materiały polimerowe.

Czujnik piezoelektryczny w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- pomiar siły spowodowanej drganiami silnika (czujnik spalania stukowego),
- pomiar ciśnienia (powietrza, paliwa, spalin, oleju, czynnika klimatyzacji).
- Czujnik spalania stukowego zbudowany jest z następujących elementów:
 - elementy piezoelektryczne,
 - obciążnik (masa drgająca obciążająca elementy piezoelektryczne),
 - elektrody,
 - śruba mocująca,
 - śruba wewnętrzna,
 - tuleja dystansowa,
 - przewody napięciowe,
 - złącze elektryczne,
 - obudowa.

Amplituda sygnału wyjściowego czujnika spalania stukowego zależy od energii detonacji w komorze spalania. Jeżeli element piezoelektryczny będzie zamocowany w pobliżu drgającej masy, to drgania te będą przenosić się na stos kwarcowy, a siły bezwładności spowodują zmiany ładunku na jego elektrodach. Drgania wytworzone w przestrzeni roboczej cylindra przenoszą się na masę sejsmiczną czujnika. Siły bezwładności wywołane przez drgania oddziałują na pierścień elementu piezoceramicznego. Na powierzchni roboczej tych elementów powstają ładunki elektryczne, a wartość różnicy potencjałów jest wzmacniana i mierzona. Sygnał napięciowy jest filtrowany, całkowany i analizowany przez sterownik zgodnie z charakterystyką odniesienia. Ocenie podlega częstotliwość i amplituda sygnału. Częstotliwość drgań wytwarzanych na skutek spalania detonacyjnego wynosi około 7 kHz, a częstotliwość drgań własnych czujnika jest większa od 25 kHz. Czujniki mogą pracować w warunkach dużych zmian wilgotności i w temperaturze $(-40) - (+150)^\circ\text{C}$. W silnikach czterocylindrowych zwykle montuje się dwa

czujniki, z których każdy monitoruje dwa cylindry. Dla właściwego działania powinny być umieszczone na płaskiej nieuszkodzonej powierzchni i mocowane śrubami dokręconymi właściwym momentem siły [15].

Piezoelektryczny czujnik ciśnienia zbudowany jest z następujących elementów:

- element piezoelektryczny,
- przepona (membrana),
- warstwa elastyczna,
- płytką szklaną,
- pierścień uszczelniający,
- wzmacniacz sygnału,
- kompensator temperaturowy,
- złącze elektryczne,
- obudowa.

Złącze elektryczne czujnika piezoelektrycznego posiada następujące piny:

- 1 – sygnał napięciowy (+),
- 2 – masa (-),
- 3 – zasilanie (typowo 5 V).

8.6. Czujnik tensometryczny

Tensometry to metalowe elementy rezystancyjne lub półprzewodnikowe w postaci cienkich drutów, siatek lub folii. Siła zewnętrzna powoduje ich odkształcenie głównie w kierunku równoległym i częściowo prostopadłym do kierunku działania siły, co powoduje zmianę rezystancji czujnika. Jako materiały do budowy tensometrów wykorzystuje się platynę, konstantan (stop miedzi i niklu), nichrom (stop niklu i chromu) i elinwar (stop niklu, chromu, żelaza i molibdenu). Dla jednowymiarowego stanu naprężeń stosuje się równanie, które wiąże ze sobą wielkości mechaniczne i elektryczne:

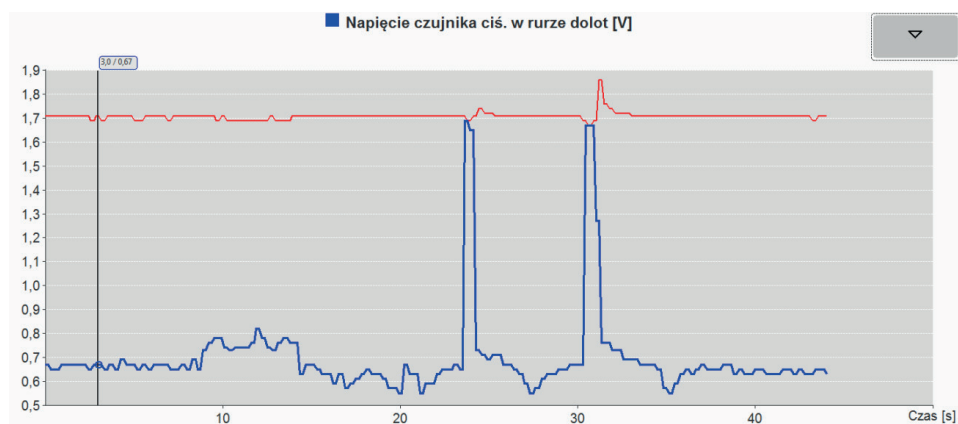
$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{k_t} \quad (8.3)$$

gdzie:

- σ – naprężenie w punkcie pomiarowym,
- E – moduł Younga,
- ε – względne wydłużenie tensometru $\Delta l/l$,
- R – rezystancja tensometru,
- ΔR – zmiana rezystancji tensometru,
- k_t – stała tensometru.

Stać tensometru k_t oznacza względną zmianę rezystancji, odniesioną do względnej zmiany długości tensometru, i wynosi około 2 dla tensometrów metalowych i od 40 do 200 dla półprzewodnikowych. Tensometry półprzewodnikowe wytwarza się z półprzewodników domieszkowanych typu N i P na bazie krzemu lub germanu. Mają po-

stać cienkich pasków naklejanych na powierzchnię elementu i są wykonywane jako cienkowarstwowe lub monokrystaliczne. Zjawisko piezorezystywności kryształów krzemu lub germanu, wykorzystywane w tensometrach półprzewodnikowych, polega na zmianie rezystywności materiałów pod wpływem naprężenia mechanicznego. Zmiana rezystywności zależy od kierunku działania naprężenia względem osi krystalicznych, koncentracji nośników ładunku oraz rodzaju przewodnictwa półprzewodnika (N lub P). W czujnikach piezorezystancyjnych z membraną krzemową wykorzystuje się efekt piezorezystywności występujący w monokrystalicznym krzemie. Krzem jest materiałem anizotropowym i jego właściwości w różnych kierunkach osi krystalicznej są różne. Elementem pomiarowym jest kołowa lub kwadratowa membrana o grubości 1–25 μm , w której znajdują się zaimplantowane piezorezystory, połączone w układzie mostkowym. Na membranie kołowej oś piezorezystorów umieszczonych na obwodzie powinna być zbliżona do osi krystalicznej największej czułości. Dla membrany prostokątnej największe naprężenia występują przy jej bokach i w tym miejscu umieszcza się piezorezystory, z uwzględnieniem kierunku maksymalnej czułości. Tensometry charakteryzują się dużą czułością i dokładnością pomiaru, niezawodnością, małą masą, niewrażliwością na wstrząsy i zdolnością do pomiarów odkształceń szybkozmiennych (mała bezwładność). Sygnał wyjściowy ma niewielką wartość i do pomiaru wymaga zastosowania mostka Wheatstone’a oraz wzmacniacza.



Rys. 8.6. Przebiegi napięciowe czujników ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym (linia niebieska) i powietrza doładowującego (linia czerwona) zarejestrowane przy małych i dużych zmianach prędkości obrotowej biegu jałowego silnika

Czujnik tensometryczny w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- pomiar ciśnienia (powietrza, paliwa, oleju) – rys. 8.6,
- pomiar podciśnienia w serwie hamulca,
- pomiar różnicy ciśnień spalin (przed i za filtrem cząstek stałych),
- pomiar ciśnienia spalin (przed turbosprężarką),

- pomiar siły i momentu obrotowego na kole kierownicy,
- pomiar momentu napędowego i momentu hamowania,
- pomiar obciążenia poszczególnych osi pojazdu (w celu elektronicznego rozdziału sił hamowania),
- pomiar sił nacisku w układzie elektrycznego uruchamiania szyb,
- sygnalizacja zajęcia fotela pasażera (maty tensometryczne).

8.7. Czujniki tlenu

W systemach sterowania składem spalanej mieszanki paliwowo-powietrznej wykorzystywane są zarówno dwustanowe czujniki tlenu, jak również sondy lambda (rys. 8.7).



Rys. 8.7. Czujniki tlenu z zewnętrznymi uszkodzeniami

Pojęcie to związane jest ze współczynnikiem nadmiaru powietrza λ w spalanej mieszance paliwowo-powietrznej w silniku spalinowym, który definiuje się jako stosunek masy powietrza zawartego w cylindrze do masy powietrza występującego w mieszance stechiometrycznej. Mieszanka paliwowo powietrzna stechiometryczna, umożliwiającą teoretycznie całkowite spalanie, charakteryzuje się masowym stosunkiem powietrza do paliwa równym 14,7 kg/1 kg dla benzyny, 14,3 kg/1 kg dla oleju napędowego i 15,7 kg/1 kg dla gazu LPG. Warunkiem zapłonu mieszanki jest wartość współczynnika λ z zakresu 0,75–1,3. Przeciętna prędkość rozprzestrzeniania się czoła płomienia w komorze spalania silnika wynosi 30–60 m/s. Jest to suma prędkości transportu mieszanki i prędkości spalania. Największa wartość prędkości spalania i korzystne parametry pracy silnika z dużym obciążeniem i prędkością obrotową występują dla współczynnika $\lambda = 0,8$ –0,9. Duża sprawność termodynamiczna silnika, ale także wysoka temperatura w komorze spalania i skłonność do wytwarzania tlenków azotu, występują dla współczynnika $\lambda = 1,05$ –1,1 [60]. Do poprawnego działania trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego konieczne jest spalanie mieszanki stechiometrycznej ($\lambda = 0,997$ –1,003). Sygnał wyjściowy czujnika tlenu wykorzystywany jest w procesie sterowania wtryskiem paliwa, z uwzględnieniem indywidualnych potrzeb danego

silnika i jego chwilowego obciążenia. Układ sterowania silnika na podstawie danych z czujnika tlenu reguluje skład mieszanki paliwowo-powietrznej podczas pracy silnika [46, 47].

Czujniki tlenu stosowane w układzie regulacji składu mieszanki paliwowo-powietrznej silników spalinowych można podzielić w następujący sposób:

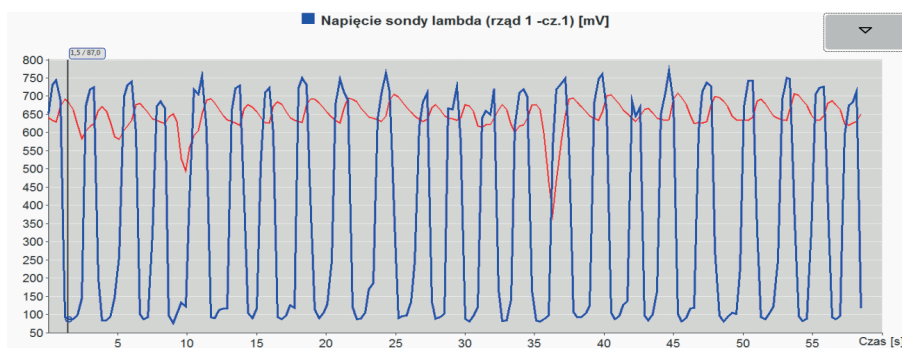
- elektrochemiczne napięciowe dwustanowe,
- elektrochemiczne napięciowe wąskopasmowe (jednokomorowe) typu A/F,
- elektrochemiczne napięciowe szerokopasmowe (dwukomorowe),
- rezystancyjne dwustanowe.

Dwustanowy czujnik napięciowy jest elektrochemicznym ogniwem, które wytwarza napięcie proporcjonalne do różnicy stężenia jonów tlenu na elektrodzie dodatniej i ujemnej. W praktyce jedna elektroda ogniwa styka się ze spalinami w układzie wydechowym, a druga z powietrzem atmosferycznym. Różnica potencjałów jest proporcjonalna do logarytmu naturalnego stosunku ciśnień cząstkowych tlenu w powietrzu atmosferycznym i spalinach. Czujnik charakteryzuje się skokową zmianą wartości napięcia przy zmianie składu mieszanki z ubogiej na bogatą i odwrotnie. Optymalnie dla współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda > 1$ napięcie osiąga wartość 100 mV, a dla $\lambda < 1$ napięcie przyjmuje wartość 900 mV. W praktyce, w miarę zużywania się czujnika, dolna wartość napięcia zwiększa się, a górna wartość zmniejsza się i różnica napięć ulega zmniejszeniu. Czujnik tlenu zaczyna działać prawidłowo od temperatury około 300 °C, a optymalna temperatura pracy wynosi 600 °C. W obudowie czujnika stosowane są grzałki rezystancyjne w celu przyspieszenia jego gotowości do pracy. Dwustanowe czujniki tlenu dostarczają tylko informacji, czy spalona mieszanka paliwowo-powietrzna była uboga czy bogata. Układ sterowania silnika reaguje na te stany, zmieniając dawkę wtryskiwanego paliwa w stosunku do określonej masy powietrza. W rezultacie skład mieszanki zmienia się z określoną częstotliwością z bogatej na ubogą i oscyluje wokół optymalnej wartości stechiometrycznej, która jest konieczna do prawidłowego działania trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego. Oprócz regulacyjnego czujnika tlenu w układzie wydechowym, w miejscu za reaktorem katalitycznym umieszcza się diagnostyczny czujnik tlenu. Na podstawie jego przebiegu napięciowego sterownik ocenia sprawność reaktora katalitycznego do pochłaniania tlenu, potrzebnego do reakcji utleniania węglowodorów i tlenku węgla (rys. 8.8 i 8.10).

Typowy palcowy dwustanowy czujnik tlenu zbudowany jest z ceramicznego elementu wykonanego z dwutlenku cyrkonu ZrO_2 stabilizowanego tlenkiem itru Y_2O_3 . Platynowa elektroda, umieszczona od strony strumienia spalin, pokryta jest warstwą ceramiczną tlenków magnezowo-krzemowych. Zewnętrzna osłona metalowa zabezpiecza ceramiczną wkładkę rurkową przed uszkodzeniami mechanicznymi i termicznymi. W idealnym (zupełnym) procesie spalania mieszanki paliwowo-powietrznej produktami są tylko dwutlenek węgla i para wodna. W rzeczywistości w spalinach znajdują się tlenek węgla, węglowodory, tlenki azotu oraz tlen niewykorzystany w procesie spalania. Ponadto spaliny reagują jeszcze po opuszczeniu komory spalania

i w czasie przepływu zmienia się ich skład chemiczny. Dlatego praca czujnika tlenu rozpoczyna się od przywrócenia równowagi termodynamicznej pomiędzy składnikami spalin. Proces ten odbywa się na styku spalin z warstwą katalityczną porowatego elementu pomiarowego czujnika. W wyniku reakcji redukcji tlen jest uwalniany z tlenków azotu, natomiast w procesie reakcji utleniania węglowodorów i tlenku węgla powstają dwutlenek węgla i para wodna. Tlen pozostały w spalinach w wyniku tych procesów nazywany jest równowagowym. Złącze elektryczne dwustanowego czujnika tlenu posiada następujące piny:

- 1 – zasilanie grzałki (+),
- 2 – sterowanie grzałki (-),
- 3 – masa (-),
- 4 – sygnał napięciowy (+).



Rys. 8.8. Przebiegi napięciowe dwustanowych czujników tlenu umieszczonych przed i za reaktorem katalitycznym (linia niebieska i czerwona), zarejestrowane przy prędkości obrotowej biegu jałowego silnika 750 obr/min

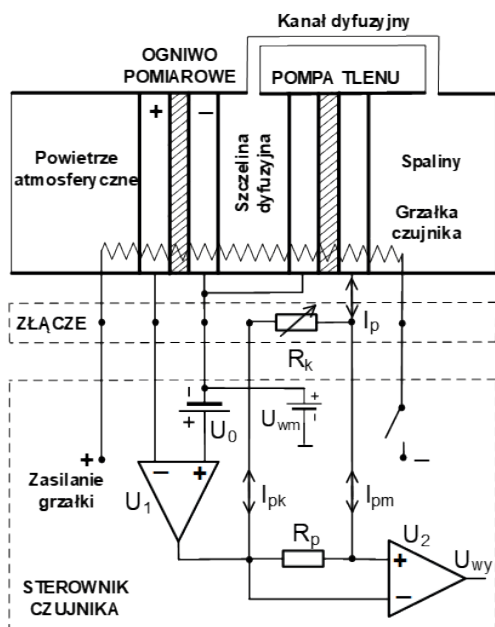
Czujnik wąskopasmowy typu A/F posiada jedno ogniwo elektrochemiczne, które pełni równocześnie funkcję ogniwa pomiarowego i pompy tlenu [45]. Pomiędzy elektrodami, z których jedna styka się ze spalinami, a druga z powietrzem atmosferycznym, powstaje napięcie proporcjonalne do różnicy stężenia jonów tlenu w spalinach i powietrzu. Od strony układu sterującego do elektrod ogniwa przykładane jest napięcie polaryzacji równe różnicy potencjałów, która powstaje między elektrodami ogniwa w trakcie spalania mieszanki stechiometrycznej. W takim przypadku napięcie wytwarzane przez ogniwo i napięcie zewnętrzne polaryzacji są sobie równe i przez elektrolit nie przepływa prąd. W przypadku, gdy spalaniu ulega mieszanka uboga, w spalinach występuje większe stężenie tlenu i napięcie wytwarzane przez ogniwo zmniejsza się. Napięcie polaryzacji jest wtedy większe i wymusza przepływ prądu pompowania przez ogniwo, który transportuje jony tlenu ze spalin do powietrza atmosferycznego. Prąd dąży do wyrównania różnicy napięć i jest zależny od stężenia tlenu w spalinach, a tym samym od współczynnika nadmiaru powietrza λ w spalanej mieszance. W przypadku

gdy spalaniu ulega mieszanka bogata, w spalinach występuje znacznie mniej tlenu i napięcie wytwarzane przez ogniwo zwiększa się. Napięcie zewnętrzne polaryzacji jest wtedy mniejsze, a więc prąd pompowania płynie przez ogniwo w odwrotnym kierunku i transportuje jony tlenu z powietrza atmosferycznego do spalin. W tego typu czujniku, przy kontakcie spalin z porowatą elektrodą ogniwa, również zachodzi proces przywracania równowagi termodynamicznej pomiędzy składnikami spalin na styku z warstwą katalityczną. Wąskopasmowy czujnik tlenu umożliwia wyznaczenie współczynnika λ w zakresie 0,8–1,2.

Zastosowanie silników z bezpośrednim wtryskiem benzyny i z różnymi trybami pracy na mieszance ubogiej i bogatej oraz nadzorowanie pracy reaktora katalitycznego przez system OBD wymusiło konstrukcję i zastosowanie szerokopasmowego czujnika tlenu, który wytwarza sygnał wyjściowy w szerokim zakresie zmian współczynnika nadmiaru powietrza spalanej mieszanki ($\lambda = 0,4\text{--}4$). Szerokopasmowy czujnik tlenu zbudowany jest z dwóch segmentów, które można traktować jak dwa czujniki dwustanowe połączone ze sobą szczeliną dyfuzyjną. Jeden z segmentów stanowi ogniwo pomiarowe, a drugi pompę tlenu. Szczelina dyfuzyjna znajduje się pomiędzy dwoma porowatymi elektrodami platynowymi, z których jedna (ujemna) należy do ogniwa pomiarowego, a druga do pompy tlenu. Druga elektroda (dodatnia) ogniwa pomiarowego styka się z powietrzem atmosferycznym, a druga elektroda pompy tlenu ma kontakt ze spalinami (rys. 8.9).

Spaliny przedostają się również do szczeliny dyfuzyjnej przez kanał wlotu gazów (barierę dyfuzyjną). Przy kontakcie spalin z porowatą elektrodą ogniwa zachodzi proces przywracania równowagi termodynamicznej pomiędzy składnikami spalin na styku z warstwą katalityczną. Zasada działania tego układu polega na utrzymywaniu stężenia tlenu w szczelinie dyfuzyjnej na stałym poziomie, odpowiadającym takiej ilości tlenu, która znajduje się w spalinach uzyskanych ze spalania mieszanki stechiometrycznej ($\lambda = 1$). Wtedy napięcie między elektrodami ogniwa pomiarowego wynosi około 0,45 V. Taki stan można uzyskać dzięki zasileniu pompy tlenu napięciem o takiej polaryzacji i wartości, które spowodują przepływ prądu między jej elektrodami i wpompowanie do obszaru szczeliny dyfuzyjnej lub wypompowanie z niej odpowiedniej ilości tlenu. Zadanie to jest realizowane przez układ elektroniczny współpracujący z szerokopasmowym czujnikiem tlenu. Jeżeli spalana mieszanka paliwowo-powietrzna będzie uboga wówczas w szczelinie dyfuzyjnej występuje większe stężenie tlenu. W tym przypadku napięcie do elektrod pompy tlenu zostanie przyłożone w ten sposób, że potencjał dodatni będzie od strony szczeliny, a potencjał ujemny od strony spalin w celu przepływu jonów tlenu ze szczeliny dyfuzyjnej do spalin. Natomiast jeżeli spalana mieszanka paliwowo-powietrzna będzie bogata, wówczas w szczelinie dyfuzyjnej występuje mniejsze stężenie tlenu. W takim przypadku napięcie do elektrod pompy tlenu zostanie przyłożone w ten sposób, że potencjał dodatni będzie od strony spalin, a potencjał ujemny od strony szczeliny w celu przepływu jonów tlenu ze spalin do szczeliny dyfuzyjnej. W przypadku spalania mieszanki ubogiej napięcie ogniwa pomiarowego i napięcie

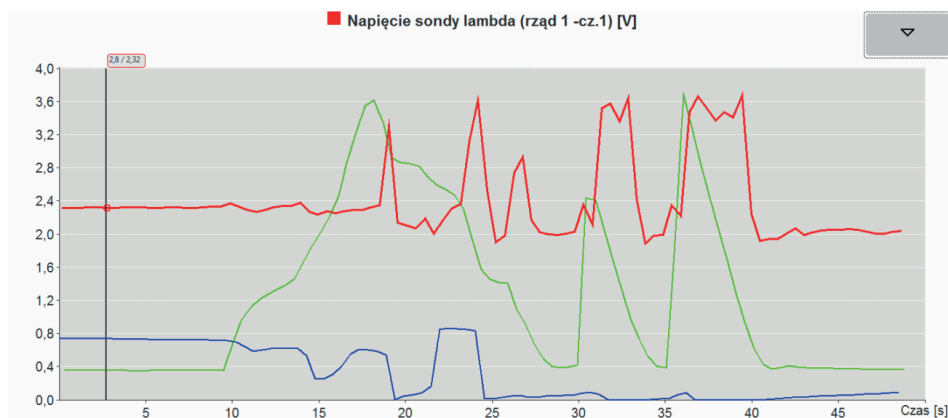
pompy tlenu mają zgodny kierunek i prąd pompowania tlenu będzie dodatni. Natomiast w przypadku spalania mieszanki bogatej napięcie pompy tlenu będzie miało polaryzację przeciwną do napięcia ogniwa pomiarowego i prąd pompowania tlenu będzie ujemny. Natężenie prądu pompowania jest proporcjonalne do ilości przepompowanego tlenu, a jego wartość jest rzędu kilku miliamperów. Na podstawie wartości tego prądu moduł sterujący szerokopasmowego czujnika tlenu określa wartość współczynnika λ składu spalanej mieszanki paliwowo-powietrznej. Sygnał prądu pompowania zostaje przetworzony na sygnał napięciowy za pomocą rezystora pomiarowego w sterowniku czujnika (rys. 8.9).



Rys. 8.9. Schemat strukturalny szerokopasmowego czujnika tlenu (U_1 – układ pomiaru i interpretacji napięcia ogniwa pomiarowego oraz sterujący prądem I_p , U_2 – układ pomiaru prądu I_p i formowania sygnału wyjściowego U_{wy} , U_0 – napięcie odniesienia dla ogniwa pomiarowego równe 0,45 V, U_{wy} – napięcie sygnału wyjściowego czujnika tlenu, U_{wm} – napięcie wirtualnej masy ogniwa pomiarowego, I_p – prąd zasilający pompę tlenu, I_{pm} – składowa mierzona prądu I_p , I_{pk} – składowa prądu I_p płynąca przez rezystor kalibracyjny, R_p – rezystor pomiarowy, R_k – rezystor kalibracyjny)

Podczas pracy silnika na biegu jałowym sygnał ten może osiągnąć amplitudę około 100 mV i częstotliwość nawet tysiąc razy większą od sygnału dwustanowego czujnika tlenu. Dla silnika z bezpośrednim wtryskiem paliwa i pracy na ubogiej mieszance uwarstwionej składowa stała napięcia może osiągać wartość 0,8 V. Dodatnia wartość napięcia oznacza mieszankę ubogą, a wartość ujemna mieszankę bogatą. Czujniki szerokopasmowe są zwykle dodatkowo kalibrowane, w tym celu we wtyczce czujnika

montowany jest dodatkowy rezystor o wartości 30–300 Ω [60]. Zespół ten jest odpowiednio dopasowany do sterownika i w razie wymiany musi być zastąpiony oryginalnym elementem, przeznaczonym dla danego typu pojazdu i silnika. W takiej konfiguracji między sterownikiem a złączem jest sześć przewodów, natomiast między złączem a czujnikiem znajduje się pięć przewodów (rys. 8.9).



Rys. 8.10. Przebiegi napięciowe czujników tlenu umieszczonych przed i za reaktorem katalitycznym (szerokopasmowego – linia czerwona i dwustanowego – linia niebieska) zarejestrowane przy zmianach prędkości obrotowej silnika od 720 do 3700 obr/min (linia zielona)

Złącze elektryczne szerokopasmowego czujnika tlenu posiada następujące piny:

- 1 – sygnał prądu pompowania (+),
- 2 – masa (-),
- 3 – sterowanie grzałki (-),
- 4 – zasilanie grzałki (+),
- 5 – sygnał rezystora kalibracyjnego (+),
- 6 – sygnał napięcia ogniwa (+).

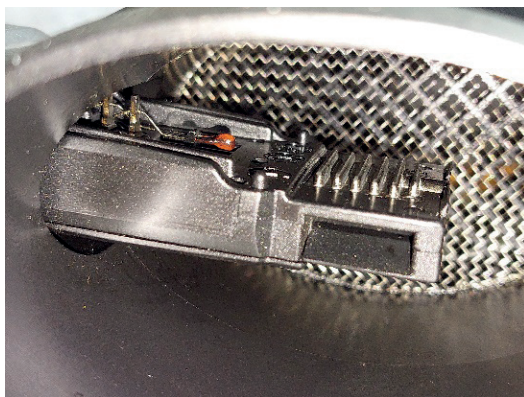
Rezystancyjne czujniki tlenu są w znacznie mniejszym stopniu wykorzystywane w technice motoryzacyjnej niż czujniki elektrochemiczne. Element pomiarowy takiego czujnika zbudowany jest z wkładki ceramicznej z dwutlenkiem tytanu TiO_2 , którego rezystancja zależy od ciśnienia cząstkowego tlenu i temperatury. W celu kompensacji wpływu temperatury na rezystancję stosuje się czujniki temperatury zespolone z elementem pomiarowym. Czujniki rezystancyjne wymagają wstępnego podgrzewania, zaczynają działać w temperaturze 200 °C, a ich optymalna temperatura pracy to 500–900 °C. W czujniku rezystancyjnym występują szybkie zmiany rezystancji przy przechodzeniu z mieszanki bogatej na ubogą. Dla mieszanki ubogiej wartość rezystancji czujnika zwiększa się i mniejszy prąd płynący przez rezystor pomiarowy powoduje spadek napięcia o wartości mniejszej od napięcia odniesienia równego 0,45 V. W przypadku mieszanki bogatej zmiany są odwrotne.

8.8. Czujniki przepływu

Czujniki przepływu spełniają w pojazdach samochodowych następujące funkcje:

- pomiar masy powietrza w kolektorze dolotowym silnika,
- kontrola usuwania par paliwa ze zbiornika,
- sterowanie procesem recyrkulacji spalin.

W pojazdach samochodowych stosuje się głównie przepływomierze termooanemometryczne z gorącym drutem lub gorącą warstwą [7]. W pierwszym przypadku elementem pomiarowym jest drut platynowy umieszczony w obudowie rurowej i obustronnie zabezpieczony metalową siatką. Zapora ta ma za zadanie wzbudzić przepływ turbulentny przy małych prędkościach obrotowych silnika i zwiększyć czułość układu pomiarowego. Drut pomiarowy grzejny i trzy elementy rezystancyjne (rezystor pomiarowy, kompensacyjny i wyrównawczy) tworzą elektryczny mostek Wheatstone'a połączony ze wzmacniaczem różnicowym i pozostałymi elementami układu elektronicznego (rys. 8.11).

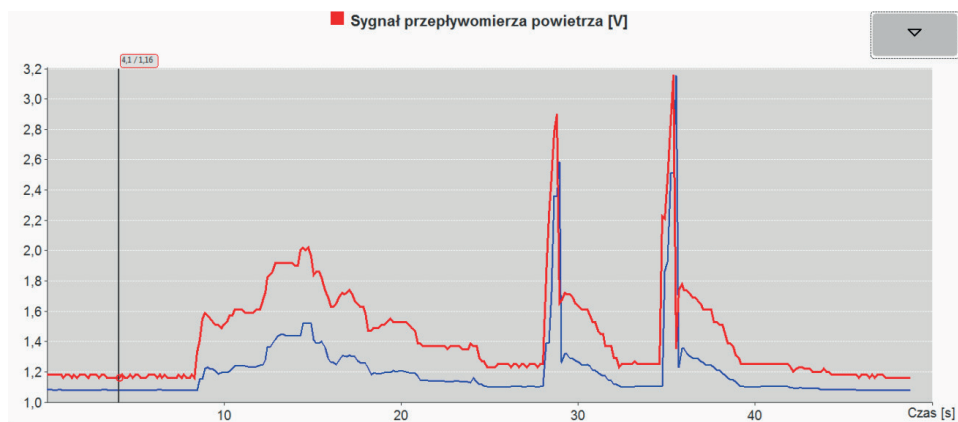


Rys. 8.11. Termooanemometryczny przepływomierz powietrza w kolektorze dolotowym silnika

Rezystor kompensacyjny umieszczony przed drutem grzejnym spełnia funkcję czujnika temperatury. W czujniku warstwowym drut pomiarowy i pozostałe rezystory są zespolone jako elementy warstwowe, umieszczone na spieku ceramicznym i znajdują się poza strumieniem głównym powietrza, co chroni je przed zanieczyszczeniami. Działanie przepływomierza polega na pomiarze natężenia prądu potrzebnego do wygenerowania stałej temperatury elementu grzejnego, chłodzonego napływającymi strugami powietrza. Powstaje równowaga między mocą doprowadzoną do elementu grzejnego a mocą odprowadzaną przez chłodzenie powietrzem. Wzmacniacz różnicowy reaguje na niezrównowagę mostka Wheatstone'a przez podniesienie napięcia polaryzacji tranzystora zasilającego element grzejny. Wadą przepływomierza jest nieliniowość charakterystyki i konieczność stosowania układów elektronicznych w celu linearyzowania sygnału pomiarowego. Przepływomierze muszą mieć szerokie pasmo przenoszenia (1000 Hz) oraz małą wartość stałej czasowej. Uwzględniają ruchy

zwrotne powietrza i generują sygnał analogowy lub cyfrowy. W celu pomiaru natężenia przepływu powietrza w kolektorze dolotowym przepływomierze montowane są między filtrem powietrza a przepustnicą. Jeżeli pomiarowy drut grzejny jest narażony na zanieczyszczenia, musi być oczyszczany po każdym cyklu pracy przez podgrzewanie do wysokiej temperatury. Nowoczesne przepływomierze warstwowe posiadają dwa elementy grzejne w różnych punktach pomiarowych. W części wlotowej kanału pomiarowego spadek temperatury następuje szybciej niż w drugim punkcie pomiarowym. Różnica temperatur w tych dwóch miejscach zależna jest od prędkości strugi powietrza i jest miarą wydatku masowego przepływającego powietrza. Czas reakcji czujnika jest mniejszy od 15 ms. Przepływomierz wyposażony jest w mikrokontroler przetwornikowy, który przekształca różnicę temperatur na sygnał napięciowy 0–5 V. Sterownik przy pomocy zapisanej w pamięci charakterystyki oblicza masowy wydatek powietrza (rys. 8.12). Złącze elektryczne przykładowego przepływomierza posiada następujące piny:

- 1 – sygnał z czujnika temperatury (+),
- 2 – zasilanie (+),
- 3 – masa (-),
- 4 – sygnał z przepływomierza (+).



Rys. 8.12. Przebieg napięciowy przepływomierza (linia czerwona) i obliczone przez sterownik natężenie przepływu powietrza w kolektorze dolotowym (linia niebieska, od 2 do 44 g/s) przy małych i dużych zmianach prędkości obrotowej biegu jałowego silnika

8.9. Czujnik pojemnościowy

Czujnik pojemnościowy działa na zasadzie zmiany wielkości fizycznych, które mają wpływ na pojemność kondensatora. Wielkości te to przenikalność elektryczna względna dielektryka, powierzchnia czynna okładek oraz grubość dielektryka, zgodnie z zależnością:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d} \quad (8.4)$$

gdzie:

- C – pojemność kondensatora,
- ε_0 – przenikalność elektryczna próżni,
- ε_r – przenikalność elektryczna względna dielektryka,
- A – powierzchnia czynna jednej okładki,
- d – grubość dielektryka.

Czujnik pojemnościowy w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- pomiar ciśnienia,
- pomiar przyspieszenia poprzecznego pojazdu,
- pomiar przyspieszenia (opóźnienia) pojazdu,
- pomiar wilgotności powietrza wewnątrz pojazdu,
- pomiar pochylenia pojazdu,
- określenie jakości oleju silnikowego.

Czujniki pojemnościowe w pojazdach samochodowych realizują pomiar niewielkiej wartości ciśnienia, które – podczas tego procesu – powoduje zmianę odległości między okładkami. Podobny efekt uzyskuje się w układzie pomiaru przyspieszenia poprzecznego pojazdu, gdzie siła bezwładności oddziałuje na układ masa–sprężyna, powodując jego odchylenie. Czujnik wykorzystuje się w układzie stabilizacji toru jazdy, a jego ustawienie w kierunku osi wzdłużnej pojazdu powoduje, że mierzy on tylko przyspieszenie boczne. Mikromechaniczne czujniki drgań i przyspieszenia skonstruowane są w układzie masa–sprężyna–tłumik i poddawane działaniu siły bezwładności występującej w czasie przyspieszania lub hamowania pojazdu. Siła działa na masę sejsmiczną czujnika i powoduje jej przesuwanie lub naciskanie na element pomiarowy. Masa jest połączona z okładkami ruchomymi kondensatora lub je przesuwają, co powoduje zmianę odległości między nimi, a tym samym pojemności kondensatora. Generowany sygnał napięciowy jest wzmacniany i przesyłany do sterownika, a czujnik tego typu wykorzystuje się w układach sterowania poduszek powietrznych oraz w systemach ABS i ESP. W czujniku wilgotności powietrza dielektryk zawiera warstwy higroskopijne, które – w zależności od wilgotności względnej – pochłaniają lub odprowadzają wodę i w ten sposób zmieniają pojemność kondensatora. W pomiarze pochylenia pojazdu wykorzystuje się czujniki, w których ciecz w mniejszym lub większym stopniu wypełnia przestrzeń między elektrodami i w ten sposób zmienia się przenikalność

dielektryka. Czujnik jakości oleju silnikowego wkręcony jest w miskę olejową od dołu i mierzy temperaturę, poziom oleju oraz określa jego jakość na podstawie zmiany przewodności i przenikalności elektrycznej spowodowanej różnymi procesami zachodzącymi podczas pracy silnika. Złącze elektryczne czujnika pojemnościowego posiada następujące piny:

- 1 – zasilanie (typowo 5 V),
- 2 – masa (-),
- 3 – sygnał napięciowy (+).

8.10. Czujnik ultradźwiękowy

Fale ultradźwiękowe mają częstotliwość większą od 20 kHz i mniejszą od 10 GHz, w zastosowaniach motoryzacyjnych wykorzystuje się zwykle zakres częstotliwości od 20 do 250 kHz i generuje się fale podłużne. Jako przetworniki ultradźwiękowe stosuje się elementy piezoelektryczne pobudzane do drgań za pomocą zmiennego pola elektromagnetycznego. Po przyłożeniu zmiennego napięcia do piezoelementu naklejonego na membranę aluminiową, powstaje impuls nadawczy składający się z sekwencji drgań. Impuls przemieszcza się w danym ośrodku z prędkością dźwięku i jeżeli trafi na przeszkodę o innej gęstości, to odbije się od niej i wróci do przetwornika w postaci impulsu echa. Ten impuls jest wzmacniany i filtrowany, a na podstawie prędkości sygnału w danym ośrodku i czasu od momentu wysłania do odebrania echa można obliczyć odległość czujnika od przeszkody. Zastosowanie tych czujników wymaga analizy wpływu różnych czynników zewnętrznych na wynik pomiaru (temperatura, wilgotność). Wzrost częstotliwości wzbudzania przetwornika zwiększa rozdzielczość pomiaru, ale powoduje też większe pochłanianie dźwięku w ośrodku, w którym się rozprzestrzenia. Czujnik ultradźwiękowy w pojazdach samochodowych spełnia następujące funkcje:

- pomiar odległości pojazdu od przeszkody (czujniki parkowania),
- ochrona pojazdu przed kradzieżą (wykrywanie ruchu wewnątrz pojazdu),
- określenie położenia pasażera (w celu optymalnego zadziałania poduszki powietrznej),
- przepływomierz.

8.11. Czujniki radarowe i lidarowe

Radar (*radio detection and ranging*) służy do wykrywania obiektów oraz określania odległości z wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego o długości fali od 1 mm do 30 cm i częstotliwości od 1 do 300 GHz. Radary czynne emitują promieniowanie i odbierają sygnał odbity od obiektu, natomiast radary biernie tylko odbierają promieniowanie wysyłane przez obiekt. Radary w technice motoryzacyjnej pracują w paśmie milimetrowym i przy częstotliwości w zakresie 76–77 GHz. Przy takich parametrach fal anteny mogą mieć niewielkie rozmiary. Czujniki radarowe są systemami zintegrowanymi, które oprócz radaru mogą być wyposażone w różne układy elektro-

niczne, sterowniki i przetworniki sygnałów innych czujników. Radarowy czujnik odległości zbudowany jest z generatora Gunna, obwodów do rozdzielania sygnałów na wiązki oraz z układów rozdzielających sygnały emitowane i odbierane. Sygnał odebrany jest przetwarzany do postaci cyfrowej przez przetwornik analogowo-cyfrowy, a następnie kształtowany przez cyfrowy procesor sygnałowy. Podstawowym elementem generatora radaru jest dioda Gunna, która – spolaryzowana odpowiednio dużym napięciem stałym – wytwarza oscylacje prądu o wielkiej częstotliwości, a po połączeniu z rezonatorem uzyskiwane jest napięcie sinusoidalnie zmienne. Drgania elektryczne doprowadzone są do układu antenowego, który najczęściej spełnia funkcję nadajnika i odbiornika fal odbitych. Antena wysyła sygnał w postaci promieniowania elektromagnetycznego przez specjalną soczewkę, która wytwarza równoległą wiązkę promieniowania [15].

Lidar (*light detection and ranging*) lub Ladar (*laser detection and ranging*) wykorzystuje diody laserowe jako źródło światła w pasmie podczerwieni oraz fotodiody jako odbiorniki sygnału i może być określany radarem laserowym. Lidar, w porównaniu z radarem, jest bardziej czuły na trudne warunki atmosferyczne i w razie wystąpienia opadów określenie pozycji obiektu z jego wykorzystaniem może być obciążone większym błędem. Opady tłumią strumień światła laserowego, ponieważ jego wiązka jest węższa niż krople deszczu czy płatki śniegu. Dodatkowo zanieczyszczenia gromadzące się na powierzchni pojazdu blokują promień laserowy [36].

Zmiana częstotliwości sygnału odbitego w stosunku do sygnału wysłanego występuje wtedy, gdy obiekt porusza się względem radaru. Na takiej zasadzie działają radary typu dopplerowskiego, które są wykorzystywane do pomiaru prędkości pojazdów. Zbudowane są z nadajnika, odbiornika, anteny kierunkowej oraz układów synchronizacji, przełączania i zapisu. Jako nadajnik jest stosowany generator impulsowy wielkiej częstotliwości, a krótkie impulsy dużej mocy przekazywane są do anteny kierunkowej przez urządzenie przełączające. Fala elektromagnetyczna generowana przez antenę powraca do niej po odbiciu od obiektu i jest kierowana do odbiornika przez urządzenie przełączające, a w następnej kolejności do układu zapisującego. Czas potrzebny na przebycie przez falę drogi od anteny do obiektu i z powrotem jest przeliczany na odległość obiektu od radaru. Generacja impulsów wielkiej częstotliwości w tego typu urządzeniach odbywa się z wykorzystaniem magnetronu, w którym gorąca katoda emituje elektrony sterowane polem magnetycznym, a wnęki cylindrycznej anody stanowią rezonator, w jakim wzbudzają się fale stojące o częstotliwości mikrofalowej [15].

Czujniki radarowe w pojazdach samochodowych stosowane są w zaawansowanych systemach adaptacyjnej regulacji prędkości jazdy ACC (*adaptive cruise control*). Na podstawie zmierzonej prędkości i odległości pojazdu poprzedzającego, system powoduje przyspieszanie lub opóźnianie nadzorowanego pojazdu za pośrednictwem układu sterowania silnikiem i układu hamulcowego. Systemy ACC określają dynamiczne wielkości fizyczne pojazdu na podstawie sygnałów z układów ABS i ESP, a krzyżownicę

toru ruchu za pośrednictwem systemów nawigacyjnych. Sterowanie odbywa się z wykorzystaniem następujących czujników:

- czujnik prędkości obrotowej silnika,
- czujniki prędkości obrotowej kół pojazdu,
- czujnik obrotu pojazdu wokół osi pionowej,
- czujnik kąta obrotu koła kierownicy,
- czujniki przyspieszenia wzdłużnego i poprzecznego.

8.12. Czujniki fotoelektryczne

Procesy fotoelektryczne łączą ze sobą zjawiska elektryczne i promieniowanie świetlne. Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne powoduje wzrost przewodności materiałów półprzewodnikowych i dielektryków lub powstanie siły elektromotorycznej na złączu półprzewodników typu P i N. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne wywołuje emisję elektronów z powierzchni ciała. Promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali od 10 do 10^6 nm nazywane jest światłem, natomiast promieniowanie w zakresie fal od 390 do 770 nm jest światłem widzialnym. Fotorezystor jest półprzewodnikiem, którego rezystancja maleje pod wpływem strumienia światła. Promieniowanie o określonej długości fali powoduje zrywanie wiązań atomowych w sieci krystalicznej i generację par elektron–dziura. Zwiększa się liczba swobodnych nośników ładunku elektrycznego i wzrasta przewodność elementu. Materiały stosowane do budowy fotorezystorów to siarczki ołowiu (PbS), tellurek ołowiu (PbTe), antymonek indu (InSb), siarczki kadmu (CdS) i german (Ge). Generacja swobodnych nośników ładunku w fotodiodzie odbywa się pod wpływem światła na złączu P-N dwóch półprzewodników o różnym rodzaju przewodnictwa. Prąd, płynący przy polaryzacji złącza w kierunku wstecznym, w niewielkim stopniu zależy od napięcia, a głównie od strumienia świetlnego. Podobne zjawisko występuje w fototranzystorze, gdzie strumień świetlny skierowany na jego bazę zwiększa przewodność złącza emiter–kolektor i przez tranzystor przepływa prąd proporcjonalny do natężenia światła. Fototranzystory mają dwa wyprowadzenia, połączone z emiterem i kolektorem. Dioda typu LED (*light emitting diode*) przetwarza energię elektryczną w energię promieniowania elektromagnetycznego o odpowiedniej długości fali. Występuje tam zjawisko rekombinacji, czyli przechodzenia elektronów z wyższego stanu energetycznego na niższy (z pasma przewodzenia do pasma walencyjnego) i wypromieniowania kwantu energii elektronu w postaci fotonu. Przetwarzanie energii odbywa się podczas przepływu prądu przez złącze P-N spolaryzowane w kierunku przewodzenia. Długość fali światła i jego barwa zależy od rodzaju materiałów półprzewodnikowych i siły domieszkowania jednego materiału w stosunku do drugiego. Czujniki fotoelektryczne, w których główne funkcje spełniają elementy optoelektroniczne, mogą posiadać następujące funkcje pomiarowe w pojazdach samochodowych:

- pomiar oświetlenia otoczenia (np. w celu regulacji intensywności oświetlenia tablicy wskaźników),
- czujniki deszczu w układzie sterowania silnikiem wycieraczek szyb,
- przyciemnianie obrazu w lusterku elektrochromatycznym,
- czujniki zajęcia fotela pasażera,
- określanie kąta obrotu koła kierownicy,
- czujniki położenia dźwigni.

8.13. Czujnik typu włącznik

Włączniki w funkcji czujników wykorzystuje się w celu sygnalizacji jednego z dwóch stanów, w których może się znajdować badane urządzenie, element lub medium. Takie czujniki w pojazdach samochodowych można zastosować do określenia:

- poziomu oleju silnikowego,
- ciśnienia oleju silnikowego,
- położenia pedału hamulca lub sprzęgła,
- stanu światła cofania,
- punktu neutralnego skrzyni biegów,
- podciśnienia w serwie hamulca.

8.14. Uszkodzenia czujników w pojazdach samochodowych

Czujniki stosowane w pojazdach samochodowych mogą mieć następujące uszkodzenia:

- nietrwale połączenie elektryczne,
- zwarcia międzyzwojowe,
- nieszczelność obudowy,
- zanieczyszczenie struktury pomiarowej (osad, nagar, olej, woda),
- korozja elementów wewnętrznych i styków,
- nieprawidłowy docisk między elementami ruchomymi,
- zużycie ciernie współpracujących elementów (ruchomego i nieruchomego),
- zmiana położenia czujnika względem współpracującego elementu ruchomego (impulsatora),
- zużycie cieplne,
- uszkodzenie struktury półprzewodnikowej,
- uszkodzenie struktury piezoelementu,
- uszkodzenie elementów elektronicznych,
- uszkodzenie obudowy (pęknięcie, odkształcenie).

9. Elementy układu oświetlenia

9.1. Wielkości fizyczne w technice świetlnej

Nazwy, symbole i jednostki podstawowych wielkości fotometrycznych, elektrycznych i eksploatacyjnych, które charakteryzują źródła światła, zamieszczono poniżej.

Wielkości fotometryczne:

- strumień świetlny Φ [lm],
- moc promienista P_p [W],
- światłość I [cd],
- luminancja L [cd/m²],
- natężenie oświetlenia E [lux],
- wskaźnik oddawania barw szczególny R_p ,
- wskaźnik oddawania barw ogólny R_a ,
- temperatura barwowa światła T_c [K].

Wielkości elektryczne:

- moc elektryczna znamionowa P_n [W],
- napięcie znamionowe U_n [V],
- prąd znamionowy I_n [A],
- współczynnik mocy $\cos \varphi$.

Wielkości eksploatacyjne:

- skuteczność świetlna η [lm/W],
- trwałość T [h],
- dopuszczalny zakres temperatury otoczenia,
- dopuszczalna pozycja pracy źródła światła,
- charakterystyki eksploatacyjne.

Definicje najważniejszych wielkości świetlnych zamieszczono poniżej [64]:

- Strumień świetlny Φ jest to wielkość fotometryczna wywiedziona od strumienia energetycznego (mocy promienistej), na podstawie oceny promieniowania za pomocą odbiornika, którego względna czułość widmowa odpowiada czułości widmowej oka przystosowanego do jasności:

$$\Phi = K_m \int_0^\infty \Phi_{e,\lambda} V_\lambda d\lambda \quad (9.1)$$

gdzie:

K_m – fotometryczny równoważnik promieniowania (683 lm/W),

$\Phi_{e,\lambda}$ – rozkład widmowy mocy promienistej (strumienia energetycznego),

V_λ – względna skuteczność świetlna promieniowania monochromatycznego.

- Moc promienista P_p lub strumień energetyczny Φ_e jest to moc przenoszona lub dostarczona przez promieniowanie:

$$P_p = \Phi_e = \int_0^\infty \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad (9.2)$$

gdzie:

$\Phi_e(\lambda)$ – rozkład widmowy gęstości mocy promienistej.

- Światłość w danym kierunku I , punktowego źródła światła lub elementu powierzchni niepunktowego źródła światła jest to iloraz elementarnego strumienia świetlnego $d\Phi$, wypromieniowanego do wnętrza nieskończenie małego stożka obejmującego dany kierunek oraz kąta bryłowego $d\omega$ tego stożka:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (9.3)$$

- Luminancja L danego punktu powierzchni, w określonym kierunku jest to iloraz elementarnej światłości, jaką cechuje się nieskończenie małe otoczenie punktu w tym kierunku, oraz pola pozornej powierzchni tego otoczenia, widzianego z tego kierunku:

$$L = \frac{dI}{dA'} = \frac{dI}{dA \cos \alpha} \quad (9.4)$$

gdzie:

dA – elementarne otoczenie punktu powierzchni,

dA' – wielkość pozorna elementu dA ,

α – kąt płaski między kierunkiem strumienia świetlnego i wektorem normalnym do powierzchni A .

- Natężenie oświetlenia E w danym punkcie powierzchni jest to iloraz elementarnego strumienia świetlnego padającego na powierzchnię, stanowiącą elementarne otoczenie danego punktu oraz jej wartości (inaczej jest to suma działania wiązek świetlnych o luminancji L , które z obszaru półprzestrzeni, widzianej z danego punktu, oświetlają ten punkt powierzchni):

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \int_{2\pi} L \cos \alpha d\omega \quad (9.5)$$

- Wskaźnik oddawania barw szczególny R_i jest miarą stopnia zgodności psychofizycznego wrażenia barwy wzorcowej próbki barwnej, oświetlonej badanym źródłem światła, z wrażeniem barwy tej samej próbki, oświetlonej wzorcowym źródłem światła.

- Wskaźnik oddawania barw ogólny R_a jest wartością średnią z ośmiu szczególnych wskaźników oddawania barw, obliczoną dla określonych wzorcowych próbek barwnych, przyjmuje wartość od 0 do 100 i uznawany jest za korzystny, gdy jest większy od 85, a niekorzystny, gdy jest równy lub mniejszy niż 70.
- Temperatura barwowa T_c danego źródła światła jest to temperatura ciała czarnego, które promieniuje światło o barwie identycznej z barwą tego źródła.
- Skuteczność świetlna źródła światła η jest to iloraz strumienia świetlnego wypromieniowanego ze źródła oraz mocy do niego dostarczonej:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (9.6)$$

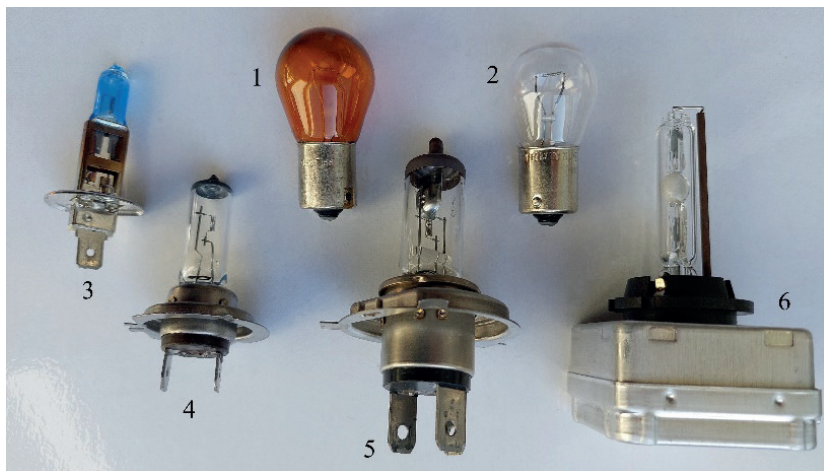
- Trwałość źródła światła T jest to czas, w którym ono świeciło, zanim stało się bezużyteczne lub uznane za takie, zgodnie z przyjętymi kryteriami. Dla diod typu LED jest to czas, po którym wytwarza ona 70% lub 50% początkowego strumienia świetlnego.

9.2. Źródła światła

Bryła świecąca źródła światła (ciało świecące, powierzchnia świecąca) jest to dostrzegalna powierzchnia źródła światła, która w trakcie emisji promieniowania charakteryzuje się niezerową luminancją. W praktyce jako bryłę świecąca traktuje się taką powierzchnię, która decyduje o wytworzeniu strumienia świetlnego, a więc tę, która ma luminancję porównywalną z maksymalną. W przypadku żarówki jest to powierzchnia walca opisana na skrajce prostej, dla lampy wyładowczej jest to fragment toroidalnej powierzchni rozpiętej między elektrodami źródła, a dla diody LED najczęściej jest to powierzchnia prostokąta [63]. Źródła światła stosowane w pojazdach samochodowych to żarówki halogenowe, lampy wyładowcze i diody typu LED.

W porównaniu ze zwykłymi lampami żarowymi, w żarówkach halogenowych zastosowano cykl regeneracyjny, który zwiększa ich trwałość i przez dłuższy czas utrzymuje dużą skuteczność świetlną. Gaz wypełniający bańkę żarówki (np. krypton) wzbogacony jest pierwiastkami z grupy halogenów (fluor, jod, brom), które w niższej temperaturze tworzą związki chemiczne z parami wolframu, a w wyższej temperaturze, występującej blisko żarnika, rozpadają się osadzając wolfram na jego powierzchni. W tego typu źródłach światła żarnik podgrzewany jest do większej temperatury niż w rozwiązaniach konwencjonalnych (2900–3100 K), co powoduje zwiększenie skuteczności świetlnej i trwałości. Podstawową cechą konstrukcyjną żarówek halogenowych jest ich niewielki rozmiar zapewniający utrzymanie wysokiej temperatury i efektu halogenowego, a także szkło kwarcowe odporne na wysoką temperaturę. Poprawę właściwości żarówek halogenowych, głównie zmniejszenie strat ciepłych, można uzyskać dzięki pokryciu ich wnętrza powłoką odbijającą promieniowanie podczerwone w kierunku żarnika. W pojazdach samochodowych najczęściej stosowane są żarów-

ki halogenowe oznaczane symbolem H i odpowiednią cyfrą. W reflektorach głównych najbardziej popularne są żarówki jednowlóknowe typu H7 oraz dwuwłóknowe typu H4 z żarnikiem do światła mijania i żarnikiem do światła drogowych (rys. 9.1 i 9.2). Żarówki tego typu są ciągle ulepszane, powstają ich nowe odmiany o różnych oznaczeniach, charakteryzujące się większym strumieniem świetlnym [50]. Skuteczność świetlna żarówek halogenowych wynosi od 15 do 30 lm/W, trwałość jest bardzo zróżnicowana i zawiera się w przedziale od 400 do 900 godzin, a temperatura barwowa osiąga wartość około 5000 K.



Rys. 9.1. Żarówki żarnikowe (1, 2), halogenowe (3, 4, 5) i lampa wyładowcza (6)



Rys. 9.2. Reflektor samochodowy z żarówkami halogenowymi

Źródłem światła w lampach wyładowczych jest łuk elektryczny, powstający między dwoma elektrodami wolframowymi, w atmosferze mieszaniny gazów szlachetnych (argon, ksenon) oraz soli metali (rtęć, skand, sód). Łuk elektryczny o długości 4–5 mm powstaje w cienkościennej bańce ze szkła kwarcowego, w której występuje ciśnienie o wartości do 10 MPa, a temperatura może osiągać 900 °C (rys. 9.1). W celu zapłonu lampy konieczne jest przyłożenie do jej elektrod napięcia o wartości rzędu 20–30 kV. Zastosowanie dodatkowych urządzeń do wytwarzania wysokiego napięcia oraz stabilizacji prądu łuku elektrycznego powoduje duży koszt takiego rozwiązania, a chwilowy pobór mocy wynosi 100 W. Podtrzymanie łuku wymaga napięcia rzędu 80–100 V. Światło lamp wyładowczych ksenonowych stosowanych w pojazdach jest bardziej zbliżone do światła dziennego niż w przypadku żarówek halogenowych, gdyż temperatura barwowa w lampach wyładowczych osiąga nawet 6200 K, strumień świetlny 3200 lm, a typowa wartość mocy wynosi 35 W. Wynika z tego, że skuteczność świetlna osiąga wartość około 90 lm/W, natomiast luminancja jest równa 3000 cd/m² [40]. Jednak w czasie użytkowania temperatura barwowa może się zwiększać i światło nabiera zabarwienia niebieskiego lub fioletowego. Lampy są bardziej odporne na wstrząsy od żarówek halogenowych, a ich trwałość osiąga 1500–3000 godzin. W oznaczeniach lamp litera D oznacza wyładowcze źródło światła (*discharge*), cyfra parzysta po tej literze informuje, że zapłonnik występuje odrębnie, a cyfra nieparzysta symbolizuje, że zapłonnik jest zintegrowany z lampą. Dalej litera S oznacza, że lampa jest przeznaczona do reflektora projekcyjnego z soczewką, litera R wskazuje na reflektor tradycyjny z odbłyśnikiem paraboloidalnym lub wieloprofilowym, a litera E oznacza reflektor z odbłyśnikiem elipsoidalnym [40]. Stosowane są również światła bixenonowe z układem optycznym, który przysłania odpowiednio część strumienia świetlnego i w ten sposób pozwala na wykorzystanie jednej lampy w funkcji światła mijania lub światła drogowych. Zastosowanie lamp wyładowczych dużej mocy wymaga układu dynamicznego samopoziomowania nadwozia pojazdu i wysokociśnieniowej instalacji oczyszczania kloszy reflektorów. Lampy wyładowcze są obecnie stosowane w znacznie mniejszym stopniu, w starszych i tańszych rozwiązaniach dominują żarówki, natomiast w nowych pojazdach coraz częściej wprowadza się lampy diodowe.

Diody LED (*light emitting diode*) są w coraz większym stopniu stosowane w światłach przeznaczonych do jazdy dziennej, reflektorach głównych, a także światłach sygnałowych (rys. 9.3 i 9.4). Jako źródło światła stosuje się matrycę o odpowiedniej rozdzielczości, na której diody LED tworzą punkty świetlne. W zależności od rodzaju światła odpowiednio ukształtowaną wiązkę świetlną uzyskuje się przez system wyłączania poszczególnych pól świetlnych. W razie niesprawności lampy w niektórych przypadkach można wymieniać tylko jej uszkodzone segmenty.



Rys. 9.3. Sposób kształtowania odbłyśnika w reflektorze typu LED



Rys. 9.4. Tylne lampy pojazdu z diodami LED

W diodzie spolaryzowanej w kierunku przewodzenia zachodzi zjawisko rekombinacji, czyli przemieszczania się elektronów z wyższego poziomu energetycznego na niższy, z obszaru N do obszaru P, z emitowaniem kwantów energii elektromagnetycznej w zakresie widzialnym. Do wytwarzania diod typu LED stosuje się pierwiastki z III i V grupy układu okresowego. W zależności od rodzaju półprzewodnika i sposobu jego domieszkowania uzyskuje się różne barwy światła. Główne problemy związane z działaniem diody świecącej to częściowe wewnętrzne pochłanianie promieniowania i konieczność odprowadzania intensywnie wytwarzanego ciepła powstającego z powodu dużej gęstości prądu. Istotne jest także ograniczanie luminancji, charakterystycznej dla tego rodzaju źródła światła, a szkodliwej dla narządu wzroku. Zalety lamp diodowych typu LED to duża skuteczność świetlna od 40 do 130 lm/W i trwałość od 25000 do 100000 godzin. W celu uzyskania światła białego stosuje się technologię RGB, polegającą na zmieszaniu w równych proporcjach trzech barw światła, wytwarzanych przez diodę czerwoną, zieloną i niebieską. Rzadziej stosuje się inny sposób, który polega na

wytworzeniu przez diodę promieniowania nadfioletowego, pobudzającego do świecenia substancję chemiczną nazywaną luminoforem. Możliwe jest także wykorzystanie luminoforu do przetwarzania światła niebieskiego w żółte i po zmieszaniu tych barw uzyskanie światła białego lub zastosowanie różnych typów luminoforów, pobudzanych do świecenia światłem niebieskim. Diody organiczne wytwarzające światło OLED (*organic lighting emitting diode*) to powierzchniowe źródła światła zbudowane z półprzewodników polimerowych, w których grubość aktywnych warstw nie przekracza 500 nm, a całkowita grubość wszystkich elementów składowych wynosi kilka milimetrów [58]. Światło wytwarzane jest w wyniku rekombinacji elektronów i dziur w warstwie emisyjnej cząstek organicznych. Pomiędzy anodą i katodą znajdują się organiczne związki półprzewodnikowe (polimery) i amorficzne materiały małowartościowe. Anody wytwarzane są z roztworu stałego tlenku indy i tlenku indowo-cynowego, a katody z glinu i wapnia o niskiej pracy wyjścia elektronów. Dioda nie zasilana prądem ma postać substancji przezroczystej. Białe światło emitowane przez OLED ma wysoki wskaźnik oddawania barw oraz nie zawiera promieniowania nadfioletowego i podczerwonego. Dioda OLED wykonana w technologii powierzchniowej charakteryzuje się znacznie mniejszą luminancją niż dioda LED wytwarzana w technologii punktowej i nie potrzebuje dodatkowych elementów do odprowadzania ciepła. Ponadto zapewnia duży kontrast i jednorodność oświetlenia oraz nie wymaga stosowania odbłyśnika [50].

9.3. Oprawy oświetleniowe

Źródła światła mocowane są w oprawach oświetleniowych, które spełniają następujące funkcje:

- geometryczne i spektralne przekształcanie rozsyłu strumienia świetlnego źródła,
- dostarczenie energii elektrycznej do źródła światła,
- zamocowanie mechaniczne źródła światła,
- zabezpieczenie źródła przed niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi,
- zabezpieczenie środowiska przed szkodliwym działaniem źródła światła,
- kierowanie bryły fotometrycznej w określoną część przestrzeni.

Najważniejsze elementy oprawy i ich zadania to [63]:

- odbłyśniki, klosze, szyby rozpraszające (ich rolą jest przekształcanie geometryczne rozsyłu strumienia świetlnego, ograniczenie luminancji),
- osłony promieniowania bezpośredniego i rastry (ograniczają luminancję),
- filtry barwne (zmieniają spektralny skład światła poza oprawą),
- układ optyczny (kieruje i kształtuje rozsył strumienia świetlnego, kształtuje bryłę fotometryczną),
- oprawka źródła światła (odpowiada za zamocowanie źródła i połączenie elektryczne),
- urządzenia zapłonowo-stabilizacyjne (zwiększają napięcia i stabilizują prąd),
- korpus (obudowa),
- śruby, zatrzaski, zapinki, uchwyty, uszczelki (mocują, uszczelniają, zmieniają pozycję oprawy).

Odbłyśnik jest to część oprawy, w formie odpowiednio ukształtowanej powierzchni otaczającej źródło światła w pewnym kącie przestrzennym, która zmienia bryłę fotometryczną, nadając jej charakter zależny od ukształtowania i właściwości refleksyjnych materiału odbijającego i ogranicza przy tym obszar przestrzenny wypromieniowania. Odbłyśnik wykorzystuje głównie zjawisko odbicia strumienia świetlnego. W reflektorach głównych pojazdu używa się odbłyśniki o profilu paraboli, elipsy lub wieloprofilowe (wielokrzywiznowe). Oprawy o niesymetrycznej bryle fotometrycznej stosuje się w światłach mijania. Układ optyczny takiej oprawy może mieć niesymetryczny odbłyśnik lub niesymetrycznie położone źródło światła. Oprawa niesymetryczna skierowana osią prostopadle do ekranu, tworzy na niej plamę świetlną o nieregularnym kształcie, bez symetrii obrysu i wewnętrznego rozkładu luminancji. W żarówkach dwuwłóknowych typu H4 stosuje się przesłonę, która kieruje strumień światła w dół i w prawo. Dzięki temu zapewniona jest granica światła i cienia oraz asymetryczność wiązki światła, w celu zapewnienia oświetlenia pobocza. Dzieje się tak w przypadku umieszczenia żarnika światła mijania przed punktem, w którym znajduje się ognisko odbłyśnika o profilu parabolicznym, w kierunku na zewnątrz lustra. Osłonka umieszczona wewnątrz żarówki zasłania dolną część odbłyśnika, a promienie odbite od górnej części kierowane są ku dołowi. Żarnik światła drogowych jest umieszczony w pobliżu ogniska odbłyśnika i promienie światła po odbiciu od jego dolnej i górnej części mają kierunek równoległy do powierzchni jezdni. Innym rozwiązaniem tego zagadnienia jest konstrukcja odbłyśnika paraboloidalnego dwuczęściowego, gdzie górna i dolna część mają ogniska w różnych punktach. Umieszczenie żarówki światła mijania pomiędzy tymi punktami powoduje, że promienie światła odbite od górnej i dolnej części odbłyśnika skierowane są ku dołowi. Do kształtowania wiązki promieni świetlnych światła mijania stosuje się również odbłyśniki o profilu eliptycznym. Osiąga się w ten sposób możliwość rozsyłu światłości skoncentrowanego w pewnym obszarze kątowym, jak również uzyskania wiązki równoległej o niewielkiej rozbieżności kątowej, w zależności od miejsca umieszczenia źródła światła. Układ taki ma dwa punkty ogniskowe i promienie wysłane z jednego ogniska odbijają się od odbłyśnika w kierunku drugiego ogniska, gdzie ulegają dużej koncentracji. W światłach sygnałowych wykorzystuje się odbłyśniki z naniesioną makrostrukturą, na powierzchni bazowej tworzy się regularnie rozmieszczone elementy (stożki, ostrosłupy, kliny, czasze kuliste itp.). W ten sposób można elastycznie kształtować rozsył strumienia świetlnego odbitego od odbłyśnika. Uzyskuje się estetyczny, regularny układ małych punktów świecących i równomierny rozkład luminancji.

Klosz jest to najbardziej zewnętrzna, przezroczysta część oprawy oświetleniowej, przez którą strumień świetlny, ukształtowany przez układ optyczny, opuszcza oprawę. Na wewnętrznej powierzchni może posiadać ryfle, czyli elementy optyczne kształtujące ostatecznie bryłę fotometryczną oprawy. Może być także podzielony na różne obszary przez odpowiednie wyprofilowanie i kształtować końcowy rozsył strumienia

światelnego. W lampach sygnałowych klosz często spełnia funkcje obudowy, szyby rozpraszającej i filtru barwnego. Zabarwione może być także szkło żarówki.

Szyba rozpraszająca jest to część układu optycznego oprawy, wykonana z materiału przepuszczającego strumień świetlny, która może zmieniać bryłę fotometryczną i zmniejszać luminancję. Szyba rozpraszająca wykorzystuje głównie zjawisko załamania i dyfuzji strumienia świetlnego.

Oslona promieniowania bezpośredniego jest to nieprzezroczysty lub półprzezroczysty element zasłaniający, który uniemożliwia lub ogranicza wyjście z oprawy oświetleniowej promieniowania nieprzetworzonego przez układ optyczny, wytworzonego przez źródło światła. Element ten stosuje się w reflektorach samochodowych w formie osłony lub zaczernienia części bańki żarówki typu H4 i ma on na celu ochronę uczestników ruchu przed zjawiskiem olśnienia, pochodzącego bezpośrednio z żarówki w tym obszarze kątowym, w którym już nie promieniuje odbłyśnik i szyba rozpraszająca (5° – 60°). Natomiast osłony półprzezroczyste używane są w oprawach świateł sygnałowych pojazdu w celu uzyskania dużej równomierności luminancji.

Raster jest to część oprawy oświetleniowej, wykonana najczęściej z materiału nieprzeświecalnego, w postaci odpowiednio uformowanych cienkich pasków, tworzących współkoncentryczne pierścienie, kratki i przegrody, których zadaniem jest zasłonięcie jaskrawego widoku wnętrza oprawy oświetleniowej. Raster może też współtworzyć bryłę fotometryczną oprawy.

9.4. Rodzaje świateł

Dla oznaczenia rodzaju światła pojazdu i jego źródła stosuje się następujące symbole [50]:

- A – światła pozycyjne,
- B – światła przeciwmgłowe przednie,
- C – światła mijania,
- R – światła drogowe,
- CR – światło mijania i światło drogowe,
- C/R – światło mijania lub światło drogowe,
- HC – światło mijania z żarówką halogenową,
- HR – światło drogowe z żarówką halogenową,
- HCR – halogenowe światło mijania i światło drogowe,
- HC/R – halogenowe światło mijania lub światło drogowe,
- DC – ksenonowe światło mijania,
- DR – ksenonowe światło drogowe,
- DC/R – ksenonowe światło mijania lub drogowe,
- RL – światła do jazdy dziennej,
- X – adaptacyjne światła mijania,
- K – światła doświetlające zakręty.

Najważniejsze wymagania, które powinny spełniać światła mijania [50]:

- powinny dostatecznie oświetlać drogę co najmniej na 40 m przed pojazdem przy dobrej przejrzystości powietrza,
- powinny być asymetryczne i oświetlać drogę po prawej stronie na większą odległość niż po lewej stronie,
- jeżeli wykorzystują jako źródło światła moduły LED lub strumień świetlny zastosowanego źródła światła przekracza wartość 2000 lumenów, to korektor pochyleń reflektorów pojazdu musi działać automatycznie,
- odchylenie strumienia w płaszczyźnie poziomej nie może przekraczać w lewo 5 cm na 10 m oraz w prawo 20 cm na 10 m,
- ustawienie w płaszczyźnie pionowej nie może różnić się od wartości nominalnej więcej niż 3 cm na 10 m w górę lub 5 cm na 10 m w dół,
- mogą być włączane i wyłączane automatycznie, lecz powinna być też możliwość ich manualnego włączenia i wyłączenia.
- Najważniejsze wymagania, które powinny spełniać światła drogowe [23]:
- powinny dostatecznie oświetlać drogę, co najmniej na 100 m przed pojazdem przy dobrej przejrzystości powietrza,
- suma światłości wszystkich świateł drogowych nie może być mniejsza niż 30000 cd i nie może przekraczać 225000 cd,
- odchylenie strumienia światła w płaszczyźnie poziomej nie może przekraczać dopuszczalnych granic 20 cm na 10 m (w lewo lub w prawo),
- wartość ustawienia światła w płaszczyźnie pionowej nie może się różnić od wartości nominalnej więcej niż 5 cm na 10 m w górę lub w dół.

Światła przeciwmgłowe pomocnicze przeznaczone są do zwiększenia widoczności podczas jazdy we mgle, opadach śniegu lub w innych trudnych warunkach meteorologicznych. Konieczność stosowania specjalnych świateł przeciwmgłowych podczas jazdy w trudnych warunkach atmosferycznych uwarunkowana jest rozproszeniem światła reflektorów głównych na kropkach deszczu i mgły. Zadaniem świateł przeciwmgłowych jest oświetlanie niewielkiego odcinka drogi (około 30 m). Światła nie powinny być zbyt intensywne, żeby nie powodować zjawiska oślepienia przez promienie odbite i rozproszone przez mgłę. Lampy powinny być zamontowane na niewielkiej wysokości od powierzchni drogi, a kąt nachylenia strumienia świetlnego do poziomu powinien wynosić 7°.

Światła cofania przeznaczone są do oświetlania drogi za pojazdem podczas jego cofania, jak również w celu sygnalizacji tego manewru. Zaświecenie ich jest możliwe tylko przy włączonym biegu wstecznym pojazdu. Reflektor światła cofania rozsyła szeroką smugę światła. Moc źródła światła nie powinna przekraczać 21 W, a jego barwa musi być biała lub żółta selektywna. Światła cofania nie powinny powodować oślepienia innych użytkowników drogi.

Światła sygnałowe przeznaczone są do sygnalizowania obecności pojazdu i zamierzonej zmiany kierunku ruchu lub hamowania. Światła te nie oświetlają drogi, mają

być tylko widoczne dla innych użytkowników. Źródła światła stosowane w lampach sygnałowych mają moc od 4 do 21 W. Lampy wyposażone są w niewielkie odbłyśniki, a żarnik umieszcza się w punktach ogniskowych. Światła pozycyjne, przednie barwy białej, a tylne barwy czerwonej, przeznaczone są do uwidaczniania pojazdu w czasie ruchu lub postoju oraz określenia jego przybliżonej szerokości. Światła pozycyjne przednie umieszczone są w osobnej lampie świateł pozycyjnych lub w reflektorze światła drogowego i mijania. Światła hamowania o barwie czerwonej przeznaczone są do sygnalizowania hamowania pojazdu hamulcem zasadniczym. Włączane są za pomocą włącznika mechanicznego. Najczęściej światła hamowania, pozycyjne tylne oraz kierunku jazdy są umieszczone w jednej lampie zespolonej tylnej, o odpowiednio dzielonej konstrukcji dla poszczególnych rodzajów świateł. Światła kierunku jazdy o barwie żółtej przeznaczone są do sygnalizacji zamiaru zmiany kierunku jazdy. Światła obrysowe służą do uwidaczniania poprzecznego obrysu samochodu, stosowane są jako światła górne, zarówno z przodu (białe), jak i z tyłu (czerwone), w dużych pojazdach o szerokości większej od 2,5 m.

Światła rozpoznawcze służą do rozpoznania przeznaczenia pojazdu. Należą do nich światła tablicy rejestracyjnej, światła uprzywilejowania w ruchu, światła przeznaczenia pojazdu i światło trasy.

Światła odblaskowe świecą światłem odbitym, padającym od obcego źródła i służą do rozpoznawania obecności pojazdu. Są to płytki barwy czerwonej o specjalnie ukształtowanej powierzchni, zapewniającej dobrą widoczność po odbiciu światła. W warunkach dobrej przejrzystości powietrza powinny być widoczne z odległości co najmniej 100 m po oświetleniu ich światłami drogowymi.

Do oświetlenia wewnętrznego pojazdu zalicza się oświetlenie wnętrza nadwozia lub kabiny kierowcy, tablicy rozdzielczej, wskaźników i przyrządów, bagażnika, komory silnika oraz oświetlenie za pomocą lampy przenośnej.

9.5. Regulacja świateł głównych

W zależności od rodzaju oprawy, źródła światła i systemów sterowania uzyskuje się różne kształty wiązek świetlnych i ich barwy. Oprawy mogą być regulowane ręcznie za pomocą śrub albo w sposób programowy lub automatyczny, z wykorzystaniem sterowników, czujników i siłowników reflektorów. Przyrządy do ustawiania świateł mogą działać w sposób analogowy lub cyfrowy. Muszą być odpowiednio ustawione w stosunku do lampy pojazdu w płaszczyźnie poziomej i pionowej, zgodnie z wymaganiami producenta reflektorów. Pojazd powinien mieć odpowiednie ciśnienie powietrza w oponach, być obciążony zgodnie z wymaganiami i ustawiony na płaskiej równej powierzchni. W przypadku zawieszenia hydraulicznego lub pneumatycznego jego silnik powinien pracować i mieć stabilną prędkość obrotową. Ekrany przyrządów regulacyjnych mają zaznaczony punkt środkowy oraz linie poziome i pionowe z odpowiednią podziałką. Wiązka światła mijania emitowana przez żarówkę halogenową tworzy na

ekranie przyrządu wyraźną poziomą linię oddzielającą światło i cień, a w punkcie środkowym zmienia kierunek na ukośny. Wiązka światła mijania emitowana przez lampę wyładowczą ksenonową jest jaśniejsza, również posiada poziomą linię rozgraniczającą światło i cień, która zmienia kierunek na ukośny, a następnie znów na poziomy. Podobny kształt na ekranie tworzy wiązka światła mijania lampy typu LED, ale jej barwa jest jeszcze jaśniejsza, a linia rozgraniczająca światło i cień, z powodu rozszczepienia światła, posiada niebieską poświatę [23]. W takiej sytuacji korzystniej jest zastosować cyfrowe urządzenie regulacyjne, pozwalające na wyostrenie obrazu w miejscu rozmycia lub zastosowanie odpowiedniego filtra zakładanego na soczewkę urządzenia analogowego. Adaptacyjne światła pojazdu z funkcją doświetlania zakrętów wymagają dodatkowo pionowej linii na ekranie przyrządu regulacyjnego i podziałki kątowej, która umożliwia ustawienie odchylenia wiązki światła. W tym przypadku linie graniczne światła i cienia mogą mieć przebieg poziomy i pionowy. Prawidłowe ustawienie świateł pojazdu może wymagać informacji zawartych w odpowiedniej dokumentacji producenta, zastosowania wymaganego testera, a także wprowadzenia danych do sterownika pojazdu.

9.6. Uszkodzenia w układzie oświetlenia

W układzie oświetlenia pojazdu mogą wystąpić następujące uszkodzenia:

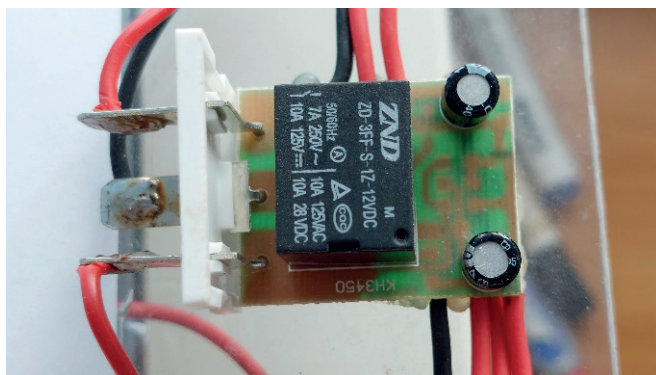
- nieprawidłowe połączenie elektryczne (styk elementów przewodzących),
- zużycie lub przerwanie żarnika źródła światła,
- rozszczelnienie obudowy lub jarznika źródła światła,
- zanieczyszczenie wewnętrzne i zewnętrzne źródła światła,
- uszkodzenie diod elementarnych w matrycy,
- utrata strumienia świetlnego,
- zmiana temperatury barwowej,
- nieprawidłowe połączenie z elementem odprowadzającym ciepło,
- pęknięcia, zanieczyszczenia i odpryski materiału odbłyśnika,
- pęknięcie, zarysowanie, zanieczyszczenie klosza,
- nieszczelność oprawy lub klosza,
- nietrwałe zamocowanie źródła światła, oprawy lub klosza,
- zużycie korozyjne,
- uszkodzenie układu zapłonowo-stabilizacyjnego,
- uszkodzenie elementów regulacyjnych (korozja, uszkodzenie układu elektronicznego).

10. Układy elektroniczne

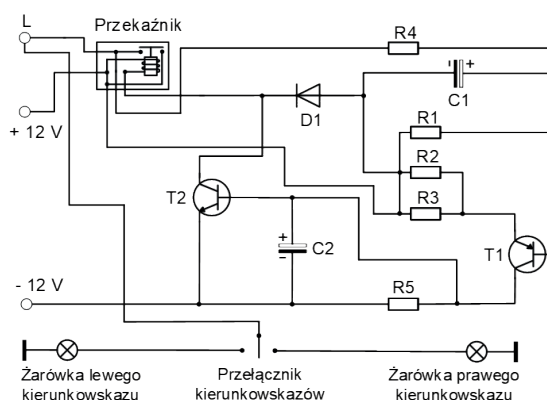
W tym rozdziale omówiono budowy i zasady działania wybranych układów elektronicznych, które sterują pracą elementów wykonawczych w pojazdach, takich jak światła główne, sygnałowe i wewnętrzne, silnik wycieraczek oraz sygnalizatory akustyczne. Układy zbudowane są z różnych, czynnych i biernych elementów oraz podzespołów elektronicznych, wykonanych z przewodników i półprzewodników, które przetwarzają sygnały analogowe i cyfrowe [4, 49].

10.1. Przerywacz kierunkowskazów

Elektroniczny przerywacz kierunkowskazów zbudowany jest z przełącznika, dwóch tranzystorów bipolarnych, dwóch kondensatorów, pięciu rezystorów i diody prostowniczej (rys. 10.1). Schemat układu zamieszczono na rysunku 10.2.



Rys. 10.1. Elektroniczny przerywacz kierunkowskazów



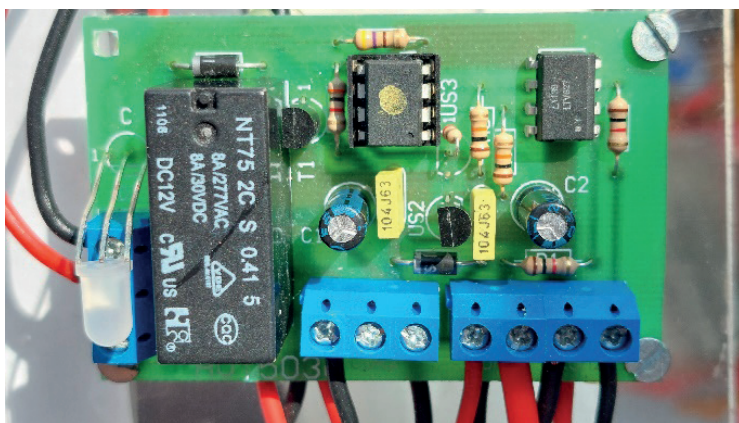
Rys. 10.2. Schemat elektronicznego przerywacza kierunkowskazów

Pracę układu można podzielić na kilka etapów:

- po zamknięciu przełącznika kierunkowskazów niewielki prąd płynie od punktu zasilania +12V, przez rezystor R3, tranzystor T1 (złącze emiter-baza), rezystor R4, zacisk L, przełącznik kierunkowskazów i żarówkę do masy układu,
- tranzystor T1 zaczyna przewodzić, prąd płynie od punktu zasilania +12V przez rezystor R4, tranzystor T1 (złącze emiter-kolektor) i tranzystor T2 (złącze baza–emiter) do punktu zasilania – 12V,
- tranzystor T2 zaczyna przewodzić, prąd płynie od punktu zasilania +12V przez cewkę przekaźnika i tranzystor T2 (złącze kolektor-emiter) do punktu zasilania -12V,
- zwora przekaźnika zwiera styki, prąd płynie od punktu zasilania +12V przez połączone styki przekaźnika, zacisk L, przełącznik kierunkowskazów i żarówkę do masy układu (żarówka zaświeca się),
- równocześnie prąd przestaje płynąć przez bazę tranzystora T1, przerywając przepływ głównego prądu przez tranzystory T1 i T2, cewkę i styki przekaźnika oraz żarówkę,
- proces powtarza się cyklicznie, pojemności kondensatorów i rezystancje oporników decydują o prawidłowej częstotliwości pracy i właściwym rozplywie prądów, a dioda D1 chroni układ przed zwarcie lub zmianą polaryzacji napięcia zasilającego.

10.2. Sterownik silnika wycieraczek

Elektroniczny sterownik silnika wycieraczek zbudowany jest z mikrokontrolera, zasilacza stabilizowanego, transoptora, przekaźnika, tranzystora bipolarnego, czterech kondensatorów, sześciu rezystorów, diody prostowniczej, dwóch diod świecących i układu scalonego resetującego (rys. 10.3). Schemat układu zamieszczono na rysunku 10.4.

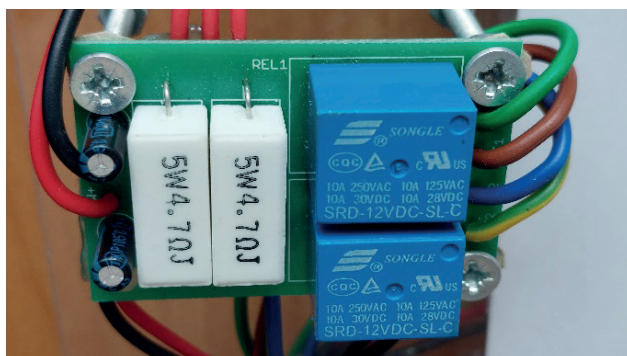


Rys. 10.3. Elektroniczny sterownik silnika wycieraczek

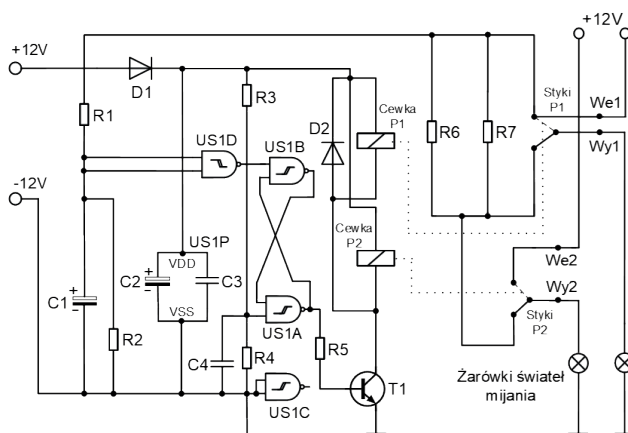


10.3. Układ ograniczający prąd żarówek światła mijania

105



Rys. 10.5. Układ ograniczający prąd żarówek światła mijania



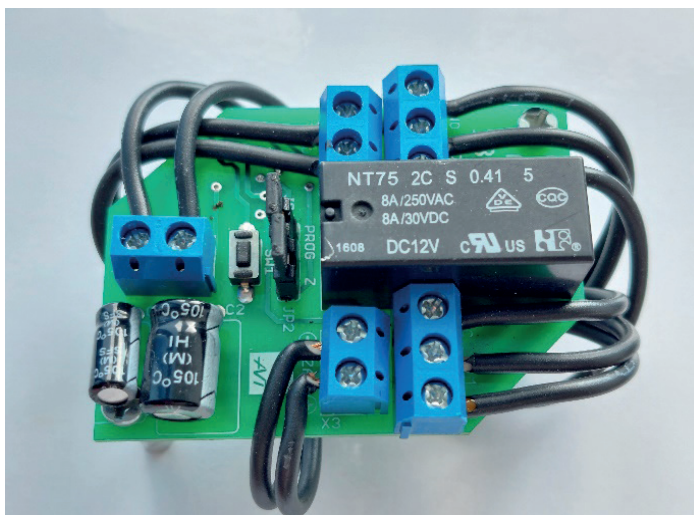
Rys. 10.6. Schemat układu ograniczającego prąd żarówek światła mijania

System współpracujący z żarówkami typu H7 ogranicza prąd płynący do lamp światła mijania przez kilka sekund po włączeniu zasilania, gdy rezystancja żarówki jest mała. Zimne włókno żarówki ma rezystancję wielokrotnie mniejszą od włókna gorącego, co w momencie włączenia skutkuje przepływem prądu o znacznej wartości i większą możliwość przepalenia żarnika. Przykładowo rezystancja włókna zimnej żarówki typu H7 wynosi poniżej $1\ \Omega$, natomiast rezystancja włókna gorącego jest równa około $2,5\ \Omega$. Prąd znamionowy pobierany przez żarówkę wynosi około $4,6\ \text{A}$, natomiast w czasie jej włączania natężenie prądu przekracza $12\ \text{A}$. W pierwszej fazie po włączeniu żarówka jest zasilana przez dodatkową rezystancję szeregową, co powoduje obniżenie prądu włókna do bezpiecznej wartości. Proces ten trwa do momentu, gdy żarnik zostanie wstępnie rozgrzany. Dopiero po tym procesie rezystor ograniczający jest odłączany, co powoduje, że żarówka będzie podłączona bezpośrednio do zasilania. Ponowne włączenie światła lub przełączenie pomiędzy światłami drogowymi i świa-

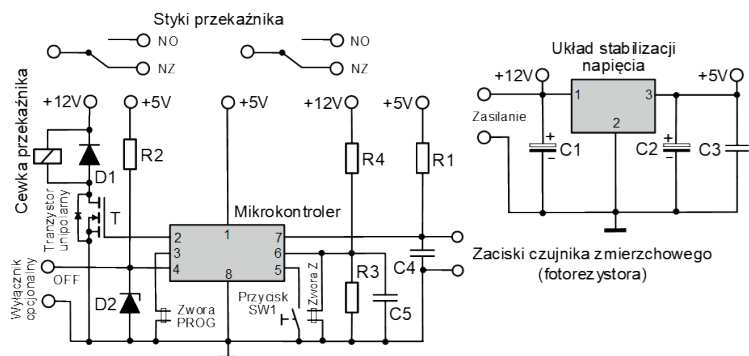
tlami mijania nie uruchomi już etapu rozgrzewania. System działa z wykorzystaniem układu scalonego, bramki A i B tworzą przerzutnik RS, natomiast elementy R3 i C4 zapewniają trwający 0,1 s impuls, który ustawia przerzutnik w stanie aktywnym w momencie włączenia zasilania. Zostają wtedy załączone przełączniki, żarówki są połączone równolegle, a do ich obwodu zasilania są włączone rezystory R6 oraz R7. Opór tych rezystorów został tak dobrany, aby zmniejszyć prąd do około 5A, przy połączonych równolegle dwóch żarówkach o mocy 55 W, czyli po 2,5 A na każdą gałąź układu. Gdy pojawi się potencjał dodatni napięcia w punkcie We1, przez żarówki popłynie prąd, który wstępnie rozgrzeje żarniki i spowoduje ładowanie się kondensatora C1 przez rezystor R1. Elementy te ustalają potrzebny do rozgrzewania czas, który powinien wynosić około 5 s. Naładowanie się kondensatora C1 spowoduje wyzerowanie przerzutnika oraz odłączenie przełączników, co skutkuje powrotem obwodów zasilania żarówek do stanu normalnego, przejściem układu w stan spoczynku i pobieraniem przez niego tylko niewielkiego prądu spoczynkowego. Ponowne uruchomienie układu będzie możliwe tylko po odłączeniu zasilania, odczekaniu kilkunastu sekund i ponownym załączeniu. Układ ma za zadanie przedłużyć czas pracy żarówek światła mijania.

10.4. Przelącznik „światła dzienne – światła mijania”

Przelącznik zbudowany jest z mikrokontrolera, stabilizatora napięcia, przełącznika, tranzystora unipolarnego, pięciu kondensatorów, czterech rezystorów, diody prostowniczej i diody Zenera (rys. 10.7). Schemat układu zamieszczono na rysunku 10.8.



Rys. 10.7. Elektroniczny przelącznik „światła dzienne – światła mijania”



Rys. 10.8. Schemat przełącznika „światła dzieńne – światła mijania”

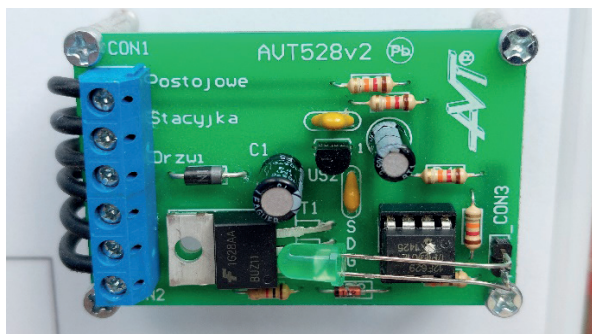
Przełącznik świateł dziennych na światła mijania pojazdu służy do samoczynnej zmiany używanych świateł, w zależności od natężenia oświetlenia naturalnego. Głównym elementem układu jest mikrokontroler, elementem wykonawczym – przekaźnik ze stykami zwiernymi i rozwiernymi, a jako czujnik zastosowano fotorezystor. Zasilanie podawane jest na cewkę przekaźnika oraz układ stabilizacji napięcia, który zasilą mikrokontroler. Do wejścia „0” przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera (pin 7) podłączony jest dzielnik napięcia zbudowany z rezystora R1 i fotorezystora, pełniącego funkcję czujnika zmierzchu. Na wejście „1” (pin 6) podawane jest napięcie zasilania przez rezystory R3 i R4. Układ dokonuje jego pomiaru, żeby stwierdzić, czy silnik pojazdu jest uruchomiony. Pin 5 mikrokontrolera wraz z przyłączonym do niego przyciskiem SW1 oraz pin 3 i zwora PROG przeznaczone są do nastawiania czasów opóźnienia zadziałania (t_1 , t_2 i t_3). Pin 4 służy do resetowania mikrokontrolera, a przez dołączenie masy do punktu OFF dokonywane jest zatrzymanie jego pracy.

Istnieją dwa sposoby podłączenia układu do źródła zasilania. Pierwszym z nich jest podanie napięcia równocześnie z zamknięciem włącznika zapłonu. Konsekwencją tego jest brak pomiaru napięcia zasilania przez układ. Napięcie zasilania uruchamia algorytm, w którym mikrokontroler odlicza czas zwłoki t_1 , indywidualnie ustawiany przez użytkownika w zakresie 1–255 s. Korzyścią płynącą z tego rozwiązania jest opóźnienie zapalenia się świateł mijania, przez co akumulator nie jest dodatkowo obciążony przy uruchamianiu silnika. Po czasie t_1 mikrokontroler sprawdza czujnik fotorezystancyjny i po osiągnięciu zadanej przez użytkownika wartości zaczyna odmierzać czas opóźnienia t_2 . W tym momencie układ nie zmienia jeszcze rodzaju świateł, ale dokonuje pomiaru natężenia oświetlenia zewnętrznego. W przypadku utrzymywania się tej wartości poniżej wyznaczonego progu, zostaną włączone światła mijania. W konsekwencji wprowadzenia czasu opóźnienia t_2 nie występuje zjawisko ciągłego zapalania i gaszenia świateł mijania. Drugi sposób połączenia układu ze źródłem zasilania polega na bezpośrednim dołączeniu do akumulatora. Układ jest tak zaprogramowany, że nie reaguje, dopóki napięcie nie przekroczy wartości 13 V, tak żeby zaczął pracować po uruchomieniu silnika i wytworzeniu napięcia przez alternator. Zasada działania algorytmu

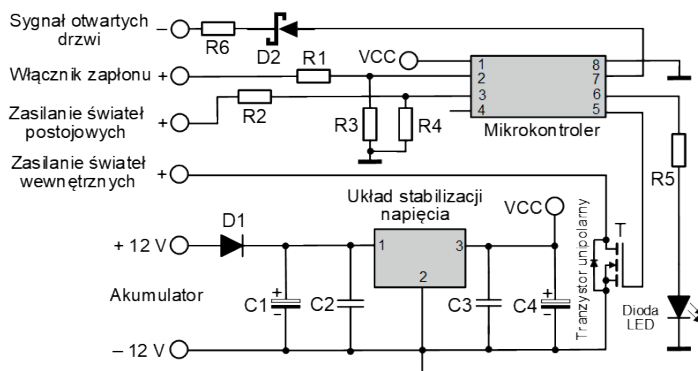
mu zmieniającego światła jest taka sama jak w poprzednim rozwiązaniu, jednak teraz możliwa jest do uruchomienia funkcja *follow me home*. Realizowana jest ona w oparciu o pomiar napięcia zasilania. Gdy obniży się ono do wartości mniejszej niż 12,7 V mikrokontroler zarejestruje, że silnik przestał pracować i w przypadku, gdy wcześniej było dostatecznie jasno, aby światła mijania nie były aktywne, układ oczekuje do ponownego wzrostu napięcia. W sytuacji, gdy natężenie oświetlenia będzie poniżej wartości progowej, następuje odliczanie czasu opóźnienia t_3 . Po jego upływie algorytm przejdzie w tryb oczekiwania na ponowne uruchomienie silnika. Jednak w czasie t_3 światła pozostaną włączone, co daje możliwość dojścia do domu lub bramy wjazdowej użytkownikowi pojazdu. Funkcja ta możliwa jest do zrealizowania tylko w przypadku podłączenia zasilania na stałe, a konsekwencją tego jest stały pobór prądu rzędu 5 mA.

10.5. Sterownik oświetlenia wnętrza pojazdu

Sterownik zbudowany jest z mikrokontrolera, stabilizatora napięcia, tranzystora unipolarnego, czterech kondensatorów, sześciu rezystorów, dwóch diod prostowniczych i diody świecącej (rys. 10.9). Schemat układu zamieszczono na rysunku 10.10.



Rys. 10.9. Elektroniczny sterownik oświetlenia wnętrza pojazdu

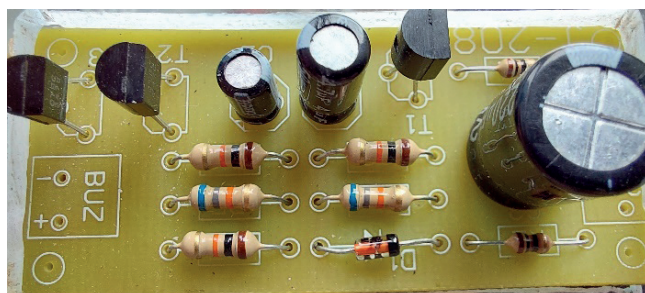


Rys. 10.10. Schemat sterownika oświetlenia wnętrza pojazdu

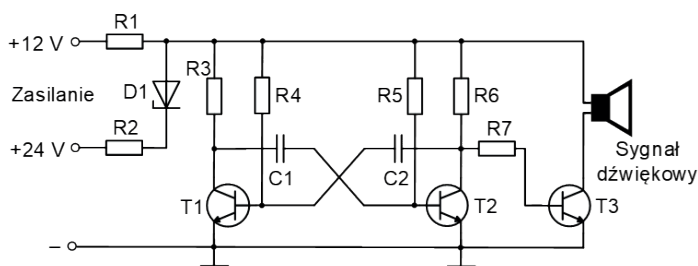
Sterownik lampy oświetlającej wnętrze pojazdu ma za zadanie przedłużyć czas jej świecenia po zamknięciu drzwi, w celu umożliwienia zapięcia pasów bezpieczeństwa i uruchomienia pojazdu. Po upływie określonego czasu światło jest płynnie wygaszane, a jeżeli wcześniej nastąpi zamknięcie włącznika zapłonu, lampka zgaśnie natychmiastowo. Również po zakończeniu jazdy i wyłączeniu zapłonu lampka oświetlenia wnętrza pozostaje aktywna przez określony czas. Najdłuższy czas świecenia został zaprogramowany w przypadku otwartych drzwi pojazdu. Układ sterowania lampy oświetlenia wnętrza kabiny pojazdu współpracuje z włącznikiem zapłonu, włącznikami otwarcia i zamknięcia drzwi oraz z przełącznikiem świateł pozycyjnych. Takie sygnały napięciowe podawane są na wejścia mikrokontrolera US1. Sygnał otwarcia drzwi podawany jest przez diodę, a sygnały z włącznika zapłonu i świateł postojowych przy użyciu rezystancyjnych dzielników napięcia R1–R4. W sytuacji, gdy zapłon lub światła są włączone, rezystory R3 i R4 wytwarzają niskie stany logiczne na wejściach mikrokontrolera. Dzięki zastosowaniu wewnętrznych diod zabezpieczających, napięcie rezystorów jest zmniejszane do wartości, przy których mikrokontroler może pracować. Po wyłączeniu zapłonu dioda świecąca symuluje system alarmowy, pulsując z częstotliwością 1 Hz. Stabilizator wytwarza napięcie o wymaganej wartości do zasilania mikrokontrolera, a dioda D1 zabezpiecza przed odwrotną polaryzacją napięcia. Kondensatory C1–C4 odpowiadają za filtrowanie napięcia zasilania. Tranzystor typu MOSFET może przewodzić prąd o maksymalnej wartości 12 A. Mikrokontroler w sposób ciągły sprawdza stan włącznika zapłonu i uruchamia odpowiedni algorytm. W przypadku, gdy zapłon jest włączony, następuje kontrola pozycji czujnika otwarcia drzwi. Możliwe są trzy różne sytuacje, dla których długość świecenia lampki jest inna. Pierwsza z nich: gdy zapłon jest wyłączony, a drzwi otwarte licznik odmierza czas równy 120 s, a jeśli sytuacja nie ulega zmianie układ dodaje kolejne 30 s, po czym wyłącza lampkę. Druga z nich: gdy zapłon jest włączony, a drzwi otwarte (np. gdy wysiada pasażer) nie występuje konieczność wydłużenia czasu świecenia światła, przez co gaśnie ono natychmiast po otrzymaniu sygnału z czujnika, że drzwi zostały zamknięte. Natomiast gdy zapłon jest włączony, a drzwi otwarte i w tej sytuacji nastąpi wyłączenie zapłonu, wówczas uruchamiany jest taki sam algorytm jak w punkcie pierwszym. Trzecia możliwość dotyczy sytuacji, gdy zapłon jest włączony, drzwi zamknięte, a światła postojowe włączone. Układ inicjuje wówczas zaświecenie lampki wewnątrz pojazdu.

10.6. Akustyczny sygnalizator cofania pojazdu

Sygnalizator zbudowany jest z trzech tranzystorów bipolarnych, trzech kondensatorów, siedmiu rezystorów, diody Zenera i głośnika (rys. 10.11). Schemat układu zamieszczono na rysunku 10.12.



Rys. 10.11. Akustyczny sygnalizator cofania pojazdu



Rys. 10.12. Schemat akustycznego sygnalizatora cofania pojazdu

Układ przeznaczony jest do samochodów z instalacją 12 V lub 24 V. Główną część stanowią dwa tranzystory i dwa kondensatory w układzie multiwibratora astabilnego, który ma dwa stany quasi-stabilne, a przejście z jednego stanu do drugiego odbywa się samoczynnie. Czasy trwania poszczególnych stanów nie muszą być równe i zależą wyłącznie od elementów układu. Trzeci tranzystor wykonawczy T3 włącza i wyłącza głośnik, a jego stan nasycenia występuje w momencie zatkania tranzystora T2, ponieważ kolektor T2 połączony jest z bazą T3. W miejsce tranzystora T3 może być zastosowany przekaźnik elektromagnetyczny. Działanie układu opiera się na cyklicznym naprzemiennym przechodzeniu tranzystorów T1 i T2 ze stanu nasycenia do stanu zatkania. Po włączeniu zasilania, z powodu asymetrii układu, jeden tranzystor szybciej wejdzie w stan nasycenia, co spowoduje zatkanie drugiego. Gdy tranzystor T2 wejdzie w stan nasycenia napięcie na jego kolektorze gwałtownie obniży się do napięcia bliskiego zeru, a tym samym potencjał prawej okładki kondensatora C2 również skokowo się zmniejszy. Ujemny skok potencjału przenosi się na jego lewą okładkę i bazę tranzystora T1, powodując jego zatkanie. Od momentu wejścia tranzystora T2 w stan nasycenia rozpoczyna się proces ładowania kondensatora C2 w obwodzie +12V-R1-R4-C2-T2-masa. Wzrasta potencjał bazy tranzystora T1, który zaczyna przewodzić i po chwili wchodzi w stan nasycenia. Jego prąd gwałtownie wzrasta, a napięcie na kolektorze szybko maleje. Ujemny skok potencjału przenosi się na prawą okładkę kondensatora C1 i bazę tranzystora T2, powodując jego zatkanie. Zaczyna ładować się kondensator

C1 w obwodzie +12V-R1-R5-C1-T1-masa. Gdy potencjał bazy tranzystora T2 przekroczy wartość progową, wejdzie on w stan nasycenia i napięcie na jego kolektorze obniży się. Ten ujemny skok przenosi się na bazę tranzystora T1 i zatyka go, napięcie kolektora wzrasta i proces przełączania tranzystorów zaczyna się powtarzać. Czasy trwania impulsów zależą od stałych czasowych $C1(R1+R5)$ i $C2(R1+R4)$.

10.7. Uszkodzenia układów elektronicznych w pojazdach

W układach elektronicznych pojazdów mogą wystąpić następujące uszkodzenia:

- przerwy w połączeniach lub zwarcia między ścieżkami lutowniczymi,
- nieprawidłowe połączenia elektryczne (zimne luty),
- pęknięcia w ścieżkach lutowniczych,
- uszkodzenie złącza elektrycznego,
- uszkodzenia pojedynczych elementów elektronicznych,
- uszkodzenia układów scalonych,
- uszkodzenia cieplne,
- uszkodzenia korozyjne,
- zanieczyszczenia i osady,
- zmiany chemiczne (utlenianie połączeń elektrycznych),
- uszkodzenia obudowy,
- uszkodzenia elementów izolacyjnych,
- nieprawidłowe połączenie z elementami odprowadzającymi ciepło,
- zawilgocenie.

Część druga

Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych



1. Badanie instalacji elektrycznych

Celem ćwiczenia jest zbadanie elementów instalacji elektrycznych pojazdów samochodowych, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki działania elementów instalacji elektrycznych.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Charakterystyka elementów instalacji elektrycznych.
3. Metodyka badań elementów instalacji elektrycznych.
4. Rodzaje schematów i symbole elementów elektrycznych.
5. Przyczyny i skutki uszkodzeń w instalacjach elektrycznych.

1.1. Pomiar rezystancji przewodów i rezystancji izolacji

Należy wykonać pomiar rezystancji wybranych przewodów elektrycznych stosowanych w pojazdach samochodowych oraz rezystancji ich izolacji, za pomocą multimetru, miernika małych rezystancji i miernika parametrów instalacji elektrycznej (rys. 1.1). Wyniki pomiarów należy zamieścić w tabeli 1.1.



Rys. 1.1. Miernik parametrów instalacji elektrycznej z osprzętem pomiarowym

Tab. 1.1. Wyniki pomiaru rezystancji przewodów i rezystancji izolacji

Rodzaj przewodu i jego przekrój	Rezystancja przewodu R_p [Ω]	Rezystancja izolacji R_{ip} [Ω]
Uwagi		

1.2. Badanie przekaźników elektromagnetycznych

Należy zbadać przekaźnik elektromagnetyczny stosowany w pojazdach samochodowych, dołączając źródło energii do styków jego cewki oraz odbiorników, za pośrednictwem styków zwiernych i rozwiernych. Przeprowadzić próbę działania takiego układu i zmierzyć napięcie źródłowe oraz spadki napięć na odbiornikach i stykach przekaźnika. Narysować schemat elektryczny układu.

1.3. Badanie elementów instalacji elektrycznej pojazdu

Należy wykonać oględziny elementów instalacji elektrycznej pojazdu i ocenić ich stan techniczny. Zlokalizować miejsce zamontowania akumulatora, alternatora i rozrusznika oraz głównych odbiorników elektrycznych. Określić miejsca zamontowania skrzynek z przekaźnikami i bezpiecznikami oraz dokonać ich oględzin. Wykonać przykładowe pomiary spadków napięć na bezpiecznikach i napięć między zaciskami przewodów a masą pojazdu. Następnie wyłączyć wszystkie odbiorniki pojazdu i zapłon, a potem zmierzyć i zarejestrować pobór prądu akumulatora, wykorzystując cęgi prądowe 30 A i diagnostyczny lub multimetr. Pomiar powinien trwać kilka minut.

1.4. Analiza schematu elektrycznego

Należy narysować przykładowy częściowy schemat elektryczny układu stosowanego w pojazdach samochodowych. Oznaczyć poszczególne elementy za pomocą symboli i opracować legendę do schematu.

2. Badanie akumulatorów

Celem ćwiczenia jest zbadanie różnych akumulatorów na stanowisku i w pojeździe samochodowym, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki działania akumulatorów.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Rodzaje akumulatorów w pojazdach samochodowych.
3. Budowa i zasada działania akumulatorów samochodowych.
4. Wielkości fizyczne charakteryzujące akumulatory.
5. Przyczyny i skutki uszkodzeń akumulatorów samochodowych.

2.1. Oględziny elementów akumulatora

Należy zapoznać się z budową zewnętrzną i wewnętrzną akumulatora, wskazać nazwy jego elementów i opisać budowę według szablonu: „element akumulatora – funkcja elementu”.

2.2. Badanie akumulatorów z wykorzystaniem testerów

Należy określić typ akumulatora, odczytać jego wielkości znamionowe, zmierzyć napięcie, a następnie zbadać akumulator za pomocą testerów elektronicznych zgodnie z procedurą testowania. Najpierw należy wykonać badanie z wykorzystaniem testerów, które nie obciążają akumulatora dużym prądem, a w przypadku pozytywnego wyniku pomiaru można wykonać test z obciążeniem. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 2.1.

Tab. 2.1. Wyniki badania akumulatora z wykorzystaniem testerów

Typ akumulatora	
Specyfikacja akumulatora	$U_n = \dots\dots Q_n = \dots\dots I_r = \dots\dots$
Napięcie akumulatora zmierzone	$U_n = \dots\dots$
Wynik badania testerem nr 1	
Wynik badania testerem nr 2	
Wynik badania testerem nr 3	
Uwagi	

2.3. Ładowanie akumulatorów

Należy określić typ akumulatora, odczytać jego wielkości znamionowe, zmierzyć napięcie, a następnie wykonać ładowanie akumulatora z wykorzystaniem odpowiedniej ładowarki. Do układu należy dołączyć woltomierz i amperomierz w celu odczytania napięcia i prądu w czasie ładowania. Wielkości te należy zapisać wtedy, gdy ulegają wyraźnym zmianom, szczególnie na początku ładowania. Proces ładowania powinien trwać do momentu, gdy akumulator nie pobiera już prądu lub prąd ładowania jest niewielki i nie ulega zmianom w dłuższym czasie. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 2.2. Wykreślić zależność napięcia i prądu w funkcji czasu ładowania $U_i = f(t_i)$ i $I_i = f(t_i)$.

Tab. 2.2. Wyniki pomiarów wykonanych podczas ładowania akumulatora

Typ akumulatora											
Specyfikacja akumulatora	$U_n = \dots\dots\dots Q_n = \dots\dots\dots I_r = \dots\dots\dots$										
Rodzaj ładowarki											
Napięcie akumulatora zmierzone przed ładowaniem	$U = \dots\dots\dots$										
Napięcie ładowania U_i [V]											
Prąd ładowania I_i [A]											
Czas ładowania t_i [s]											
Napięcie zmierzone po ładowaniu (po czasie $t = \dots\dots\dots$)	$U = \dots\dots\dots$										
Uwagi											

2.4. Wyznaczanie charakterystyki napięciowo-prądowej akumulatorów

Należy określić typ akumulatora, odczytać jego wielkości znamionowe, a następnie dobrać odpowiedni regulowany rezystor obciążeniowy oraz woltomierz i amperomierz, połączyć te elementy z akumulatorem i wyznaczyć jego charakterystykę napięciowo-prądową. Odczyty z mierników należy wykonywać jak najszybciej, ale po ustabilizowaniu się pomiaru. W przypadku utraty stabilności i dużej zmienności wskazań mierników przy stałym obciążeniu pomiary należy zakończyć. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 2.3, obliczyć moc akumulatora i wykreślić charakterystyki $U = f(I_{obc})$ oraz $P = f(I_{obc})$. Narysować schemat układu elektrycznego, w którym wykonywano pomiary.

Tab. 2.3. Wyznaczanie charakterystyki napięciowo-prądowej akumulatora

Typ akumulatora										
Specyfikacja akumulatora	$U_n = \dots\dots Q_n = \dots\dots I_r = \dots\dots$									
Napięcie akumulatora U [V]										
Prąd obciążenia I_{obc} [A]										
Moc akumulatora P [W]										
Uwagi										

2.5. Badanie akumulatora z wykorzystaniem diagnostyki



Rys. 2.1. Elementy pomiarowe diagnostyki samochodowej

2.5.1. Badanie akumulatora podczas uruchomienia silnika pojazdu

Należy określić typ akumulatora badanego pojazdu, odczytać jego wielkości znamionowe i zmierzyć napięcie. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem i założyć cęgi prądowe na przewód łączący akumulator z rozrusznikiem. Zastosować cęgi umożliwiające pomiar prądu o wartości do 1000 A. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i przeprowadzić proces uruchomienia silnika. Zarejestrować przebiegi napięcia i prądu w czasie rozruchu, a wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 2.4.

Tab. 2.4. Wyniki badania akumulatora z wykorzystaniem diagnostyki podczas uruchomienia silnika pojazdu

Typ akumulatora			
Specyfikacja akumulatora	$U_n = \dots\dots Q_n = \dots\dots I_r = \dots\dots$		
Napięcie akumulatora (przed rozruchem) U [V]			
Napięcie akumulatora (przy maks. obciążeniu) U_{obc} [V]			
Prąd maksymalny akumulatora I_{max} [A]			
Prąd ładowania akumulatora (po rozruchu) I_l [A]			
Rezystancja wewnętrzna akumulatora R_w [mΩ]			
Moc akumulatora średnia P [kW]			
Temperatura silnika pojazdu T_s [°C]			
Rodzaj i specyfikacja silnika pojazdu			
Uwagi			

2.5.2. Wyznaczanie charakterystyki napięciowo-prądowej akumulatora w pojeździe samochodowym

Należy określić typ akumulatora badanego pojazdu, odczytać jego wielkości znamionowe, połączyć z nim przewody napięciowe diagnostyki i założyć cęgi prądowe na przewód łączący akumulator z odbiornikami. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, a potem włączać stopniowo różne odbiorniki i zarejestrować przebiegi napięcia oraz prądu. Następnie należy odłączyć poszczególne odbiorniki w odwrotnej kolejności, rejestrując nadal napięcie i prąd akumulatora. Pomiary wykonać bez pracy silnika pojazdu i alternatora, obciążając tylko akumulator.

3. Badanie alternatora

Celem ćwiczenia jest zbadanie alternatora na stanowisku i w pojeździe samochodowym, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki pracy alternatora.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Budowa i zasada działania alternatora.
3. Zasada działania i funkcje regulatorów napięcia.
4. Charakterystyki alternatorów – przebieg i analiza.
5. Przyczyny i skutki uszkodzeń alternatorów.

3.1. Oględziny elementów alternatora

Należy przeprowadzić oględziny elementów alternatora, określić nazwy jego części i opisać budowę prądnicy według szablonu: „element alternatora – funkcja elementu” z podziałem części na trzy grupy:

- elementy konstrukcyjne,
- elementy przewodzące prąd,
- elementy magnetyczne.

3.2. Pomiary elektryczne wstępne

Należy zmierzyć rezystancję uzwojeń twornika i wzbudzenia alternatora oraz rezystancję izolacji między elementami przewodzącymi prąd a obudową, rdzeniem lub innymi częściami nieprzewodzącymi. Następnie sprawdzić diody układu prostowniczego (dodatnie, ujemne i wzbudzenia). Do pomiarów zastosować multimetr elektryczny, do sprawdzenia diod wykorzystać funkcję pomiaru spadku napięcia na elemencie półprzewodnikowym złączowym P-N. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 3.1.

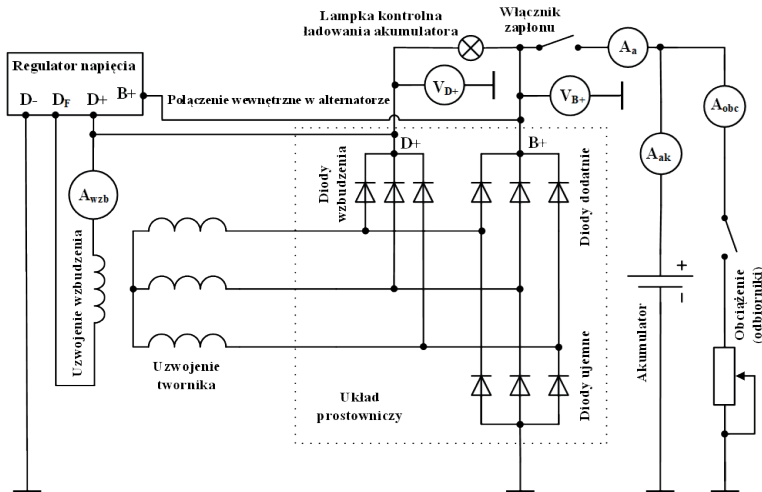
Tab. 3.1. Wyniki pomiarów rezystancji uzwojeń i spadku napięcia diod alternatora

Rezystancja uzwojenia twornika R_t [Ω]										
Rezystancja uzwojenia wzbudzenia R_w [Ω]										
Rezystancja izolacji R_i [Ω]										
Rodzaj diody	dodatnie			ujemne			wzbudzenia			
Spadek napięcia w kierunku przewodzenia diody ΔU_p [V]										
Spadek napięcia w kierunku zaporowym diody ΔU_z [V]										
Uwagi										

3.3. Badanie alternatora na stanowisku

3.3.1. Badanie alternatora przy stałej prędkości obrotowej i zmiennym obciążeniu

Należy określić typ alternatora, odczytać jego wielkości znamionowe i połączyć układ, którego schemat zamieszczono na rysunku 3.1. Przy stałej prędkości obrotowej należy zwiększać obciążenie alternatora i dokonać pomiarów napięć oraz prądów w poszczególnych gałęziach układu. Zaobserwować moment, w którym alternator wytwarza napięcie większe od napięcia akumulatora, zmienność regulowanego prądu wzbudzenia oraz fazy ładowania i rozładowywania akumulatora. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 3.2. Wykreślić charakterystyki $U_{B+} = f(I_{obc})$ i $U_{D+} = f(I_{obc})$ na jednym wykresie oraz $I_a = f(I_{obc})$, $I_{ak} = f(I_{obc})$ i $I_w = f(I_{obc})$ na drugim wykresie. Następnie z wykorzystaniem oscyloskopu należy zaobserwować i zarejestrować przebiegi napięć indukowanych w uzwojeniach twornika alternatora.



Rys. 3.1. Schemat układu do badania alternatora na stanowisku

Tab. 3.2. Wyniki badania alternatora przy stałej prędkości obrotowej $n = \dots\dots\dots$ obr/min

Typ alternatora								
Specyfikacja alternatora	$U_n = \dots\dots\dots I_n = \dots\dots\dots n_n = \dots\dots\dots$							
Napięcie U_{B+} [V]								
Napięcie U_{D+} [V]								
Prąd alternatora I_a [A]								
Prąd obciążenia I_{obc} [A]								
Prąd wzbudzenia I_w [A]								
Prąd akumulatora I_{ak} [A]								
Uwagi								

3.3.2. Badanie regulatora napięcia alternatora

W układzie, którego schemat zamieszczono na rysunku 3.1, należy zwiększać prędkość obrotową i zmierzyć napięcie oraz prąd wzbudzenia alternatora pracującego w stanie jałowym, a następnie przy stałym prądzie obciążenia. Wyniki pomiarów zapisać w tabelach 3.3 i 3.4. Wykreślić charakterystyki $U_{B+} = f(n)$ na jednym wykresie oraz $I_w = f(n)$ na drugim wykresie.

Tab. 3.3. Wyniki badania regulatora napięcia alternatora pracującego w stanie jałowym

Typ alternatora										
Specyfikacja alternatora	$U_n = \dots\dots I_n = \dots\dots n_n = \dots\dots$									
Napięcie U_{B+} [V]										
Prąd wzbudzenia I_w [A]										
Prędkość obrotowa n [obr/min]										
Uwagi										

Tab. 3.4. Wyniki badania regulatora napięcia alternatora obciążonego prądem $I_{abc} = \dots\dots A$

Typ alternatora										
Specyfikacja alternatora	$U_n = \dots\dots I_n = \dots\dots n_n = \dots\dots$									
Napięcie U_{B+} [V]										
Prąd wzbudzenia I_w [A]										
Prędkość obrotowa n [obr/min]										
Uwagi										

3.4. Badanie alternatora z wykorzystaniem diagnostyki

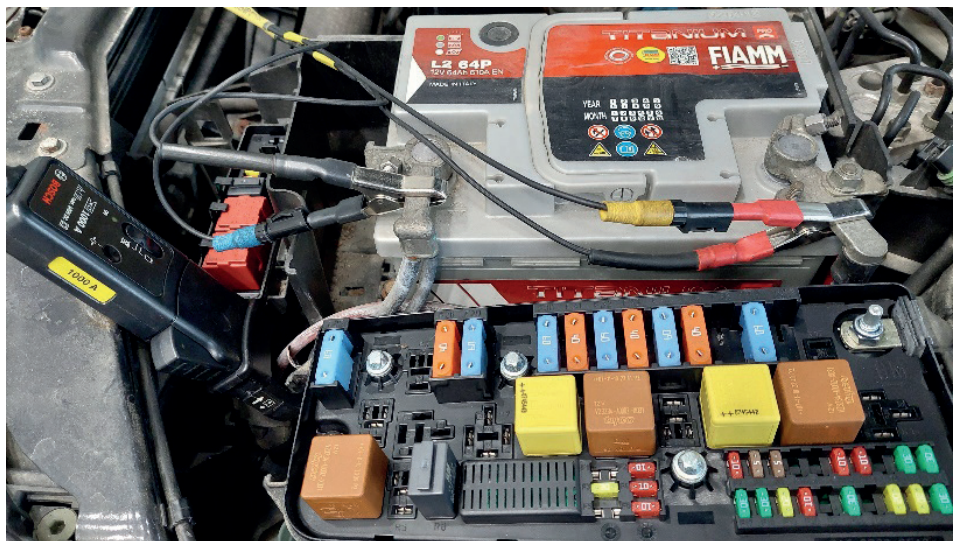
3.4.1. Rejestracja przebiegu napięcia alternatora

Należy określić typ alternatora badanego pojazdu i jego wielkości znamionowe, następnie połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem, a sondy napięciowe oscyloskopu z alternatorem lub akumulatorem. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebieg napięcia alternatora dla różnych prędkości obrotowych silnika. Odczytać wartość napięcia alternatora i jego pulsację.

3.4.2. Wyznaczanie charakterystyki napięciowo-prądowej alternatora w pojeździe samochodowym

Należy określić typ alternatora badanego pojazdu i jego wielkości znamionowe, następnie połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem, a sondy napięciowe oscyloskopu z alternatorem lub akumulatorem. Założyć cęgi prądowe na

przewód łączący alternator z odbiornikami (rys. 3.2). Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, a potem uruchomić silnik i włączać stopniowo różne odbiorniki, rejestrując przebiegi napięcia i prądu. Następnie należy odłączać poszczególne odbiorniki w odwrotnej kolejności, rejestrując nadal napięcie i prąd alternatora.



Rys. 3.2. Sposób podłączenia przewodów i sond napięciowych diagnostyki do akumulatora oraz cęgów prądowych

4. Badanie ogniwa paliwowego

Celem ćwiczenia jest zbadanie ogniwa paliwowego na stanowisku badawczym, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki pracy ogniwa paliwowego.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Budowa i zasada działania ogniwa paliwowego typu PEMFC.
3. Wielkości fizyczne charakteryzujące działanie ogniwa paliwowego.
4. Charakterystyki ogniwa paliwowego – przebieg i analiza.
5. Zalety i wady ogniw paliwowych w kontekście zastosowania w pojazdach.

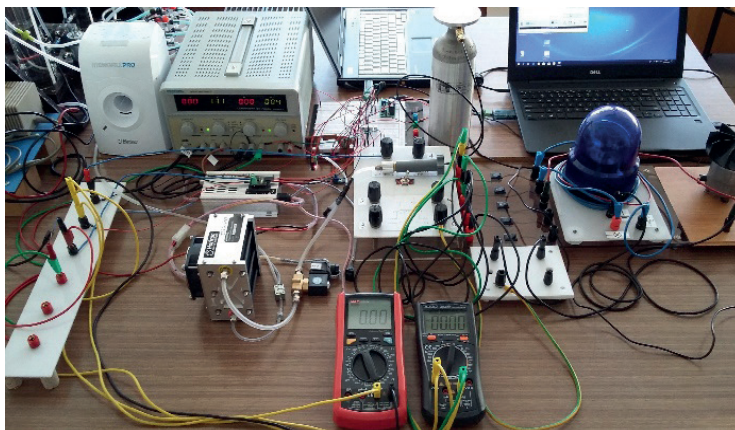
4.1. Oględziny elementów ogniwa paliwowego

Należy zapoznać się z budową zewnętrzną i wewnętrzną ogniwa paliwowego, określić nazwy jego elementów i opisać budowę według szablonu: „element ogniwa – funkcja elementu”.

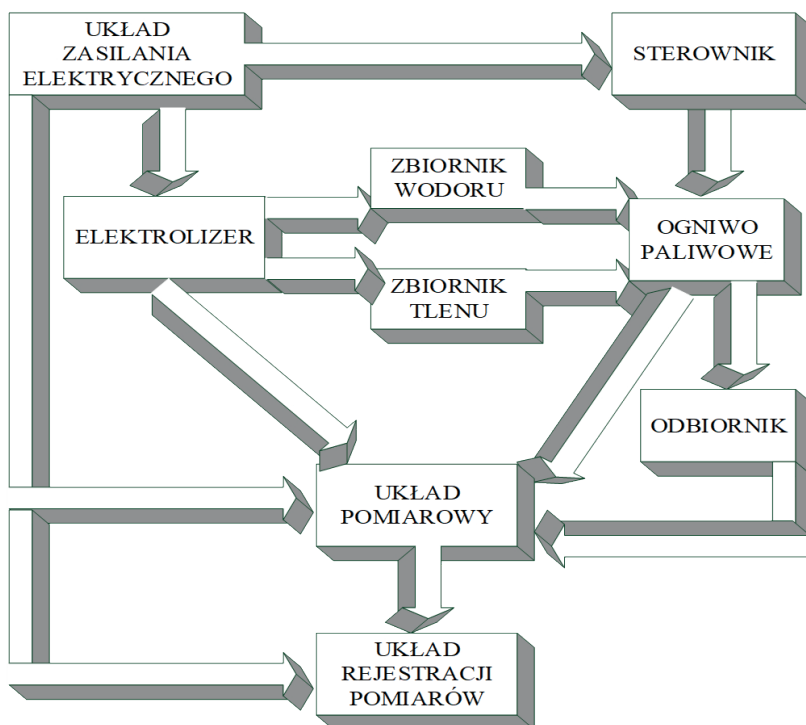
4.2. Przygotowanie stanowiska badawczego

Należy uruchomić ogniwo paliwowe na stanowisku (rys. 4.1 i 4.2) zgodnie z następującą procedurą:

- połączyć ogniwo paliwowe ze sterownikiem i zasilaczem,
- zmontować układ przez połączenie ogniwa paliwowego z odbiornikiem, woltomierzem i amperomierzem,
- dołączyć przetworniki napięcia i czujniki prądu, ciśnienia, natężenia przepływu wodoru i temperatury,
- połączyć przetworniki oraz czujniki z rejestratorami i komputerami pomiarowymi,
- włączyć komputery i uruchomić programy rejestrujące napięcia i prądy,
- połączyć ogniwo paliwowe z przewodami elastycznymi (wejście i wyjście),
- połączyć przewód elastyczny wejściowy ze zbiornikiem wodoru i reduktorem ciśnienia,
- ustawić napięcie zasilające sterownik ogniwa paliwowego,
- włączyć mierniki napięcia i prądu,
- wybrać opcję pracy ogniwa w trybie ze zwarciami elektrod lub bez zwarć,
- uruchomić ogniwo paliwowe przyciskiem startowym.



Rys. 4.1. Stanowisko do badania ogniwa paliwowego



Rys. 4.2. Schemat blokowy stanowiska do badania ogniwa paliwowego

4.3. Wyznaczanie charakterystyki napięciowo-prądowej ogniwa paliwowego

Należy określić typ ogniwa paliwowego i jego wielkości znamionowe, a następnie dobrać odpowiedni regulowany rezystor obciążeniowy i wyznaczyć charakterystykę napięciowo-prądową ogniwa. Odczyty z mierników należy wykonywać jak najszybciej, ale po ustabilizowaniu się pomiaru. W przypadku utraty stabilności i dużej zmienności wskazań mierników przy stałym obciążeniu pomiary należy zakończyć. W przypadku automatycznej rejestracji napięcia i prądu należy wybrać stabilne punkty pomiarowe do wykreślenia charakterystyki. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 4.1, obliczyć moc ogniwa i wykreślić charakterystyki $U = f(I_{obc})$ oraz $P = f(I_{obc})$. Narysować schemat układu elektrycznego, w którym wykonywano pomiary.

Tab. 4.1. Wyznaczanie charakterystyki napięciowo-prądowej ogniwa paliwowego

Typ ogniwa paliwowego										
Specyfikacja ogniwa	$U_n = \dots\dots I_n = \dots\dots P_n = \dots\dots p_n(H_2) = \dots\dots$									
Ciśnienie wodoru i temperatura otoczenia	$p(H_2) = \dots\dots T_{ot} = \dots\dots$									
Natężenie przepływu wodoru $\rho(H_2)$ [l/min]										
Temperatura ogniwa T_{op} [°C]										
Napięcie ogniwa U [V]										
Prąd ogniwa I_{obc} [A]										
Moc ogniwa P [W]										
Uwagi										

4.4. Badanie ogniwa paliwowego przy stałym obciążeniu i zmiennym ciśnieniu wodoru

Należy określić typ ogniwa paliwowego i jego wielkości znamionowe, a następnie dobrać takie ustawienie rezystora regulacyjnego, żeby uzyskać prąd zbliżony do znamionowego. Zastosować zbiornik wodoru o małej pojemności tak, żeby uzyskać efekt zmniejszania się ciśnienia gazu w czasie pracy ogniwa przy stałej rezystancji obciążenia. Wyniki pomiarów należy zamieścić w tabeli 4.2. Obliczyć moc i sprawność ogniwa. Wykreślić charakterystyki $P = f(p(H_2))$ oraz $\eta = f(p(H_2))$.

Tab. 4.2. Badanie ogniwa paliwowego przy stałej rezystancji obciążenia i zmiennym ciśnieniu wodoru

Typ ogniwa paliwowego										
Specyfikacja ogniwa	$U_n = \dots\dots\dots I_n = \dots\dots\dots P_n = \dots\dots\dots p_n(H_2) = \dots\dots\dots$									
Rezystancja obciążenia i temperatura otoczenia	$R_{obc} = \dots\dots\dots T_{ot} = \dots\dots\dots$									
Ciśnienie wodoru $p(H_2)$ [Pa]										
Natężenie przepływu wodoru $\rho(H_2)$ [l/min]										
Temperatura ogniwa T_{op} [°C]										
Napięcie ogniwa U [V]										
Prąd ogniwa I_{obc} [A]										
Moc ogniwa P [W]										
Sprawność ogniwa η [%]										
Uwagi										

5. Badanie rozrusznika

Celem ćwiczenia jest zbadanie rozrusznika na stanowisku i w pojeździe samochodowym, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki pracy rozrusznika.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Rodzaje rozruszników stosowanych w pojazdach.
3. Budowa i zasada działania rozrusznika.
4. Zależności matematyczne i charakterystyki rozruszników.
5. Przyczyny i skutki uszkodzeń rozruszników.

5.1. Oględziny elementów rozrusznika

Należy przeprowadzić oględziny elementów rozrusznika, określić nazwy jego części i opisać budowę według szablonu: „element rozrusznika – funkcja elementu” z podziałem części na trzy grupy:

- elementy konstrukcyjne,
- elementy przewodzące prąd,
- elementy magnetyczne.

5.2. Badanie rozrusznika na stanowisku

Należy określić typ rozrusznika i jego wielkości znamionowe, a następnie zmierzyć rezystancję uzwojeń włącznika elektromagnetycznego i silnika. Połączyć układ, w którym rozrusznik będzie zasilany z akumulatora przez odłącznik i amperomierz umożliwiające pomiar jego prądu. Dołączyć trzy woltomierze do pomiaru napięcia na zaciskach rozrusznika i na dwóch uzwojeniach włącznika elektromagnetycznego. Uruchomić rozrusznik w stanie jałowym, zaobserwować proces jego załączania przez włącznik i zmierzyć prąd oraz napięcia. Próbę powtórzyć kilkakrotnie. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 5.1.

Tab. 5.1. Wyniki badania rozrusznika w stanie jałowym

Typ rozrusznika			
Specyfikacja rozrusznika	$U_n = \dots\dots P_n = \dots\dots$		
Rezystancja uzwojeń włącznika i silnika R [Ω]	$R_{uw} = \dots\dots R_{ut} = \dots\dots R_{us} = \dots\dots$		
Napięcie akumulatora (przed uruchomieniem) U_a [V]			
Napięcie rozrusznika U_r [V]			
Napięcie uzwojenia wciągającego włącznika U_{uw} [V]			
Napięcie uzwojenia trzymającego włącznika U_{ut} [V]			
Prąd rozrusznika I_r [A]			
Uwagi			

5.3. Badanie rozrusznika z wykorzystaniem diagnostyki

5.3.1. Badanie rozrusznika podczas uruchomienia silnika pojazdu

Należy określić typ rozrusznika badanego pojazdu i odczytać jego wielkości znamionowe. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki i sondy napięciowe oscyloskopu z akumulatorem oraz założyć cęgi prądowe na przewód łączący akumulator z rozrusznikiem. Zastosować cęgi umożliwiające pomiar prądu o wartości do 1000 A. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i przeprowadzić proces uruchomienia silnika. Zarejestrować przebiegi napięcia i prądu w czasie rozruchu, a wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 5.2.

Tab. 5.2. Wyniki badania rozrusznika z wykorzystaniem diagnostyki w czasie uruchomienia silnika pojazdu

Typ rozrusznika			
Specyfikacja rozrusznika	$U_n = \dots\dots P_n = \dots\dots$		
Napięcie akumulatora (przed rozruchem) U [V]			
Napięcie akumulatora (przy maks. obciążeniu) U_{obc} [V]			
Prąd maksymalny rozrusznika I_{max} [A]			
Moc elektryczna średnia P [kW]			
Temperatura silnika pojazdu T_s [$^{\circ}\text{C}$]			
Rodzaj i specyfikacja silnika pojazdu			
Uwagi			

5.3.2. Wyznaczanie względnej kompresji silnika pojazdu

Należy określić typ rozrusznika badanego pojazdu i odczytać jego wielkości znamionowe. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki i sondy napięciowe oscyloskopu z akumulatorem oraz założyć cęgi prądowe na przewód łączący akumulator z rozrusznikiem. Zastosować cęgi umożliwiające pomiar prądu o wartości do 1000 A. Włożyć sondę do pomiaru temperatury w miejsce wyjętego bagnetu do pomiaru poziomu oleju silnika. W celu identyfikacji cylindrów założyć dodatkowo sondę indukcyjną na przewód zapłonowy pierwszego cylindra (jeżeli jest dostępny). Uniemożliwić rozruch silnika pojazdu przez przerwanie obwodu zasilania pompy paliwa lub odłączenie czujnika prędkości i położenia wału korbowego. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i uruchomić rozrusznik. Powinien on obracać wał korbowy silnika w czasie umożliwiającym zarejestrowanie przebiegu prądu i utworzenie wykresu prądowego dla każdego cylindra silnika. Po próbie należy odczytać zmierzoną wartość średnią prądu rozrusznika, napięcie akumulatora, prędkość obrotową silnika i jego temperaturę. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 5.3.

Tab. 5.3. Wyniki badania rozrusznika w czasie wyznaczania względnej kompresji silnika pojazdu

Typ rozrusznika				
Specyfikacja rozrusznika	$U_n = \dots\dots P_n = \dots\dots$			
Numer cylindra silnika				
Prąd maksymalny w poszczególnych cylindrach I [A]				
Prąd średni rozrusznika I_{sr} [A]				
Napięcie akumulatora U_a [V]				
Prędkość obrotowa silnika pojazdu n [obr/min]				
Temperatura silnika pojazdu T_s [°C]				
Rodzaj i specyfikacja silnika pojazdu				
Uwagi				

6. Badanie elektrycznych silników wykonawczych

Celem ćwiczenia jest zbadanie elektrycznych silników wykonawczych stosowanych w pojazdach na stanowisku badawczym i w pojeździe samochodowym, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania rodzajów, właściwości i specyfiki pracy silników.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Rodzaje elektrycznych silników wykonawczych w pojazdach.
3. Budowa i zasada działania silników elektrycznych.
4. Zależności matematyczne charakteryzujące pracę silników elektrycznych.
5. Charakterystyki silników elektrycznych – przebieg i analiza.

6.1. Oględziny silników

Należy przeprowadzić oględziny różnych rodzajów silników wykonawczych małej mocy stosowanych w pojazdach. Dla każdego silnika określić nazwy jego części i opisać budowę według szablonu: „element silnika – funkcja elementu” z podziałem części na trzy grupy:

- elementy konstrukcyjne,
- elementy przewodzące prąd,
- elementy magnetyczne.

6.2. Badanie silnika komutatorowego z magnesem trwałym w stanie

Badanie należy wykonać w układzie „silnik–prądnica”, dołączając źródło zasilania, woltomierze, amperomierze i układ pomiaru prędkości obrotowej. Silnik należy zasilić napięciem znamionowym i zwiększać jego obciążenie za pomocą rezystora suwakowego obciążającego prądnicę. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 6.1. Obliczyć moc elektryczną silnika i prądnicy oraz sprawność układu „silnik–prądnica”. Wykreślić charakterystyki $P_s = f(I_s)$, $P_p = f(I_p)$, $n = f(I_s)$, $\eta = f(I_s)$.

Tab. 6.1. Wyniki badania silnika komutatorowego obciążonego prądnicą

Typ silnika										
Specyfikacja silnika	$U_n = \dots\dots\dots I_n = \dots\dots\dots P_n = \dots\dots\dots$									
Napięcie silnika U_s [V]										
Prąd silnika I_s [A]										
Napięcie prądnicy U_p [V]										
Prąd prądnicy I_p [A]										
Prędkość obrotowa n [obr/min]										
Moc silnika P_s [W]										
Moc prądnicy P_p [W]										
Sprawność układu η [%]										
Uwagi										

6.3. Badanie silnika bezszczotkowego z magnesem trwałym w wirniku

Należy połączyć silnik z układem sterowania, źródłem zasilania, obciążeniem i układem pomiarowym. Zaobserwować możliwości manewrowe takiego układu oraz sposób jego obsługi i zmiany programu sterującego. Wykonać pomiary i obliczenia podstawowych wielkości fizycznych przy zmiennych obciążeniach silnika, a ich wyniki zamieścić w tabeli 6.2. Wykreślić zmierzone i obliczone wielkości w funkcji prądu silnika.

Tab. 6.2. Wyniki badania silnika bezszczotkowego z magnesem trwałym w wirniku

Typ silnika										
Specyfikacja silnika	$U_n = \dots\dots\dots P_n = \dots\dots\dots I_n = \dots\dots\dots$									
Rodzaj układu sterowania										
Napięcie silnika U_s [V]										
Prąd silnika I_s [A]										
Prędkość obrotowa silnika n_s [obr/min]										
Moc silnika P_s [W]										
.....										
.....										
Uwagi										

6.4. Badanie silnika krokowego

Należy określić rodzaj silnika i zmierzyć rezystancję jego uzwojeń. Następnie połączyć silnik z układem sterowania i przeprowadzić próbę działania. Przeanalizować program sterujący pracą silnika, sprawdzić jego funkcjonowanie, a następnie dokonać modyfikacji programu i ponownie uruchomić silnik. Wykonać pomiary i obliczenia podstawowych wielkości fizycznych przy zmiennych obciążeniach silnika, a ich wyniki zamieścić w tabeli 6.3. Wykreślić zmierzone i obliczone wielkości w funkcji prądu silnika.

Tab. 6.3. Wyniki badania silnika krokowego

Typ silnika										
Specyfikacja silnika	$U_n = \dots\dots\dots I_n = \dots\dots\dots P_n = \dots\dots\dots R_u = \dots\dots\dots$									
Napięcie silnika U_s [V]										
Prąd silnika I_s [A]										
Prędkość obrotowa silnika n_s [obr/min]										
Moc silnika P_s [W]										
.....										
.....										
Uwagi										

6.5. Badanie silników wykonawczych w pojeździe samochodowym

Badanie należy wykonać z wykorzystaniem testera OBD do uruchomienia wybranych silników elektrycznych w funkcji testu aktywnego. Opisać wyniki wykonanych badań i testów silników wykonawczych.

7. Badanie elektrycznych elementów wykonawczych

Celem ćwiczenia jest zbadanie elektrycznych elementów wykonawczych na stanowisku i w pojeździe samochodowym, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki pracy elektrycznych elementów wykonawczych.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Rodzaje elektrycznych elementów wykonawczych w pojazdach.
3. Budowa oraz zasada działania cewki i świecy zapłonowej.
4. Budowa i zasada działania wtryskiwaczy paliwa.
5. Zastosowanie zaworów elektromagnetycznych w pojazdach.

7.1. Oględziny elektrycznych elementów wykonawczych

Należy przeprowadzić oględziny elektrycznych elementów wykonawczych stosowanych w pojazdach samochodowych, podzielić je na grupy i opisać ich budowę.

7.2. Pomiar rezystancji elektrycznych elementów wykonawczych

Należy zmierzyć rezystancję elektrycznych elementów wykonawczych za pomocą multimetru. Nazwy elementów i wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 7.1.

Tab. 7.1. Wyniki pomiaru rezystancji elektrycznych elementów wykonawczych

Element wykonawczy	Rodzaj elementu i jego rezystancja R [Ω]							
Cewka zapłonowa	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	R_p	R_w	R_p	R_w	R_p	R_w	R_p	R_w
Wtryskiwacz paliwa	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Zawór elektromagnetyczny	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Świeca żarowa	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Uwagi								

7.3. Badanie elektrycznych elementów wykonawczych pojazdu z wykorzystaniem diagnostyki

7.3.1. Badanie cewki zapłonowej

Należy określić rodzaj układu zapłonowego i zastosowanych cewek zapłonowych w badanym pojeździe. W zależności od rodzaju układu założyć odpowiednio sondy pojemnościowe na przewody zapłonowe lub zastosować sondę dotykową, jeżeli przewody nie występują. W pierwszym przypadku, w celu identyfikacji poszczególnych cylindrów, założyć dodatkowo sondę indukcyjną na przewód zapłonowy świecy pierwszego cylindra (rys. 7.1). Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebieg napięcia wtórnego cewki zapłonowej dla wszystkich cylindrów w układzie poziomym (parada) i pionowym (raster). Rejestrację wykonać przy różnych prędkościach obrotowych silnika. W przypadku zastosowania sondy dotykowej należy ją przyłożyć do głowicy cewki zapłonowej. Jeżeli istnieje taka możliwość należy założyć cęgi prądowe 30 A na przewód dołączony do uzwojenia pierwotnego cewki i zarejestrować przebieg prądu.



Rys. 7.1. Sposób zamontowania sond napięciowych diagnostyki na przewodach zapłonowych (1 – cewka zapłonowa, 2 – sonda indukcyjna, 3 – sondy pojemnościowe dodatnie, 4 – sondy pojemnościowe ujemne, 5 – cęgi prądowe)

7.3.2. Badanie cewki i świecy zapłonowej

Należy określić rodzaj układu zapłonowego i zastosowanych cewek zapłonowych w badanym pojeździe. W zależności od rodzaju układu założyć odpowiednio sondy pojemnościowe na przewody zapłonowe lub zastosować sondę dotykową, jeżeli przewody nie występują. W pierwszym przypadku, w celu identyfikacji poszczególnych cylindrów, założyć dodatkowo sondę indukcyjną na przewód zapłonowy świecy pierw-

szego cylindra silnika. Połączyć przewody napięciowe diagnostyku z akumulatorem. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować trzy wielkości fizyczne charakteryzujące pracę cewki i świecy zapłonowej:

- maksymalne napięcie indukowane w cewce przed zapłonem,
- napięcie występujące w czasie zapłonu,
- czas trwania przepływu prądu (iskrzenia na świecy) i procesu spalania.

Po wykonaniu pomiarów w stanie jałowym silnika w drugiej fazie badania należy gwałtownie zwiększyć prędkość obrotową silnika do wartości większej niż 3500 obr/min i w tych warunkach powtórnie zarejestrować napięcia i czas spalania.

7.3.3. Badanie wtryskiwaczy paliwa

Należy określić rodzaj układu wtryskowego i zastosowanych wtryskiwaczy w badanym pojeździe. Wtryskiwacze elektromagnetyczne i piezoelektryczne można badać w podobny sposób. Połączyć przewody napięciowe diagnostyku z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego w złączu wtryskiwacza lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną oscyloskopu dołączyć do masy pojazdu. W przypadku badania wtryskiwaczy układu Common Rail silnika z zapłonem samoczynnym obydwie sondy napięciowe oscyloskopu należy połączyć ze stykami wtryskiwacza. Złożyć cęgi prądowe 30 A na przewód zasilający lub sygnałowy wtryskiwacza. Włożyć sondę do pomiaru temperatury w miejsce wyjętego bagnetu do pomiaru poziomu oleju silnika. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebieg napięcia i prądu wtryskiwacza dla różnych temperatur i prędkości obrotowych silnika. Wielkości elektryczne związane z pracą wtryskiwacza lub parametry wtrysku obliczone przez sterownik można również odczytać z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

7.3.4. Badanie zaworów elektromagnetycznych

Dla wybranych zaworów elektromagnetycznych występujących w pojazdach samochodowych należy wykonać badanie diagnostyczne. Określić rodzaj i funkcję badanego zaworu w pojeździe. Połączyć przewody napięciowe diagnostyku z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego w złączu zaworu lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną oscyloskopu dołączyć do masy pojazdu. Złożyć cęgi prądowe na przewód zasilający lub sygnałowy zaworu. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebieg napięcia i prądu zaworu w czasie jego pracy. Informacje związane z pracą zaworów elektromagnetycznych można również odczytać z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

7.3.5. Badanie światec żarowych

Należy określić rodzaj światec żarowych zastosowanych w badanym pojeździe. Połączyć przewody napięciowe diagnoskopu z akumulatorem. Założyć cęgi prądowe na przewód zasilający świecy żarowej. Włożyć sondę do pomiaru temperatury w miejsce wyjętego bagnetu do pomiaru poziomu oleju silnika. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i zarejestrować przebieg prądu świecy żarowej przed uruchomieniem silnika i w początkowej fazie jego pracy. Informacje związane z pracą światec żarowych można również odczytać z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8. Badanie czujników

Celem ćwiczenia jest zbadanie wybranych czujników na stanowisku i w pojeździe samochodowym, nabycie umiejętności wykonania takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki działania czujników.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

6. Program ćwiczenia.
7. Rodzaje czujników stosowanych w pojazdach.
8. Budowa i zasada działania podstawowych czujników.
9. Przebiegi napięciowe podstawowych czujników.
10. Przyczyny i skutki uszkodzeń czujników stosowanych w pojazdach.

8.1. Oględziny czujników

Należy przeprowadzić oględziny czujników stosowanych w pojazdach samochodowych, określić ich rodzaj, przeznaczenie i liczbę styków elektrycznych.

8.2. Pomiar rezystancji czujników

Należy zmierzyć rezystancję wybranych czujników za pomocą multimetru. Nazwy elementów i wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 8.1.

Tab. 8.1. Wyniki pomiaru rezystancji czujników

Rodzaj czujnika	Sposób wykorzystania czujnika i jego rezystancja R [Ω]			
Czujnik indukcyjny				
Czujnik potencjometryczny				
Czujnik termistorowy				
Czujnik piezoelektryczny				
Czujnik tensometryczny				
Czujnik tlenu				
Czujnik przepływu				
Czujnik.....				
Czujnik.....				
Uwagi				

8.3. Badanie czujników z wykorzystaniem diagnostyki

8.3.1. Badanie czujnika indukcyjnego i czujnika Halla

Badanie należy wykonać równocześnie dla czujnika indukcyjnego prędkości obrotowej i położenia wału korbowego silnika oraz czujnika hallotronowego położenia wałka rozrządu. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią pierwszego kanału oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego w złączu czujnika indukcyjnego lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową dodatnią drugiego kanału oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego w złączu czujnika Halla lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondy napięciowe ujemne obydwu kanałów oscyloskopu dołączyć do styków masowych czujników lub do masy pojazdu. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebiegi napięcia czujników dla różnych prędkości obrotowych silnika.

8.3.2. Badanie czujnika potencjometrycznego

Badanie należy wykonać dla czujnika położenia przepustnicy silnika lub położenia pedału gazu. Czujniki te mają najczęściej dwa potencjometry, które należy zbadać równocześnie. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią pierwszego kanału oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego pierwszego potencjometru w złączu czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową dodatnią drugiego kanału oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego drugiego potencjometru czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondy napięciowe ujemne obydwu kanałów oscyloskopu dołączyć do styków masowych czujników lub do masy pojazdu. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i zarejestrować przebiegi napięcia czujnika przy zmianach położenia przepustnicy lub pedału gazu. Badania można wykonać dla silnika wyłączzonego i uruchomionego. Przebiegi napięć tych czujników można również wyznaczyć z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.3. Badanie czujnika termistorowego

Badanie należy wykonać dla wybranego czujnika termistorowego w układzie pomiaru temperatury. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną oscyloskopu dołączyć do styku masowego czujnika lub do masy pojazdu. Włożyć sondę do pomiaru temperatury w miejsce wyjętego bagnetu do pomiaru poziomu oleju silnika. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i zarejestrować przebieg napięcia czujnika przy zmieniającej się temperaturze silnika. Przebieg napięcia tego czujnika lub temperatury można również wyznaczyć z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.4. Badanie czujnika piezoelektrycznego

Badanie należy wykonać dla piezoelektrycznego czujnika spalania stukowego lub ciśnienia. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną oscyloskopu dołączyć do styku masowego czujnika lub do masy pojazdu. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i zarejestrować przebieg napięcia czujnika. Badanie dla czujnika spalania stukowego można wykonać przy odłączonej wtyczce czujnika i nie pracującym silniku, uderzając lekko blok silnika w miejscu obok czujnika lub przy uruchomionym silniku i zmianach jego prędkości. Informacje związane z pracą czujników spalania stukowego można również odczytać z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.5. Badanie dwustanowego czujnika tlenu

Badanie należy wykonać dla regulacyjnego czujnika tlenu umieszczonego w kolektorze wylotowym przed reaktorem katalitycznym. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną oscyloskopu dołączyć do styku masowego czujnika lub do masy pojazdu. Założyć cęgi prądowe na przewód grzałki czujnika. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebieg napięcia czujnika oraz prądu grzałki dla różnych prędkości obrotowych silnika. Przebieg napięcia tego czujnika można również wyznaczyć z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.6. Badanie szerokopasmowego czujnika tlenu

Badanie należy wykonać dla regulacyjnego czujnika tlenu umieszczonego w kolektorze wylotowym przed reaktorem katalitycznym. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią pierwszego kanału oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną pierwszego kanału oscyloskopu dołączyć do styku masowego czujnika lub do masy pojazdu. Należy uwzględnić, że potencjały masy czujnika i masy pojazdu są różne i amplituda tych przebiegów napięciowych będzie inna. Następnie sondę napięciową dodatnią drugiego kanału oscyloskopu dołączyć do dodatniego styku rezystora kodującego, umieszczonego we wtyczce czujnika, a sondę napięciową ujemną drugiego kanału oscyloskopu dołączyć do ujemnego styku rezystora kodującego. W ten sposób można zmierzyć spadek napięcia na rezystorze, przez który płynie prąd pompowania tlenu. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień, uruchomić silnik i zarejestrować przebiegi napięcia czujnika dla różnych prędkości obrotowych silnika. Przebieg napięcia tego czujnika można również wyznaczyć z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.7. Badanie czujników tlenu umieszczonych przed i za reaktorem katalitycznym

Badanie należy wykonać dla dwóch czujników tlenu równocześnie, zgodnie z procedurami opisanymi powyżej i z wykorzystaniem dwóch kanałów oscyloskopu. Należy uwzględnić rodzaj czujników zamontowanych przed i za reaktorem katalitycznym. Na podstawie przebiegu napięć można ocenić stan techniczny reaktora katalitycznego. Przebiegi napięć tych czujników można też wyznaczyć z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.8. Badanie czujnika przepływu

Badanie należy wykonać dla przepływomierza powietrza w kolektorze dolotowym silnika. Połączyć przewody napięciowe diagnostyki z akumulatorem. Sondę napięciową dodatnią oscyloskopu dołączyć do styku sygnałowego czujnika lub do odpowiedniego styku we wtyczce sterownika. Sondę napięciową ujemną oscyloskopu dołączyć do styku masowego czujnika lub do masy pojazdu. Włożyć sondę do pomiaru temperatury w miejsce wyjętego bagnetu do pomiaru poziomu oleju silnika. Wybrać odpowiednią funkcję programu diagnostycznego, dokonać wymaganych ustawień i zarejestrować przebieg napięcia czujnika dla różnych prędkości obrotowych i przy zmieniającej się temperaturze silnika. W celu rejestracji sygnału czujnika temperatury zamontowanego w przepływomierzu można również dołączyć sondy napięciowe drugiego kanału oscyloskopu do styku czujnika temperatury i masy pojazdu. Przebieg napięcia tego czujnika można także wyznaczyć z wykorzystaniem testera i złącza OBD.

8.3.9. Badanie wybranych czujników

Badanie należy wykonać dla innych wybranych czujników stosowanych w pojazdach. Określić położenie czujnika w pojeździe i jego zadania, zapoznać się z budową i zasadą działania oraz wykonać czynności pomiarowe i rejestrację przebiegów napięciowych z wykorzystaniem diagnostyki lub testera i złącza OBD.

9. Badanie elementów układu oświetlenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie elementów układu oświetlenia pojazdów samochodowych, nabycie umiejętności wykonania takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki działania elementów układu oświetlenia pojazdów.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Wielkości fizyczne charakteryzujące źródła światła.
3. Rodzaje i charakterystyka źródeł światła stosowanych w pojazdach.
4. Budowa i funkcje opraw oświetleniowych.
5. Rodzaje świateł samochodowych – wymagania i zadania.

9.1. Oględziny elementów układu oświetlenia pojazdu

Należy przeprowadzić oględziny elementów układu oświetlenia stosowanych w pojazdach samochodowych, podzielić na rodzaje oraz grupy i opisać ich budowę.

9.2. Badanie lamp pojazdu – pomiar wielkości elektrycznych

Należy włączać poszczególne lampy pojazdu i dokonać pomiaru napięcia oraz prądu z wykorzystaniem diagnostyki i cęgów prądowych. Napięcie można mierzyć bezpośrednio na wtyczce lampy lub na zaciskach akumulatora, a natężenie mierzy się dla prądu płynącego bezpośrednio do lampy lub w przewodzie zasilającym głównym. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 9.1 i obliczyć moc źródeł światła.

Tab. 9.1. Wyniki badania lamp pojazdu – pomiar wielkości elektrycznych

Rodzaj lampy	Napięcie U [V]	Prąd I [A]	Moc P [W]
Uwagi			

9.3. Badanie lamp pojazdu – pomiar wielkości świetlnych

Należy włączać poszczególne lampy pojazdu i dokonać pomiaru natężenia oświetlenia i światłości lub luminancji w różnych odległościach od lampy. Przyrządy pomiarowe należy ustawiać tak, żeby w danej odległości uzyskać maksymalną wartość mierzonej wielkości. Jeżeli jest taka możliwość, pomiaru należy dokonać dla lampy zanieczyszczonej, a następnie umytej. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 9.2.

Tab. 9.2. Wyniki badania lamp pojazdu – pomiar wielkości świetlnych

Rodzaj lampy	Natężenie oświetlenia E [lux] w odległości:			Światłość I [cd] w odległości:		
						
Uwagi						

9.4. Kontrola ustawienia świateł pojazdu

Należy dokonać kontroli ustawienia i regulacji głównych reflektorów pojazdu. W zależności od rodzaju lamp i źródeł światła zastosować regulację ręczną albo programową z wykorzystaniem przyrządów analogowych lub cyfrowych, wyposażonych w odpowiedni rodzaj ekranu. Przyrząd pomiarowy należy ustawiać w miejscu i odległości zgodnej z wymaganiami producenta reflektorów i odpowiednich norm.

10. Badanie układów elektronicznych

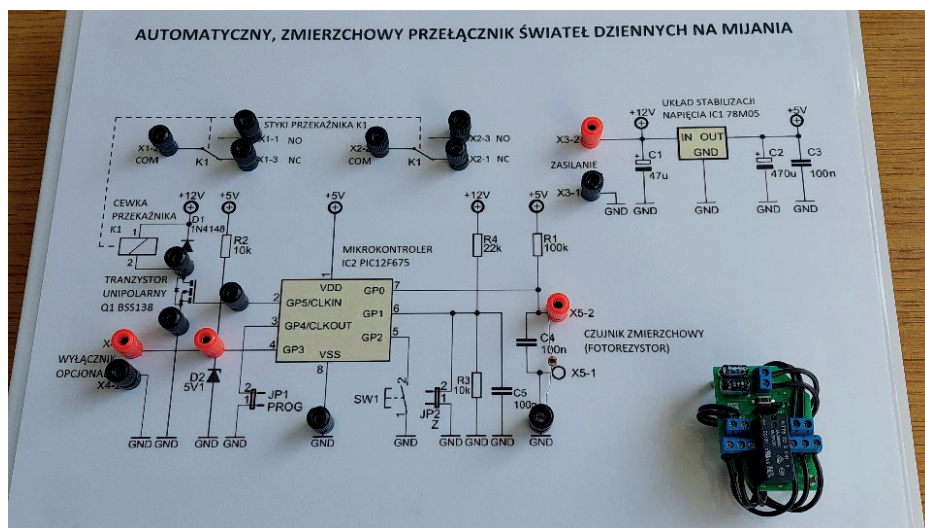
Celem ćwiczenia jest zbadanie na stanowisku badawczym wybranych układów elektronicznych stosowanych w pojazdach samochodowych, nabycie umiejętności przeprowadzenia takiego badania oraz analiza wyników pomiarów i obserwacji, w celu poznania właściwości i specyfiki działania układów elektronicznych.

Zagadnienia dla studentów wykonujących ćwiczenie:

1. Program ćwiczenia.
2. Elementy elektroniczne i ich symbole na schematach.
3. Zasada działania podstawowych elementów elektronicznych.
4. Rodzaje podstawowych układów elektronicznych i ich zastosowanie w pojazdach samochodowych.
5. Przyczyny i skutki uszkodzeń układów elektronicznych w pojazdach.

10.1. Analiza budowy i zasady działania układu

Należy wykonać oględziny wybranych układów elektronicznych i analizę ich schematów elektrycznych (rys. 10.1). W tabeli 10.1 zamieścić opis elementów układu, który powinien zawierać ich nazwy, symbole literowe i graficzne oraz funkcje, jakie spełniają w czasie działania układu i sterowania pracą odbiornika. W drugiej części tabeli należy zamieścić opis zasady działania układu.



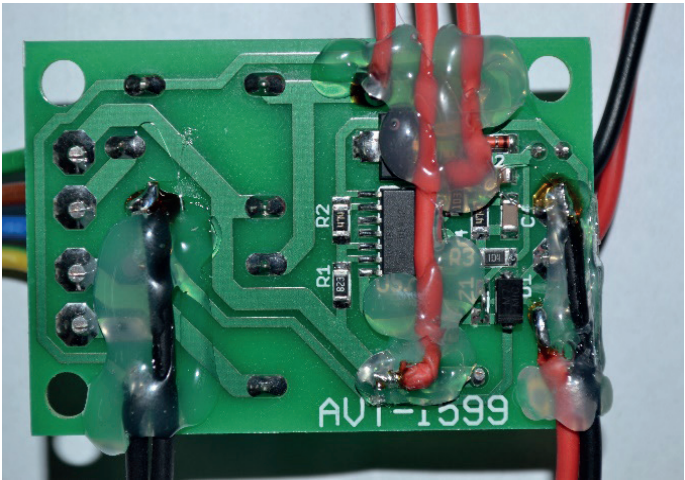
Rys. 10.1. Przykładowy pulpit z układem elektronicznym, schematem i wyprowadzonymi punktami pomiaru napięć

Tab. 10.1. Charakterystyka elementów układu i jego zasada działania

Nazwa układu			
Nazwa elementu	Symbol literowy	Symbol graficzny	Funkcja
Zasada działania układu			

10.2. Pomiar napięć i prądów układu sterującego i odbiornika

Należy połączyć układ elektroniczny ze źródłem zasilania, odbiornikiem i miernikami. Uruchomić system i zmierzyć spadki napięć na różnych elementach układu sterującego w stanie czynnym i biernym odbiornika oraz napięcie i prąd sterowanego urządzenia (rys. 10.2). Zmiany poszczególnych napięć można też zapisać przy pomocy rejestratora. Obliczyć moc odbiornika, a wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 10.2.



Rys. 10.2. Układ elektroniczny z przewodami podłączonymi do punktów pomiaru napięć

Tab. 10.2. Wyniki badania układu elektronicznego i odbiornika

Nazwa układu											
Cel sterowania											
Symbol elementu układu											
Napięcie elementu U_e [V] (stan czynny odbiornika)											
Napięcie elementu U_ξ [V] (stan bierny odbiornika)											
Nazwa odbiornika i jego specyfikacja											
Napięcie odbiornika U [V]											
Prąd odbiornika I [A]											
Moc odbiornika P [W]											
Uwagi											

Zakończenie

Podręcznik *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych* został napisany w celu zgromadzenia w jednym miejscu najbardziej istotnych i aktualnych treści dotyczących tego tematu oraz umożliwienia wykonania ćwiczeń laboratoryjnych na podstawie zawartych w nim informacji i instrukcji. W opracowaniu zamieszczono wiadomości o budowie i zasadzie działania elementów i urządzeń elektrycznych w pojazdach samochodowych oraz związane z nimi dane liczbowe i charakterystyczne właściwości. Istotną częścią podręcznika są materiały graficzne w postaci zdjęć, schematów, charakterystyk i przebiegów napięciowych. Elementy urządzeń elektrycznych widoczne na fotografiach zostały zaznaczone, a ich nazwy umieszczono w opisie pod rysunkiem. Schematy układów elektronicznych pozwalają na analizę ich budowy, rodzaju połączeń i zasady działania. Charakterystyki i przebiegi napięciowe są graficzną interpretacją zjawisk i oddziaływań fizycznych. W opracowaniu zamieszczono najważniejsze lub przykładowe rysunki, natomiast w sprawozdaniu z ćwiczenia laboratoryjnego powinny znaleźć się materiały graficzne wykonane i uzyskane podczas zajęć oraz z innych źródeł. W ten sposób wiedza studentów w tym zakresie zostanie poszerzona, uzupełniona i zaktualizowana.

Przed wykonaniem ćwiczenia należy wnikliwie zapoznać się z częścią teoretyczną, co ułatwi zrozumienie zagadnień technicznych, przeprowadzenie badań i pomiarów oraz opracowanie ich wyników. W instrukcjach laboratoryjnych zamieszczono dokładne procedury, schematy, zagadnienia do samodzielnego opracowania oraz tabele do wpisywania wyników obserwacji, pomiarów, obliczeń i własnych spostrzeżeń. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych w wielu punktach nie są bardzo szczegółowe, co ma pozwolić na ich modyfikację i dostosowanie do aktualnych rozwiązań stosowanych w technice motoryzacyjnej. Możliwe jest też wykonanie dodatkowych doświadczeń i pomiarów, zaproponowanych przez uczestników zajęć. Ćwiczenia zaplanowano do przeprowadzenia z wykorzystaniem pojazdów samochodowych, a także poza nimi, z zastosowaniem elementów i urządzeń wymontowanych z samochodów i przystosowanych do oględzin oraz pomiarów. Najlepsze efekty dydaktyczne można uzyskać przez badanie różnych pojazdów, co umożliwia zaobserwowanie innych rozwiązań konstrukcyjnych, sprzętowych i technologicznych.

Elektryczne i elektroniczne elementy, urządzenia i układy w pojazdach samochodowych ulegają ciągłemu rozwojowi i zmianom, ale także uszkodzeniom. Dlatego istotne jest posiadanie aktualnej wiedzy, obserwowanie trendów rozwojowych i zdobywanie umiejętności praktycznych związanych z tym tematem. Ten podręcznik powinien być inspiracją do poszukiwania i poszerzania wiedzy na podstawie wielu różnych źródeł oraz rozwijania umiejętności wykonywania badań diagnostycznych osprzętu elektrycznego w pojazdach samochodowych. W tym celu na jego końcu zamieszczono obszerny wykaz książek, artykułów, publikacji konferencyjnych i stron internetowych.

Literatura

1. Adamiec M., Dziubiński M., Drozd A., Siemionek E., *Wspomaganie dopływu tlenu do katody niskociśnieniowego ogniwa paliwowego typu PEM*, „Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering” 2017, nr 92, s. 95–104.
2. Adamiec M., Dziubiński M., Siemionek E., Drozd A., *Comparative analysis of automotive starting batteries in the aspect of diagnostics research*, „The Archives of Automotive Engineering (Archiwum Motoryzacji)” 2017, nr 3, s. 5–16.
3. Adamiec M., Dziubiński M., Siemionek E., *Research of the alternator on the stand – efficiency aspect*, IOP Conference Series: „Materials Science and Engineering” 2018, nr 421, s. 1–8.
4. Adamiec M., *Podstawy elektrotechniki i elektroniki dla studentów Wydziału Mechanicznego*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2018.
5. Będkowski B., Dukalski P. i in., *Badania prototypowego silnika elektrycznego do zabudowy w kołach samochodu*, „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2019, nr 2 (122), s. 167–172.
6. Chau K. T., *Electric vehicle machines and drives (design, analysis and application)*, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, Singapore 2015.
7. *Czujniki w pojazdach samochodowych. Informator techniczny Bosch*, tłum. Brzeżański M., Juda Z., Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2018.
8. Denton T., *Automobile electrical and electronic systems*, Second Edition, Institute of the Motor Industry, Routledge 2018.
9. Denton T., *Automobile mechanical and electrical systems*, Second Edition, Institute of the Motor Industry, Routledge 2018.
10. Dudzikowski I., Ciurys M., *Komutatorowe i bezszczotkowe maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
11. Duer S. W., *Laboratorium mechatroniki samochodowej*, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2014.
12. Dyga G., Trawiński G., *Obsługa, diagnozowanie oraz naprawa elektrycznych i elektronicznych układów pojazdów samochodowych*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2017.
13. Dyga G., Trawiński G., *Pracownia mechatroniki samochodowej*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2016.
14. Fundowicz P., Radzimierski M., Wieczorek M., *Podstawy elektrotechniki i elektroniki pojazdów samochodowych*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2015.
15. Gajek A., Juda Z., *Czujniki (Mechatronika Samochodowa)*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2021.

16. Glinka T., *Maszyny elektryczne wzbudzane magnesami trwałymi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
17. Gładyszek J., Gładyszek M., *Poradnik diagnostyki samochodowej – diagnostyk silnikowy Bosch FSA serii 7XX*, Wydawnictwo Bosch, Kraków 2008.
18. Grendysa P., *Baterie litowo-jonowe*, „Autonaprawa” 2023, nr 174, s. 39–42.
19. Heiko P., *Układy bezpośredniego wtrysku benzyny w praktyce warsztatowej*, tłum. Szulborski A., Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016.
20. Herner A., Riechl H. J., *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2022.
21. Jankowski A., *Wybrane zagadnienia funkcjonalne i aplikacyjne ogniw paliwowych*, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2012.
22. Kołodziejczyk S., *Instalacje elektryczne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016.
23. Krakowski M., *Czy tym urządzeniem ustawię reflektor LED?*, „Auto-Moto Serwis” 2021, nr 1, s. 28–32.
24. Król E., Wolnik T., *Silniki PMSM do zastosowań trakcyjnych – właściwości układu zasilania ograniczające parametry silnika*, „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2021, nr 2 (126), s. 147–151.
25. Krykowski K., *Silnik PMBLDC w napędzie elektrycznym – analiza, właściwości i modelowanie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
26. Krykowski K., *Silniki PMBLDC. Właściwości, sterowanie, aplikacje*, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2015.
27. Leśniewski M., *Alternator – fundament układu ładowania*, „Auto-Moto Serwis” 2022, nr 1, s. 9–11.
28. Leśniewski M., *Oscyloskop w warsztacie (cz. 13) – układy zapłonowe – uzwojenie wtórne cewki zapłonowej*, „Auto-Moto Serwis” 2021, nr 4, s. 33–35.
29. Leśniewski M., *Oscyloskop w warsztacie – alternator*, „Serwis Motoryzacyjny” 2019, nr 8, s. 30–32.
30. Leśniewski M., *Sensory o szczególnym znaczeniu*, „Serwis Motoryzacyjny” 2022, nr 11, s. 20–21.
31. Leśniewski M., *Świeca żarowa PSG jako pomoc w diagnostyce silnika*, „Serwis Motoryzacyjny” 2022, nr 2, s. 19–20.
32. Leśniewski M., *Układy zapłonowe silników benzynowych (cz. 1)*, „Auto-Moto Serwis” 2018, nr 5, s. 36–38.
33. Leśniewski M., *Układy zapłonowe silników benzynowych (cz. 2)*, „Auto-Moto Serwis” 2018, nr 6, s. 32–36.
34. Libuszowski P., *Diagnostyka układu rozruchu i ładowania testerem DBT-12+*, „Serwis Motoryzacyjny” 2019, nr 6, s. 38–39.
35. Łęgiewicz J., *Baterie litowo-jonowe w samochodach*, „Serwis Motoryzacyjny” 2022, nr 10, s. 27–31.

36. Łęgiewicz J., *Czujniki lidarowe w samochodach*, „Serwis Motoryzacyjny” 2018, nr 1, s. 26–28.
37. Łęgiewicz J., *Czujniki w samochodach elektrycznych*, „Serwis Motoryzacyjny” 2022, nr 9, s. 28–31.
38. Łęgiewicz J., *Czujniki w systemach wspomagania kierowcy*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 11, s. 37–40.
39. Łęgiewicz J., *Instalacje elektryczne o napięciu 48 V*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 10, s. 38–40.
40. Łęgiewicz J., *Łuk zamiast włókna – światła ksenonowe*, „Serwis Motoryzacyjny” 2018, nr 12, s. 31–33.
41. Łęgiewicz J., *Nowe rozwiązania w instalacji elektrycznej*, „Serwis Motoryzacyjny” 2018, nr 7–8, s. 35–37.
42. Łęgiewicz J., *Prąd z wodoru-Toyota Mirai II*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 2, s. 35–38.
43. Łęgiewicz J., *Trakcyjne silniki elektryczne w pojazdach*, „Serwis Motoryzacyjny” 2023, nr 1, s. 34–39.
44. Małek A., Wendeker M., *Ogniwa paliwowe typu PEM – teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010.
45. Myszkowski S., *Czujnik A/F-wąskopasmowy czujnik tlenu*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 7–8, s. 20–24.
46. Myszkowski S., *O czujnikach tlenu mierzących wartość λ , cz. 1*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 5, s. 21–24.
47. Myszkowski S., *O czujnikach tlenu mierzących wartość λ , cz. 2*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 6, s. 16–19.
48. Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych. Część 1. Wyposażenie elektryczne i elektromechaniczne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2014.
49. Pacholski K., *Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych. Część 2. Wyposażenie elektroniczne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2018.
50. Polit R., *Jednak LED-y*, „Serwis Motoryzacyjny” 2019, nr 7, s. 12–18.
51. Polit R., *Świece zapłonowe do nowoczesnych silników. Cewki zapłonowe – ważny element*, „Auto-Moto Serwis” 2020, nr 7, s. 38–43.
52. Rokosch U., *Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD*, tłum. Kałużny J., Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016.
53. Schmidt T., *Pojazdy hybrydowe i elektryczne w praktyce warsztatowej: budowa, działanie, podstawy obsługi*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2020.
54. Schneehage G., *Czujniki układu sterowania silnika w praktyce warsztatowej*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2017.

55. Schneehage G., *Elementy wykonawcze układu sterowania silnika w praktyce warsztatowej*, tłum. Trzeciak K., Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2019.
56. Suchocki K., *Sensory i przetworniki pomiarowe. Laboratorium*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2016.
57. Trzeciak K., *Koła pasowe alternatora z tłumieniem pulsacji*, „Serwis Motoryzacyjny” 2022, nr 2, s. 22–24.
58. Trzeciak K., *Światła OLED nowej generacji*, „Serwis Motoryzacyjny” 2021, nr 1, s. 41–42.
59. Wróblewski P., *Diagnozowanie czujników w asystentach parkowania*, „Auto-Moto Serwis” 2018, nr 2, s. 34–37.
60. Wróblewski P., *Diagnozowanie i naprawa elektrycznego i elektronicznego wyposażenia pojazdów samochodowych*, Wydawnictwo Axes System, Gdańsk 2021.
61. *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail. Informator techniczny Bosch*, tłum. Szulborski A., Łęgievicz J., Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009.
62. Zawirski K., *Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
63. Żagan W., *Oprawy oświetleniowe: kształtowanie rozsyłu strumienia świetlnego i rozkładu luminancji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
64. Żagan W., *Podstawy techniki świetlnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.

Źródła internetowe:

1. *Spark Plug / Working of Spark Plug*, blogmech.com/spark-plug-working-of-a-spark-plug/ (dostęp 29.09.2023 r.).
2. Strona internetowa: autocentrum.pl (dostęp 22.05.2023 r.).
3. Strona internetowa: auto-elektryczne.pl (dostęp 22.05.2023 r.).
4. Strona internetowa: auto-świat.pl (dostęp 22.05.2023 r.).
5. Strona internetowa: auto-wiedza.pl (dostęp 22.05.2023 r.).
6. Strona internetowa: motofakty.pl (dostęp 22.05.2023 r.).
7. Strona internetowa: motofocus.pl (dostęp 22.05.2023 r.).