

Krzysztof Pacholski

**ELEKTRYCZNE
I ELEKTRONICZNE
WYPOSAŻENIE
POJAZDÓW
SAMOCHODOWYCH**

1

**Wyposażenie elektryczne
i elektromechaniczne**



Wydawnictwa Komunikacji i Łączności

Projekt okładki: *Janusz Olech*
Zdjęcie na okładkę: *Bosch*
Redaktor merytoryczny: *Zbigniew Otczyński*
Opracowanie językowe: *mgr Barbara Gluch*
Redaktor techniczny: *Ewa Kęsicka*
Korekta: *zespół*

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia w zawodach do nauczania zawodu **technik pojazdów samochodowych**

na podstawie opinii rzeczoznawców:

mgr. inż. Andrzeja Łazińskiego, mgr. Michała Ratajczaka, mgr. inż. Roberta Wanica

Typ szkoły **technikum i szkoła policealna**

Rok dopuszczenia **2011**.

621.3:629.11(075)

Pierwsza część podręcznika poświęconego wyposażeniu elektrycznemu i elektronicznemu pojazdów samochodowych. Charakterystyczną cechą tego podręcznika jest połączenie wiadomości teoretycznych dotyczących budowy i działania poszczególnych zespołów i układów z praktycznymi informacjami o typowych niesprawnościach, diagnostyce, obsłudze i naprawie.

W książce opisano między innymi podstawowe pojęcia z zakresu elektrotechniki, obwody elektryczne prądu stałego, pole elektryczne i magnetyczne, podstawowe podzespoły elektroniczne, obwody prądu przemiennego, podstawy miernictwa elektrycznego, układ zasilania elektrycznego pojazdów, układ rozruchu silników spalinowych oraz silniki prądu przemiennego w samochodach. Po każdym rozdziale zamieszczono pytania kontrolne i zadania do samodzielnego rozwiązania, mające pomóc w ugruntowaniu nabytej wiedzy.

Odbiorcy: uczniowie kształcący się w zawodzie technik pojazdów samochodowych oraz uczniowie szkół o pokrewnym profilu kształcenia.

Podręcznik szkolny dotowany przez Ministra Edukacji Narodowej

© Copyright by Wydawnictwa Komunikacji i Łączności spółka z o.o., Warszawa 2011

ISBN 978-83-206-1821-1

Utwór ani w całości, ani we fragmentach nie może być skanowany, kserowany, powielany bądź rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, w tym również nie może być umieszczany ani rozpowszechniany w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o.

ul. Kazimierzowska 52, 02-546 Warszawa

tel. 22-849-27-51; fax 22-849-23-22

Dział handlowy tel./fax 22-849-23-45, tel. 22-849-27-51 w. 555

Prowadzimy sprzedaż wysyłkową książek

Księgarnia firmowa w siedzibie wydawnictwa

tel. 22-849-20-32, czynna pon.–pt. w godz. 10.00–18.00

e-mail: wkl@wkl.com.pl

Pełna oferta WKŁ w INTERNECIE: <http://www.wkl.com.pl>

Wydanie 1. Warszawa

Objętość 18 ark. wyd. Nakład 2000 egz.

Skład i łamanie: FOTOSKŁAD Pracownia Poligraficzna

ul. Czardasza 16/18, 02-169 Warszawa

Druk i oprawa: Drukarnia TREND

e-mail: drukarniatrend@wp.pl

Spis treści

| | |
|---|----|
| Wstęp | 8 |
| 1. Pojęcia podstawowe | 9 |
| 1.1. Przewodnictwo elektryczne środowiska | 9 |
| 1.2. Przepływ prądu w różnych środowiskach | 12 |
| 1.2.1. Przepływ prądu w próżni oraz w gazach | 12 |
| 1.2.2. Przepływ prądu w elektrolitach | 13 |
| 1.2.3. Przepływ prądu w półprzewodnikach | 14 |
| 1.3. Skutki przepływu prądu elektrycznego | 17 |
| 1.4. Przewody elektryczne stosowane w samochodach | 19 |
| 1.5. Pytania i zadania | 21 |
| 2. Obwody elektryczne prądu stałego | 22 |
| 2.1. Schematy obwodów elektrycznych | 22 |
| 2.1.1. Elementy obwodu elektrycznego oraz ich symbole | 22 |
| 2.1.2. Schematy obwodów elektrycznych i elektronicznych samochodu | 26 |
| 2.2. Rezystancja i konduktancja przewodników | 29 |
| 2.3. Prawa Kirchhoffa | 31 |
| 2.4. Rezystancja zastępcza układu oporników | 33 |
| 2.5. Źródło napięcia oraz źródło prądu | 39 |
| 2.6. Obwody nierozgałęzione | 43 |
| 2.7. Dzielnik napięcia, potencjometr | 44 |
| 2.8. Moc i energia prądu elektrycznego | 48 |
| 2.9. Rezystancja a temperatura. Termistory PTC i NTC | 52 |
| 2.10. Metody obliczania obwodów elektrycznych | 55 |
| 2.11. Samochodowe instalacje elektryczne | 65 |
| 2.11.1. Rodzaje instalacji elektrycznych | 65 |
| 2.11.2. Przewody, złącza i końcówki | 69 |
| 2.11.3. Zabezpieczenia instalacji, bezpieczniki | 74 |
| 2.11.4. Lokalizacja uszkodzeń instalacji | 76 |
| 2.12. Pytania i zadania | 79 |
| 3. Pole elektryczne i magnetyczne | 81 |
| 3.1. Pole elektryczne | 81 |
| 3.1.1. Zjawisko elektryzowania ciał | 81 |
| 3.1.2. Prawo Coulomba. Przenikalność elektryczna środowiska | 82 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.1.3. | Wielkości charakteryzujące pole elektryczne | 84 |
| 3.1.4. | Potencjał i napięcie elektryczne | 85 |
| 3.1.5. | Indukcja elektrostatyczna. Ekranowanie pól elektrycznych | 88 |
| 3.1.6. | Kondensator. Dielektryk w polu elektrycznym | 89 |
| 3.1.7. | Pojemność zastępcza układu połączeń kondensatorów | 92 |
| 3.1.8. | Ładowanie i rozładowanie kondensatora poprzez opornik | 96 |
| 3.1.9. | Kondensator jako element przeciwzakłóceńowy w samochodzie | 99 |
| 3.2. | Pole magnetyczne | 103 |
| 3.2.1. | Powstawanie pola magnetycznego | 103 |
| 3.2.2. | Indukcja magnetyczna i strumień magnetyczny | 104 |
| 3.2.3. | Przenikalność magnetyczna środowiska. Natężenie pola magnetycznego | 107 |
| 3.2.4. | Właściwości magnetyczne materiałów | 109 |
| 3.2.5. | Indukcyjność własna i wzajemna cewki | 112 |
| 3.2.6. | Obwody magnetyczne | 115 |
| 3.2.7. | Energia pola magnetycznego cewki | 121 |
| 3.2.8. | Siła udźwigu elektromagnesu | 122 |
| 3.2.9. | Budowa i właściwości przekładników elektromagnetycznych | 123 |
| 3.2.10. | Zastosowanie przekładników w elektrycznych instalacjach samochodowych | 125 |
| 3.2.11. | Budowa i zasada działania wybranych podzespołów elektromechanicznych | 128 |
| 3.3. | Pytania i zadania | 130 |
| 4. | Podzespoły elektroniczne samochodów | 132 |
| 4.1. | Diody prostownicze | 132 |
| 4.2. | Diody Zenera | 136 |
| 4.3. | Diody pojemnościowe | 137 |
| 4.4. | Tranzystory bipolarne | 139 |
| 4.5. | Tranzystory polowe | 141 |
| 4.5.1. | Tranzystory złączowe (JFET) | 142 |
| 4.5.2. | Tranzystory polowe z izolowaną bramką (MOSFET) | 144 |
| 4.6. | Tyristor i triak | 147 |
| 4.7. | Podzespoły fotoelektryczne | 150 |
| 4.7.1. | Dioda elektroluminescencyjna LED | 150 |
| 4.7.2. | Fotodioda | 152 |
| 4.7.3. | Fototranzystor | 154 |
| 4.7.4. | Transoptor | 155 |
| 4.8. | Pytania i zadania | 156 |
| 5. | Obwody prądu przemiennego | 158 |
| 5.1. | Obwody prądu jednofazowego | 158 |
| 5.1.1. | Napięcia i prądy zmienne oraz przemiennie | 158 |
| 5.1.2. | Wielkości charakteryzujące przebiegi czasowe sinusoidalnych prądów i napięć | 160 |
| 5.1.3. | Wartość skuteczna i średnia przebiegów sinusoidalnych | 163 |
| 5.1.4. | Impedancja i jej składowe. Prawo Ohma | 165 |
| 5.1.5. | Prawa Kirchhoffa | 173 |
| 5.1.6. | Moc odbiorników jednofazowych | 179 |
| 5.2. | Obwody prądu trójfazowego | 183 |
| 5.2.1. | Wytwarzanie trójfazowego układu napięć | 183 |
| 5.2.2. | Konfiguracja odbiorników trójfazowych | 185 |
| 5.2.3. | Moc odbiorników trójfazowych | 189 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.3. | Transformator | 192 |
| 5.4. | Pytania i zadania | 200 |
| 6. | Podstawy miernictwa elektrycznego | 203 |
| 6.1. | Rodzaje i przeznaczenie przyrządów pomiarowych | 203 |
| 6.2. | Wykorzystanie multimetrów w praktyce warsztatowej | 207 |
| 6.3. | Dokładność pomiarów multimetrami | 214 |
| 6.4. | Oscyloskop elektroniczny | 216 |
| 6.4.1. | Ekran oscyloskopu | 216 |
| 6.4.2. | Wejście sygnałowe | 218 |
| 6.4.3. | Synchronizacja i wyzwalanie oscyloskopu | 218 |
| 6.4.4. | Wykorzystanie oscyloskopu | 221 |
| 6.5. | Pytania i zadania | 222 |
| 7. | Układ zasilania elektrycznego pojazdów | 224 |
| 7.1. | Układ zasilania samochodu w energię elektryczną | 224 |
| 7.2. | Statyczne źródła energii elektrycznej | 225 |
| 7.2.1. | Akumulatory kwasowo-ołowiowe | 225 |
| 7.2.2. | Akumulatory bezobsługowe | 229 |
| 7.2.3. | Bezpieczeństwo i higiena pracy z akumulatorami | 232 |
| 7.2.4. | Ogniwa paliwowe | 233 |
| 7.3. | Alternator | 234 |
| 7.3.1. | Budowa i działanie alternatora | 234 |
| 7.3.2. | Alternatory kompaktowe | 238 |
| 7.4. | Regulatory napięcia alternatorów | 239 |
| 7.4.1. | Regulatory jednofunkcyjne | 240 |
| 7.4.2. | Regulatory wielofunkcyjne (MFR) | 241 |
| 7.5. | Diagnostyka podzespołów układu zasilania | 242 |
| 7.6. | Pytania i zadania | 247 |
| 8. | Układ rozruchu silników spalinowych | 249 |
| 8.1. | Rozruch silnika spalinowego | 249 |
| 8.2. | Silniki elektryczne prądu stałego | 251 |
| 8.2.1. | Zasada działania silników elektrycznych | 251 |
| 8.2.2. | Rodzaje elektrycznych silników prądu stałego | 252 |
| 8.3. | Silnik szeregowy jako rozrusznik | 255 |
| 8.4. | Wpływ czynników zewnętrznych na moc i moment rozrusznika | 260 |
| 8.5. | Rozrusznik z przesuwym zespołem sprzęgającym | 261 |
| 8.6. | Rozrusznik z reduktorem lub z przekładnią planetarną | 263 |
| 8.7. | Rozrusznik z silnikiem wzbudzonym magnesami trwałymi | 264 |
| 8.8. | Usterki rozruszników | 265 |
| 8.9. | Pytania i zadania | 267 |
| 9. | Silniki prądu przemiennego w samochodach | 268 |
| 9.1. | Budowa i zasada działania silnika trójfazowego | 268 |
| 9.2. | Silniki krokowe | 273 |
| 9.3. | Silniki tarczowe | 276 |
| 9.4. | Pytania i zadania | 277 |
| | Literatura | 278 |

Wstęp

Podręcznik „Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych” jest przeznaczony dla uczniów techników i szkół policealnych, którzy kształcą się w zawodzie **technik pojazdów samochodowych 311 [52]**. Dobór zawartości merytorycznej oraz sposób jej przekazu pozwala na korzystanie z podręcznika również uczniom techników kształcącym się w zawodach: technik mechanik o specjalności obsługa i naprawa pojazdów samochodowych, technik elektronik o specjalności elektronika samochodowa oraz technik mechatronik.

Z podręcznika mogą korzystać również uczniowie zasadniczych szkół zawodowych kształcący się w zawodach mechanik pojazdów samochodowych oraz elektromechanik pojazdów samochodowych.

Na końcu każdego rozdziału niniejszego podręcznika zamieszczono pytania i zadania, umożliwiające samodzielną ocenę stopnia przyswojenia wiedzy. Dzięki temu z podręcznika mogą korzystać również osoby zdobywające kwalifikacje zawodowe w różnych formach kształcenia pozaszkolnego oraz zajmujące się działalnością praktyczną w dziedzinie obsługi elektrycznych i elektronicznych podzespołów samochodowych, a także osoby obsługujące i naprawiające pojazdy samochodowe.

Ze względu na bardzo obszerny program nauczania, treść podręcznika podzielono na dwie części. W części pierwszej, noszącej podtytuł „Wyposażenie elektryczne i elektromechaniczne”, wprowadza się czytelnika kolejno w arkana: elektrotechniki, elektroniki, miernictwa elektrycznego oraz elektromechaniki samochodowej. Wiadomości te są podstawą do zrozumienia treści zawartych w drugiej części, noszącej podtytuł „Wyposażenie elektroniczne”. Oprócz głównych obwodów i układów elektrycznej instalacji samochodowej i podzespołów elektronicznych tam stosowanych, przedstawiono w niej również podstawowe pojęcia mechatroniki samochodowej. Wyjaśniono też zasadę działania systemów sterowania wtryskiem paliwa i samochodowymi instalacjami gazowymi, działanie systemu OBD oraz układów dynamiki i komfortu jazdy.

W obu częściach podręcznika, tam gdzie autor uznał to za niezbędne, do wyjaśnienia teorii wykorzystano przykłady praktyczne.

1. Pojęcia podstawowe

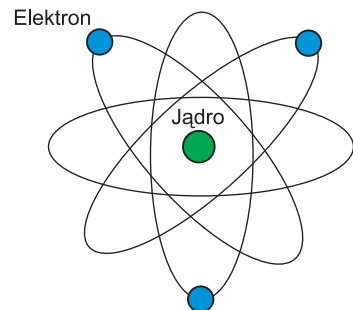
1.1. Przewodnictwo elektryczne środowiska

Naturę przewodnictwa elektrycznego środowiska warunkuje budowa jego molekuł (cząsteczek). Molekuła jest najmniejszym elementem każdej substancji charakteryzującym się zdolnością zachowania cech tej substancji i składającym się z jednego lub kilku atomów. Atom jest najmniejszym niepodzielnym elementem każdej substancji zdolnym do samodzielnego istnienia. W każdym atomie wokół jądra po zamkniętych orbitach krążą ujemnie naładowane elektrony (rys. 1.1). Elektrony obracają się także wokół własnej osi.

Jądro atomu ma ładunek dodatni i zawiera dodatnio naładowane protony oraz obojętne elektrycznie neutrony. Ładunki protonu i elektronu mają taką samą wartość bezwzględną, a liczba protonów jest taka sama jak liczba elektronów na orbitach. Wartość ładunku elektronu (wyrażona w kulombach) oraz jego masa (w kilogramach) odpowiednio wynoszą $e = 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ i $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Natomiast masa protonu i neutronu jest ok. 1840 razy większa od masy elektronu.

Liczba elektronów i liczba orbit, po których one krążą, w atomie każdego pierwiastka jest inna. O przewodnictwie elektrycznym decyduje liczba elektronów znajdujących się na zewnętrznej orbicie, którą nazywa się orbitą walencyjną. Na orbicie walencyjnej może się znajdować nie więcej niż 8 elektronów.

Utrata jednego lub kilku elektronów walencyjnych powoduje uaktywnienie elektryczne atomu, który staje się naładowany dodatnio. Zmianę ładunku atomu na ujemny spowoduje wprowadzenie jednego lub kilku dodatkowych elektronów. Takimi samymi właściwościami elektrycznymi jak atomy charakteryzują się cząstki, składające się z grupy atomów. Cząstki o dodatnim lub ujemnym ładunku elektrycznym nazywamy **jonami**. Cząstki naładowane dodatnio nazywamy **kationami**, a cząstki o ładunku ujemnym – **anionami**.



Rys. 1.1. Budowa atomu

Przewodnictwo elektryczne różnych substancji zależy od liczby elektronów znajdujących się na orbitach walencyjnych ich atomów oraz od siły, z którą te elektrony są przyciągane przez jądro atomu. W atomach metali elektrony walencyjne są słabo związane z jądrem i dlatego przechodzą z jednego atomu do drugiego. Elektrony te nazywają się **elektronami swobodnymi**. Ciała, w których występują elektrony swobodne, nazywa się **przewodnikami**.

Oprócz przewodników w przyrodzie występują **dielektryki** oraz **półprzewodniki**. Dielektryki nie mają nośników ładunku elektrycznego i z tego względu nie przewodzą również prądu elektrycznego. Miejsce pośrednie między dielektrykami i przewodnikami zajmują **półprzewodniki**, których właściwości zależą od warunków otoczenia. Aktywność elektryczną półprzewodników może zainicjować zewnętrzne pole elektryczne, temperatura, oświetlenie itp.

Ciała przewodzące, odpowiednio do przemieszczających się w ich wnętrzach cząstek, dzielimy na przewodniki pierwszego i drugiego rodzaju.

Przewodniki pierwszego rodzaju to ciała, których właściwości chemiczne nie zmieniają się podczas przepływu prądu elektrycznego. W tego rodzaju ciałach przepływ prądu elektrycznego wynika z ruchu elektronów swobodnych. Przewodnikami pierwszego rodzaju są metale i ich stopy oraz węgiel.

Przewodniki drugiego rodzaju są elektrolitami, tzn. roztworami kwasów, zasad i soli. Właściwości chemiczne takich przewodników zmieniają się podczas przepływu prądu elektrycznego, którego nośnikami są jony dodatnie (kationy) oraz jony ujemne (aniony).

Uporządkowany ruch elektronów w przewodnikach może być spowodowany zewnętrznym polem elektrycznym. Taki ruch nazywa się **prądem elektrycznym**. Po usunięciu zewnętrznego pola elektrycznego przepływ prądu elektrycznego w przewodniku ustaje, a elektrony swobodne przemieszczają się chaotycznie.

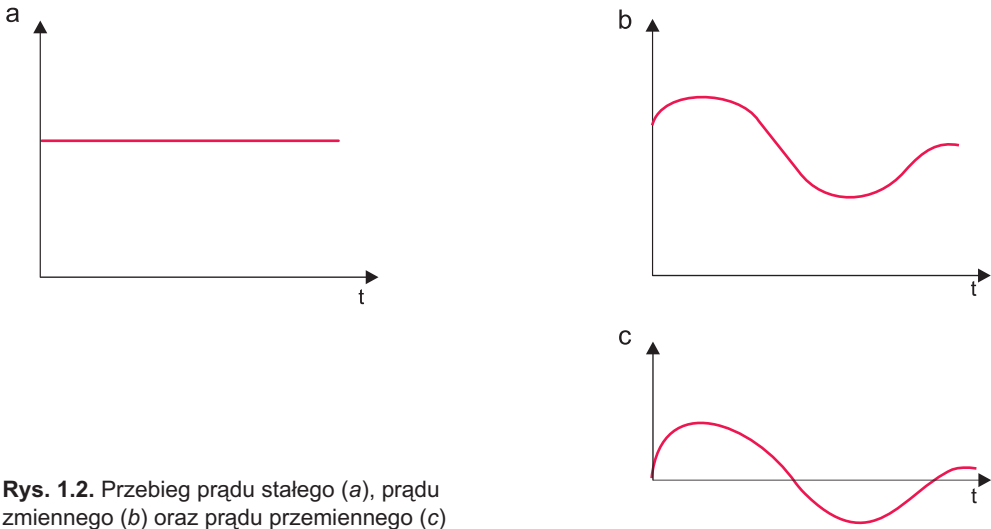
Miarą przepływu prądu elektrycznego jest jego natężenie. Natężenie prądu jest stosunkiem wartości ładunku elektrycznego Δq przenoszonego przez naładowane cząsteczki, przez dowolnie wybrany przekrój poprzeczny przewodnika, do czasu przepływu tego ładunku Δt :

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Natężenie prądu jest wielkością skalarną. W układzie SI jednostką natężenia prądu elektrycznego jest **amper (A)**. Natężenie prądu ma wartość 1 A, jeśli przez dowolny przekrój przewodnika w czasie 1 s przepłynie ładunek 1 C.

$$[i] = \frac{[q]}{[t]} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ A} \quad (1.2)$$

Prądem stałym nazywamy prąd, którego natężenie nie ulega zmianie w funkcji czasu. Oznaczeniem natężenia takiego prądu jest litera I (literą i oznaczamy natężenie prądu będące funkcją czasu). Przebieg prądu stałego przedstawiono na rys. 1.2a. Prąd stały jest oznaczany symbolem DC (ang. *Direct Current* – prąd stały).



Rys. 1.2. Przebieg prądu stałego (a), prądu zmiennego (b) oraz prądu przemiennego (c)

Natężenie **prądu zmiennego** (rys. 1.2b) oraz **prądu przemiennego** (rys. 1.2c) ma zmienną wartość w funkcji czasu. W przypadku prądu przemiennego kierunek jego przepływu jest dodatni oraz ujemny. Prąd taki oznacza się symbolem AC (ang. *Alternating Current* – prąd przemienny). W odróżnieniu od prądu przemiennego, kierunek przepływu prądu zmiennego nie ulega zmianie w czasie. Podobnie jak prąd stały, prąd zmienny może mieć dodatni lub ujemny kierunek przepływu. Prąd zmienny jest oznaczany symbolem UC (*Universal Current* – prąd nieokreślony).

Przepływ prądu elektrycznego, traktowanego jako uporządkowany ruch elektronów, wywołuje pole elektryczne. Przyczyną powstania tego pola jest **napięcie elektryczne** występujące między oddzielnymi przestrzennie punktami ośrodka przewodzącego prąd. Istota powstania napięcia elektrycznego będzie wyjaśniona w dalszej części podręcznika.

Różnoimienne ładunki elektryczne się przyciągają. Zwiększenie odległości między tymi ładunkami wymaga wykonania pracy przeciw siłom przyciągania. Po wykonaniu tej pracy zostanie ona zmagazynowana w ładunkach jako energia. Praca W włożona w rozdzielenie ładunków elektrycznych Q , odniesiona do ich wielkości, jest napięciem elektrycznym U :

$$U = \frac{W}{Q}$$

(1.3)

Jednostką napięcia elektrycznego jest wolt (V). Napięcie określane względem wybranego punktu odniesienia nazywamy **potencjałem**. Biorąc to pod uwagę, napięcie możemy traktować jako różnicę dwóch potencjałów.

Urządzenia wyposażone w dwa zaciski, między którymi występuje napięcie elektryczne, nazywamy źródłami napięcia. Źródło napięcia ma biegun dodatni

(+), na którym występuje niedobór elektronów, oraz biegun ujemny (–) z nadmiarem elektronów.

Ze względu na przebieg czasowy rozróżniamy napięcie stałe (DC), zmienne (UC) oraz przemienne (AC).

Współczesne urządzenia przemysłowe oraz sprzęty gospodarstwa domowego wykorzystują w swym działaniu przemiany energetyczne występujące podczas przepływu prądu elektrycznego. Zrozumienie istoty zjawisk fizycznych towarzyszących przepływowi prądu w różnych ośrodkach pozwoli na prawidłową eksploatację, obsługę i konserwację nie tylko urządzeń przemysłowych i domowych, ale również elektrycznych i elektronicznych podzespołów samochodów.

1.2. Przepływ prądu w różnych środowiskach

1.2.1. Przepływ prądu w próżni oraz w gazach

Próżnia jest pozbawiona wolnych nośników ładunku elektrycznego i dlatego jest doskonałym izolatorem. Jedynym sposobem elektrycznego uaktywnienia próżni jest wprowadzenie do niej swobodnych elektronów, których ruch jest inicjowany przez pole elektryczne. Takie zjawisko wykorzystuje się w lampach elektronowych, gdzie źródłem elektronów swobodnych jest podgrzewana lub oświetlona katoda. W pierwszym przypadku przyczyną uwalniania elektronów jest termoeemisja, w drugim zaś fotoemisja.

Gazy, podobnie jak próżnia, w normalnych warunkach są elektrycznie obojętne. Uaktywnienie elektryczne gazu wymaga zewnętrznego oddziaływania, którego skutkiem jest podział atomów, spowodowany oderwaniem elektronów lub rozerwaniem wiązań. Rozpad atomów lub cząsteczek gazów wywołany czynnikami zewnętrznymi nazywamy **jonizacją**.

Rozróżniamy kilka rodzajów jonizacji.

1. **Jonizacja termiczna**, podczas której w wyniku podgrzania następuje zwiększenie energii kinetycznej elektronów do poziomu pozwalającego na opuszczenie przez te elektrony powłoki walencyjnej.
2. **Jonizacja zderzeniowa**, spowodowana napromieniowaniem cząsteczek gazu strumieniem elektronów lub strumieniem cząsteczek o dużej energii kinetycznej. Skutkiem takiego napromieniowania jest wybijanie elektronów z orbit walencyjnych atomów gazu, które przez to stają się jonami dodatnimi.
3. **Fotojonizacja**, podczas której jony powstają w wyniku napromieniowania cząsteczek gazu strumieniem świetlnym (falą elektromagnetyczną) o dużej energii. W praktyce do fotojonizacji gazu wykorzystuje się promieniowanie laserowe i kosmiczne oraz mikrofałe.

Zjonizowany gaz umożliwia przepływ prądu w postaci wyładowania elektrycznego. Takie wyładowanie może mieć charakter **samoistny** lub **niesamoistny**. Przy wyładowaniu samoistnym zewnętrzny czynnik jonizujący jest niezbędny je-

dynie do zapoczątkowania wyładowania, podczas którego następuje jonizacja zderzeniowa cząsteczek gazu. Możemy wyodrębnić kilka rodzajów wyładowań samoistnych: jarzeniowe, iskrowe, ulotowe i łukowe. Wyładowanie niesamoistne występuje tylko w obecności czynnika zewnętrznego jonizującego gaz.

1.2.2. Przepływ prądu w elektrolitach

Elektrolitami nazywamy wodne roztwory kwasów, zasad i soli. Są to przewodniki drugiego rodzaju, w których przewodnictwo elektryczne ma charakter jonowy. Przyczyną powstawania jonów w elektrolitach jest dysocjacja, polegająca na rozpadzie cząsteczek pod wpływem wody. Dysocjację roztworu określa jej stopień zależny od stężenia i temperatury roztworu.

Źródłem pola elektrycznego w elektrolitach są dwie elektrody: anoda, dołączona do zacisku dodatniego (+) źródła napięcia, oraz katoda, dołączona do zacisku ujemnego (-) tego źródła (rys. 1.3).

Pole elektryczne skierowane od anody do katody jest przyczyną ruchu jonów w elektrolicie. Podczas tego ruchu jony nie wchodzi w reakcje chemiczne i dopiero po dotarciu do elektrod tracą swój ładunek. Jony ujemne (aniony) podążają do anody i oddają jej nadmiar elektronów, a jony dodatnie (kationy) po osiągnięciu katody łączą się z jej elektronami swobodnymi. W zależności od składników elektrolitu na katodzie wydziela się wodór lub metal, na anodzie zaś zachodzi proces utleniania lub wydzielanie niemetalu.

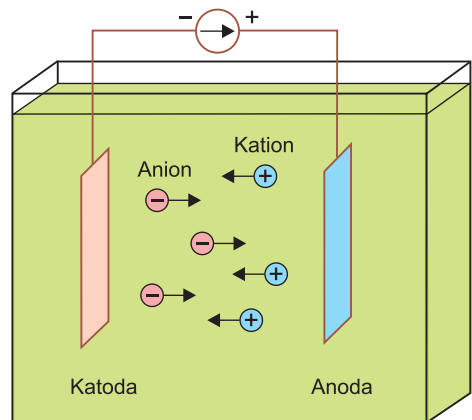
Zgodnie z prawem Faradaya, masa m substancji wydzielanej na elektrodzie podczas elektrolizy jest proporcjonalna do ładunku elektrycznego Q przepływającego przez elektrolit:

$$m = k Q = k I t \quad (1.4)$$

We wzorze tym Q jest całkowitym ładunkiem elektrycznym, który przepłynął przez elektrolit. Ładunek ten został przeniesiony przez prąd o natężeniu równym I płynący przez elektrolit w czasie t .

Występujący w zależności (1.4) współczynnik proporcjonalności k jest tzw. równoważnikiem elektrochemicznym, określającym masę substancji wydzielanej podczas elektrolizy, gdy przez elektrolit przepłynął ładunek 1 C. Współczynnik ten jest mierzony w $\frac{\text{mg}}{\text{C}}$ i jest zróżnicowany dla różnych substancji, np. dla miedzi

ma wartość $0,329 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$, dla srebra $1,118 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$, a dla cynku $0,339 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$.



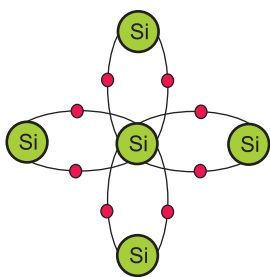
Rys. 1.3. Ruch nośników prądu w trakcie elektrolizy

Elektroliza ma szerokie zastosowanie w przemyśle. Za pomocą elektrolizy w wannach elektrolitycznych produkuje się czystą miedź, zwaną elektrolityczną. Elektrolizę stosuje się również do nanoszenia powłok antykorozyjnych i dekoracyjnych. Ponadto elektroliza stanowi podstawę działania elektrochemicznych źródeł napięcia elektrycznego.

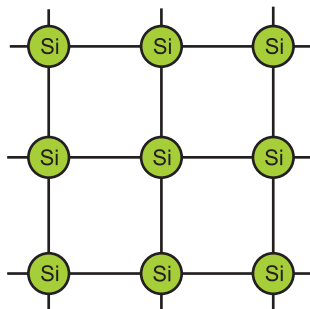
1.2.3. Przepływ prądu w półprzewodnikach

Półprzewodniki są stosowane do budowy scalonych i dyskretnych podzespołów elektronicznych. Materiałami takimi są krystaliczne postacie krzemu lub germanu. Cechą charakterystyczną obu wymienionych materiałów półprzewodnikowych jest ich duża rezystywność, która w temperaturze pokojowej przyjmuje wartości od 10^{-4} do $10^{-6} \Omega \cdot m$. Z fizycznego punktu widzenia rezystywność określa zdolność substancji do przewodzenia prądu elektrycznego. Rezystywność krzemu oraz germanu ma wartość większą od rezystywności typowych przewodników oraz mniejszą od rezystywności typowych izolatorów. Stąd krzem i german nazywamy **półprzewodnikami**.

Stabilność chemiczna pierwiastków zależy od liczby elektronów znajdujących się na powłokach walencyjnej ich atomów. Pierwiastki z 8 elektronami walencyjnymi są doskonałymi izolatorami, gdyż ich atomy nie oddają ani nie przyjmują elektronów. Podobnie do izolatorów zachowują się krzem i german, pomimo że ich atomy mają tylko cztery elektrony walencyjne. W czystych kryształach tych pierwiastków atomy są równo oddalone od siebie. Elektrony walencyjne wszystkich atomów kryształu obiegają sąsiednie jądra w taki sposób, że na powłoce walencyjnej każdego atomu krążą osiem elektronów, stabilizując chemicznie kryształ (rys. 1.4).



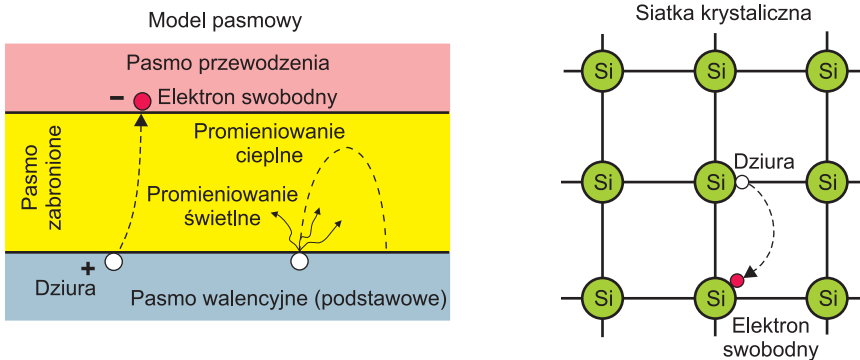
Atomy przedstawione w jednej płaszczyźnie



Uproszczony układ sieci elektronicznej

Rys. 1.4. Schemat wiązań chemicznych w krzemie

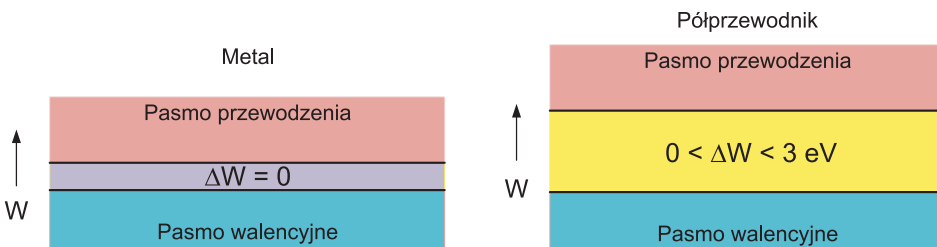
Do wyjaśnienia przewodnictwa elektrycznego ciał stałych, a tym samym i półprzewodników, bardzo przydatny jest energetyczny pasmowy model atomu (rys. 1.5). Model ten odwzorowuje poziomy energii elektronów w postaci pasma podstawowego (walencyjnego), pasma zabronionego oraz pasma przewodzenia.



Rys. 1.5. Pasmowy model elektrycznego przewodnictwa ciał stałych

Elektrony, których energia ma wartość należącą do pasma podstawowego, są związane z atomami. Natomiast elektrony o energii należącej do pasma przewodzenia mogą swobodnie przemieszczać się między atomami ciała. Aby elektron znajdujący się na powłoce walencyjnej mógł przemieszczać się swobodnie między atomami ciała, jego energia musi być zwiększona o wartość ΔW , równą szerokości pasma zabronionego i określoną liczbą elektronowoltów. **Elektronowolt (eV)** jest miarą energii elektronów i odpowiada energii $1,602 \cdot 10^{-19}$ J. Dla półprzewodników szerokość pasma zabronionego nie przekracza 3 eV, np. szerokość pasma zabronionego ΔW dla krzemu jest równa 1,2 eV.

W odróżnieniu od półprzewodników, elektrony zewnętrznej powłoki atomów metali dobrze przewodzących prąd elektryczny mają tak dużą energię, że są jednocześnie elektronami walencyjnymi oraz elektronami swobodnymi. Z tego względu w modelu pasmowym metali nie występuje pasmo zabronione, a pasma podstawowe i przewodzenia zachodzą na siebie (rys. 1.6).



Rys. 1.6. Model pasmowy metalu i półprzewodnika

W półprzewodnikach, podobnie jak w metalach, przewodzenie prądu elektrycznego jest uwarunkowane występowaniem swobodnych elektronów. Pierwszym sposobem uzyskania takiego stanu jest dostarczenie z zewnątrz do półprzewodnika energii aktywacji, przenoszącej elektrony z pasma podstawowego do pasma przewodzenia. Energii takiej może dostarczyć zwiększenie temperatury otoczenia, odpowiednie oświetlenie oraz promieniowanie elektromagnetyczne. Po usunięciu źródła energii aktywacji elektrony, powracając do pasma

podstawowego, oddają pobraną wcześniej energię w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

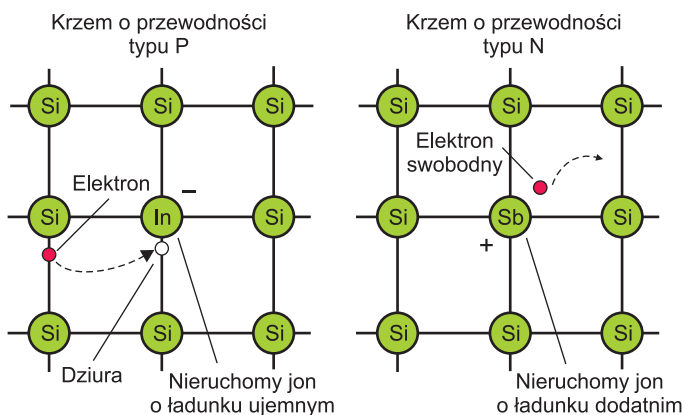
Zwiększenie energii elektronów walencyjnych w półprzewodnikach do poziomu, przy którym stają się one elektronami swobodnymi, następuje już w temperaturze 20°C, a liczba tych elektronów wzrasta wraz ze wzrostem temperatury.

Niezależnie od przyczyny przeniesienia elektronu z pasma walencyjnego do pasma przewodzenia, każdy elektron swobodny pozostawia w paśmie walencyjnym ubytek o ładunku dodatnim nazywany **dziurą** (rys. 1.5). W związku z tym przewodnictwo elektryczne półprzewodników zależy od koncentracji par **elektron-dziura**. Istnieją półprzewodniki, w których do wygenerowania tych par jest niezbędna energia aktywacji o wartości 0,25...0,4 eV. Takie półprzewodniki przewodzą prąd elektryczny w temperaturze pokojowej i nazywamy je **samoistnymi**. Do grupy takich półprzewodników należą np. dwutlenek uranu (UO_2) oraz tlenek cynku (ZnO).

Oprócz półprzewodników samoistnych, w których do elektrycznego uaktywnienia wystarczy zwiększenie temperatury otoczenia, w technice stosuje się półprzewodniki **niesamoistne**. W takich półprzewodnikach liczba nośników ładunku elektrycznego jest zwiększona sztucznie przez wprowadzenie obcych atomów (tzw. domieszek) do sieci krystalicznej. Ze względu na sposób domieszkowania wyodrębniamy dwa rodzaje półprzewodników niesamoistnych: półprzewodniki typu **N** oraz półprzewodniki typu **P**.

Półprzewodniki typu N powstają przez wprowadzenie do sieci krystalicznej, utworzonej przez atomy np. krzemu (Si) z czterema elektronami walencyjnymi, tzw. **domieszki donorowej** w postaci atomów pięciowartościowych, np. arsenu (As) lub antymonu (Sb) – rys. 1.7. Cztery elektrony walencyjne tej domieszki są stabilnie związane z siecią krystaliczną, piąty zaś jest słabo związany. W związku z tym niewielki zastrzyk energetyczny powoduje, że elektron ten przechodzi z pasma walencyjnego do pasma przewodzenia i porusza się swobodnie w sieci krystalicznej krzemu.

Zamocowany stabilnie w sieci krystalicznej atom domieszki donorowej, ze względu na brak piątego elektronu walencyjnego, jest naładowany dodatnio jonem, który stanowi dziurę energetyczną w paśmie walencyjnym czterowarto-



Rys. 1.7. Defekty struktury krystalicznej krzemu

ściowego kryształu półprzewodnika. Dziury, ze względu na małą liczbę atomów donorowych, są mniejszościowymi nośnikami ładunku elektrycznego półprzewodnika typu N, elektrony swobodne zaś, których jest nadmiar, są w tym półprzewodniku większościowymi nośnikami ładunku.

W **półprzewodnikach typu P** większościowymi nośnikami ładunku elektrycznego są dziury. Taki stan fizyczny można uzyskać, wprowadzając do czterowartościowej struktury kryształu krzemu atomy z trzema elektronami walencyjnymi, np. indu lub baru. Domieszki takie nazywamy **akceptorowymi**. Trzy elektrony walencyjne domieszki tworzą trwałe wiązania kowalencyjne z sąsiednimi atomami kryształu krzemu, a brak czwartego elektronu tworzy wiązanie zdegenerowane (rys. 1.7) z jednym elektronem i jedną dziurą. Dziury występujące w pobliżu atomów domieszki akceptorowej przechwytyują elektrony walencyjne innych atomów struktury krzemowej, tworząc dziury w innym miejscu tej struktury, i w ten sposób przemieszczają się w całej przestrzeni czterowartościowej krzemowej struktury krystalicznej. Z tego względu w półprzewodniku typu P większościowymi nośnikami ładunku elektrycznego są dziury, a elektrony są mniejszościowymi nośnikami tego ładunku.

Wywołane domieszkowaniem przewodnictwo niesamoistne zwiększa się wraz ze wzrostem koncentracji domieszek i nie zależy od temperatury.

1.3. Skutki przepływu prądu elektrycznego

Przepływowi prądu elektrycznego towarzyszą skutki uzależnione od rodzaju ośrodka przewodzącego ten prąd. Każdy użytkownik urządzeń elektrycznych stwierdził niejednokrotnie, że po długim okresie eksploatacji większość odbiorników energii elektrycznej się nagrzewa. Przyczyną tego zjawiska jest wzajemne tarcie elektronów płynących przez elementy i podzespoły przewodzące prąd. Mamy tu do czynienia z **efektem cieplnym** przepływu prądu. W technice samochodowej efekt ten jest wykorzystywany do ogrzewania szyb i foteli, podgrzewania powietrza w kolektorze dolotowym silnika spalinowego oraz do podgrzewania zapalniczki.

W rozdziale 1.2.1 opisano jonizację gazów, której przyczyną jest ruch elektronów spowodowany przez zewnętrzne pole elektryczne. Skutkiem jonizacji jest **efekt optyczny**, który w przypadku lamp wyładowczych jest efektem o naturze pozytywnej. Oprócz skutków pozytywnych, jonizacja powietrza występująca w pobliżu elektrod spawalniczych może mieć skutki negatywne, jeśli oczy spawacza nie będą osłonięte odpowiednio przyciemnionymi szklami.

Jak już sygnalizowano w rozdziale 1.2.2, przepływowi prądu przez ciekłe substancje przewodzące towarzyszy ich rozkład, nazywany elektrolizą. Jest to **efekt chemiczny** przepływu prądu. Efekt ten wykorzystuje się w przemyśle między innymi do pokrywania metali powłokami ochronnymi (kadmowanie i chromowanie), a także do pozyskiwania aluminium.

Kolejnym skutkiem przepływu prądu przez przewodnik jest występowanie pola magnetycznego wokół tego przewodnika. Dodatkowo w przestrzeni otaczającej przewodniki, przez które przepływa prąd przemienny, oprócz pola magnetycznego występuje również pole elektryczne. Dla urządzeń elektronicznych znajdujących się w pobliżu takie przewodniki są antenami emitującymi falę elektromagnetyczną, której właściwości propagacyjne zależą między innymi od częstotliwości prądu elektrycznego przepływającego przez przewodnik. Negatywnym skutkiem występowania fal elektromagnetycznych wokół przewodników z prądem przemiennym w pojazdach samochodowych są zakłócenia elektromagnetyczne, pochodzące między innymi z układu zapłonowego pojazdu. Zakłócenia tego rodzaju mają bardzo silny wpływ na działanie odbiorników radiowych, w których obwodzie zasilania nie zamontowano odpowiednich układów tłumiących elektryczne oraz elektromagnetyczne sygnały zakłócające.

Fale elektromagnetyczne emitowane przez układy elektrycznej instalacji samochodowej docierają nie tylko do elektronicznych podzespołów pojazdu. Na działanie takich fal są narażeni również użytkownicy samochodów oraz personel techniczny zajmujący się ich naprawą. Najnowsze badania wykazały, że instalacja zapłonowa emituje impulsowe fale elektromagnetyczne, których składowa magnetyczna ma wartość szczytową indukcji 0,5 mT. Dla porównania, maksymalna wartość indukcji pola magnetycznego Ziemi w naszej szerokości geograficznej nie przekracza $60 \mu\text{T}$. W praktyce oznacza to, że przebywanie w pobliżu nieosłoniętej instalacji zapłonowej przez dłuższy czas może spowodować negatywne zmiany w organizmie osoby narażonej na tego rodzaju promieniowanie. **Fizjologicznym efektem** tego zjawiska jest zwiększona generacja tzw. wolnych rodników w tkankach człowieka. Wolne rodniki są atomami pozbawionymi przez promieniowanie elektromagnetyczne elektronów walencyjnych. Niedobór elektronów walencyjnych sprawia, że atomy takie w sposób niekontrolowany tworzą tkankę nowotworową.

Negatywne efekty fizjologiczne może wywołać również prąd płynący bezpośrednio przez organizm człowieka. Skutki przepływu prądu przez człowieka w zależności od natężenia i przebiegu czasowego ujęto w tabeli 1.1, którą zaczerpnięto z publikacji [10].

Współczesne instalacje elektryczne, zasilane za pośrednictwem sieci energetycznej 230 V / 50 Hz, są wyposażone w zabezpieczenia różnicowo-prądowe, których prąd zadziałania ma wartość 30 mA. W przypadku nieświadomego kontaktu człowieka z przewodem fazowym L lub z przewodem neutralnym N sieci zasilającej, zabezpieczenie różnicowo-prądowe odłączy miejsce zagrożenia od tej sieci. Jeśli nie zadziała takie zabezpieczenie, ofiarę porażenia prądem elektrycznym należy odseparować od instalacji elektrycznej, wyłączając napięcie zasilające. Trzeba przy tym pamiętać, aby podczas akcji ratunkowej nie dotykać ofiary porażenia. Kolejnym krokiem, jaki należy wykonać, jest sprawdzenie oznak życia ofiary. W razie braku takich oznak należy przystąpić do reanimacji, wykonując sztuczne oddychanie i sprawdzając funkcjonowanie serca

Tabela 1.1.

Oddziaływanie prądu elektrycznego na człowieka

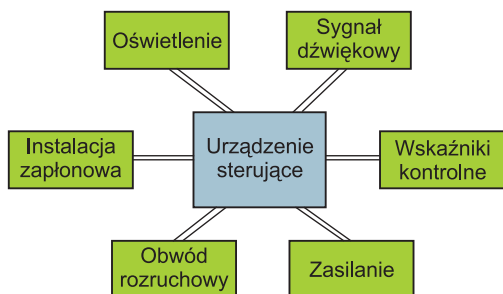
| Natężenie prądu | | Fizjologiczna reakcja człowieka | |
|------------------------------------|-----------------|---|--|
| Prąd przemienny | Prąd stały | Objawy widoczne | Objawy kliniczne |
| Do 25 mA | Do 80 mA | Reakcje mięśni palców. Przerwanie kontaktu z prądem jest jeszcze możliwe, gdy natężenie prądu ma wartość od 9 do 15 mA | Przejściowy wzrost ciśnienia krwi, bez wpływu na pracę serca i układ nerwowy |
| Od 25 do 80 mA | Od 80 do 300 mA | Natężenie prądu jest odczuwalne i nie powoduje utraty przytomności | Chwilowe zatrzymanie akcji serca i chwilowy wzrost ciśnienia krwi |
| Ponad 80 mA | Ponad 300 mA | Jeśli działanie prądu jest dłuższe niż 0,3 s, to następuje śmierć spowodowana zatrzymaniem akcji serca i oddychania | Migotanie komór serca |
| Ponad 3 mA (przy wysokim napięciu) | – | Poparzenia, odwodnienia | – |

przez dotykanie palcami tętnicy szyjnej. Gdy zaniknie akcja serca, należy wykonywać na przemian sztuczne oddychanie i masaż serca. W trakcie akcji reanimacyjnej należy wezwać pogotowie ratunkowe za pośrednictwem osób trzecich.

Zagrożenie porażenia prądem elektrycznym występuje nie tylko w przypadku bezpośredniego kontaktu człowieka z siecią energetyczną 230 V. Porażenie prądem elektrycznym może wystąpić również na skutek kontaktu z wysokonapięciową częścią instalacji zapłonowej samochodu, gdy stanowisko pracy będzie nieodpowiednio zabezpieczone. W celu wyeliminowania takiego zagrożenia, podczas wykonywania napraw obwodów wysokonapięciowych należy stać na gumowym dywaniku, nawet gdy nasze obuwie ma gumową podszewę.

1.4. Przewody elektryczne stosowane w samochodach

Sygnały elektryczne w pojazdach samochodowych są przekazywane między innymi za pośrednictwem przewodów elektrycznych. W początkowej fazie rozwoju motoryzacji, gdy w samochodach występowała niewielka liczba urządzeń i układów elektrycznych, stosowano zdecentralizowany system sterowania. Cechą charakterystyczną takiego systemu było łączenie wszystkich podzespołów elektrycznych z nadrzędnymi urządzeniami sterującymi za pomocą odrębnych par przewodów (rys. 1.8). W ten sposób były skonfigurowane główne układy elektryczne samochodu, tj.: zasilanie, rozruch, zapłon, oświetlenie, sy-



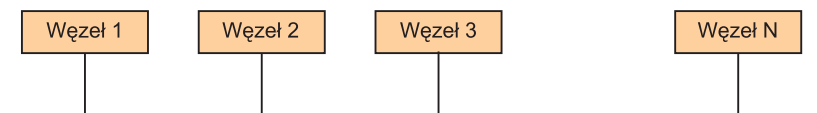
Rys. 1.8. Schemat funkcjonalny konwencjonalnej samochodowej instalacji elektrycznej

elektrycznej są grupowane w tzw. wiązki, łączone za pomocą odpowiednich styków. Jeśli do wykonania wiązki zastosowano przewody o dużym przekroju, to wiązka jest mało podatna na odkształcenia i może ulec uszkodzeniu nawet podczas montażu.

Reasumując, można stwierdzić, że konwencjonalna instalacja elektryczna nie pozwala na zamontowanie w samochodzie dużej liczby układów elektrycznych lub elektronicznych.

Rozwój mikroelektroniki spowodował, że praktycznie wszystkie informacje dotyczące układu jezdnego oraz sygnały sterujące pracą silnika, a także pochodzące od podzespołów bezpieczeństwa pojazdu, są szybkozmiennymi sygnałami cyfrowymi, tzn. przyjmują wartości logiczne 0 lub 1. Przesył takich sygnałów za pośrednictwem konwencjonalnej instalacji elektrycznej nie byłby możliwy ze względu na konieczność stosowania układów eliminujących sprzężenia między poszczególnymi torami przesyłowymi, zakłócające transmisję informacji w tych torach.

Problem transmisji sygnałów cyfrowych w pojazdach samochodowych rozwiązano, zastępując zdecentralizowaną instalację elektryczną systemem szeregowych magistrali cyfrowych, w których podzespoły elektroniczne są tzw. węzłami sieci – rys. 1.9.



Rys. 1.9. Magistralowy szeregowy system transmisji danych

System transmisji szeregowy jest stosowany w samochodach do przesyłania danych między sterownikami, układami elektronicznymi oraz w radiokomunikacji ruchomej. Opis systemu magistral stosowanych w technice samochodowej będzie zamieszczony w tomie drugim niniejszego podręcznika.

gnął dźwiękowy, wskaźniki kontrolne i sygnalizacyjne oraz wycieraczki.

W instalacji elektrycznej przedstawionej na rys. 1.8 liczba przewodów zależała od liczby odbiorników. Ze względu na znaczne długości odcinków instalacji elektrycznej, w celu zminimalizowania strat energii elektrycznej przekrój przewodów łączących poszczególne odbiorniki był niekiedy równy $2,5 \text{ mm}^2$. Aby ułatwić montaż, przewody instalacji

1.5. Pytania i zadania

1. Podaj kryterium podziału materiałów ze względu na ich przewodnictwo.
2. Zdefiniuj jednostkę natężenia prądu elektrycznego.
3. Podaj definicję ampera.
4. Jaka jest istota powstania napięcia elektrycznego? Podaj jednostkę tego napięcia.
5. Wymień rodzaje jonizacji gazów.
6. Podaj prawo Faradaya.
7. Jakie zastosowanie w przemyśle ma elektroliza?
8. Czym się różni półprzewodnik samoistny od niesamoistnego?
9. Jakie domieszki półprzewodników nazywamy akceptorowymi, a jakie donorowymi?
10. Wymień skutki przepływu prądu elektrycznego.
11. Wyjaśnij różnicę w budowie tradycyjnej i magistralowej instalacji samochodowej.

2. Obwody elektryczne prądu stałego

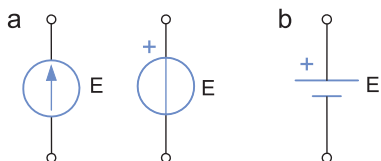
2.1. Schematy obwodów elektrycznych

Obwód elektryczny, niezależnie od jego przeznaczenia, tworzą źródło energii elektrycznej oraz odbiorniki dołączone do źródła za pośrednictwem przewodów elektrycznych. Wymienione elementy składowe powinny być tak połączone, aby istniała co najmniej jedna droga przepływu prądu elektrycznego.

Odwzorowaniem graficznym obwodu jest schemat uwidaczniający sposób połączenia jego elementów składowych. W celu ujednoczenia opisu graficznego, elementy składowe obwodu przedstawia się za pomocą znormalizowanych symboli graficznych.

2.1.1. Elementy obwodu elektrycznego oraz ich symbole

W obwodzie elektrycznym można wyodrębnić dwie grupy elementów: elementy czynne (aktywne) oraz elementy bierne. Nazwa elementów czynnych wynika z faktu wytwarzania przez te elementy energii elektrycznej. Typowymi przedstawicielami tej grupy są akumulatory, różnego rodzaju baterie, generatory elektromaszynowe oraz zasilające układy elektroniczne, zwane potocznie zasilaczami. Znormalizowane symbole graficzne źródła napięciowego oraz ogniwa elektrochemicznego przedstawiono na rys. 2.1.



Rys. 2.1. Symbole graficzne idealnego źródła napięcia (a) oraz symbol akumulatora (b)

Źródła energii elektrycznej są łączone z innymi elementami obwodu elektrycznego za pośrednictwem zacisków. W przypadku źródła napięciowego, zacisk o wyższym potencjale jest biegunem dodatnim oznaczanym symbolem (+), a zacisk o niższym potencjale stanowi biegun ujemny, oznaczany symbolem (-). Różnica potencjałów między biegunami nieobciążonego źródła napięcia, oznaczana literą E , jest nazywana siłą elektromotoryczną lub napięciem źródła.

Druga grupa to elementy bierne, będące odbiornikami energii elektrycznej.

Należą do niej:

- oporniki (zwane również rezystorami), które są odbiornikami zamieniającymi w sposób nieodwracalny energię prądu elektrycznego w energię ciepłą;
- cewki indukcyjne i kondensatory, które zamieniają energię stałego prądu elektrycznego odpowiednio w energię pola magnetycznego lub elektrycznego;
- przetworniki energii elektrycznej w energię mechaniczną (silniki elektryczne), chemiczną (wanny elektrolityczne) lub świetlną (światłówki, żarówki halogenowe itp.).

Pamiętajmy przy tym, że elementy aktywne w określonych stanach pracy mogą pełnić także rolę elementów biernych. Typowym przykładem takiego elementu jest rozładowany akumulator, który podczas ładowania jest odbiornikiem energii elektrycznej. Do tej grupy można również zaliczyć silnik prądu stałego napędzający pojazd elektryczny lub hybrydowy. Podczas hamowania pojazdu silnik ten jest wykorzystywany jako prądnicą ładująca akumulatory pojazdu.

W obwodach elektrycznych, oprócz źródeł energii elektrycznej, przewodów połączeniowych i wymienionych odbiorników biernych, występują też różnego rodzaju wyłączniki oraz przyrządy pomiarowe. Symbole graficzne typowych elementów elektrycznych i elektronicznych zamieszczono w tabelach 2.1, 2.2 i 2.3.

Tabela 2.1.

Wybrane symbole graficzne ogólne











| Symbol | Nazwa symbolu |
|---|--|
| — | Napięcie stałe, prąd stały |
|  | Napięcie przemiennie (sinusoidalne), prąd przemienny (sinusoidalny) |
|  | Prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz |
|  | Prąd stały lub przemienny, napięcie stałe lub przemiennie |
| + | Biegun plus (dodatni) |
| - | Biegun minus (ujemny) |
| N | Przewód neutralny linii zasilającej prądu przemiennego, punkt neutralny transformatora |
|  | Kierunek działania siły |
|  | Obrót lub wirowanie w kierunku oznaczonym strzałką |
|  | Kierunek przepływu energii lub sygnału, np. prądu |
|  | Impuls dodatni |
|  | Impuls ujemny |
|  | Uziemienie |
|  | Podstawa montażowa |

Tabela 2.1. (cd.)






| Symbol | Nazwa symbolu |
|---|-------------------------------------|
|  | Idealne źródło napięcia |
|  | Idealne źródło prądu |
|  | Akumulator, ogniwo elektrochemiczne |
| | Punkt pomiarowy |
|  | Magnes trwały |
|  | Transformator |

Tabela 2.2.

Symbole graficzne elementów półprzewodnikowych














| Symbol | Nazwa symbolu |
|---|--|
|  | Dioda półprzewodnikowa |
|  | Dioda elektroluminescencyjna (LED) |
|  | Dioda Zenera stabilizująca napięcie |
|  | Dioda dwukierunkowa (DIAC) |
|  | Tyrystor wyzwalany bramką |
|  | Tranzystor bipolarny NPN |
|  | Tranzystor bipolarny PNP |
|  | Tranzystor unipolarny z kanałem typu N |
|  | Tyrystor dwukierunkowy (triac) |
|  | Fotodioda |
|  | Fotoopornik |
|  | Fotoogniwo |
|  | Fototranzystor NPN |

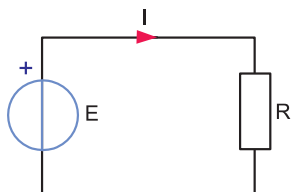
Tabela 2.3.

Wybrane symbole graficzne podzespołów łączeniowych, sterujących i zabezpieczających

| Symbol | Nazwa symbolu |
|--------|--|
| | Styk zwierny |
| | Styk rozwierny |
| | Styk przełączny |
| | Łącznik wielopolożeniowy |
| | Łącznik wielopolożeniowy przełączany płynnie |
| | Łącznik ręczny |
| | Łącznik ręczny – symbol ogólny |
| | Łącznik ręczny obrotowy |
| | Łącznik termiczny |
| | Łącznik bezpiecznikowy |
| | Bezpiecznik topikowy |
| | Lampka sygnalizacyjna |
| | Cewka napędowa przekaźnika – symbol ogólny |
| | Cewka napędowa przekaźnika zasilana prądem przemiennym |
| | Cewka napędowa przekaźnika szybkiego |
| | Cewka napędowa przekaźnika czasowego zamykanego z opóźnieniem |
| | Cewka napędowa przekaźnika czasowego otwieranego z opóźnieniem |
| | Cewka napędowa przekaźnika spolaryzowanego |
| | Cewka napędowa przekaźnika ryglowanego mechanicznie |
| | Dwuuzwojeniowa cewka napędowa przekaźnika |

2.1.2. Schematy obwodów elektrycznych i elektronicznych samochodu

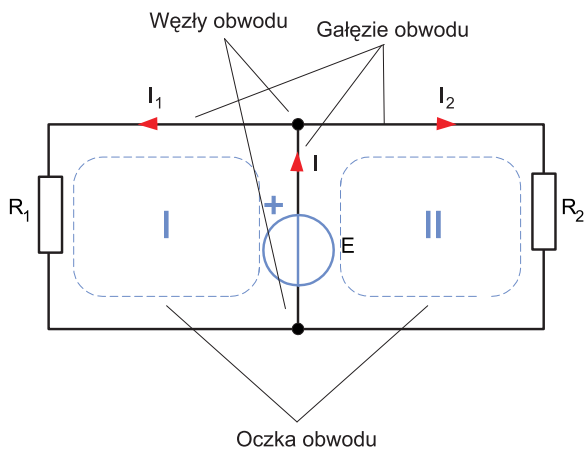
Elementy elektryczne są częścią obwodu niepodzielną pod względem fizycznym bez utraty charakterystycznych właściwości. W najprostszym przypadku obwód elektryczny można utworzyć, łącząc zaciski źródła napięcia elektrycznego oraz zaciski odbiornika, np. opornika, za pomocą przewodów. W tak utworzonym obwodzie może płynąć tylko jeden prąd elektryczny. Obwód taki nazywamy **obwodem nierozgałęzionym** – rys. 2.2.



Rys. 2.2. Nierozgałęziony obwód elektryczny

W rzeczywistych obwodach elektrycznych występuje większa liczba źródeł napięcia oraz odbiorników energii elektrycznej. Ze względu na wzajemne połączenia między tymi elementami, w obwodach takich płynie odpowiednio większa liczba prądów. Dlatego też

obwody wieloprądowe nazywamy **obwodami rozgałęzionymi** – rys. 2.3. W rozgałęzionych obwodach elektrycznych można wyodrębnić: **gałęzie**, **węzły** i **oczka**.



Rys. 2.3. Rozgałęziony obwód elektryczny o 2 oczkach, 2 węzłach i 3 gałęziach

Połączenie kilku elementów obwodu elektrycznego, przez które płynie ten sam prąd elektryczny, nazywamy **gałęzią** obwodu. Zaciski gałęzi obwodu są łączone razem za pośrednictwem **węzłów**.

W rozgałęzionym obwodzie elektrycznym występują co najmniej trzy gałęzie. W takim obwodzie również można wyróżnić niezależne **oczka**, które stanowią odrębną drogę przepływu prądu. Istotne jest oznaczenie kierunku prądu płynącego w zamkniętym obwodzie elektrycznym oraz oznaczenie kierunku spadku napięcia na odbiorniku (odbiornikach) tego obwodu.

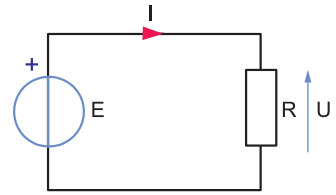
Ze względu na historyczne uwarunkowania, od czasów Jamesa Maxwella przyjmuje się, że prąd płynie zgodnie z kierunkiem ruchu ładunków dodatnich w przewodniku, tzn. od bieguna dodatniego do bieguna ujemnego źródła napięcia zasilającego obwód. Należy jednak pamiętać, że nośnikami prądu elektrycz-

nego są elektrony, płynące w kierunku przeciwnym (rys. 2.4). Podczas przepływu prądu przez odbiornik występuje na nim **spadek napięcia**.

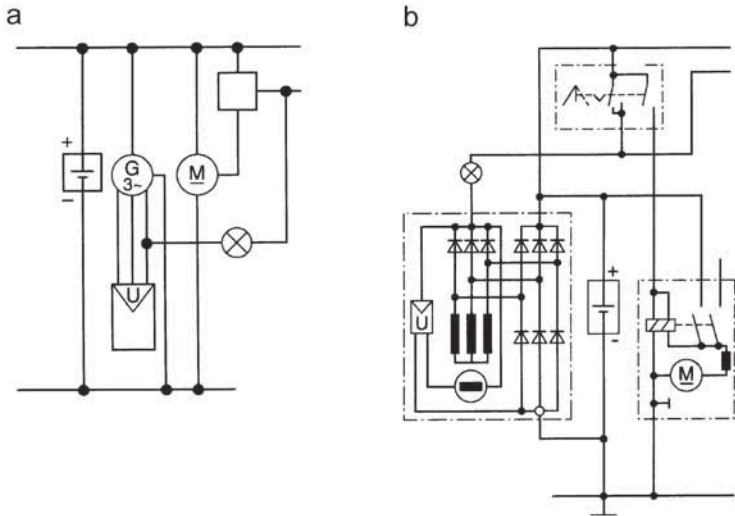
Jeżeli przyjmujemy, że zwrot strzałki spadku napięcia na elementach obwodu elektrycznego wskazuje zawsze zacisk o wyższym potencjale, to zwrot napięcia źródła zasilającego obwód elektryczny będzie taki sam, jak zwrot prądu płynącego w tym obwodzie (rys. 2.4).

Ze względu na dużą liczbę elementów i podzespołów, instalacja elektryczna samochodu nie może być przedstawiona w całości. Producenci pojazdów przedstawiają więc poszczególne obwody instalacji elektrycznej pojazdu odrębnie, w postaci tzw. schematów częściowych. Wzajemne połączenia między tymi obwodami uwiadczenia schemat główny.

Schematy częściowe mogą być prezentowane w postaci ideowej lub szczegółowej. Schemat ideowy uwiadczenia połączenia elektryczne według kierunku przepływu prądu (od + do -) i nie uwzględnia rzeczywistego rozmieszczenia poszczególnych podzespołów i elementów w samochodzie (rys. 2.5).



Rys. 2.4. Obwód elektryczny z zaznaczonym kierunkiem prądu oraz kierunkiem spadku napięcia na oporniku o rezystancji R



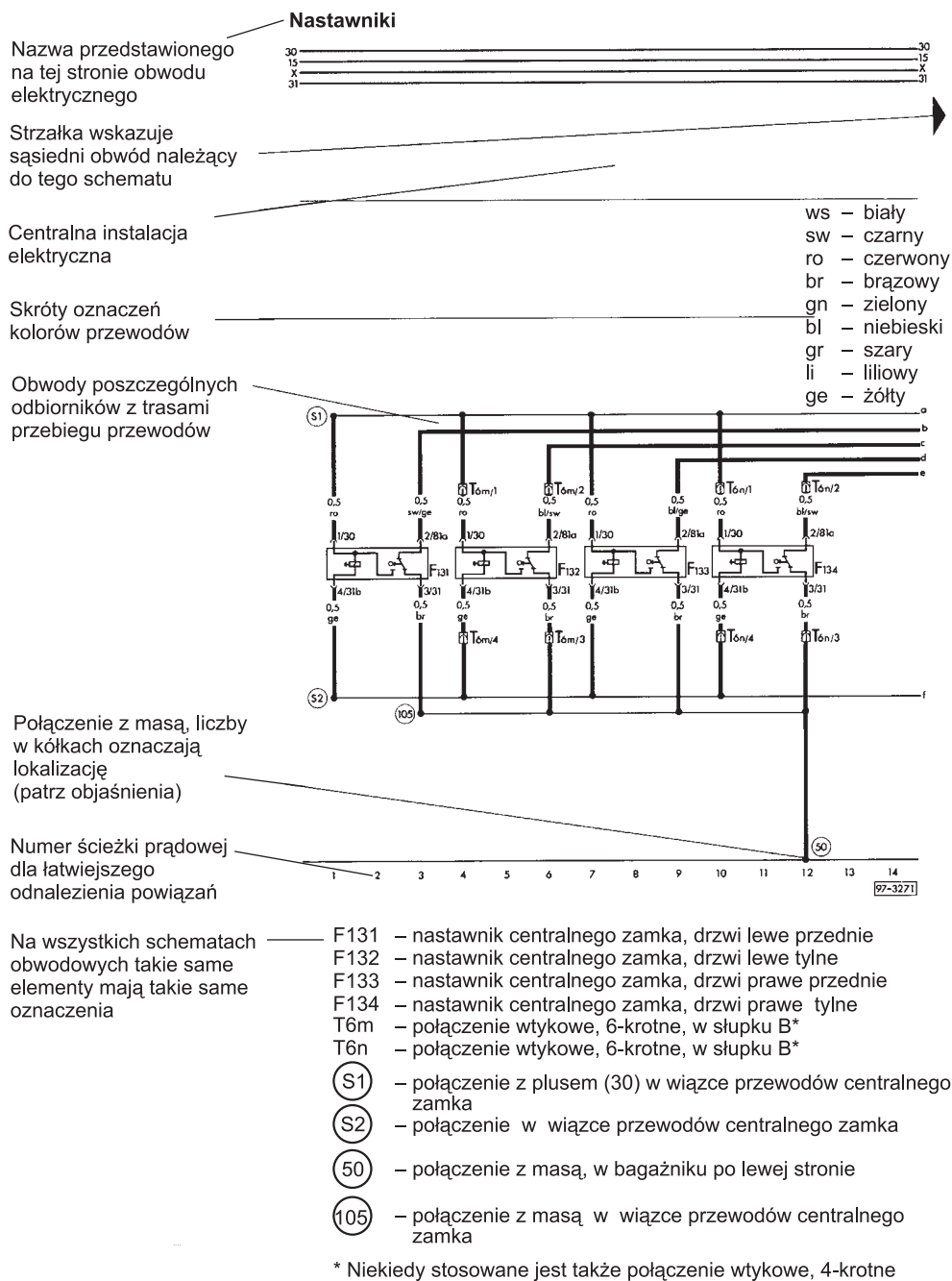
Rys. 2.5. Schemat ideowy (a) i szczegółowy (b) obwodu [10]

Jeśli podzespół elektryczny bądź elektroniczny ma swoje oznaczenie, to na schemacie ideowym nanosi się takie oznaczenie bez uwzględniania elementów składowych podzespołu. Elementy te uwzględnia się dopiero na schemacie szczegółowym, na którym są pokazane również drogi przewodów. Podobnie jak na schemacie ideowym, nie uwzględnia się rzeczywistego położenia elementów i podzespołów elektrycznych w samochodzie. W celu ułatwienia odczytywania, każdy element i podzespół przedstawiony na schemacie szczegółowym ma specyficzne oznaczenie i położenie (rys. 2.5b). Ponadto zaciski wtyków łączenio-

Nr. 7/1

Schemat obwodu

Passat



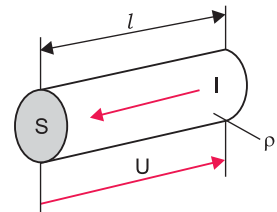
wych są sygnowane znormalizowanymi oznaczeniami, co ułatwia łączenie przewodów z instalacją elektryczną pojazdu (rys. 2.6).

2.2. Rezystancja i konduktancja przewodników

Jak już sygnalizowano, rezystancja obwodu odwzorowuje straty termiczne spowodowane przepływem prądu elektrycznego przez ten obwód. Dla ułatwienia interpretacji zjawisk fizycznych w obwodach elektrycznych straty te są skupione w elementach obwodu zwanych opornikami lub rezystorami. Oprócz strat cieplnych przepływ prądu I przez opornik o rezystancji R powoduje powstawanie na tym oporniku spadku napięcia U o wartości proporcjonalnej do wartości natężenia tego prądu, zgodnie z prawem Ohma (rys. 2.7):

$$U = R \cdot I \quad (2.1)$$

Jednostką rezystancji jest **om**: $[R] = \Omega$.



Rys. 2.7. Przewodnik o długości l i polu przekroju S

Przewody rysowane na schematach instalacji elektrycznej charakteryzują się zerową rezystancją. W rzeczywistości rezystancja ta zależy od przekroju poprzecznego S i długości l przewodu:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.2)$$

Występujący w tej zależności współczynnik proporcjonalności ρ oznacza rezystywność, której jednostką jest $\Omega \cdot \text{m}$, gdy długość l i przekrój S przewodnika są wyrażone odpowiednio: $[l] = \text{m}$ i $[S] = \text{m}^2$. W przypadku opisu pola przekroju przewodnika w mm^2 jednostką rezystywności jest $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Przykład 2.1

Oblicz przekrój czynny S przewodu o długości 1 m łączącego akumulator samochodowy z rozrusznikiem, przez który podczas rozruchu silnika przepływa prąd stały o natężeniu 50 A, tak aby spadek napięcia na tym przewodzie miał zgodnie z normą DIN 72551 wartość nieprzekraczającą 0,5 V, przy napięciu akumulatora równym 12 V. W obliczeniach przyjmij, że przewód jest wykonany z miedzi o rezystywności $\rho = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Porównaj wynik obliczeń z przekrojem czynnym przewodu o długości 3 m, na którym również przy przepływie prądu o natężeniu 50 A występuje spadek napięcia o wartości 0,5 V.

Rozwiązanie

Przekrój czynny jest przekrojem przewodnika, przez który przepływa prąd rozruchu.

Wartość rezystancji R tego przewodu wyznaczamy, korzystając z odpowiednio przekształconej zależności (2.1):

$$U = R I$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0,5 \text{ V}}{50 \text{ A}} = 0,01 \Omega = 10 \text{ m}\Omega$$

Następnie z zależności (2.2) wyznaczamy poszukiwany przekrój czynny S przewodu rozrusznika:

$$S = \rho \frac{l}{R} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{0,01 \Omega} = 1,78 \text{ mm}^2$$

Przewody elektryczne mają przekroje znormalizowane, zgodnie z następującym szeregiem wartości: 0,5, 1, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, ... mm². Pobieżne porównanie obliczonej wartości przekroju S może sugerować, że rozrusznik możemy zasilać za pomocą przewodu o przekroju 2,5 mm². Należy jednak pamiętać, że rezystancja przewodu ma pewną wartość i przepływ prądu powoduje wzrost temperatury przewodu, czego niekorzystnym skutkiem może być stopienie izolacji przewodu. W związku z tym zamiast przewodu o przekroju 2,5 mm² jest wskazane stosowanie przewodu o przekroju 4 mm².

Trzykrotne zwiększenie długości przewodu rozrusznika, z zachowaniem stałej wartości spadku napięcia na tym przewodzie, wymaga zastosowania przewodu o trzykrotnie większym przekroju poprzecznym:

$$S = \rho \frac{l}{R} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{3 \text{ m}}{0,01 \Omega} = 5,34 \text{ mm}^2$$

Uwzględniając kryterium termiczne, z przedstawionego szeregu wartości wybieramy przekrój przewodu rozruchowego równy 10 mm².

Przedstawiony przykład jest liczbowym uzasadnieniem celowości montowania akumulatora w przedziale silnika samochodu, ponieważ do połączenia tego akumulatora z rozrusznikiem znajdującym się w jego pobliżu można wykorzystać przewód o małym przekroju poprzecznym.

W normie DIN 72551 określono również dopuszczalne spadki napięć na innych przewodach samochodowych instalacji elektrycznych, zasilanych za pomocą akumulatora o napięciu 12 V, które powinny wynosić:

- połączenie alternator-akumulator o znamionowym napięciu 0,4 V,
- przewody zasilające żarówki o mocy do 15 W 0,6 V,
- przewody zasilające żarówki o mocy ponad 15 W 0,9 V.

Ze względów praktycznych bardzo często prawo Ohma jest zapisywane w postaci:

$$I = G \cdot U \tag{2.3}$$

W zależności tej $G = \frac{1}{R}$ oznacza konduktancję, czyli przewodność, której jednostką jest **simens**: $[G] = S$. Zastąpienie rezystancji R oporników ich konduktancją G jest szczególnie przydatne do opisu właściwości materiałów słabo przewodzących prąd elektryczny, np. materiałów izolacyjnych o rezystancji około 100 k Ω i więcej.

2.3. Prawa Kirchhoffa

Obwody elektryczne, podobnie jak inne układy fizyczne, podlegają prawu zachowania energii. W odniesieniu do obwodów elektrycznych prawo to opisują dwa prawa Kirchhoffa.

Pierwsze prawo Kirchhoffa dotyczy rozptywu prądów w węźle obwodu elektrycznego prądu stałego i jego treść jest następująca: **dla każdego węzła obwodu rozgałęzionego suma prądów w tym węźle jest równa zero**

$$\sum_k I_k = 0$$

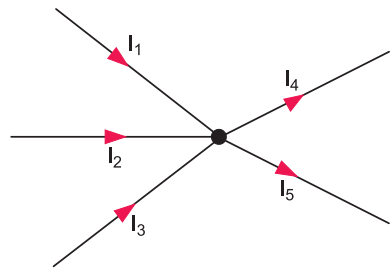
(2.4)

W zależności tej wskaźnik k określa liczbę gałęzi połączonych rozpatrywanym węzłem.

Fizyczny sens tego prawa wyjaśnia zależność (2.5), którą wyznaczono, przyjmując, że prądy dopływające do węzła mają wartość dodatnią, a prądy odpływające są ujemne (rys. 2.8):

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

(2.5)



Rys. 2.8. Węzeł obwodu elektrycznego

Jeśli uwzględnimy znaki prądów, równanie (2.5) można przekształcić do postaci:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

(2.6)

w której prądy dopływające do węzła oraz prądy odpływające znajdują się odpowiednio z lewej oraz z prawej strony znaku równości. Z równania tego wynika inna postać pierwszego prawa Kirchhoffa, informująca, że **suma prądów dopły-**