

PODSTAWY NAUKOWE  
**ELEKTROTECHNIKI**

ŁĄCZNIE Z ZASADAMI POMIARÓW.

---





621.3

Wojciech Bielecki

# PODSTAWY NAUKOWE ELEKTROTECHNIKI

ŁĄCZNIE Z ZASADAMI POMIARÓW

NAPISAŁ

**MIECZYŚŁAW POŻARYSKI**

INŻYNIER-ELEKTROTECHNIK

Z 427 RYSUNKAMI W TEKSCIE



Z ZAPOMOZI KASY POMOCY DLA OSÓB PRACUJĄCYCH NA  
POLU NAUKOWEM IM. D-RA MED. JÓZEFA MIANOWSKIEGO



WARSZAWA

SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI GEBETHNERA I WOLFFA

1915

Дозволено Военною Цензурою.

Варшава, 23 Сентября 1914 г.



Друк Rubieszewskiego i Wrotnowskiego w Warszawie.

~~448 44-84~~ D

BZ07PK/005-12



*Zacząłem 14 lipca  
1916 r.  
drugi raz zacząłem 29 października r. st. 1916 r.*

## PRZEDMOWA.

Książka ta powstała przez uzupełnienie treści moich wykładów w szkole średniej technicznej i stanowi wstęp do elektrotechniki.

Wybór i układ materiału zostały dokonane w przeświadczeniu, iż rzecz, ujęta w pewien logiczny całościowy kształt, łatwiej i trwalej układa się w świadomości człowieka od luźnego zespołu nie powiązanych wyraźnie ze sobą przedmiotów. Poza tem cel wykładu—podanie zasad naukowych elektrotechniki praktycznej—rozstrzygał także w wielu razach przy opracowaniu treści książki.

W wykładzie została zupełnie pominięta hipoteza elektronowa elektryczności ze względu na to, że w przyjętej postaci rozważania jest ona zupełnie zbyt techniczna. Zresztą czytelnik ma rzecz powyższą dość szeroko i umiejętnie wyłożoną w III tomie „Zasad fizyki“ prof. A. Witkowskiego. Na książkę prof. Witkowskiego powołuję się zawsze, gdy chodzi o zwrócenie uwagi czytelnika na szczegóły, stanowiące przedmiot fizyki.

Studjowanie poważnie ujętych zasad teoretycznych elektrotechniki jest możliwe tylko po zdobyciu elementarnych wiadomości o zjawiskach elektromagnetycznych, chociażby w zakresie dobrego podręcznika fizyki dla szkół średnich. To też wykład w tej książce prowadzony jest w przypuszczeniu, że czytelnik zna najważniejsze zjawiska elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne, chociażby bez ścisłego ujęcia matematycznego. W niektórych wypadkach odsyłam czytelnika do rozdziałów dalszych po uzasadnienie stosowanych wzorów. Nie sądzę jednak, aby to utrudniło zrozumienie treści wykładu, natomiast w ten sposób staje się możliwem przeprowadzenie pewnej jednolitej myśli przewodniej, którą wyjaśniam na wstępie.

Zasady pomiarów elektrycznych podałem w tym celu, aby czytelnik dowiedział się, w jaki sposób dochodzimy do liczb, wyrażających różne wielkości, i zapoznał się z zasadami najważniejszych sposobów mierzenia w praktyce elektrotechnicznej. Mając to na względzie, opuściłem wiele wskazówek praktycznych, niezbędnych przy przeprowadzaniu pomiarów. Czytelnik, mający zamiar przystąpić do pomiarów,



powinien zapoznać się ze szczegółami tej sprawy jeszcze z innej książki, poświęconej wyłącznie temu działowi elektrotechniki. Literatura tego przedmiotu w językach francuskim i niemieckim jest dość obszerna. W języku polskim mamy książkę p. K. Drewnowskiego „Pomiary elektrotechniczne“, w której jest dość dużo wskazówek praktycznych.

Wobec braku ustalonego słownictwa elektrotechnicznego wprowadziłem kilka wyrazów nowych, używanych przeze mnie od szeregu lat przy wykładach. Gdy chodzi jednak o wyrazy ważniejsze, podaję zawsze obok przyjętych przeze mnie, inne nazwy, stosowane w książkach polskich.

Prof. W. Biernackiemu winien jestem wdzięczność za uwagi, dotyczące wstępu, p. W. Wernerowi za przejrzanie i uwagi względem treści całej książki, p. S. Landauowi za przejrzanie niektórych rozdziałów, p. K. Sławińskiemu za uwagi w dziale elektrochemji, a pp. S. Kossuthowi, L. Buszkowskiemu i S. Twardowskiemu za korektę literacką.

Rysunki, pomieszczone w książce, są oryginalne, za wyjątkiem: 20 i 21, wziętych z dzieła Dr. G. Mie „Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus“, rys. 194 z książeczki I. Hermann'a „Elektrotechnik“, rys. 210 i 211 z książki Benischke'go „Grundlagen der Elektrotechnik“, rys. 299 z katalogu Hartman'a i Braun'a. rys. 300 z książki p. H. Pellat'a „Cours d'électricité“, rys. 303 i 304 z książki pp. Hallo i Land'a „Messungen und Messinstrumente“, rys. 306 z książki p. H. Pellat'a, wspomnianej wyżej, oraz za wyjątkiem rysunków, wykonanych według fotograficznych zdjęć przyrządów; te rysunki są zaczerpnięte z katalogów firm: Hartmann'a & Braun'a, Siemens'a & Halske'go, Carpentier'a i Arona.

*Autor.*

Warszawa w lutym 1915 r.



# SPIS RZECZY.

## W S T Ę P.

### CZĘŚĆ I.

#### Wielkości charakterystyczne dla prądu elektrycznego.

- ROZDZIAŁ I. Siła prądu . . . . . Str. 5—10.  
1. Masa magnetyczna. 2. Natężenie pola magnetycznego. 3. Pole magnetyczne, wywołane przez prąd elektryczny. 4. Wielkość siły prądu. 5. Wielkość czynna prądu zmiennego. 6. Wielkość średnia prądu
- ROZDZIAŁ II. Ilość elektryczności. . . . . Str. 11—12.
- ROZDZIAŁ III. Napięcie prądu, jego praca i moc. . . . . Str. 13—15.
- ROZDZIAŁ IV. Siła elektromotoryczna. . . . . Str. 16—20.  
1. Określenie zasadnicze. 2. Siła elektromotoryczna welektrostatyce. 3. Kształt krzywej siły elektromotorycznej.

### CZĘŚĆ II.

#### Własności obwodu elektrycznego.

- ROZDZIAŁ V. Opór omiczny i przewodnictwo ciał. . . . . Str. 21—27.  
1. Określenie zasadnicze. 2. Opór właściwy i przewodnictwo. 3. Wytrzymałość izolatorów.
- ROZDZIAŁ VI. Własności magnetyczne ciał. . . . . , Str. 28—46.  
1. Indukcja magnetyczna. 2. Uzasadnienie teoretyczne pojęcia indukcji magnetycznej. 3. Własności magnetyczne żelaza.
- ROZDZIAŁ VII. Obwód magnetyczny. . . . . Str. 47—66.  
1. Strumień indukcji magnetycznej. 2. Teoretyczne uzasadnienie własności strumienia indukcji magnetycznej. 3. Rodzaje obwodów magnetycznych. 4. Związek pomiędzy siłą prądu a strumieniem indukcji magnetycznej. 5. Obwód magnetyczny doskonały. 6. Obwód magnetyczny niedoskonały. 7. Sposób praktyczny obliczania liczby amperozwojów. 8. Obliczenie magnesów stałych, stanowiących obwód prawie doskonały.
- ROZDZIAŁ VIII. Samoindukcja. . . . . Str. 67—76.  
1. Pojęcia zasadnicze. 2. Wzór ogólny współczynnika samoindukcji. 3. Współczynnik samoindukcji zwojnicy pierścieniowej. 4. Współczynnik samoindukcji zwojnicy długiej i cienkiej. 5. Przykład obliczenia współczynnika samoindukcji.
- ROZDZIAŁ IX. Pole elektryczne, pojemność przewodników. . . . . Str. 77—90.  
1. Ładunek elektryczny. 2. Natężenie pola elektrycznego. 3. Potencjał. 4. Przewodniki i izolatory. 5. Potencjał przewodników. 6. Kondensatory. 7. Kondensator płaski. 8. Zdolność elektryczna izolatorów. 9. Kondensator w obwodzie prądu.

### CZĘŚĆ III.

#### Prawa przepływu prądów w obwodach elektrycznych.

- ROZDZIAŁ X. Prawo Ohma. . . . . Str. 91—94.  
1. Pojedynczy przewodnik z oporem omicznym. 2. Kilka przewodników połączonych w szereg. 3. Przewodnik z siłami elektromotorycznymi. 5. Obwód zamknięty.
- ROZDZIAŁ XI. Prawa Kirchhoffa. . . . . Str. 95—96.  
1. Pierwsze prawo Kirchhoffa. 2. Drugie prawo Kirchhoffa.



✓ ROZDZIAŁ XII. Prawa Ohma i Kirchhoffa dla prądów stałych. . . . . Str. 97—108.

1. Opór pojedynczy. 2. Dwa opory połączone w szereg. 3. Przewodnik, w którym kierunek siły elektromotorycznej jest zgodny z kierunkiem prądu. 4. Przewodnik, w którym kierunek siły elektromotorycznej jest przeciwny kierunkowi prądu. 5. Przewodnik, w którym mamy kilka sił elektromotorycznych, skierowanych w jedną stronę. 6. Obwód zamknięty z kilku siłami elektromotorycznymi. 7. Rozgałęzienie na dwa prądy. 8. Opór wypadkowy przewodników rozgałęzionych. 9. Obliczyć prądy w układzie przewodów rozgałęzionych. 10. Moc maksymalna w obwodzie zewnętrznym. 11. Prąd w obwodzie baterji ogniw. 12. Warunek największości prądu. 13. Połączenie równoległe dwóch źródeł prądu. 14. Napięcie w miejscach przerwania obwodu

✓ ROZDZIAŁ XIII. Prawo Ohma dla prądów zmiennych. . . . . Str. 109—127.

1. Przewodnik posiada tylko opór omiczny 2. Przewodnik posiada tylko samoindukcję. 3. Przewodnik posiada tylko pojemność. 4. Zestawienie powyższych trzech przypadków. 5. Przewodnik z oporem omicznym i samoindukcją. 6. Kondensator włączony w obwód za pomocą przewodników, posiadających opór omiczny. 7. Kondensator, włączony w szereg z przewodnikiem, posiadającym opór omiczny i samoindukcyjny. 8. Rezonans napięć. 9. Połączenie szeregowo różnych oporów. 10. Opór omiczny przewodników dla prądów szybkodziennych.

✓ ROZDZIAŁ XIV. Prawa Kirchhoffa dla prądów zmiennych. . . . . Str. 128—135.

1. Prawo pierwsze. 2. Prawo drugie. 3. Przewodnik z samoindukcją, połączony równoległe z oporem omicznym. 4. Kondensator, połączony równoległe z oporem omicznym. 5. Kilka obwodów połączonych równoległe 6. Dwa źródła prądu w połączeniu szeregowo z samoindukcją.

### CZĘŚĆ IV.

#### Przemiany energii w obwodach prądu elektrycznego.

✓ ROZDZIAŁ XV. Uwagi ogólne, dotyczące przemian energii, jakie zachodzą w obwodzie prądu elektrycznego. . . . . Str. 136—138.

ROZDZIAŁ XVI. Przemiany ciepłne, zachodzące w obwodzie prądu elektrycznego. Str. 139—148.

1. Ciepło Joule'a. 1. Ciepło Peltier'a. 3. Ciepło Thomsona. 4. Prawo Volty. 5. Prąd termoelektryczny. 6. Termoogniwa i termobaterje.

ROZDZIAŁ XVII. Przemiany chemiczne, zachodzące w obwodzie prądu elektrycznego. Str. 149—172.

1. Elektrolity. 2. Prawa Faradaya. 3. Teorja elektrolizy Arrheniusa. 4. Siły elektromotoryczne w obwodzie, zawierającym elektrolity. 5. Obwód ogniwa galwanicznego. 6. Siła elektromotoryczna polaryzacji. 7. Zasady budowy chemicznych źródeł prądu. 8. Energietyka zjawisk elektrochemicznych.

✓ ROZDZIAŁ XVIII. Przemiana pracy prądu na pracę mechaniczną i odwrotnie — pracy mechanicznej na pracę prądu. . . . . Str. 173—194.

1. Siła działająca na prąd elektryczny w polu magnetycznym. 2. Praca siły, działającej na prąd elektryczny, znajdujący się w polu magnetycznym. 3. Przetwarzanie się pracy prądu elektrycznego w pracę mechaniczną. 4. Powstawanie pracy prądu elektrycznego z pracy mechanicznej. 5. Uwagi ogólne i prawa Maxwell'a i Lenz'a. 6. Przenoszenie pracy mechanicznej za pomocą prądu indukcyjnego. 7. Działanie mechaniczne prądów na prądy. 8. Przykłady obliczenia siły elektromotorycznej indukcji.

✓ ROZDZIAŁ XIX. Powstawanie energii pola magnetycznego skutkiem pracy prądu i wytwarzanie pracy prądu z energii pola. . . . . Str. 195—202.

1. Powstawanie i znikanie prądu elektrycznego. 2. Wyras energii, zawartej w polu magnetycznym przez natężenie pola, lub indukcję magnetyczną. 3. Siła przyciągania elektromagnesów. 4. Siły działające w strumieniu magnetycznym.

✓ ROZDZIAŁ XX. Przeniesienie pracy prądu elektrycznego z jednego obwodu na drugi. Str. 203—218.

1. Cechy zasadnicze zjawiska. 2. Spółczynnik indukcji wzajemnej. 3. Przeniesienie pracy prądu z jednego obwodu na drugi przy prądach zmiennych sinusoidalnie. 4. Działanie mechaniczne prądów pierwotnych na wtórne. 5. Pierścień w polu magnetycznym zmiennym.



- ROZDZIAŁ XXI. Powstawanie energii pola elektrycznego skutkiem pracy prądu i wykonywanie pracy przez prąd elektryczny kosztem energii pola elektrycznego. Str. 219—222.
- ROZDZIAŁ XXII. Prądy wirowe (Foucaulta). . . . . Str. 223—227.
1. Powstawanie prądów wirowych. 2. Moc prądów wirowych. 3. Wpływ prądów wirowych na pole magnetyczne zwojniczy z prądem zmiennym.
- ROZDZIAŁ XXIII. Ciepło histerezy magnetycznej. . . . . Str. 228—230.
- ROZDZIAŁ XXIV. Straty energii w żelazie. . . . . Str. 231—233.
- ROZDZIAŁ XXV. Moc prądu zmiennego. . . . . Str. 234—246.
1. Wzór zasadniczy. 2. Zwojnica bez żelaza. 3. Zwojnica z rdzeniem żelaznym. 4. Przykład obliczenia prądu w zwojnicy z rdzeniem żelaznym.
- ROZDZIAŁ XXVI. Powstawanie i znikanie prądów: ciągłe i oscylacyjne. . . . Str. 247—269.
1. Obwód z oporem omicznym. 2. Obwód z oporem omicznym i samoindukcją. 3. Obwód z pojemnością i oporem omicznym. 4. Obwód z pojemnością, oporem omicznym i samoindukcją. 5. Fale elektryczne w drutach. 6. Fale elektromagnetyczne swobodne.

## CZĘŚĆ V.

### Pomiary elektrotechniczne.

- ROZDZIAŁ XXVII. Jednostki. . . . . Str. 270—300.
1. Jednostki zasadnicze. 2. Jednostki pochodne układu c. g. s. w mechanice. 3. Praktyczne jednostki mechaniczne i cieplne. 4. O układach jednostek w nauce o elektryczności i magnetyzmie. 5. Układ bezwzględnych jednostek elektrostatycznych. 6. Układ bezwzględnych jednostek elektromagnetycznych. 7. Przykłady stosowania jednostek bezwzględnych elektromagnetycznych. 8. Stosunek jednostek bezwzględnych elektrostatycznych do elektromagnetycznych. 9. Doświadczalne wyznaczenie wielkości „v”. 10. Praktyczny układ jednostek elektromagnetycznych. 11. Zestawienie ważniejszych jednostek elektromagnetycznych, mechanicznych i cieplnych. 12. Wyznaczenie bezwzględnej jednostki elektromagnetycznej siły prądu. 13. Wyznaczenie bezwzględnej jednostki elektromagnetycznej oporu przewodników.
- ROZDZIAŁ XXVIII. Wzorce stosowane przy pomiarach elektrotechnicznych. . . Str. 301—305.
- ROZDZIAŁ XXIX. Mierzenie siły prądu. . . . . Str. 306—322.
1. Galwanoskopy. 2. Galwanometri. 3. Amperomierze elektromagnetyczne ze zwojnicą nieruchomą. 4. Amperomierze ze zwojnicą ruchomą. 5. Amperomierze elektrodynamiczne. 6. Amperomierze cieplne. 7. Amperomierze indukcyjne. 8. Rozszerzenie skali amperomierzy. 9. Włączanie amperomierzy w obwód. 10. Mierzenie pośrednie siły prądu. 11. Wzorcowanie amperomierzy.
- ROZDZIAŁ XXX. Mierzenie napięcia i siły elektromotorycznej. . . . . Str. 323—332.
1. Sposób kompensacyjny prosty porównania sił elektromotorycznych. 2. Sposób kompensacji podwójnej. 3. Woltomierze. 4. Rozszerzenie skali woltomierzy. 5. Wzorcowanie woltomierzy.
- ROZDZIAŁ XXXI. Mierzenie mocy prądu. . . . . Str. 333—347.
1. Mierzenie mocy prądu amperomierzem i woltomierzem. 2. Watomierz. 3. Zastosowanie watomierzy do mierzenia prądu trójfazowego. 4. Wyznaczanie współczynnika mocy za pomocą watomierza. 5. Mierzenie mocy prądu trójfazowego amperomierzem i woltomierzem. 6. Wzorcowanie watomierzy.
- ROZDZIAŁ XXXII. Mierzenie pracy prądu. . . . . Str. 348—365.
1. Mierzenie pracy prądu przez pomiar siły prądu, napięcia jego i czasu, lub też mocy i czasu. 2. Liczniki. 3. Liczniki elektrolityczne. 4. Liczniki wahadłowe Arona. 5. Liczniki motorowe do prądu stałego. 5. Liczniki motorowe do prądu zmiennego. 7. Wzorcowanie liczników.
- ROZDZIAŁ XXXIII. Częstościomierze. . . . . Str. 366—367.
- ROZDZIAŁ XXXIV. Oscylografy. . . . . Str. 368—370.



ROZDZIAŁ XXXV. Mierzenie oporu. . . . .	Str. 371—384
1. Mierzenie oporu przez wyznaczenie siły prądu i napięcia. 2. Podwójny mostek Thomsona. 3. Mostek Wheatstone'a. 4. Mierzenie oporów wielkich. 5. Omomierze.	
ROZDZIAŁ XXXVI. Mierzenie pojemności. . . . .	Str. 385—387.
1. Wyznaczenie pojemności przez porównanie odchyłeń galwanometru. 2. Sposób zero- wy porównywania pojemności. 3. Mierzenie pojemności prądem zmiennym.	
ROZDZIAŁ XXXVII. Mierzenie współczynnika samoindukcji . . . . .	Str. 388—389
ROZDZIAŁ XXXVIII. Badanie własności magnetycznych żelaza. . . . .	Str. 390—395.
1. Określenie strat. 2. Wyznaczanie krzywej magnetyzmu w żelazie.	
ROZDZIAŁ XXIX. Dokładność pomiarów. . . . .	Str. 396—405.
1. Pojęcia i wzory zasadnicze. 2. Dwa rodzaje błędów. 8. Wyrównywanie błędów. 4. Błąd największy i najmniejszy pomiaru. 5. Dane liczbowe.	

### Uzupełnienie.

ROZDZIAŁ XL. Zasady rachunku wektorowego w zastosowaniu do rozważania prądów zmiennych. . . . .	Str. 406—412.
1. Określenia zasadnicze. 2. Dodawanie wektorów. 3. Odejmowanie wektorów. 4. Roz- wiązywanie równań.	

### SPROSTOWANIE.

- Str. 24, wiersz 26 zgóry — po słowie „stężenie“ opuszczono wyraz: „często“.
- Str. 284, wiersz 7 zgóry — zamiast „maksuel“ powinno być: „makswel“.
- Str. 287, wiersz 6 zgóry — zamiast „mikrofada“ powinno być: „mikrofarada“.
- Str. 304, wiersz 19 zgóry — dodać: patrz odsyłacz 1 na str. 405.
- Str. 325, na rys. 335 opory w obwodzie  $A$  należy oznaczyć przez  $r_1$  i  $r_2$ .



## W S T Ę P.

Elektrotechnika współczesna należy do tych nauk podstawowych, z którymi mają związek prawie wszystkie gałęzie techniki. Przedmiot elektrotechniki obejmuje bowiem urządzenia, mające na celu przenoszenie i rozdzielanie energii za pomocą prądu elektrycznego, albo też przetwarzanie energii z jednej postaci w drugą również za pomocą prądu elektrycznego.

W książce niniejszej starałem się ująć w jednolity układ zasady naukowe, stanowiące podstawę elektrotechniki. Określam więc pojęcia, jakimi się ona posługuje i zestawiam prawa, które kojarzą powyższe pojęcia w związki, wyrażone ściśle za pomocą wzorów matematycznych.

Jednym z najbardziej podstawowych pojęć jest bezwątpienia pojęcie energii. Określać go nie będę, należy to bowiem do zasad fizyki; przypomnę tylko czytelnikowi te postacie, jakie przybiera energia. Oto krótkie ich zestawienie:

Energja cieplna istnieje wszędzie, gdzie jest materja w temperaturze wyższej od bezwzględego zera. Energja chemiczna tkwi w ciałach, zdolnych do takich przemian chemicznych, przy których wydzielają się inne postacie energii, np. w ciałach palnych i t. p. Energję potencjalną ciężenia powszechnego mają wszystkie ciała przyrody, które mogą zbliżać się do siebie; w szczególności zaś, gdy chodzi tylko o siłę ciężkości, możemy mówić o energii ciał, zdolnych spaść niżej, według naszych ziemskich wyobrażeń. Energję ruchu czyli energję kinetyczną mają wszystkie ciała poruszające się, a nawet, według kinetycznej teorii materji, ciepło jest energją kinetyczną cząsteczek ciał, które, zgodnie z tą teorią, znajdują się w bezustannym ruchu. Wreszcie jest jeszcze energja elektryczna i energja magnetyczna, w polu elektrycznym i magnetycznym; jako szczególny wypadek dwu ostatnich rodzajów energii należy uważać także energję promieniowania.

Energją cieplną, chemiczną i mechaniczną zajmują się szczegółowo odpowiednie działy nauk przyrodniczych; w książce niniejszej będzie o nich mowa o tyle, o ile mają one związek ze zjawiskami elektrycznymi. Energji zaś elektrycznej i magnetycznej poświęcam kilka rozdziałów. Tutaj zauważyć należy, że elektryczność, ściślej mówiąc — ładunek elektryczny, któremu przypisujemy istnienie



realne, nie stanowi energii. Energia elektryczna nie zawsze tam się znajduje, gdzie są ładunki elektryczne. Na to żeby istniał pewien zasób energii elektrycznej musi być konieczne przestrzeń, w której działają siły elektryczne, czyli musi być pole elektryczne; tam jest energia. Podobnie energia magnetyczna znajduje się w takiej przestrzeni, gdzie działają siły magnetyczne. Energia elektryczna i magnetyczna mogą się przenosić z miejsca na miejsce. Promieniowanie jest ruchem energii elektromagnetycznej. Ciała promieniujące wysyłają w przestrzeń energię elektromagnetyczną.

Po tym pobieżnym przejrzaniu różnych postaci energii zastanowimy się przede wszystkim nad kilku prostymi zjawiskami, znanymi dobrze każdemu technikowi.

Gdy naciśniemy przycisk dzwonka elektrycznego, to spostrzeżemy łatwo rozpuszczanie się cynku w ogniwie galwanicznym i usłyszymy dźwięk dzwonka; badając przewodniki dokładnie, przekonamy się, że one się ogrzały. Mamy więc tu do czynienia ze znikaniem energii w jednej postaci (energii chemicznej) i z powstawaniem w innej postaci (ciepło i ruch) w różnych miejscach.

Elektrownia, przeznaczona do oświetlenia i wprawiania w ruch silników elektrycznych w mieście, zużywa pod kotłami wielkie ilości węgla, który, spalając się, wyzwala energię w nim zawartą. Energję tę spostrzegamy znowu w innym miejscu, gdzie świecą lampy i obracają się silniki połączone drutami z maszynami naszej elektrowni. Wiemy również, że są w użyciu grzejniki elektryczne, tym sposobem z tej samej elektrowni czerpiemy ciepło w różnych punktach miasta lub okolicy. Możemy także zasilać energją przyrządy elektrolityczne, gdzie mamy do czynienia z przemianami chemicznymi, pochłaniającymi energję.

Badanie dokładne zjawisk tego rodzaju doprowadziło do wyobrażenia sobie prądu elektrycznego, który przebiega po obwodzie zamkniętym, utworzonym z przewodników elektryczności, połączonych w zamknięty obieg. Zresztą przy prądzie zmiennym taki obieg może być zamknięty i przez izolatory, jak to zobaczymy dalej.

**Prąd elektryczny i jego obwód.** Prąd elektryczny przedstawiamy sobie jako ruch elektryczności dodatniej lub ujemnej, albo też obydwu razem, lecz w przeciwnie strony. Powstawanie ruchu elektryczności w obwodzie odbywa się szybko: bodziec <sup>1)</sup> wprawiający w ruch elektryczność obiega obwód z szybkością spódmierną z prędkością rozchodzenia się promieni świetlnych  $= 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sek.}$

Obwód, po którym płynie prąd elektryczny, stanowią: **źródła prądu, odbieracze i przewody**, łączące te przyrządy w jeden obieg zamknięty. Źróżłami prądu nazywamy takie przyrządy, które pochłaniają energję z zewnątrz obwodu, odbieraczami zaś inne przyrządy, które wydzielają energję nazewnątrz. Najlepsze przewody łączące byłyby takie, które zachowywałyby się biernie wobec przemian energii w obwodzie. Te jednak przewody, z jakimi mamy do czynienia w technice, wydzielają zawsze ciepło, są więc właściwie także odbieraczami.

<sup>1)</sup> Bodźcem tym są siły elektromagnetyczne, powstające i przenoszące się w przestrzeni, otaczającej przewodnik.



**Przemiany energii.** Z powyższych rozważań widzimy, że teoria prądu elektrycznego stanowi rdzeń podstaw naukowych elektrotechniki. Istotną zaś cechą prądu elektrycznego są przemiany energii, które zachodzą w obwodzie prądu. Ujmujemy te przemiany w sposób następujący:

W źródłach prądu energia, przyływająca do obwodu, wytwarza pracę prądu. W odbieraczach praca prądu wytwarza energję, wydzielającą się na zewnątrz obwodu. Prąd przenosi energję z jednego miejsca na drugie tak samo, jak to czyni wiatr i pas pędni mechanicznej, woda doprowadzona pod ciśnieniem do pras hydraulicznych, czy powietrze sprężone w rurociągu, doprowadzającym je do nitownic lub innych tego rodzaju narzędzi.

Dogodność przewodów elektrycznych i łatwość otrzymywania pracy prądu elektrycznego z dowolnej postaci energii, a głównie prostota budowy przyrządów do przetwarzania pracy prądu w dowolną postać energii i małe straty przy przenoszeniu na znaczne odległości stanowią o przewadze przenoszenia i rozdziału energii za pomocą prądu elektrycznego w porównaniu z innymi sposobami.

**Zasada zachowania energii.** Z powyższych względów za nic przewodnią przy rozważaniu podstaw naukowych elektrotechniki w tej książce obrałem przemiany energii, a zasadę podstawową — zasadę zachowania energii — za pewnik, z którego wyprowadzam większą część związków najważniejszych pomiędzy wielkościami, charakteryzującymi prąd elektryczny. Wszystkie postacie energii są równoważne, wszystkie można mierzyć jedną miarą. Gdy zniknie gdzieś pewna ilość energii w jednej postaci, zawsze — według powyższej zasady — powstanie taka sama ilość energii w innym miejscu, w tej samej lub w innej postaci.

Praca mechaniczna i równorzędna z nią praca prądu elektrycznego nie są postaciami energii. Są to pojęcia, utworzone dla ułatwienia opisu zjawisk, zachodzących przy przemianach energii. Weźmy najprostszy przykład z mechaniki:

Gdy ciało znajduje się na pewnej wysokości ponad powierzchnią ziemi, możemy, że posiada ono energję potencjalną. Pozwólmy mu spadać; wtedy energia potencjalna stopniowo zamienia się na kinetyczną. Przejście jednej postaci energii w drugą możemy opisać, mówiąc że energia potencjalna ciała wytwarza pracę mechaniczną siły ciężkości, a skutkiem tej pracy otrzymujemy z kolei energję kinetyczną.

Tak samo należy rozumieć powyżej użyte wyrażenia o przemianie energii w pracę prądu elektrycznego i o otrzymywaniu z tej pracy energii w różnych postaciach. Rozważanie zjawisk elektromagnetycznych prowadzi do ujęcia energii jako rzeczy mającej rozciągłość, zajmującej pewną określoną objętość w przestrzeni, przez to jej niezniszczalność staje się dla nas twierdzeniem bardziej uchwytnym i zrozumiałym. Przez to uwydatnia się również wyraźniej różnica, jaka zachodzi pomiędzy pojęciem energii a pojęciem pracy.

**Druga zasada termodynamiki.** Druga zasada, dotycząca przemian energii, rozważana zazwyczaj w termodynamice, twierdzi, że ciepło wyróżnia się z pośród wszystkich postaci energii. Dowolną ilość energii każdej postaci można zawsze przetworzyć w ciepło, ciepło zaś może się zamienić na inną postać energii tylko wtedy, gdy jednocześnie pewna ilość ciepła przejdzie z wyższej do niższej temperatury. Pozatem przy wszystkich przemianach energii, zachodzących w przyro-



dzie część przetwarzającej się energii zamienia się zawsze w ciepło. W zjawiskach elektromagnetycznych spostrzegamy wszędzie przemiany tego rodzaju.

**Zasada zachowania ilości elektryczności.** Przy wywodach teoretycznych posługiwać się będziemy jeszcze **zasadą niezniszczalności ładunku elektrycznego**. Według tej zasady ilość elektryczności w przyrodzie jest niezmienna, powstawać lub znikać elektryczność nie może. Wszystkie zjawiska elektryczne polegają na ruchu lub na zmianie rozkładu ładunków. Według spólczesnych poglądów oba rodzaje elektryczności: elektryczność dodatnia i ujemna stanowią istotne składniki materji; nie znamy materji niezawierającej elektryczności. Materja obojętna elektrycznie, zawiera jednakową ilość elektryczności dodatniej i ujemnej tak rozłożonej, że wpływów tych ładunków elektrycznych nazewnątrz nie spostrzegamy. Można by zresztą przyjąć pogląd, według którego połączenie elektryczności dodatniej z ujemną stanowi właśnie materję; wtedy zasada zachowania ilości elektryczności byłaby tylko innym sposobem wyrażenia zasady zachowania materji.

Wszystkie te poglądy przytoczyłem tu tylko po to, aby ułatwić czytelnikowi tworzenie sobie obrazów myślowych tych zjawisk, które są omawiane w niniejszej książce, wszystkie zaś dalsze wywody opieram na ścisłych twierdzeniach, wyrażonych wzorami matematycznymi, które są zupełnie niezależne od tego, jakie będziemy tworzyli sobie wyobrażenia o istocie elektryczności.

**Porządek wykładu.** Obierając prąd elektryczny za zjawisko podstawowe, a zasadę zachowania energii za podstawę rozumowania, określam przedewszystkim w części pierwszej wielkości charakterystyczne dla prądu elektrycznego. W części drugiej omawiam własności obwodu, ujmując go razem z otoczeniem; rozpatruję więc sam przewodnik oraz ośrodek, w którym powstają pola elektryczne i magnetyczne. Część trzecia przeznaczona została na wyprowadzenie praw Ohma i Kirchhoffa, które rządzą przepływem prądu w obwodach. W części czwartej omówione są przemiany energii, a w piątej pomiary wielkości, rozważonych w części pierwszej i drugiej. Ostatni rozdział stanowi treściwe przedstawienie zasad rachunku wektorowego w zastosowaniu do nauki o prądach okresowo zmiennych.