TADEUSZ MASEWICZ
STANISŁAW-J-PAUL

podstawy ELEKTROTECHNIKI

CZĘŚĆ - I

DLA SAMOUKÓW

TADEUSZ MASEWICZ i STANISŁAW JULIAN PAUL

PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI

DLA SAMOUKÓW

POD REDAKCJĄ K. MAJKOWSKIEGO

CZĘŚĆ

WARSZAWA
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA SZKOLNICTWA ZAWODOWEGO

Redaktor: *Konstanty Majkowski*
Okładkę projektował: *Tadeusz Dworzański*

Książka zatwierdzona do użytku szkolnictwa zawodowego pismem Ministerstwa Oświaty z dnia 6. 7. 1961 r. nr P3-2438/61 jako podręcznik dla techników zaocznych o specjalności elektrycznej, sem. III i IV

Książka zawiera wiadomości z podstaw elektrotechniki, opracowane zgodnie z obowiązującym programem dla techników elektrycznych i łączności (młodzieżowych, zaocznych i dla pracujących). Wydanie niniejsze obejmuje treść opisaną w częściach I i II wydań poprzednich (1958 — 1960), poprawioną i uzupełnioną w myśl zaleceń konferencji delegatów ośrodków metodycznych — nauczycieli podstaw elektrotechniki — która się odbyła w Krakowie w maju 1960 r.

W książce omówiono: podstawowe prawa dotyczące przepływu prądu stałego, obliczania obwodów elektrycznych, elektrolizę, półprzewodniki, wyładowania w próżni i gazach, elektrostatykę.

Metoda wykładu umożliwia korzystanie z książki nie tylko uczniom techników, ale i tym wszystkim, którzy przygotowują się do egzaminu z podstaw elektrotechniki bez pomocy nauczyciela.

Redaktor techniczny: *Barbara Chodyńska* Korektor: *Zofia Mikita*

PWSZ 1962. Wydanie IV zmienione (I nakład podstawowy). Nakład 20 000 + 200 egz. Ark. wyd. 28,5. Ark. druk 22,5 (znorm. 29,92). Papier druk. sat. kl. V, B1, 70 g. z Fabryki Papieru w Częstochowie. Oddano do składania 26. IX. 1961. Podpisano do druku 28. III. 1962. Druk ukończono w kwietniu 1962. Cena zł. 31.—

Drukarnia Techniczna, Bytom, ul. Przemysłowa 2 - zam. 1065 - G-5

SPIS TREŚCI

Przedmowa do wydania I 7
Wskazówki do korzystania z podręcznika 8

Lekcja 1. Wiadomości wstępne 12
1.1. Dwa rodzaje elektryczności 12
1.2. Części składowe materii 14
1.3. Budowa atomu 18

Lekcja 2. Wiadomości wstępne (cd.) 22
2.1. Jony dodatnie i ujemne 22
2.2. Elektrony swobodne. Kulomb 23
2.3. Przewodniki, nieprzewodniki i półprzewodniki 24
2.4. Elektryzowanie przez tarcie i styk 25
2.5. Elektryzowanie przez influencję 26

Lekcja 3. Pole elektryczne. Prawo Coulomba 30
3.1. Pole elektryczne 30
3.2. Prawo Coulomba 33
3.3. Przenikalność dielektryczna 34

Lekcja 4. Praca sił pola elektrycznego 37
4.1. Potencjał elektryczny ciała naelektryzowanego 37
4.2. Potencjał elektryczny w punkcie pola elektrycznego 40
4.3. Napięcie elektryczne 42

Lekcja 5. Obwód elektryczny 44
5.1. Prąd elektryczny 44
5.2. Kierunek prądu elektrycznego 45
5.3. Obwód elektryczny 47
5.4. Spadek napięcia w przewodzie wiodącym prąd 48

Lekcja 6. Natężenie i gęstość prądu elektrycznego. Obowiązujący układ jednostek 51
6.1. Natężenie prądu elektrycznego 51
6.2. Wartość natężenia prądu elektrycznego w różnych przekrojach nierozgałęzionego obwodu 52
6.3. Gęstość prądu elektrycznego 53
6.4. Prędkość przepływu elektronów w przewodach metalowych . . . 54
6.5. Obowiązujący układ jednostek MKSA 54
6.6. Oznaczenia stosowane powszechnie w elektrotechnice 57

Lekcja 7. Praca i moc prądu elektrycznego 60
7.1. Praca i energia źródła prądu 60
7.2. Praca wykonana przez źródło prądu w częściach obwodu wewnętrznej i zewnętrznej 61
7.3. Moc prądu elektrycznego 63

Lekcja 8. Prawo Ohma 68
8.1. Wiadomości wstępne 68
8.2. Prawo Ohma 69
8.3. Szeregowe łączenie oporności 71
8.4. Przewodność elektryczna 72

Lekcja 9. Prawo Ohma (cd.) 75
9.1. Zależność oporności od długości, przekroju i rodzaju materiału przewodu 75
9.2. Przewodność właściwa 78
Lekcja 10. Wpływ czynników zewnętrznych na oporność 82
10.1. Zależność oporności od temperatury przewodnika 82
10.2. Nadprzewodnictwo metali 85
10.3. Wpływ innych czynników zewnętrznych na oporność 86
Lekcja 11. Przemiana energii elektrycznej w cieplną 87
11.1. Wiadomości wstępne 87
11.2. Prawo Lenza i Joule'a 88
Lekcja 12. Przemiana energii elektrycznej w cieplną (cd.) 93
12.1. Omówienie prawa Lenza i Joule'a 93
12.2. Sprawność urządzeń grzejnych 95
Lekcja 13. Obliczanie przewodów 98
13.1. Dopuszczalne obciążenie przewodów 98
13.2. Bezpieczniki 104
13.3. Obliczanie przewodów na spadek napięcia 106
Lekcja 14. Powtórzenie materiału lekcji 1 ÷ 13 109
Lekcja 15. Prosty obwód elektryczny 114
15.1. Prawo Ohma dla obwodu składającego się ze źródła prądu i oporności 114
15.2. Obwód elektryczny z dwiema siłami elektromotorycznymi . . . 116
15.3. Wykres potencjałów 120
Lekcja 16. Prawo Kirchhoffa 123
16.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa 123
16.2. Drugie prawo Kirchhoffa 126
Lekcja 17. Równoległe łączenie oporności 131
17.1. Wiadomości wstępne 131
17.2. Równoległe łączenie oporności 131
Lekcja 18. Przykłady szeregowego i równoległego łączenia oporności. Mieszane łączenie oporności. Rozszerzanie zakresu pomiarowego amperomierza 139
18.1. Obliczanie obwodów o szeregowym i równoległym połączeniu odbiorników 139
18.2. Mieszane łączenie oporności 140
18.3. Rozszerzanie zakresu pomiarowego amperomierza 142
Lekcja 19. Rozszerzanie zakresu pomiarowego woltomierza. Pomiar oporności 145
19.1. Rozszerzanie zakresu pomiarowego woltomierza 145
19.2. Pomiar oporności metodą techniczną 146
19.3. Pomiar oporności metodą mostkową 148
Lekcja 20. Obliczanie obwodów złożonych metodą równań Kirchhoffa . . 151
Lekcja 21. Obliczanie obwodów złożonych metodami napięcia międzywęzłowego i superpozycji 157
21.1. Metoda napięcia międzywęzłowego 157
21.2. Metoda superpozycji 160
Lekcja 22. Metoda przekształcania 164
Lekcja 23. Metoda Thevenina. Metoda Nortona 170
23.1. Metoda Thevenina 170
23.2. Metoda Nortona 173
Lekcja 24. Powtórzenie wiadomości zawartych w lekcjach 15 ÷ 23 . . . 177
Lekcja 25. Przewodzenie prądu elektrycznego przez ciecze 183
25.1. Elektrolity 183
25.2. Dysocjacja elektrolityczna 183
25.3. Przewodnictwo elektrolityczne 185
25.4. Oporność wewnętrzna elektrolitów 187

Lekcja 26. Prawo Faradaya 188
26.1. Elektroliza siarczanu miedzi 188
26.2. Prawo Faradaya 189
26.3. Przykłady zastosowania elektrolizy 193
Lekcja 27. Ogniwa 197
27.1. Powstawanie siły elektromotorycznej na styku między metalem a elektrolitem 197
27.2. Polaryzacja elektrod 200
27.3. Energia i wielkości charakterystyczne ogniwa 201
27.4. Ustrój ogniw galwanicznych 202
Lekcja 28. Akumulatory ołowiowe 205
28.1. Zadania akumulatorów, rodzaje i typy 205
28.2. Zasada działania akumulatora ołowiowego 207
28.3. Budowa akumulatora 208
Lekcja 29. Charakterystyka elektryczna akumulatorów. Akumulatory zasadowe 210
29.1. Pojemność akumulatora 210
29.2. Ładowanie i wyładowywanie akumulatorów 211
29.3. Sprawność akumulatora 214
29.4. Akumulatory zasadowe 216
Lekcja 30. Łączenie źródeł prądu 219
30.1. Szeregowe łączenie źródeł prądu 219
30.2. Równoległe łączenie źródeł prądu 221
Lekcja 31. Łączenie źródeł prądu (cd.) 230
31.1. Połączenie szeregowo-równoległe (mieszane) źródeł prądu 230
31.2. Wpływ oporności wewnętrznej źródła prądu na jego sprawność i na największą moc prądu, jaki można pobierać z tego źródła . . . 231
Lekcja 32. Termoelektryczność 236
32.1. Stykowa siła elektromotoryczna 236
32.2. Zjawisko termoelektryczne 238
32.3. Praktyczne wyzyskanie zjawiska termoelektrycznego 239
Lekcja 33. Wyładowania w próżni 241
33.1. Wiadomości ogólne o emisji elektronów 241
33.2. Emisja termoelektronowa 243
33.3. Emisja wtórna 243
33.4. Lampa dwuelektrodowa 244
Lekcja 34. Lampy wieloelektrodowe 247
34.1. Lampa trójelektrodowa 247
34.2. Lampa oscyloskopowa 249
34.3. Komórka fotoelektryczna 252
Lekcja 35. Prąd elektryczny w gazach 253
35.1. Przewodnictwo elektryczne gazów 253
35.2. Przepływ prądu przez gaz 254
35.3. Oporność gazu przewodzącego prąd 256
35.4. Wyładowania w powietrzu 257
35.5. Zastosowanie wyładowań elektrycznych w gazach 260
Lekcja 36. Półprzewodniki. Prostowniki 262
36.1. Ogólne wiadomości o półprzewodnikach 262
36.2. Prostowniki półprzewodnikowe 263
36.3. Prostowniki selenowe i miedziowe 264
Lekcja 37. Półprzewodniki. Prostowniki (cd.) 267
37.1. Struktura germanu 267
37.2. Diody krystaliczne 270
Lekcja 38. Półprzewodniki (cd.). Inne zastosowania półprzewodników . . 273
38.1. Tranzystory warstwowe 273
38.2. Tranzystor ostrzowy 277
38.3. Porównanie tranzystorów z lampami elektronowymi 277

38.4. Oporniki fotoelektryczne . . . 278
38.5. Ogniwa fotoelektryczne . . . 278
38.6. Termistory i waristory . . . 279

Lekcja 39. Graficzne przedstawienie pola elektrycznego. Natężenie pola równomiernego . . . 281
39.1. Graficzne przedstawianie pola elektrycznego . . . 281
39.2. Pole odosobnionego ładunku skupionego w punkcie . . . 285
39.3. Zależność natężenia równomiernego pola elektrycznego od napięcia między dwoma punktami tego pola . . . 287

Lekcja 40. Powierzchnie ekwipotencjalne. Strumień natężenia pola elektrycznego . . . 290
40.1. Powierzchnie ekwipotencjalne . . . 290
40.2. Strumień natężenia pola elektrycznego . . . 294
40.3. Twierdzenie Gaussa . . . 294

Lekcja 41. Pojemność elektryczna . . . 298
41.1. Wstęp . . . 298
41.2. Pojemność elektryczna . . . 300
41.3. Jednostka pojemności. Przykłady . . . 302

Lekcja 42. Ładowanie i wyładowanie kondensatora. Budowa kondensatorów. Pojemność kondensatora płaskiego . . . 306
42.1. Ładowanie i wyładowanie kondensatora . . . 306
42.2. Budowa kondensatorów . . . 307
42.3. Pojemność kondensatora płaskiego . . . 308

Lekcja 43. Łączenie kondensatorów . . . 313
43.1. Równoległe łączenie kondensatorów . . . 313
43.2. Szeregowe (posobne) łączenie kondensatorów . . . 314
43.3. Mieszane łączenie kondensatorów . . . 317

Lekcja 44. Kondensator płaski o dwuwarstwowym dielektryku. Kondensator kulisty . . . 320
44.1. Kondensator o dwuwarstwowym dielektryku . . . 320
44.2. Kondensator kulisty . . . 325

Lekcja 45. Kondensator cylindryczny. Pojemność linii dwuprzewodowej. Obliczanie pojemności elektrycznej niektórych układów . . . 329
45.1. Kondensator cylindryczny . . . 329
45.2. Pojemność linii dwuprzewodowej . . . 330
45.3. Obliczanie pojemności elektrycznej niektórych układów izolacyjnych 332

Lekcja 46. Energia pola elektrycznego . . . 336
46.1. Doświadczenie . . . 336
46.2. Praca prądu elektrycznego w obwodzie zawierającym pojemność . 337
46.3. Energia pola elektrycznego . . . 341
46.4. Siła wzajemnego przyciągania się okładzin kondensatora płaskiego . 344
46.5. Skutki zmian odległości okładzin naładowanego kondensatora . . 346

Lekcja 47. Lekcja powtórzeniowa materiału zawartego w lekcjach 25 ÷ 46 348

Skorowidz . . . 355

PRZEDMOWA DO WYDANIA I

Poczuwamy się do miłego obowiązku podziękowania wszystkim tym, którzy w trakcie opracowywania niniejszego podręcznika okazali nam życzliwą radę i pomoc.

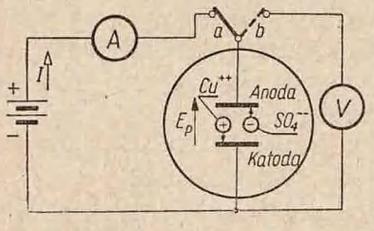
W szczególności pragniemy wyrazić naszą wdzięczność propagatorowi podręczników specjalnych dla zaocznego szkolnictwa zawodowego, Redaktorowi Waldemarowi Galsterowi tak za inicjatywę opracowania naszego podręcznika, jak i podzielenie się z nami swoim doświadczeniem co do układu i ujęcia dydaktycznego. Niemniej zobowiązani czujemy się wobec Profesora mgr inż. Konstantego Majkowskiego, który włożył wiele trudu i zapału w redakcję podręcznika i podsunął nam niejeden cenny pomysł przy rozwiązywaniu trudniejszych problemów. Podkreślamy też z wielkim uznaniem, że do ostatecznej formy podręcznika przyczyniły się wnikliwe i twórcze uwagi recenzenta i opiniodawcy rękopisów pracy mgr inż. Wacława Kowalskiego.

Zdajemy sobie jednak sprawę, że mimo wszystko tak nowatorski podręcznik obarczony jest licznymi niedoskonałościami. Dlatego prosimy wszystkich odbiorców książki o nadsyłanie spostrzeżeń krytycznych i życzeń, które w ewentualnych następnych wydaniach w miarę możliwości uwzględnimy. Uwagi prosimy kierować pod adresem: Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego, Warszawa, ul. Pankiewicza 3.

Autorzy

27.2. Polaryzacja elektrod

Doświadczenie. Do roztworu siarczanu miedzi $CuSO_4$ zanurzamy dwie elektrody z tego samego metalu, np. dwie elektrody platynowe. Przyłączony do zacisków woltomierz nie wskazuje żadnego napięcia (rys. 27.4, położenie przełącznika *b*), co dowodzi, że w tym układzie nie ma różnicy potencjałów między elektrodami.



Rys. 27.4. Układ do doświadczenia wykazującego polaryzację elektrod platynowych

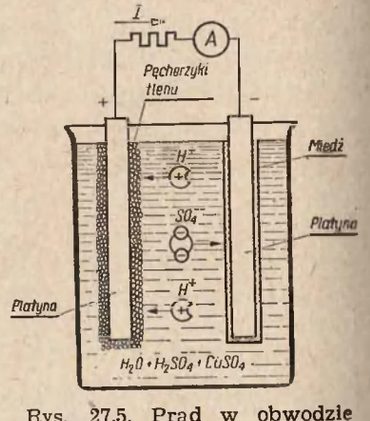
Jeżeli następnie przez tego rodzaju zespół przepuścimy prąd elektryczny z obcego źródła (rys. 27.4, położenie przełącznika *a*), to do katody będą kierowały się kationy miedzi Cu^{++}, do anody zaś będą wędrować aniony SO_4^{--}. Kationy miedzi po zobojętnieniu swojego ładunku (przez pobranie z katody elektronów) będą się osadzały na katodzie platynowej. Aniony SO_4^{--} natomiast po oddaniu ładunku (elektronów) anodzie wejdą w reakcję z wodą, w rezultacie której powstaną cząsteczki kwasu siarkowego i tlenu, zapiszemy to w następujący sposób:

$$SO_4^{--} - 2e \rightarrow SO_3 + \frac{1}{2} O_2$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

Jak więc widzimy, w czasie trwania omawianej elektrolizy katoda platynowa pokrywa się miedzią, anoda zaś pęcherzykami tlenu, w elektrolicie wreszcie oprócz rozpuszczonych cząsteczek $CuSO_4$ powstają cząsteczki H_2SO_4 (rys. 27.5).

Obserwując amperomierz stwierdzamy, że w miarę trwania elektrolizy i pokrywania się elektrod platynowych warstewką miedzi i warstwą pęcherzyków tlenu natężenie prądu płynącego ze źródła maleje. Możemy więc powiedzieć, że w miarę postępowania elektrolizy otrzymaliśmy katodę miedzianą i anodę tlenową, gdyż te materiały stykają się obecnie z elektrolitem.



Rys. 27.5. Prąd w obwodzie o elektrodach spolaryzowanych

Odłączając teraz źródło prądu i dołączając woltomierz (położenie *b* na rys. 27.4) stwierdzamy różnicę potencjałów między elektrodami. O elektrodach tych mówimy, że **są spolaryzowane.** Powstała w wyniku polaryzacji elektrod różnica potencjałów między nimi nazywa się **siłą elektromotoryczną polaryzacji.**

Znobserwowane uprzednio zmniejszanie się natężenia prądu podczas postępowania elektrolizy jest wynikiem:

1) powstawania siły elektromotorycznej E_p polaryzacji elektrod o kierunku przeciwnym do prądu płynącego ze źródła oraz

2) coraz gorszego przewodnictwa prądu przez anodę pokrywającą się warstwą źle przewodzącego tlenu.

Jeżeli do spolaryzowanych przez elektrolizę jednorodnych elektrod (np. platynowych) przyłączymy opornik i amperomierz (rys. 27.5), to zaobserwujemy przepływ prądu od anody do katody, tj. w kierunku przeciwnym niż poprzednio.

Z doświadczenia tego widzimy, że opisany układ stał się źródłem s.em. i źródłem prądu. Kierunek powstałej siły elektromotorycznej o wartości około 1 V jest przeciwny kierunkowi prądu powodującemu elektrolizę, a przepływ prądu przez obwód trwa dopóty, dopóki z anody nie znikną pęcherzyki tlenu.

27.3. Energia i wielkości charakterystyczne ogniwa

Wyjaśniliśmy, w jaki sposób powstaje siła elektromotoryczna w ogniwie galwanicznym lub w ogniwie spolaryzowanym. Zastanowimy się obecnie, skąd bierze się ta energia, którą czerpiemy w postaci energii prądu elektrycznego płynącego w obwodzie zasilanym z ogniwa galwanicznego.

Jak wiemy, podczas spalania się węgla (utleniania) zachodzi reakcja chemiczna, przy której wyzwala się energia w postaci ciepła. Podobnie **podczas poboru prądu z ogniwa, zachodzą w nim reakcje chemiczne między materiałami elektrod i elektrolitem; w wyniku zachodzących procesów następuje przemiana energii chemicznej w energię elektryczną.**

W wypadku polaryzacji jednakowych elektrod, opisanym w paragrafie 27.2 miało miejsce zjawisko odwrotne: kosztem energii przepływającego prądu elektrycznego występowały reakcje przemiany wodnego roztworu siarczanu miedzi w miedź, tlen i kwas siarkowy oraz przemiana energii elektrycznej w chemiczną. Z tak spolaryzowanego zespołu można było, jak mówiliśmy, pobierać prąd. Ze względu na działanie ogniwa dzielimy na dwie zasadnicze grupy. Ogniwa pierwotne i wtórne.

Ogniwami pierwotnymi (nieodwracalnymi) nazywają się ogniwa, w których w czasie przekształcania energii chemicznej w energię elektryczną zużywane są materiały, tak że proces nie może być odwrócony.

Ogniwami wtórnymi (odwracalnymi) nazywają się ogniwa, które po wyładowaniu można doprowadzić do stanu pierwotnego przepuszczając prąd z obcego źródła. Kierunek przepływu prądu musi być wtedy przeciwny temu, który występuje, gdy ogniwo oddaje energię elektryczną.

Każde ogniwo charakteryzuje się siłą elektromotoryczną, pojemnością i opornością wewnętrzną.

CENA ZŁ 31.—