



LIBRA

ZWIĄZEK ZAKŁADÓW DOSKONALENIA ZAWODOWEGO

Wiesław Czerwiec
Andrzej Maciszewski
Tadeusz Molinski

**ZEGARMISTRZOSTWO
PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI
Z ELEKTRONIKĄ**

BIURO WYDAWNICTW HWIU „LIBRA”
Warszawa 1980

ZWIĄZEK ZAKŁADÓW DOSKONALENIA ZAWODOWEGO

Wiesław Czerwiec
Andrzej Maciszewski
Tadeusz Moliński

M-101

ZEGARMISTRZOSTWO PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI Z ELEKTRONIKĄ



BIURO WYDAWNICTW HWiU „LIBRA”
Warszawa 1980

Opiniodawcy
LUDWIK BUCZYŃSKI, ZYGMUNT RYMUZA

Redaktor
KRZYSZTOF GAWDZIK

Redaktor techniczny
WOJCIECH ŁUKASZCZYK

Korektor
ZESPÓŁ

Podręcznik zawiera podstawowe wiadomości z elektrotechniki i elektroniki oraz ich zastosowania w mechanizmach zegarowych. Przeznaczony jest dla słuchaczy kursów zawodowych w rzemiośle zegarmistrzostwo prowadzonych przez ZDZ.

Materiał nauczania zawarty w podręczniku obowiązuje słuchaczy przygotowujących się do egzaminu mistrzowskiego; słuchaczy przygotowujących się do egzaminu czeladniczego nie obowiązują partie materiału oznaczone linią ciągłą na marginesie.

SPIS TREŚCI

1. WIADOMOŚCI WSTĘPNE	5
1.1. Historia rozwoju elektromechaniki	5
1.2. Historia rozwoju konstrukcji czasomierzy z napędem elektrycznym i elektronicznym	7
1.3. Budowa materii i atomu	9
1.4. Warunki przepływu prądu elektrycznego	14
2. PRAWA ORAZ WIELKOŚCI PRĄDU ELEKTRYCZNEGO I ICH JEDNOSTKI	17
3. ŹRÓDŁA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO	38
3.1. Źródła prądu stałego	38
3.2. Źródła prądu przemiennego	47
4. WYTWARZANIE, PRZESYŁANIE I PRZEKAZYWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ	56
4.1. Przesyłanie energii elektrycznej	56
4.2. Transformatory	59
4.3. Kondensatory	64
5. INSTALACJE ELEKTRYCZNE	71
6. KONSTRUKCJA I DZIAŁANIE STYKÓW	79
7. MAGNESY TRWAŁE I ELEKTROMAGNESY	84
7.1. Magnesy trwałe	84
7.2. Zasada działania elektromagnesów	85
7.3. Przekazniki	91
8. SILNIKI ELEKTRYCZNE	94
8.1. Silniki prądu stałego	94
8.2. Silniki prądu przemiennego	101
8.3. Zabezpieczanie silników przed uszkodzeniami	106
9. ELEKTRONIKA W CZASOMIERZACH	109
9.1. Lampy elektronowe	109
9.2. Elementy półprzewodnikowe	113
9.3. Transzystory	117
9.4. Prostowniki	118
9.5. Wybrane elementy mikroelektroniki	123

BIURO WYDAWNICTW HWIU „LIBRA”, Warszawa, ul. Nowy Świat 11/13

Nakład 3000+75 egz. Objętość: ark. druk. 9,25; ark. wyd. 11. Papier piśmienny 70 g/m². kl. V, form. 70/100/16. Podpisano do druku w czerwcu 1978 r. Druk ukończony w styczniu 1980 r. Poz. 9440/I

Białostockie Zakłady Graficzne. Zam. 1144/78 r. F-29

10. URZĄDZENIA GASIKOWE I DŁAWIKOWE	137
11. BEZPIECZEŃSTWO PRACY PRZY OBSŁUDZE URZĄDZEŃ ELEK- TRYCZNYCH	140
LITERATURA	146

1. WIADOMOŚCI WSTĘPNE

1.1. Historia rozwoju elektrotechniki

Elektrotechnika jest jednym z działów nauki o elektryczności; obejmuje swoim zasięgiem grupę zjawisk fizycznych, które są wykorzystywane w życiu codziennym oraz przy budowie urządzeń technicznych i przemysłowych.

Elektrotechnika jako nauka rozwinęła się głównie w XIX wieku — zwanym też wiekiem „pary i elektryczności”. Jednak niektóre zjawiska elektryczne były znane już w starożytności. W 600 roku p.n.e. (przed naszą erą) znane były starożytnym Grekom właściwości magnetyczne rudy żelaznej (Fe_3O_4) — przyciąganie przedmiotów żelaznych i zjawiska elektryzowania się bursztynu, który po potarciu wełną przyciągał małe skrawki słomy. Opisy tych zjawisk zostały podane w pismach greckich uczonego Talesa z Miletu. Sama nazwa zjawiska „elektryczność” pochodzi od greckiej nazwy bursztynu „elektron”.

Pierwsze gruntowniejsze badania zjawisk elektrycznych i magnetycznych przeprowadził i opublikował w 1600 roku lekarz angielski William Gilbert. Stwierdził on na podstawie badań, że podobne własności do bursztynu wykazują również inne ciała, takie jak szkło i żywica. Jednak w swych rozważaniach popełnił błąd twierdząc, że zjawiska elektryczne i magnetyczne są od siebie zupełnie niezależne. Duże zainteresowanie budziły zjawiska elektryczne w XVII i XVIII wieku, modne były wówczas pokazy tych zjawisk na arystokratycznych dworach.

Praktycznie naukę o elektryczności i magnetyzmie wykorzystywano tylko do konstrukcji kompasów używanych w żegludze i do budowy piorunochronów.

W 1785 r. fizyk francuski Charles Coulomb wyznaczył eksperymentalnie siłę oddziaływania na siebie ładunków elektrycznych.

Za właściwe narodziny elektrotechniki uważa się historyczne doświadczenie lekarza i przyrodnika włoskiego Luigi Galvaniego w 1789 roku, który podczas prac nad anatomią żab odkrył nowe źródło elek-

tryczności nie wymagające pocierania — ogniwo elektryczne. W 1800 roku włoski uczony Alessandro Volta wytłumaczył istotę zjawiska odkrytego przez Galvaniego i zbudował pierwsze ogniwo, które na cześć Galvaniego nazwał ogniwem galwanicznym oraz słynny „stos elektryczny” — będący baterią szeregowo połączonych ogniw. Było to pierwsze źródło energii elektrycznej umożliwiające rozwój elektrotechniki.

W 1800 r. H. Davy wynalazł łuk elektryczny, a w 1801 r. Nicolson dokonał elektrolizy wody. W r. 1819 fizyk duński Hans Oersted zaobserwował oddziaływanie prądu na igłę magnetyczną, wykazując po raz pierwszy związek między zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi. W latach 1820—1823 fizyk francuski André Maria Ampère zajmował się oddziaływaniem na siebie obwodów elektrycznych; jest on uznawany za twórcę elektrodynamiki — działu nauki zajmującego się ruchem i oddziaływaniem ładunków elektrycznych, prądów elektrycznych oraz zjawiskami towarzyszącymi tym oddziaływaniom.

W 1827 r. niemiecki nauczyciel Georg Ohm sformułował swoje prawo noszące jego imię — prawo stanowiące do dzisiaj podstawę praktyki inżynierskiej.

W 1831 r. Anglik Michael Faraday dokonał odkrycia indukcji elektromagnetycznej, odkrycia, które stało się podstawą współczesnej elektrotechniki i umożliwiło później budowę prądnic, silników, transformatorów oraz innych urządzeń i mechanizmów elektrycznych. Faraday sformułował podstawowe prawo elektrochemii, zwane prawem Faradaya, wprowadził pojęcie pola elektrycznego i magnetycznego, stwierdził, że wszystkie ciała w większym lub mniejszym stopniu podlegają działaniu pola magnetycznego oraz stwierdził oddziaływanie pola magnetycznego na światło.

W 1867 roku Anglik James Clark Maxwell ogłosił swój słynny „Traktat o elektryczności i magnetyzmie”, udowadniając istnienie fal elektromagnetycznych i wykazał, że światło jest jednym z rodzajów tych fal.

Lata osiemdziesiąte dziewiętnastego wieku cechowała rywalizacja pomiędzy zwolennikami prądu stałego i przemiennego. O ostatecznym zwycięstwie prądu przemiennego zadecydowało odkrycie w r. 1887 przez inżyniera serbskiego N. Teslę pola magnetycznego wirującego i zbudowanie pierwszego silnika indukcyjnego dwufazowego. Układy dwufazowe ustąpiły potem miejsca (przy budowie większych silników) układom trójfazowym, wynalezionym w r. 1889 przez Rosjanina Doliwo-Dobrowolskiego. Ten inżynier (polskiego pochodzenia) był twórcą pierwszej linii przemysłowej prądu trójfazowego wysokiego napięcia oraz trójfazowego transformatora.

W 1948 roku wynaleziono nowy element półprzewodnikowy: tranzystor. Półprzewodniki znalazły już zastosowanie w radiotechnice

i energetyce. W latach pięćdziesiątych naszego stulecia z elektrotechniki wyodrębniła się nowa gałąź nauki — elektronika. Elektronika jest nauką zajmującą się lampami elektronowymi (a raczej zajmowała się nimi), półprzewodnikami i elementami umożliwiającymi bezpośrednio sterowanie strumieniem elektronów i ich zastosowaniem w łączności, automatyce i wielu innych dziedzinach techniki.

1.2. Historia rozwoju konstrukcji czasomierzy z napędem elektrycznym i elektronicznym

Zegary mechaniczne mają ograniczone zastosowanie. Nadają się one przede wszystkim do pomiaru, wskazywania i przechowywania czasu, natomiast sterowanie przez nie innych urządzeń lub choćby zapisywanie czasu jest w nich trudne do rozwiązania na drodze wyłącznie mechanicznej, a jeżeli jest rozwiązane to zwykle wpływa niekorzystnie na chód i dokładność pomiaru. Elektrotechnika bardzo rozszerza granice zastosowania mechanizmów zegarowych i upraszcza ich konstrukcję, a poza tym umożliwia:

- w prosty sposób dokładne sterowanie w czasie urządzeniami laboratoryjnymi i przemysłowymi bez szkodliwego wpływu na chód zegara
- przekazywanie jednolitego czasu w sposób automatyczny i dokładny na duże odległości
- zbudowanie sieci czasu
- czyni zbędnym periodyczne nakręcanie mechanizmów zegarowych
- umożliwia stosowanie źródeł i akumulatorów energii o pojemności kilkaset razy większej od mechanicznych akumulatorów energii (np. sprężyn napędowych) o tych samych wymiarach.

Również niezawodność działania zegarów elektrycznych i elektromechanicznych przy obecnym stanie techniki i elektroniki jest nie mniejsza, a przy niektórych systemach może być znacznie większa niż zegarów ściśle mechanicznych.

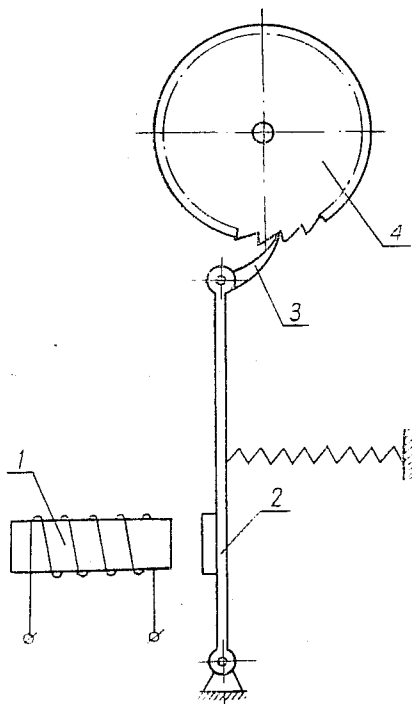
Wraz z postępem w rozwoju nauki o elektryczności, a szczególnie z rozwojem elektrotechniki próbowano wykorzystać poznane nowe zjawiska również w konstrukcjach zegarów. Badania i rozwiązania konstrukcyjne szły w dwóch kierunkach:

- rozwiązanie napędu zegara za pomocą prądu elektrycznego przez naciągnięcie elektromagnesem w sposób periodyczny sprężyny lub uniesienie obciążnika
- przez bezpośredni napęd regulatora z jednoczesnym wprowadzeniem nowego elementu tzw. przetwornika zamieniającego ruch drgający na ruch obrotowo-napędowy, który poprzez przekładnię zmniejszającą uruchamia wskazówki.

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z zegarem o elektrycz-

nym naciągu, a w drugim przypadku z zegarem o elektrycznym napędzie regulatora, którym może być wahadło, balans lub kamerton, i który oprócz funkcji regulatora spełnia funkcję mechanizmu napędowego całego zegara.

Pierwsze wzmianki o zegarze elektrycznym pochodzą już z roku 1775. W 1839 roku prof. Steinheil z Monachium wynalazł elektromagnetyczny mechanizm zapadkowy (rys. 1-1), który jest stosowany do naciągu we wtórnych zegarach elektrycznych.



Rys. 1-1. Zasada działania elektromagnetycznego zapadkowego mechanizmu naciągu: 1 — elektromagnes, 2 — zwora, 3 — zapadka, 4 — koło zapadkowe

W 1841 r. Szkot A. Bain zegarmistrz z Edynburga, zastosował elektryczność do napędu wahadła, a w 1865 r. M. Hipp z Neuchâtel w Szwajcarii ulepszył ten napęd przez zastosowanie impulsów elektrycznych co kilka wahaniec.

W 1901 roku zgłoszono pierwszy patent na zegar z elektrodynamycznym napędem wahadła, w którym zastosowano już trwały magnes, cewkę, styki i ogniwo.

W 1918 roku H. Warren skonstruował pierwszy zegar synchroniczny, a w 1924 roku Anglik W. Marrison wykonał schemat pierwszego zegara kwarcowego. W tym samym roku rozpoczęto nadawanie sygnałów czasu z londyńskiej stacji radiowej BBC.

W 1925 roku A. Meller założył w Wielkopolsce fabrykę zegarów elektrycznych pierwotnych i wtórnych. W 1935 r. powstały w Warsza-

wie dwie fabryki zegarów. W roku 1936 w Londynie zaczęła podawać czas pierwsza zegarynka z centrali telefonicznej.

W 1948 roku skonstruowano pierwszy zegar kwarcowy oraz skonstruowano pierwszy zegar atomowy, którego dokładność działania przewyższała dokładność obrotów Ziemi.

W 1952 roku skonstruowano pierwszy elektryczny zegarek naręczny, a w 1960 roku w zakładach Bułova Watch w USA skonstruowano elektroniczny zegarek naręczny „accutron” — bez sprężyny i balansu, w którym rolę balansu spełniał kamerton wykonujący 360 drgań na sekundę.

W 1962 roku zaczęto produkować elektroniczne zegarki naręczne z balansem sterowanym za pomocą układu tranzystorów, a w 1967 roku w Szwajcarii kwarcowe chronometry naręczne.

W wielu czołowych ośrodkach naukowych (amerykańskich, szwajcarskich, radzieckich) prowadzi się intensywne prace zmierzające do wykorzystania w technice zegarowej nowych możliwości, jakie uzyskano dzięki rozwojowi elektroniki, a w szczególności techniki półprzewodników. Prowadzi się badania w kierunku miniaturyzacji takich elementów jak obwody magnetyczne, układy sterowania napędem, źródła prądu i inne w celu dostosowania ich do wymiarów zegarków naręcznych. Niedokładność chodu zegarków naręcznych mechanicznych najwyższej klasy i zegarków balansowych elektrycznych wynosi około 10 s na dobę. Natomiast zastosowanie kamertonowego regulatora zmniejsza tę niedokładność do ok. 2 s na dobę, a kwarcowego do 0,01 s na dobę.

1.3. Budowa materii i atomu

Prowadzone od stuleci badania materii dowiodły, że wszystkie ciała są zbudowane z bardzo drobnych cząstek zwanych drobinami albo molekułami, a te z kolei są zbudowane z jeszcze mniejszych składników materii zwanych atomami.

Atomy różnych pierwiastków chemicznych różnią się między sobą właściwościami fizycznymi i chemicznymi.

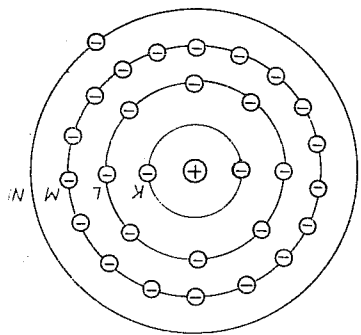
Badania przeprowadzone na początku XIX wieku dowiodły, że z kolei atom każdego pierwiastka składa się z jądra, w którym jest umieszczona prawie cała masa atomu, i elektronów krążących z bardzo dużymi prędkościami dookoła jądra po orbitach o kształtach eliptycznych. Jądro oraz krążące dookoła niego elektrony są obdarzone ładunkami — jądro dodatnimi, a elektrony mają ładunki ujemne. Wartości ładunków jądra i krążących elektronów są sobie równe i dlatego atom w stanie normalnym nie przejawia żadnego ładunku elektrycznego, czyli jest elektrycznie obojętny.

W obrębie atomu występuje działanie sił przyciągania między elektronami i jądrem, jednak elektrony nie spadają na jądro, ponieważ na

skutek swojego ruchu dookoła jądra wytwarzają się siły odśrodkowe równoważące dośrodkowe siły przyciągania.

Masa elektronu wynosi $9 \cdot 10^{-31}$ kg, a protonu (masa jądra) jest około 1840 razy większa. Oprócz tego w jądrze istnieją neutrony, które są elektrycznie obojętne (nie mają ładunku).

Elektrony w atomach pierwiastków są rozmieszczone w ściśle określony sposób na orbitach leżących w ściśle określonych odległościach od jądra.



Rys. 1-2. Uproszczony płaski model atomu miedzi (Cu)

Na rys. 1-2 przedstawione uproszczone płaski model atomu miedzi. Pierwsza orbita oznaczona literą K może pomieścić tylko dwa elektrony, druga L — 8 elektronów, M — 18, N — 32 elektrony itd. Orbity często są nazywane powłokami.

Powłoka zewnętrzna atomu (ostatnia powłoka z elektronami) jest nazywana powłoką walencyjną i charakteryzuje ona właściwości chemiczne danego pierwiastka (patrz tom pt. „Materiałoznawstwo”).

Elektrony położone na powłokach bliżej jądra są pod działaniem znacznych sił przyciągających, natomiast elektrony na powłoce walencyjnej są słabo związane z jądrem. Każda powłoka charakteryzuje się określonym poziomem energetycznym i przesunięcie elektronu z jednej powłoki na drugą wymaga dostarczenia pewnej energii. Elektrony znajdujące się na powłoce walencyjnej pod wpływem stosunkowo małych sił zewnętrznych mogą być łatwo odrywane od atomu. Takie oderwane elektrony nazywamy swobodnymi.

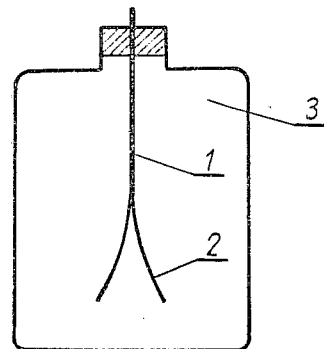
Atom pozbawiony jednego lub kilku elektronów nie jest obojętny elektrycznie — taki atom nazywamy jonem dodatnim albo kationem. Jeżeli natomiast atom ma więcej elektronów — ma wtedy ładunek elektryczny ujemny i nazywamy go jonem ujemnym albo anionem. Jonami nazywane są również cząstki mające nadmiar lub niedomiar elektronów. Proces odrywania elektronu od atomu lub cząsteczki nazywamy jonizacją.

Elektrony w atomach metali leżące na powłokach walencyjnych są tak luźno związane z jądrem, że wskutek oddziaływania sąsiadnych

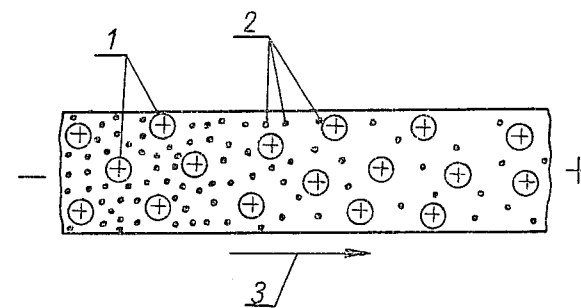
atomów mogą opuścić własny atom i poruszać się swobodnie w przestrzeniach międzyatomowych. Z tego powodu są one nazywane elektronami swobodnymi. Ich liczba jest orientacyjnie tego samego rzędu co liczba atomów metali. Elektrony swobodne poruszają się w metalu ruchem bezładnym z prędkością rzędu 10000—100000 m/s, przy czym średnie ich położenie nie ulega zmianie. Wypadkowy ładunek elektryczny ciała jest jednak stały i równy zeru, gdyż elektrony pozostają w objętości metali i ich ładunek ujemny równoważony jest przez dodatni ładunek zawarty w metalu jonów. Taki stan utrzymuje się dopóki na ciało nie oddziałują siły zewnętrzne.

Jak już na wstępie wspomniano własności elektryzowania się posiada w mniejszym lub większym stopniu każde ciało. Zauważono również, że ciała elektryzują się w dwojaki sposób, np. dwie naelektryzowane kulki szklane odpychają się, podobnie i kulki żywicy, natomiast kulka żywicy i kulka szklana przyciągają się. Są więc dwa rodzaje elektryczności: dodatnia i ujemna (szkło elektryzuje się dodatnio, żywica i bursztyn ujemnie).

Podczas przeprowadzania prostych doświadczeń nad elektryzowaniem ciał można się przekonać, że samo pocieranie nie jest tu czynnością konieczną, bo ciała elektryzują się również przez samo zetknięcie (patrz ćwiczenie 1). „Elektryzowanie przez tarcie” jest więc w istocie elektryzowaniem przez zetknięcie. Naelektryzowanie ciał można wykryć przy pomocy przyrządu zwanego elektroskopem.



Rys. 1-3. Elektroskop: 1 — pręt metalowy, 2 — cienka metalowa folia, 3 — butelka



Rys. 1-4. Zasada przepływu prądu elektrycznego — jako ruchu swobodnych elektronów wyrównujących różnicę w ich skupieniu:

1 — jony, 2 — elektrony, 3 — kierunek przepływu prądu

Elektroskop (rys. 1-3) składa się z pręta metalowego 1, do którego na końcu są przymocowane dwa paseczki z cienkiej folii metalowej. Całość umieszczona jest w szklanej obudowie 3. Przy naładowaniu pręta elektroskopu przez styk z ciałem naelektryzowanym paseczki rozchylają się pod wpływem sił elektrycznych działających na jednoimienne (dodat-

nie lub ujemne) ładunki obu pasków. Z szerokości rozchylenia pasków można się orientować o wartości ładunków, które zostały przez elektroskop pobrane od ciała naelektryzowanego.

TABELA 1.

Ważniejsze symbole graficzne

Prąd stały	
Prąd przemienny	
Ogniwo lub akumulator	
Bateria ogniw lub akumulatorów	
Prądnicą prądu stałego	
Prądnicą prądu przemiennego	
Punkt połączenia elektrycznego	
Skrzyżowanie przewodów elektrycznie nie połączonych ze sobą	
Skrzyżowanie przewodów elektrycznie połączonych ze sobą	
Odgaięcie przewodu	
Wyłącznik jednobiegunowy	
Przełącznik	

Bezpiecznik topikowy	
Opornik	
Opornik regulowany	
Cewka indukcyjna, dławik bez rdzenia	
Dławik z rdzeniem ferromagnetycznym	
Kondensator (pojemność)	
Kondensator o pojemności regulowanej	
Grzejnik	
Lampa sygnalizacyjna (żarówka)	
Silnik elektryczny	
Woltomierz	
Amperomierz	
Watomierz	
Galwanometr	

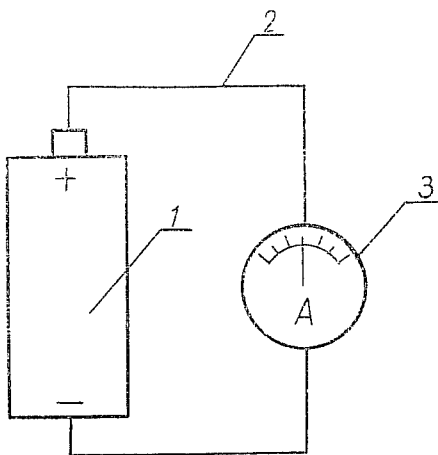
1.4. Warunki przepływu prądu elektrycznego

W ciele obojętnym elektrycznie elektrony są rozłożone równomiernie w całej objętości ciała. Odpychają się one wzajemnie od siebie i wskutek tego wywierają we wszystkich kierunkach pewne ciśnienie, równoważone przez przeciwciśnienie elektronów sąsiednich.

Jeżeli doprowadzić elektrony do określonego miejsca w ciele, to w tym miejscu powstanie większe skupienie elektronów, niż w miejscach pozostałych, w wyniku tego elektrony z miejsc o większym zagęszczeniu napływają do miejsc o małym zagęszczeniu, dopóki nie zostanie osiągnięty ich równomierny rozkład (rys. 1–4).

Tego rodzaju przepływ elektronów swobodnych nazwano prądem elektrycznym, a różnice w zagęszczeniu elektronów w dwóch różnych punktach ciała nazywa się różnicą potencjału.

Różnica potencjału na dwóch końcach przewodnika jest więc jednym warunkiem do przepływu prądu elektrycznego, drugim warunkiem jest zamknięty obwód elektryczny, tzn. gdy miejsca o różnym potencjale elektrycznym połączy się przewodnikiem (rys. 1–5).



Rys. 1–5. Różnica potencjału warunkiem przepływu prądu elektrycznego 1 — bateria, 2 — przewód, 3 miernik (amperomierz)

Prędkość przepływu elektronów w przewodnikach elektrycznych jest bardzo mała, dlatego zwykle mówi się o przesuwaniu się elektronów; natomiast prędkość rozchodzenia się zjawisk elektrycznych osiąga wartość do 300000 km/s (jest równa prędkości światła). Zjawisko to można porównać do rozchodzenia się gazów w rurach. Jeżeli połączymy ze sobą rurą dwa zbiorniki o dużej różnicy ciśnień, wtedy cząsteczki gazu wpadające do rury wywierają nacisk na cząsteczki znajdujące się przed nimi. Ciśnienie rozchodzi się z cząsteczki do cząsteczki, tak że w krótkim czasie również i cząsteczki znajdujące się przy końcu rury rozpoczynają ruch przepływowy, chociaż wszystkie

cząsteczki oddaliły się tylko nieznacznie od miejsca, w którym były na początku.

Materiały stosowane w elektrotechnice można podzielić na trzy grupy: przewodniki, półprzewodniki i nieprzewodniki. Nieprzewodniki nazywają się inaczej dielektrykami lub izolatorami. Przewodniki z kolei dzielą się na dwie grupy — przewodniki I klasy i przewodniki II klasy.

Przewodniki I klasy — są to metale i ich stopy oraz czysty węgiel. Przewodniki tej klasy posiadają tę charakterystyczną cechę, że mają elektrony swobodne, które mogą się poruszać w objętości ciała i dzięki temu przewodzą prąd elektryczny. Przewodniki I klasy nie ulegają przy przepływie prądu żadnym zmianom chemicznym.

Przewodniki II klasy — są to elektrolity, a więc roztwory wodne kwasów i zasad i soli (patrz materiałoznawstwo), w których prąd elektryczny polega na przemieszczaniu się jonów dodatnich i ujemnych. Przewodniki II klasy ulegają podczas przepływu prądu zmianom chemicznym.

Dielektryki (nieprzewodniki) są to materiały, które mają na zewnętrznej powłoce 6 lub więcej elektronów ściśle związanych z jądrem i elektrony swobodne w tych ciałach występują w znikomej liczbie w stosunku do liczby atomów, dlatego są to ciała nie przewodzące prądu. Dielektrykami są porcelana, szkło, mika, tworzywa sztuczne, olej oraz gazy — wodór, powietrze i dwutlenek węgla.

Półprzewodniki są to materiały o specyficznych właściwościach elektrycznych, które zależą od różnych czynników, np. oświetlenia, temperatury, obecności domieszek chemicznych itp. W pewnych warunkach są one dobrymi przewodnikami elektryczności, natomiast w innych są nieprzewodnikami.

W tabeli 1 podano przykłady oznaczeń ważniejszych symboli graficznych stosowanych przy rysowaniu obwodów (schematów) elektrycznych.

Ćwiczenia i pokazy

1. a) Paleczkę ebonitową pocieramy kawałkiem futra, następnie dotykamy nią gałki elektroskopu. Listki elektroskopu rozchylają się.
b) Naelektryzowaną paleczkę ebonitową lub szklaną zbliżamy do pociętych kawałków papieru. Kawałki papieru są przez paleczkę przyciągane.
2. Na płytkę szklaną kładziemy płytkę ebonitową i silnie je ściskamy. Po rozłączeniu można stwierdzić, za pomocą elektroskopu, że obie płytki są naelektryzowane: ebonitowa — ujemnie, szklana — dodatnio.
3. Pokaz typowych przewodników i izolatorów i łączenie ich do obwodu prądu z baterią i amperomierzem.

Pytania sprawdzające

1. Omówić historię rozwoju konstrukcji czasomierzy z napędem elektrycznym.
2. Omówić budowę materii i atomu.
3. Omówić zjawisko elektryzowania się ciał.

4. Omówić warunki przepływu prądu elektrycznego.
5. Omówić właściwości przewodników, półprzewodników i nieprzewodników.
6. Omówić historię rozwoju elektrotechniki.
7. Omówić zasady ruchu elektronów przy przepływie prądu elektrycznego.

2. PRAWA ORAZ WIELKOŚCI PRĄDU ELEKTRYCZNEGO I ICH JEDNOSTKI

Prawo Coulomba. Jeżeli zbliżymy do siebie dwie naelektryzowane kulki szklane zawieszona na długiej nici, wtedy można stwierdzić, że się one odpychają, jeżeli natomiast jedna kulka będzie szklana, a druga z ebonitu, wtedy — przyciągają się.

Ciała naelektryzowane jednoimiennie odpychają się, a naelektryzowane różnoimiennie przyciągają się. Można przy tym stwierdzić, że oddziaływanie to zależy od stopnia naelektryzowania ciał. Istotna jest również odległość, kulki odsunięte od siebie daleko nie oddziaływały na siebie, a przy mniejszych odległościach oddziaływanie było widoczne. Zjawisko to opisał matematycznie Ch. Coulomb, który podał następujące prawo: siła oddziaływania F między dwoma ładunkami Q_1 i Q_2 zależy od środowiska, w jakim te ładunki są umieszczone i jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków, a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

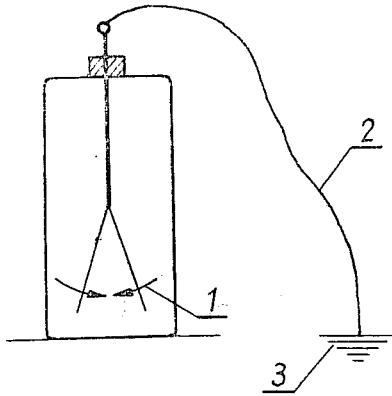
gdzie:

- k — współczynnik zależny od środowiska (gaz, powietrze, olej, itp.),
- Q_1, Q_2 — wielkość ładunków elektrycznych,
- r — odległość między ładunkami.

Ładunku elektrycznego nie można zaobserwować ani porównać przy pomiarze z pewnym wzorcowym ładunkiem, przyjętym za jednostkowy. Ładunek elektryczny mierzy się zwykle nie w stanie statycznym, lecz podczas jego przepływu.

Na rys. 2-1 przedstawiono naelektryzowany elektroskop, do którego wprowadzono uprzednio ładunek Q (listki rozchylone). Z chwilą połączenia drutem metalowym końcówki elektroskopu z ziemią następuje szybkie jego rozładowanie polegające na odpływie elektronów z przewodnika do ziemi albo odwrotnie. Listki elektroskopu opadają.

Proces rozładowania elektroskopu można znacznie przedłużyć za-



Rys. 2-1. Wyładowanie naelektryzowanego elektroskopu:

1 — kierunek ruchu listków, 2 — przewodnik, 3 — ziemia

stępując drut metalowy na pewnym odcinku trzpieniem grafitowym. Okazuje się, że ilości ładunku odprowadzane przez przewód uziemiający do ziemi, nie są jednakowe w jednakowych odstępach czasu.

W celu ilościowego ujęcia opisywanego zjawiska wprowadzono pojęcie nowej wielkości fizycznej, zwanej natężeniem prądu elektrycznego, a w skrócie prądem elektrycznym i nadano jej oznaczenie I

$$I = \frac{Q}{t}$$

Natężeniem prądu nazywamy stosunek liczby elektronów (a więc ładunek elektryczny Q) do czasu (t), w ciągu którego wypływają one (elektrony) lub wpływają do źródła albo odbiornika. Za jednostkę ładunku przyjęto 1 kulomb. Jeden kulomb odpowiada ładunkowi $6,3 \cdot 10^{18}$ elektronów. Dla porównania: przez drucik żarówki latarki kieszonkowej przepływa w ciągu jednej sekundy $2 \cdot 10^{18}$ elektronów.

Jeżeli do wzoru wstawimy odpowiednio jednostki czyli Q — w kulombach (C), t — w sekundach (s), to prąd otrzymamy w jednostkach zwanych amperami (A)

$$1 \text{ [A]} = \frac{1 \text{ [C]}}{1 \text{ [s]}}$$

Jeżeli przez dowolny przekrój przewodnika w ciągu jednej sekundy przepływa liczba elektronów odpowiadająca jednemu kulombowi to takie natężenie prądu zostało przyjęte za jednostkę i nazwane amperem (A).

W tabeli 2 podano najważniejsze jednostki fizyczne w układzie SI.

W żarówkach stosowanych do oświetlania pomieszczeń mieszkalnych płyną ułamki ampera, w kuchenkach elektrycznych — prąd rzędu kilku amperów, tramwaje pobierają prąd około 100 A, a elektrowozy ok. 1000 A, natomiast człowiek odczuwa już prąd o natężeniu 0,001 A.

W elektrotechnice stosuje się jednostki pod- i wielokrotne:

Jednostki układu SI

Wielkości fizyczne		Jednostka		Często spotykane pokrewne jednostki
nazwa	znak	nazwa	znak	
Masa	m	kilogram	kg	—
Długość	l	metr	m	—
Czas	t	sekunda	s	1 godz. = 3600 s
Natężenie prądu	I, i	amper	A	—
Siła	F	niuton	N	1 kG = 9,81 N
Praca	A	dżul	J	1 J = 1 Ws = 0,24 cal
Energia	W	watosekunda	Ws	1 J = 0,102 kGm
				1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ Ws
Ilość ciepła	Q	dżul	J	1 cal = 4,18 J = 4,18Ws
Moc	P	wat	W	1 W = $1,36 \cdot 10^{-3}$ KM
Ładunek elektryczny	Q, q	kulomb	C	1 C = 1 As
Potencjał elektr.	V	wolt	V	—
Natężenie pola elektr.	$E(K)$	wolt na metr	$\frac{V}{m}$	$1 \frac{V}{cm} = 100 \frac{V}{m}$
Napięcie	U, u	wolt	V	1 kV = 1000 V
Przenikalność dielektr.	ϵ	farad na metr	$\frac{F}{m}$; $\frac{As}{Vm}$	—
Strumień magnetyczny	Φ	weber	Wb, Vs	1 Wb = 1 Vs = 10^8 Mx (maksweli)
Indukcja magnetyczna	B	tesla	T, $\frac{Vs}{m^2}$	1 T = $1 \frac{Vs}{m^2} = 10^4$ Gs (gausów)
Natężenie pola magnetycznego	H	amper na metr	$\frac{A}{m}$	$1 \frac{A}{cm} = 100 \frac{A}{m}$
				$1 \frac{A}{m} = 0,0126$ (ersteda)
Przenikalność magnetyczna	μ	henr na metr	$\frac{H}{m}$	—
Częstotliwość	f	herc	Hz	—
Pulsacja	w	—	$\frac{rad}{s}$	—
Przewodność	G	simens	S	—
Przewodność właściwa	γ	—	$\frac{S}{m}$	$1 \frac{m}{mm^2} = 10^6 \frac{S}{m}$
Opór właściwy	σ	omometr	Ωm	$1 \frac{m}{mm^2} = 10^{-6} m$
Opór czynny (rezystancja)	R	om	Ω	—
Opór bierny (reaktancja)	X	om	Ω	—
Opór pozorny (impedancja)	Z	om	Ω	—

Wielkości fizyczne		Jednostka		Często spotykane pokrewne jednostki
nazwa	znak	nazwa	znak	
Pojemność	C	farad	F	$1F = 1 \frac{As}{V} = 1 \frac{s}{\Omega}$
Indukcyjność	L	henr	H	$1H = 1 \frac{Vs}{A} = 1 \Omega s$
Indukcyjność wzajemna	M	henr	H	—
Moc czynna	P	wat	W	1 KM = 0,735 kW
Moc bierna	Q	war	VAr	—
Moc pozorna	S	woltoamper	VA	—

kiloamper — 1 kA = 1000 A,
miliamper — 1 mA = 0,001 A,
mikroamper — 1 μ A = 0,000001 A.

Często w elektrotechnice obok pojęcia natężenia stosuje się gęstość prądu (j) — jest to stosunek natężenia prądu (I) do powierzchni (S) przez jaką on przepływa

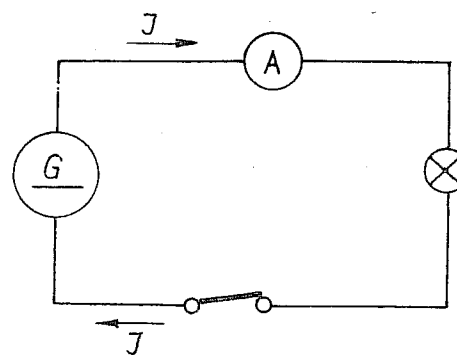
$$j = \frac{I}{S}$$

Jednostką gęstości jest $\frac{A}{m^2}$ która wskazuje, ile amperów płynie przez m^2 przekroju przewodu. Jednostkę tę wprowadzono z tego powodu, gdyż przy zbyt dużej gęstości przewód może się nadmiernie rozgrzać, a nawet stopić. Dlatego dla różnych materiałów ta gęstość jest ściśle określona, jak również zależy od wymiarów przekroju przewodnika.

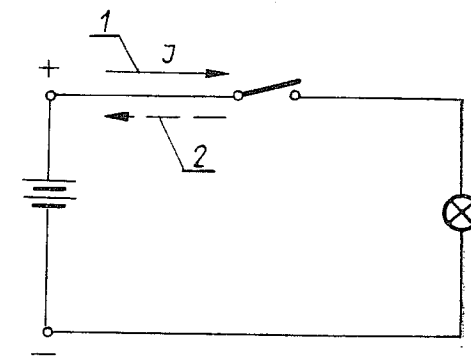
Jeden amper jest dużym natężeniem prądu, gdyż np. zegar bateryjny z naciągami elektromagnetycznym pobiera około 0,1 A, a elektryczny zegarek naręczny 0,00002 A.

Do pomiaru natężenia prądu służą przyrządy zwane amperomierzami. Sposób włączania amperomierza do obwodu elektrycznego wyjaśnia rysunek 2-2. Przez żarówkę, źródło prądu i przewody łączące płynie ten sam prąd I . Aby zmierzyć jego natężenie, należy umieścić amperomierz w obwodzie tak, aby mierzony prąd przepływał przez przyrząd. Aby umieszczenie przyrządu nie zmieniło natężenia prądu w obwodzie, włączony amperomierz nie powinien wprowadzać dodatkowego spadku napięcia (patrz następna strona) i dlatego przewody w amperomierzach wykonane są z grubego drutu małej długości, aby możliwie zmniejszyć spadek napięcia wprowadzony dodatkowo do obwodu.

Amperomierz w obwód elektryczny włącza się więc szeregowo, razem z innymi urządzeniami, przez które przepływa mierzony prąd. Jest rzeczą obojętną, w którym punkcie obwodu włączony jest amperomierz, ważne jest tylko, aby cały mierzony prąd płynął przez przyrząd.



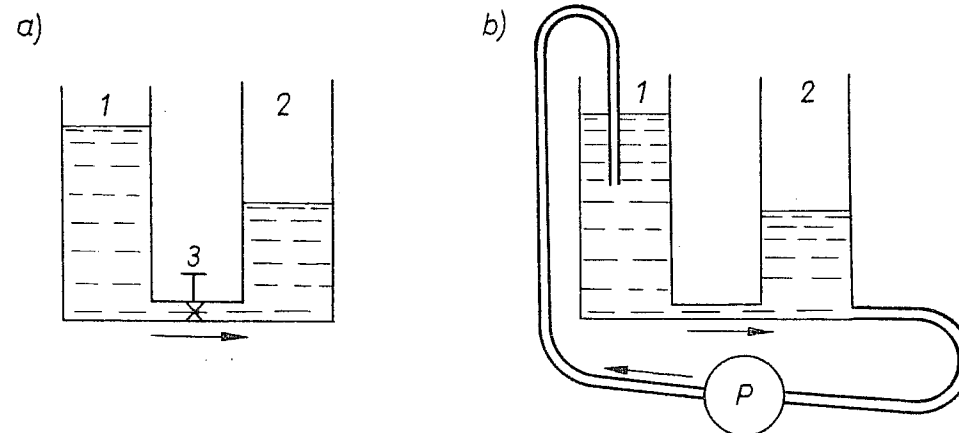
Rys. 2-2. Sposób włączania amperomierza do obwodu



Rys. 2-3. Obwód elektryczny z oznaczonym kierunkiem prądu i kierunkiem ruchu elektronów: 1 — kierunek prądu, 2 — kierunek ruchu elektronów

Kierunek płynącego w obwodzie elektrycznym prądu przyjęto od zacisku dodatniego źródła do zacisku ujemnego (rys. 2-3). Jest to sprzeczne z teorią elektronową, według której prąd elektryczny jest ruchem elektronów swobodnych w kierunku od zacisku ujemnego źródła (nadmiar elektronów) do zacisku dodatniego (niedomiar elektronów). Sprzeczność ta wynika stąd, że umowa co do kierunku przepływu prądu została ustalona wtedy, gdy jeszcze nie znano teorii elektronowej.

Ruch elektronów trwa dopóty, dopóki w przewodzie istnieje pole elektryczne, czyli dopóki na jego końcach występuje różnica potencjałów. Wyrównanie się potencjałów dwóch ciał można porównywać z wyrównywaniem się poziomów cieczy w dwóch naczyniach połączonych (rys. 2-4a).



Rys. 2-4. Analogia przepływu cieczy z przepływem prądu elektrycznego: 1, 2 — naczynia połączone, 3 — kurek, P — pompa

Z chwilą otwarcia kurka 3 poziom cieczy zaczyna się w naczyniu 1 obniżać, a w naczyniu 2 podnosić. Przepływ cieczy trwa do chwili wyrównania się poziomów w naczyniach.

W celu trwałego utrzymania ruchu cieczy z naczynia 1 do naczynia 2 należy zainstalować pompę, która by odprowadzała odpowiednią ilość cieczy z naczynia 2 i doprowadzała do naczynia 1. Powstaje w ten sposób zamknięty obieg cieczy (rys. 2-4b).

Podobnie do trwałego utrzymania przepływu prądu elektrycznego między dwoma przewodnikami o potencjale V_1 i V_2 powinny być spełnione następujące warunki:

- powinna istnieć zamknięta droga, po której mógłby płynąć prąd elektryczny
- powinno istnieć urządzenie, które by, analogicznie do pompy w obiegu wody, było zdolne do przenoszenia ładunków elektrycznych z niższego poziomu potencjału na wyższy. Ponieważ utrzymuje ono pewną różnicę potencjałów czyli napięcie, nazywa się więc źródłem napięcia.

Elektrony opuszczające źródło energii elektrycznej nabyły zdolność do wykonania pracy (A) pod wpływem występującej w źródle energii elektrycznej siły elektromotorycznej. Jedno źródło energii może nadawać pewnej ilości elektryczności — pewnemu ładunkowi ($Q=I \cdot t$) większą energię, inne mniejszą, zależnie od siły elektromotorycznej F źródła. Wartość siły elektromotorycznej, (s. em.) i napięcia określa się w woltach (V). Siła elektromotoryczna 1 wolta ma źródło napięcia, które ładunkowi 1 C ($1 A \cdot s$) nadaje energię 1 dżula.

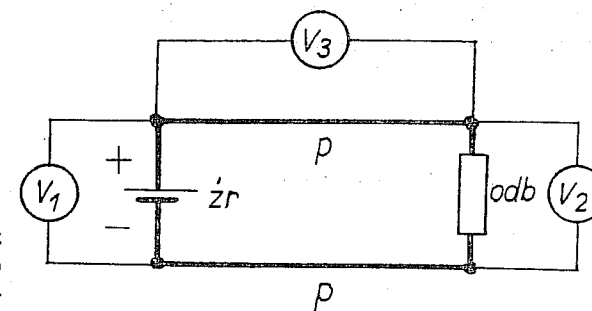
Wolt jest więc jednostką siły elektromotorycznej, oznaczonej znakiem wielkości E .

Napięciem w obwodzie elektrycznym nazywa się różnicę potencjałów występujących w różnych jego punktach. W obwodzie elektrycznym mogą nas interesować różnice potencjałów (a więc napięcie) między różnymi punktami obwodu, np. między zaciskami źródła, między zaciskami odbiornika itp.

Napięcie oznacza się literą U , a jednostką napięcia jest wolt V. Napięcie (i siłę elektromotoryczną) mierzy się za pomocą przyrządów pomiarowych, zwanych woltomierzami. Woltomierz przyłącza się do obwodu sposobem przedstawionym na rys. 2-5; to jest tak, aby mierzył spadek napięcia (lub napięcie) między pewnymi punktami obwodu np. V_2 — między zaciskami odbiornika.

Woltomierz V_1 mierzy siłę elektromotoryczną źródła prądu, jeżeli obwód prądu jest przerwany (ze źródła nie jest pobierany prąd) lub napięcie między zaciskami źródła prądu podczas obciążenia źródła (czyli włączenia odbiornika).

W praktyce w urządzeniach elektrycznych są stosowane następujące napięcia:



Rys. 2-5. Włączenie woltomierza do obwodu. Woltomierz włącza się równolegle do obiektu, na zaciskach którego mierzy się napięcie

- fotokomórka 0,05V;
- bateria latarki 1,5 lub 4,5 V;
- akumulator 2 V;
- sieć oświetleniowa 220 V, 110 V lub 24 V;
- sieć kolei elektrycznej 1500 lub 3000 V.

Często w praktyce stosuje się jednostki mniejsze — miliwolty (mV):
1 mV=0,001 V

oraz większe kilowolty (kV):

$$1 \text{ kV}=1000 \text{ V}$$

W rozdziale 1 wykazano, że w przewodnikach pod działaniem siły zewnętrznej (w postaci pola elektrycznego, magnetycznego, lub innej energii) elektrony mogą się przemieszczać swobodnie, jedyną przeszkodą będą tu dodatnie jony.

Prawo Ohma. W r. 1826 Georg Simon Ohm pierwszy stwierdził doświadczalnie, że przy doprowadzeniu tego samego napięcia do dwóch różnych przewodników, płynące w nich prądy mają na ogół różne wartości, tak jak gdyby jeden z przewodników stawiał przepływowi prądu opór mniejszy niż przewodnik drugi.

Badania wykazały, że opór elektryczny oznaczony przez R jest wprost proporcjonalny do długości przewodu l i odwrotnie proporcjonalny do jego przekroju S .

Powyższą zależność można napisać następująco:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gdzie ρ jest pewnym współczynnikiem proporcjonalności.

Wartość tego współczynnika jest różna dla różnych materiałów — wielkość ρ nazwano oporem właściwym materiału (rezystywnością). Opór R bardzo często nazywamy rezystancją.

Jeżeli we wzorze $R = \rho \frac{l}{S}$ przekrój przewodu wyrazić w m^2 , długość

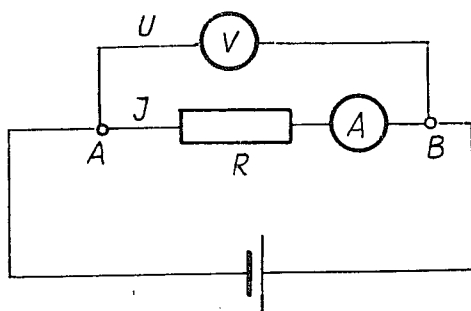
w metrach, a jego opór w omach (Ω), otrzymamy jednostkę w jakiej mierzymy opór właściwy; jednostkę tę nazywa się omometrem

$$\rho = \frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \quad 1 \Omega \text{m}$$

W tablicach technicznych spotyka się jeszcze opór właściwy materiału wyrażany w $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ — jest to opór przewodu wykonanego z tego materiału o długości 1 metra i przekroju 1 milimetra kwadratowego.

Ohm w swoich doświadczeniach stwierdził ponadto, że ze zmianą napięcia zasilającego prąd zmienia się proporcjonalnie do wartości napięcia. Powyższe wyniki obserwacji ujmuje zależność zwana powszechnie *prawem Ohma*:

natężenie przepływającego prądu I w amperach jest wprost proporcjonalne do napięcia U w woltach doprowadzonego do końcówek A i B odcinka przewodu i odwrotnie proporcjonalne do oporu R w omach (rys. 2-6).



rys. 2-6. Techniczna metoda pomiaru oporu R

Wyraża to wzór:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{i stąd } U = I \cdot R$$

Można prosto wyznaczać wartość oporu R w omach odcinka AB obwodu mierząc natężenie prądu I i doprowadzone napięcie U . Posługujemy się wtedy przekształconym wzorem Ohma:

$$R = \frac{U}{I}$$

Odwrotność oporu (rezystancji) R nazywamy przewodnością i oznaczamy przez G . Jednostką przewodności jest simens (S)

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{oraz } 1 \text{ S} = \frac{1}{\Omega}$$

Wprowadzając do prawa Ohma zamiast oporu przewodność otrzymamy

$$I = G \cdot U$$

co oznacza, że prąd płynący w przewodniku jest wprost proporcjonalny do napięcia i przewodności materiału.

Podobnie jak opór właściwy, istnieje także przewodność właściwa zwana *konduktywnością* (γ). Przewodność właściwa jest to odwrotność oporu właściwego

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

Przewodnością właściwą (konduktywnością) danego materiału jest przewodność przewodu wykonanego z tego materiału o długości 1 m i o przekroju poprzecznym 1 mm^2

$$1\gamma = 1 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} = 10^6 \frac{\text{S}}{\text{m}}$$

W tabeli 3 podano właściwości niektórych najczęściej spotykanych przewodników elektrycznych, a wśród nich podano wartości oporu właściwego i przewodności właściwej.

Wzór Ohma $U = I \cdot R$ wyraża spadek napięcia U , czyli stratę energii elektrycznej poniesioną przez każdą jednostkę ładunku C przepływającą przez odcinek obwodu AB o oporze R .

Jak wiadomo z fizyki przepływ prądu elektrycznego przez przewodniki wywołuje działania:

- cieplne — przejawiające się w postaci nagrzewania przewodów wiodących prąd;
- magnetyczne — polegające na wytwarzaniu dookoła przewodów pola magnetycznego;
- mechaniczne — polegające na oddziaływaniu pól magnetycznych wytworzonych przez przewody wiodące prąd;
- chemiczne — występujące przy przepływie prądu przez elektrolity.

Prawo Joule'a-Lenza. Cała ilość energii zamieniona na ciepło, przy przepływie przez odcinek obwodu ładunku $I \cdot t$ kulombów, który to przepływ nastąpił w czasie t sekund, wyniesie przy spadku napięcia U :

$$A = UI \cdot t \quad \text{lecz } U = I \cdot R$$

więc $A = I^2 R \cdot t$

$$\text{lub zastępując } I = \frac{U}{R}$$

TABELA 3

Właściwości niektórych przewodników elektrycznych

Material	Opór właściwy w $\frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ w temp. 20°C	Przewodność właściwa w $\frac{\text{m}}{\text{mm}^2}$ w temp. 20°C	Współczynnik temperaturowy w temp. 20°C	Gęstość w kg/dm^3
Materiały przewodowe				
Miedź przewodowa (twarda)	0,0178	56	+0,00393	8,9
Miedź miękka (nawojowa)	0,0175	57	+0,00392	8,9
Aluminium (drut)	0,0283	35,3	+0,004	2,7
Aldrej (stop aluminium)	0,0333	30	+0,0036	2,7
Cynk	0,06	17	+0,0038	7,1
Stal	0,13÷0,2	7,7÷5	+0,0048	7,85
Nikiel	0,1	10	+0,0047	8,85
Srebro	0,016	62,5	+0,0038	10,5
Wolfram	0,055	18,2	+0,0041	19,1
Mosiądz	0,074	13,5	+0,0015	8,6
Rtęć	0,95	1,505	+0,0009	13,6
Węgiel	20÷40	0,05÷0,025	-0,002	2
Materiały oporowe				
Manganin	0,43	2,3	+0,00003	8,43
Konstantan	0,50	2	+0,00004	8,9
Nikielina	0,43	2,3	+0,00023	8,7
Nowe srebro	0,27	3,7	+0,003	8,5
Kanthal	1,39	0,72	+0,006	7,15
Chromonikielina	1,1	0,92	+0,00015	8,36

$$A = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Dwa ostatnie wzory przedstawiają prawo Joule'a-Lenza. Pierwszy można zdefiniować: ciepło mierzone w dżulach wydzielone w odbiorniku równe jest iloczynowi kwadratu prądu (w amperach), oporowi odbiornika (w omach) i czasu (w sekundach), w którym płynął prąd o zmiennym natężeniu.

Dla wyrażenia energii cieplnej Q (ciepła) w kaloriach korzystamy z przeliczenia jednostek:

$$1\text{J} = 0,24 \text{ UI}t = 0,24 \text{ I}^2\text{R}t$$

$$\text{lub } Q = 0,24 \frac{U^2}{R} \cdot t$$

W każdym źródle lub odbiorniku z tej przyczyny, że posiadają one określoną oporność musi występować strata mocy prądu (I^2R) na tzw. ciepło Joule'a oraz spadek napięcia ($I \cdot R$) na oporze R .

Straty takie występują również w przewodach doprowadzających prąd do odbiornika, są one niepożądane i dlatego staramy się, aby przewody miały możliwie mały opór.

Przy wzroście temperatury w metalu (przewodniku) wzrasta jego oporność.

Wszystkie dotychczas poznane oporności były podawane dla temperatury 20°. Do obliczenia oporności materiału, który będzie pracował w wyższych temperaturach (lub różnych) służy wzór

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20^\circ)]$$

gdzie R_t — obliczana oporność w temperaturze t przy czym $t = 20^\circ\text{C}$

R_{20} — oporność materiału w temperaturze 20°C

α — współczynnik temperaturowy (patrzy tablica 3)

Przyczyny wzrostu oporności materiału ze wzrostem temperatury można wyjaśnić następująco: ze wzrostem temperatury w metalu wzrasta również prędkość drgań cieplnych jego cząsteczek. Te drgania utrudniają swobodnym elektronom przepływ wzdłuż przewodu, czyli że prąd elektryczny napotyka na coraz większy opór i jego przepływ wraz ze wzrostem temperatury staje się coraz bardziej utrudniony. Zjawiska te sprawiają, że w miarę jak przewód nagrzewa się, to jego opór wzrasta.

Niech przewodnik ogrzewa się od temperatury początkowej t_1 , i ma wtedy opór 1 Ω . Po ogrzaniu o 1°C opór jego wzrośnie o pewną wartość, którą oznacza się literą α , czyli wtedy opór jego wyniesie $(1 + \alpha)\Omega$

Jeżeli przewodnik ten osiąga ostateczną temperaturę wyższą od temperatury początkowej o $(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$ to jego opór stanie się równy

$$[1 + (t_2 - t_1)\alpha]\Omega$$

Jeżeli natomiast będziemy ogrzewali przewodnik o oporze R wtedy w temperaturze t_2 jego oporność będzie wynosiła

$$Rt_2 = Rt_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

gdzie α — jest temperaturowym współczynnikiem oporu.

Jako temperaturę początkową przyjęto 20°C (temperaturę otoczenia) i dlatego wzór przybiera postać

$$Rt = R_{20}[1 + \alpha(t - 20^\circ)]$$

Jeżeli temperatura przewodu obniży się poniżej 20°C to różnica $(t - 20^\circ)$ stanie się ujemna, a opór przewodu będzie mniejszy — jest to słuszne tylko do temperatury około minus 200°C, poniżej tej temperatury przepływem prądu rządzą inne prawa fizyczne, opór większości przewodników takich jak miedź, żelazo i platyna jest prawie stały.

Niektóre zaś metale, jak ołów, cyna i rtęć w temperaturach blis-

kich zera bezwzględnego wykazują zupełny zanik oporu. Zjawisko to zostało nazwane nadprzewodnictwem, a metale takie nadprzewodnikami.

Niektóre niemetale, np. węgiel, roztwory soli i szkło płynne mają ujemny współczynnik temperaturowy α , tzn. przy wzroście temperatury wykazują zmniejszenie oporu. W takich przypadkach, gdy chcemy, aby opór przewodu nie zmieniał się wraz ze zmianami temperatury (albo zmieniał się tylko w niewielkim zakresie) stosuje się przewody ze specjalnych stopów, np. manganinu i konstantanu (patrz tablica 3).

Korzyści, jakie otrzymuje się z faktu wzrostu oporu przy wzroście temperatury, można zauważyć na przykładzie żarówki do oświetlania z włóknem metalowym (wykonanym z wolframu). Podczas żarzenia wskutek wzrostu temperatury do ok. 2500°C włókno zwiększa swój opór około dziesięciu razy. Odpowiednio do tego prąd pobierany (przy stałym napięciu zasilania 220 V) przez żarówkę w chwili przyłączenia do sieci jest kilkakrotnie większy od prądu pobieranego podczas żarzenia się drucika, co prowadzi do oszczędności energii elektrycznej.

Między dopuszczalnym natężeniem prądu a polem przekroju przewodnika, przez który ten prąd przepływa, istnieje pewna proporcjonalność, którą wyrazić można zależnością:

$$j = \frac{I}{S}$$

gdzie: j — gęstość prądu
 I — prąd w amperach
 S — przekrój w mm^2

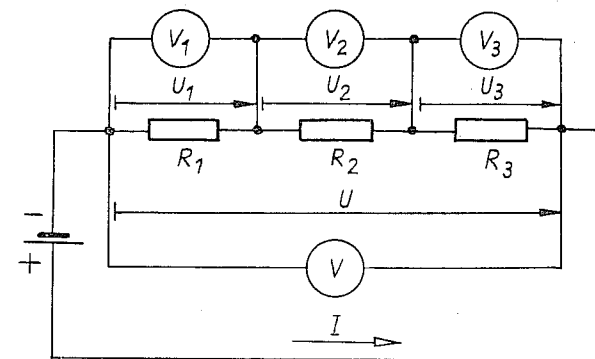
to gęstość prądu j otrzymamy w $\frac{\text{mm}^2}{\text{A}}$

Gęstość prądu dobieramy zwykle w zależności od rodzaju materiału przewodzącego prąd oraz urządzenia, w którym ten prąd przepływa, np. dla drutu miedzianego w cewkach przy pracy ciągłej dopuszcza się $j=2\text{--}4\text{ A/mm}^2$, a przy pracy przerywanej (przerwy co 0,1–0,5 s) można stosować nawet do 8 A/mm².

Projektując cewkę możemy więc, znając warunki pracy i natężenie prądu, dobrać odpowiednią średnicę drutu.

Szeregowe łączenie oporów. Na rys. 2-7 podano przykład obwodu, w którym oporniki R_1 , R_2 i R_3 zostały połączone w szereg. Spadki napięcia na każdym oporniku będą wynosiły:

$$U_1 = I \cdot R_1, U_2 = I \cdot R_2 \text{ i } U_3 = I \cdot R_3$$



Rys. 2-7. Szeregowe łączenie oporów

Natomiast całkowity spadek napięcia na zaciskach szeregowo połączonych oporów można zmierzyć woltmierzem V.

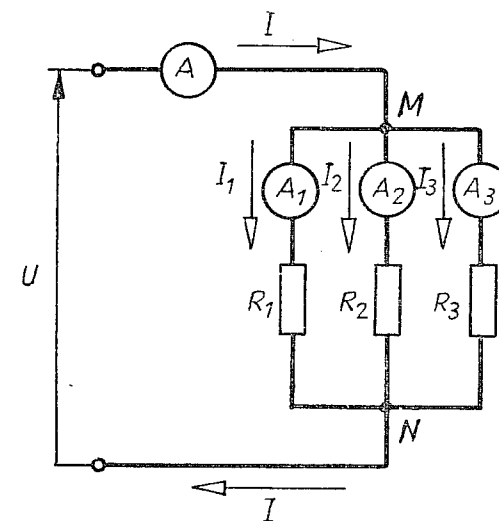
Napięcie to jest równe sumie napięć:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Opór wypadkowy równoważny oporom połączonym szeregowo równa się sumie tych oporów

$$R_{w0} = R_1 + R_2 + R_3$$

Równoległe łączenie oporów. Pierwsze prawo Kirchhoffa. Na rys. 2-8 przedstawiono schemat obwodu rozgałęzionego, w którym źródło energii zasila trzy odbiorniki o rezystancji (oporze) R_1 , R_2 i R_3 . W punkcie M tego obwodu następuje rozgałęzienie prądu dopływającego ze źródła na gałęzi I_1 , I_2 i I_3 . Taki punkt obwodu nazywa się węzłem. Podobnie i punkt



Rys. 2-8. Równoległe połączenia oporów w węzłach M i N

N obwodu, do którego dochodzą prądy I_1 , I_2 i I_3 , a odpływa prąd I jest również punktem węzłowym.

W stosunku do prądów zbiegających się w punkcie węzłowym zostało sformułowane pierwsze prawo Kirchhoffa: suma natężeń prądów dopływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów odpływających z węzła

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Natężenie prądów w poszczególnych gałęziach można obliczyć ze wzoru

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, I_3 = \frac{U}{R_3}$$

podstawiając te wartości do poprzedniego wzoru otrzymamy:

$$\frac{U}{R_w} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

a po podzieleniu obu stron równania przez U otrzymamy

$$\frac{1}{R_w} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

co można opisać słowami, że przy połączeniu równoległym oporników, odwrotność oporu wypadkowego równa się sumie odwrotności połączonych oporów.

Posługując się zamiast opornością — przewodnością $G = \frac{1}{R}$ otrzymamy

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

to znaczy, że przewodność wypadkowa jest równa sumie przewodności poszczególnych równoległych gałęzi.

Spadki napięcia w poszczególnych gałęziach są jednakowe i równe napięciu U

$$U = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

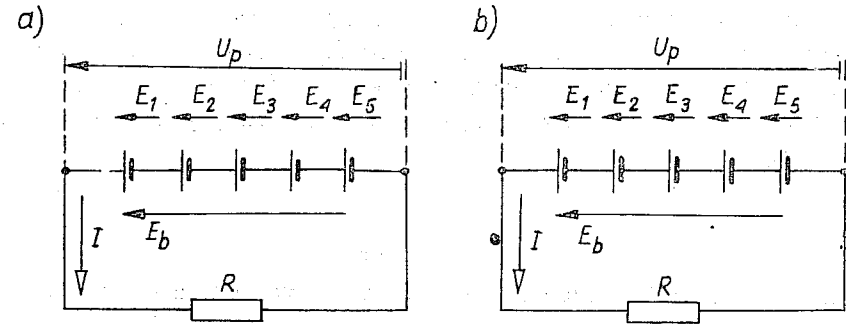
stąd możemy otrzymać proporcje

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{i} \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}$$

z których wynika, że natężenia prądów w gałęziach równoległych są w stosunku odwrotnym do oporów tych gałęzi.

Drugie prawo Kirchhoffa. Szeregowe łączenie źródeł napięcia. Łączenie szeregowe źródeł stosuje się najczęściej przy ogniwach i akumulatorach w celu otrzymania baterii o wyższym napięciu. Przy połączeniu

szeregowym źródeł prądu (rys. 2-9a) s.em. (siła elektromotoryczna) baterii E_b jest równa sumie s.em. poszczególnych źródeł



Rys. 2-9. Połączenie szeregowe źródeł energii elektrycznej

$$E_b = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

a opór wewnętrzny utworzonej baterii

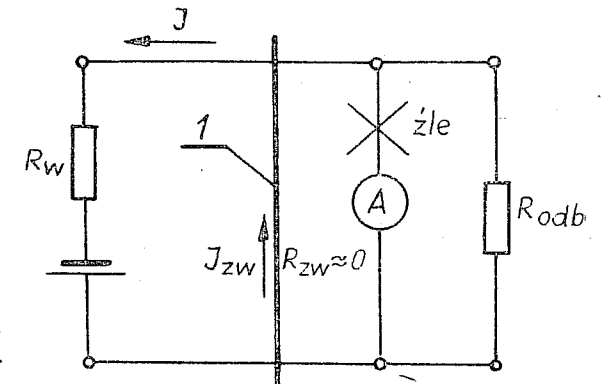
$$R_{wb} = R_{w1} + R_{w2} + \dots + R_{wn}$$

Po obciążeniu baterii prąd I płynący przez wszystkie źródła będzie ten sam, a napięcie na zaciskach wyniesie

$$U_b = E_b - R_{wb} \cdot I$$

Gdy w obwodzie połączone są ze sobą niektóre źródła biegunami jednoimiennymi (rys. 2-9b) wtedy siły elektromotoryczne przeciwnie skierowane będą się odejmowały, ale opór wewnętrzny baterii tak samo jak poprzednio będzie równy sumie oporów poszczególnych ogniw.

Zwarcie obwodu. Bezpośrednie połączenie przewodem o małym oporze dodatniego z ujemnym biegunem źródła prądu nazywamy zwarcie obwodu. (Rys. 2-10). Zwarcie w obwodzie wywołuje nienormalne wa-



Rys. 2-10. Zwarcie w obwodzie przewodem (1) lub źle włączonym amperomierzem

runki pracy źródła, powodując wzrost przepływu prądu ponad tzw. wartość znamionową prądu (dopuszczalną), co może powodować nadmierne grzanie się źródła i przewodów doprowadzających.

Stosując do obwodu prawo Ohma przy oporze zwarcia (przyjmuje się prawie równy zero) $R_{zw}=0$ i oporze R_p przewodów doprowadzających prąd do miejsca zwarcia oraz oporze R_w źródła prądu o sile elektromotorycznej, E , obliczymy natężenie I_{zw} prądu płynącego w obwodzie zwartym

$$I_{zw} = \frac{E}{R_p + R_w}$$

Wartość prądu I_{zw} jest bardzo duża, ponieważ suma oporów R_p i R_w jest bardzo mała. W praktyce spotyka się zwarcie obwodu wskutek uszkodzenia izolacji. Przyczyną uszkodzenia mogą być wady produkcyjne, uszkodzenia mechaniczne lub przegrzanie wskutek wysokiej temperatury przewodu. Również przyczyną zwarcia obwodu może być źle włączony amperomierz (rys. 2-10), który został włączony równolegle do obwodu zamiast szeregowo. Amperomierz ma bardzo małą odporność i dlatego jego źle włączenie do obwodu powoduje zwarcie obwodu i jednocześnie zniszczenie (spalenie) uzwojenia cewki amperomierza.

Oprócz zwarcia rozróżniamy jeszcze przeciążenie obwodu, ma to miejsce wtedy, gdy natężenie prądu wzrasta powyżej dopuszczalnego dla danego obwodu. Długotrwałe przeciążenie niszczy urządzenia i dlatego jest niedopuszczalne.

W celu zabezpieczenia przed zbytnim przeciążeniem instalacji elektrycznej stosuje się różnego rodzaju bezpieczniki. Najbardziej znanymi są bezpieczniki topikowe, które są umieszczone w obwodzie elektrycznym. Bezpiecznik taki składa się z obudowy (ceramicznej lub szklanej) i cienkiego drucika, przez który przepływa prąd. W przypadku zwarcia i wzrostu natężenia prądu następuje szybkie stopienie cienkiego drucika i przerwanie obwodu elektrycznego.

Drugiego rodzaju bezpiecznikami są bezpieczniki cieplne, które mają wbudowane czujniki o dużym cieplnym współczynniku rozszerzalności cieplnej. W przypadku przepływu zbyt dużego prądu następuje szybkie wydzielanie ciepła na czujniku, zmiana jego wymiarów i rozłączenie obwodu elektrycznego.

Praca i moc prądu elektrycznego. Energią ciała nazywamy jego zdolność do wykonywania pewnej pracy. Energia elektryczna, jak każdy inny rodzaj energii objawia się tylko przy wykonywaniu pracy przez prąd. Posiadając energię prąd może wykonywać pracę. Najczęściej praca prądu sprowadza się do pokonania oporów odbiorników (np. w piecach elektrycznych). Energia elektryczna zamienia się wtedy w ciepło.

Praca prądu jest równa iloczynowi napięcia i ładunku elektrycznego

$$A = U \cdot Q$$

wiedząc, że $Q = I \cdot t$

$$to \quad A = U \cdot I \cdot t$$

Jednostką pracy jest dżul (J) lub watosekunda (Ws)

$$1 \text{ Ws (watosekunda)} = 1 \text{ J (dżul)}$$

$$1 \text{ Wh (watogodzina)} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh (kilowatogodzina)} = 1000 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ MWh (megawatogodzina)} = 1000 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ J}$$

Watosekunda jest to praca prądu o natężeniu jednego ampera, płynącego w ciągu jednej sekundy przy napięciu jednego wolta. Pracę, jaką prąd wykonuje w ciągu jednej sekundy nazywamy mocą (P)

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = U \cdot I$$

Moc elektryczna równa się iloczynowi napięcia i natężenia prądu. Jednostką mocy jest wat (W) oraz jednostki wielokrotne i podwielokrotne

$$0,000\ 001 \text{ W} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 1 \text{ }\mu\text{W (mikrowat)}$$

$$0,001 \text{ W} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 1 \text{ mW (miliwat)}$$

$$1000 \text{ W} = 1 \cdot 10^3 \text{ W} = 1 \text{ kW (kilowat)}$$

$$1\ 000\ 000 \text{ W} = 1 \cdot 10^6 \text{ W} = 1 \text{ MW (megawat)}$$

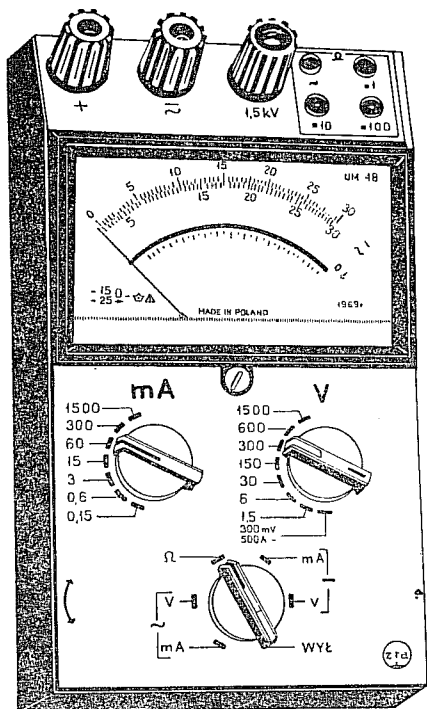
Każdy odbiornik energii elektrycznej charakteryzuje się nie tylko napięciem znamionowym, ale również mocą znamionową, którą musi pobierać ze źródła, aby mógł normalnie pracować. Każde źródło prądu elektrycznego również obliczone jest na określoną wartość prądu i napięcia — na wartości znamionowe. Przekroczenie wartości znamionowych przy eksploatacji źródła może doprowadzić do jego przegrzania i zniszczenia.

Do pomiaru pracy prądu elektrycznego stosuje się liczniki energii elektrycznej, które mierzą energię w kilowatogodzinach, natomiast do pomiaru oporu napięcia i natężenia prądu używany jest miernik uniwersalny typu UM-46 (rys. 2-11).

Przyrząd ten ma tylko jeden organ pomiarowy. Za pomocą pokrętki włącza się oporniki o różnych oporach szeregowo z organem pomiarowym, otrzymując wówczas układ woltomierza lub włączając odpowiednie oporniki równolegle (bocznik) — otrzymuje się wtedy układ amperomierza.

Pomiaru energii prądu stałego dokonuje się licznikami magneto-elektrycznymi lub elektrodynamicznymi; do pomiaru energii prądu przemiennego stosuje się liczniki indukcyjne.

Schematyczną budowę licznika indukcyjnego przedstawiono na



Rys. 2-11. Miernik uniwersalny typu UM-46 produkcji polskiej służący do pomiaru prądu, napięcia i oporu

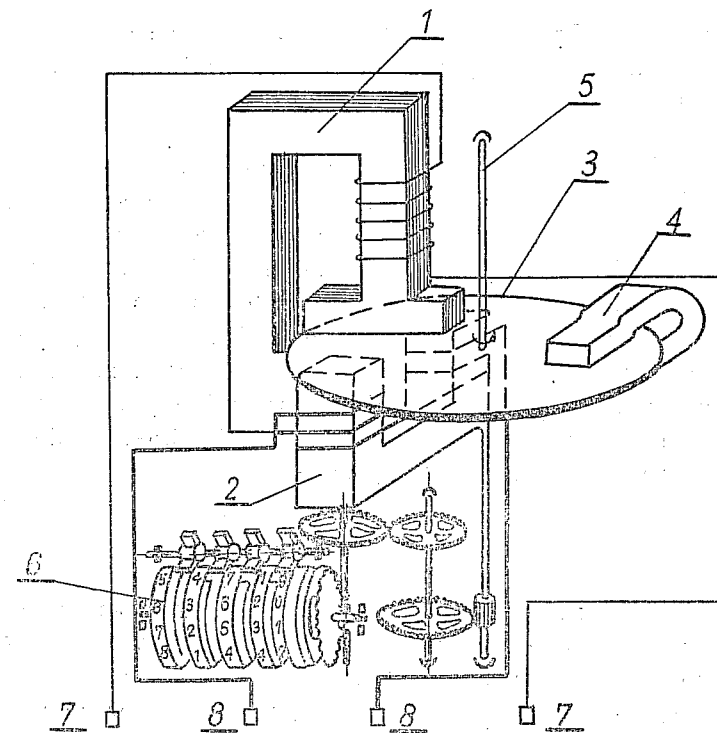
rys. 2-12. Składa się on z elektromagnesu 1, którego rdzeń jest wykonany z blach stalowych z nawiniętym uzwojeniem stanowiącym cewkę napięciową, z elektromagnesu 2 — z cewką prądową, z tarczy aluminiowej 3 osadzonej na osi 5, umocowanej na dwu łożyskach, z przekładni zębatej przenoszącej na liczydło obroty tarczy aluminiowej, z liczydła 6 i z magnesu trwałego 4, oraz zacisków napięciowych 7 i prądowych 8.

Zasada działania oparta jest na oddziaływaniu zmiennych strumieni magnetycznych na prądy wirowe indukowane w tarczy aluminiowej tymi zmiennymi strumieniami. Z tego powodu licznik otrzymał nazwę licznika indukcyjnego.

W cewce 1 wytwarzany jest strumień magnetyczny proporcjonalny do napięcia sieci, a w cewce 2 — strumień proporcjonalny do prądu płynącego w przewodzie. Oddziaływanie tych strumieni na prądy wirowe w tarczy powoduje ruch wirowy tarczy licznika. Magnes stały 4 wytwarza moment hamujący. Obroty tarczy przenoszą się przez przekładnię kółek zębatach na liczydło 6. Liczydło wyskalowane jest w kilowatogodzinach.

Wszystkie mierniki elektryczne mają określoną dokładność pomiaru i ze względu na nią rozróżnia się:

— mierniki laboratoryjne o dużej dokładności, używane w laborato-



Rys. 2-12. Jednofazowy licznik indukcyjny

riach naukowych i przemysłowych oraz jako przyrządy do skalowania i wzorcowania (sprawdzania) innych przyrządów. Dzielą się one na klasy 0,2 i 0,5;

— mierniki techniczne, mniej dokładne, lecz tańsze o klasach dokładności 1,0, 1,5, 2,5 i 4,0.

Pojęcie klasy dokładności jest związane z dokładnością miernika, oznacza ona dopuszczalny uchyb (błąd) przyrządu wyrażony w procentach przy największym odchyleniu wskazówki. Na przykład woltomierz klasy 2,5 o zakresie pomiaru do 300 V ma uchyb równy $300 \cdot 2,5\% = 7,5$ V, to znaczy że pomiar napięcia może być dokonany z nie większą dokładnością. Jeżeli np. woltomierz wskazywał 220 V to w istocie napięcie to może wynosić $220 \pm 7,5$ V, czyli od 212,5 do 227,5 V.

Uchyb pomiaru jest więc różnicą między wartością zmierzoną a wartością rzeczywistą danej wielkości. Uchyb może być wyrażony w różnicy wartości i nazywamy go wówczas uchybem bezwzględnym, względnie w procentach jako uchyb pomiaru względny. Uchyb pomiaru wynika z niedokładności mierników i metody pomiarowej, natomiast nieprawidłowy sposób mierzenia jest przyczyną błędu pomiaru.

Na każdym mierniku wielkości elektrycznych jest podana jego kla-

sa. Mierniki klasy powyżej 3^o/o nie są z zasady używane do pomiarów, lecz stosuje się je często jako wskaźniki, np.: wskaźnik kierunku prądu, wskaźnik napięcia itp.

Sprawność. We wszystkich urządzeniach przekształcających jeden rodzaj energii w inny powstają straty energii. Część dostarczonej energii zostaje przekształcona na inne nie wykorzystane formy, np. w silniku elektrycznym pewna jej część zostaje stracona na niepożądane ciepło Joule'a w uzwojeniach wirnika oraz straty magnetyczne i prądów indukcyjnych. Ilość energii zamienionej na pożyteczną pracę jest więc zawsze mniejsza od ilości energii zużytej. Wynika stąd, że stosunek mocy użytecznej P_u zamienionej na pracę do mocy P_p pobranej przez maszynę wyraża się ułamkiem mniejszym od jedności. Ten ułamek nazywa się sprawnością

$$\eta = \frac{P_u}{P_p}$$

Sprawność jest to więc stosunek wielkości użytecznej wydawanej przez urządzenie (np. ogrzanie wody za pomocą grzałki elektrycznej) do wielkości tego samego rodzaju dostarczonej do urządzenia. Np. silnik, który napędza mechanizm, wykonuje pracę użyteczną (P_u), jednak aby mógł on tą pracę wykonać pobiera z sieci określoną energię elektryczną (P_p), która jest większa od energii (pracy) jaką on wykonuje.

Największe sprawności mają silniki elektryczne 70–90^o/o, silniki spalinowe ok. 35^o/o, a maszyny parowe, parowozy od 12–18^o/o.

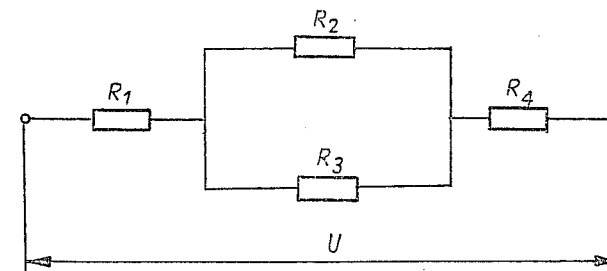
Pojęciem sprawności posługujemy się również przy obliczaniu linii wysokiego napięcia i transformatorów.

Ćwiczenia i pokazy

1. Włączenie amperomierza i woltomierza do obwodu elektrycznego.
2. Pokaz sposobu użycia próbnika z neonówką.
3. Obliczyć dobowe zużycie energii elektrycznej przez żarówkę 150 W.
4. Mierzac metodą techniczną opór opornika uzyskano wartość $U=8,2V$ $I=1,2 A$. Obliczyć opór opornika.
5. Obliczyć natężenie prądu, jeżeli przez przekrój przewodu przepłynął ładunek elektryczny $Q=6 C$ w czasie 3 s.
6. Dla układu połączeń oporników przedstawionych na rys. 2–13 obliczyć opór równoważny i natężenie prądu w każdym z odbiorników, jeżeli do obwodu doprowadzono napięcie $U=220V$; $R_1=11,25 \Omega$; $R_2=75 \Omega$; $R_3=25 \Omega$; $R_4=10 \Omega$.
7. Obliczyć spadek napięcia w linii o oporze $0,1 \Omega$, jeżeli moc przesyłana wynosi 11 kW przy napięciu 220 V.

Pytania sprawdzające

1. Podać prawo Coulomba.
2. Omówić pomiar natężenia prądu amperomierzem.



Rys. 2–13. Rysunek do ćwiczeń. Połączenie szeregowo równoległe oporów

3. Omówić pomiar napięcia przy pomocy woltomierza.
4. Podać prawo Ohma.
5. Omówić I prawo Kirchhoffa.
6. Jakie korzyści daje szeregowo łączenie źródeł prądu.
7. Co to jest zwarcie i jakie są jego skutki?
8. Omówić jednostki pracy i mocy prądu elektrycznego.
9. Co to jest siła elektromotoryczna (s.e.m.)?
10. Omówić prawo Joule'a-Lenza.
11. Omówić przyczyny wzrostu oporności metali przy wzroście temperatury.
12. Omówić klasy mierników wielkości elektrycznych.

3. ŹRÓDŁA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

3.1. Źródła prądu stałego

Ogniwa galwaniczne. Zasada działania ogniwa galwanicznego zostanie wyjaśniona na przykładzie: Do naczynia z wodą destylowaną dolewamy kwasu siarkowego, który w wodzie zostaje zdysocjowany na kationy wodoru i aniony reszty kwasowej (patrz tom „Materiałoznawstwo”). Do tak otrzymanego roztworu wkładamy płytkę cynkową. Jony cynku powoli rozpuszczają się w elektrolicie. Ponieważ jony cynku mają ładunek dodatni i opuszczają płytkę, przeto płytkę zaczyna mieć potencjał coraz bardziej ujemny. Dlatego też cynk zanurzony do elektrolitu ładuje się ujemnie a roztwór z rozpuszczonymi jonami cynku dodatnio, między elektrolitem i płytką powstanie więc różnica potencjałów.

Różne metale mają różne zdolności rozpuszczania się w elektrolitach. Na przykład miedź ma o wiele słabszą zdolność roztwórczą od cynku, a więc jej potencjał względem roztworu byłby tylko bardzo nieznacznie ujemny. Jeżeli więc do takiego roztworu wstawimy jeszcze płytkę miedzianą, to między miedzią i cynkiem otrzymamy różnicę potencjałów. Będzie to najprostsze ogniwo galwaniczne.

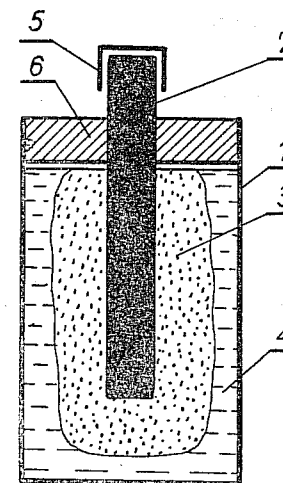
Płytkę miedzianą, która ma wyższy potencjał nazywamy *anodą* albo elektrodą dodatnią, płytkę cynkową o niższym potencjale nazywamy *katodą* albo ujemną elektrodą ogniwa. Jeżeli płytki połączymy przewodem to nadmiar elektronów płytki cynkowej podaży przewodem w kierunku wyższego potencjału do płytki miedzianej. Z płytki cynkowej zaczną się rozpuszczać nowe jony cynku w roztworze. W samym zaś roztworze zaczną się ruch jonów dodatnich w stronę płytki miedzianej i ujemnych w stronę płytki cynkowej. Zasadą działania ogniwa jest więc przemiana energii chemicznej na energię elektryczną. Prąd płynąć będzie dotąd, dopóki będzie się odbywać proces przechodzenia cynku do roztworu.

Siła elektromotoryczna ogniwa nie zależy od ich geometrycznych wymiarów (wielkości płytek, ilości roztworu), lecz jedynie od substancji, z których ogniwo się składa.

W czasie działania wyżej opisanego ogniwa na skutek elektrolizy

kwasu siarkowego na płycie miedzianej zaczynają się osadzać pęcherzyki wodoru, które powodują wzrost wewnętrznego oporu ogniwa. Aby temu zapobiec stosuje się w ogniwach specjalne substancje pochłaniające pojawiający się wodór.

Ogniwo Leclanche'go (rys. 3-1) jest najbardziej rozpowszechnionym ogniwem, składającym się z ujemnej elektrody cynkowej i dodatniej elektrody węglowej, otoczonej depolaryzatorem. Elektrody zanurzone są w 20% roztworze salmiaku. Siła elektromotoryczna takiego ogniwa wynosi około 1,5 V. Podczas pobierania prądu następuje elektroliza wodnego roztworu salmiaku. Jony ujemne dążą do elektrody cynkowej, tu są zubożone i tworzą związek chemiczny z cynkiem, a jony dodatnie wodoru kierują się do elektrody węglowej. Aby nie osiadały na niej w postaci pęcherzyków pręt węglowy otoczony jest depolaryzatorem w postaci dwutlenku manganu.

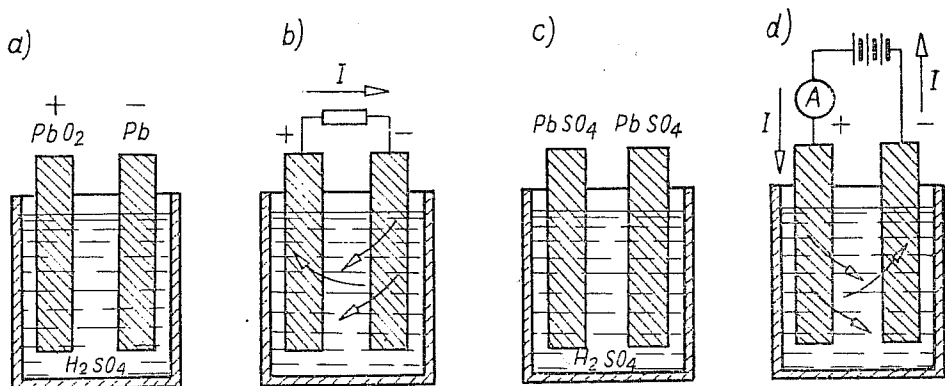


Rys. 3-1. Schemat budowy ogniwa galwanicznego Leclanche'go

1 — kubek cynkowy, 2 — pręt węglowy, 3 — woreczek z depolaryzatorem, 4 — elektrolit, 5 — kapturek z blachy, 6 — zamknięcie (zalewa z masy)

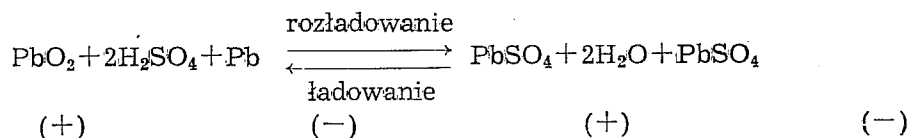
Ilość elektryczności, jaką można pobrać z ogniwa nazywamy pojemnością ogniwa. Zależy ona od wielkości geometrycznej elektrod i elektrolitu. Pojemność ogniwa mierzy się w amperogodzinach ($A \cdot h$). Każde ogniwo ma także dopuszczalny prąd, zwany dopuszczalnym prądem wyładowania.

Akumulatory. Akumulatory są ogniwami wtórnymi zdolnymi magazynować energię elektryczną. Najbardziej rozpowszechnione są akumulatory ołowiowe nazywane też kwasowymi. W akumulatorze naładowanym płyty dodatnie zawierają dwutlenek ołowiu — PbO_2 , a płyty ujemne ołów Pb (rys. 3-2).



Rys. 3-2. Akumulator ołowiowy: a) naładowany, b) wyladowywanie, c) wyladowany, d) ładowanie

Przy rozładowaniu i ładowaniu akumulatorów reakcje chemiczne przebiegają w sposób następujący:



Przy rozładowaniu PbO_2 na płycie dodatniej i ołów na płycie ujemnej przechodzą w siarczan ołowiu PbSO_4 . Zmniejsza się ilość kwasu siarkowego w elektrolicie i tworzy woda H_2O . W czasie rozładowywania zmniejsza się więc gęstość kwasu siarkowego, napięcie stopniowo obniża się. Rozładowywanie należy przerwać, gdy napięcie osiągnie minimalną dopuszczalną wartość dla danego typu akumulatora, gdyż inaczej może to doprowadzić do trwałego uszkodzenia płyt akumulatora.

W celu zachowania jak najdłużej sprawnej działania akumulatora należy przestrzegać następujących zasad:

- płyty akumulatora muszą być całkowicie pokryte elektrolitem i znajdować się 10–15 mm poniżej powierzchni elektrolitu;
- elektrolit powinien mieć odpowiednią gęstość 1,18–1,24 g/cm³;
- ubytek elektrolitu należy uzupełnić tylko wodą destylowaną;
- nie należy długo przechowywać akumulatorów wyladowanych, gdyż powoduje to niszczenie płyt;
- nie przekraczać dopuszczalnych prądów przy ładowaniu i rozładowywaniu;
- przechowywać w ciepłym miejscu, chronić przed mrozem.

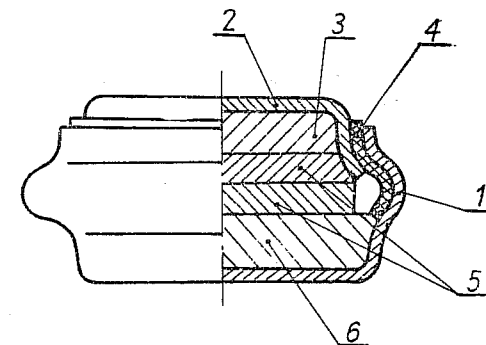
Do zasilania sieci czasu oraz innych zegarowych urządzeń stacjo-

narnych stosuje się z reguły baterie akumulatorów o napięciu 12, 24, 48 lub 60 V. Do ładowania tych akumulatorów stosuje się prostowniki zasilane zwykle z sieci miejskiej prądu przemiennego 220 V. Zegary i zegarki z napędem lub naciąganiem elektrycznym mają własne źródła prądu — zwykle są to ogniwa galwaniczne jednorazowego użycia lub miniaturowe akumulatory.

W zegarach ściennych lub stołowych stosuje się zwykle ogniwa galwaniczne suche Leclanche'go (tzw. baterijki) lub bardziej wydajne ogniwa manganowe typu R-20, R-14 i R-6 o napięciu 1,5 V.

Do napędu zegarów i zegarków o małych wymiarach stosuje się obecnie miniaturowe ogniwa manganowo-cynkowe, tlenkowo-rtęciowe i tlenkowo-srebrne. Najbardziej znaną firmą produkującą miniaturowe ogniwa tlenkowo-rtęciowe jest amerykańska firma Mallory.

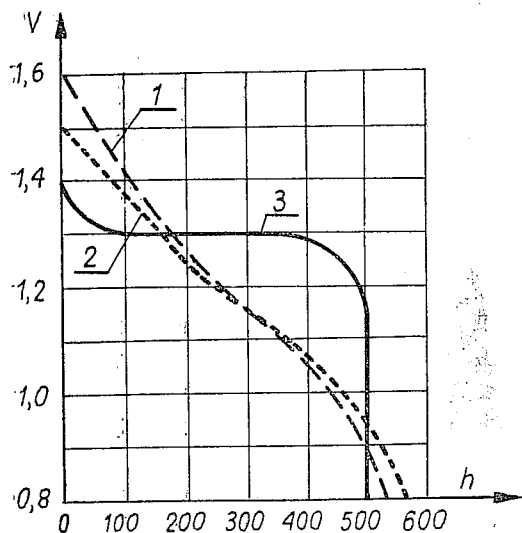
Budowę ogniwa tlenkowo-rtęciowego przedstawia rysunek 3-3. Obudowa ogniwa składa się z dwóch części 1 i 2 oddzielonych od siebie uszczelką 4 z materiału izolacyjnego. Wewnątrz obudowy znajduje się anoda 6 z proszku cynku i katoda 3 z tlenku rtęci. Między anodą i katodą umieszczona jest papierowa przekładka 5 nasycona elektrolitem (KOH) i przepuszczająca ładunki elektryczne.



Rys. 3-3. Schemat konstrukcji ogniwa tlenkowo-rtęciowego firmy Mallory

Ogniwa rtęciowe charakteryzują się dużą stałością napięcia w funkcji czasu pracy w porównaniu z innymi ogniwami, np. Leclanche'go czy też ogniwem manganowo-cynkowym alkalicznym. Na rys. 3-4 przedstawiono krzywe spadku napięcia w funkcji czasu pracy różnych ogniw o tej samej pojemności znamionowej 2,5 Ah przy obciążeniu opornością zewnętrzną $R=250 \Omega$.

Dużą zaletą ogniw rtęciowych jest ich duża pojemność energetyczna w stosunku do objętości, która dochodzi do 1800 Ws/cm³, podczas gdy



Rys. 3-4. Krzywe spadku napięcia w funkcji czasu pracy (h) różnych typów ogniwi:

1 — ogniwo Leclanche'go, 2 — ogniwo manganowo-cynkowe alkaliczne, 3 — ogniwo tlenkowo-rtęciowe

ogniwa Leclanche'go około 500 Ws/cm^3 , a dla porównania sprężyny napędowej w bębnie ok. $0,8 \text{ Ws/cm}^3$. Również trwałość ogniw rtęciowych jest większa niż ogniw galwanicznych i wynosi w zależności od warunków przechowywania od 0,5 do 1,5 roku.

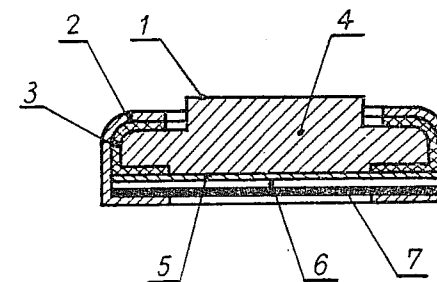
W tabeli 4 podano niektóre dane najczęściej stosowanych w zegarkach miniaturowych ogniwi galwanicznych.

TABELA 4

Niektóre dane miniaturowych ogniwi galwanicznych stosowanych w zegarkach

Oznaczenie	Charakterystyka ogniwa	Producent	Wymiary średnica \times wysokość mm	Napięcie znamionowe V	Pojemność A \cdot h
W1	Tlenkowo-rtęciowe	Mellora	7,8 \times 3,6	1,4	0,100
W2			7,8 \times 3,6	1,4	0,075
W4			11,6 \times 3,3	1,4	0,050
WS 10	Tlenkowo-srebrowe		11,6 \times 3,6	1,5	0,160
WS 14			11,6 \times 5,3	1,5	0,035
4M -2	Manganowo-cynkowe	ZSRR	11,1 \times 3,2	1,5	0,065
P -31	Tlenkowo-rtęciowe		11,2 \times 3,7	1,3	0,070

W Polsce produkuje się miniaturowe ogniwa płytkowe, których zasadę budowy wyjaśnia rysunek 3-5. Ogniwo płytkowe składa się z płytki cynkowej pokrytej od strony wewnętrznej masą elektroprzewodzącą (grafit, kalafonia), która stanowi elektrodę dodatnią — anodę.



Rys. 3-5. Ogniwo płytkowe:

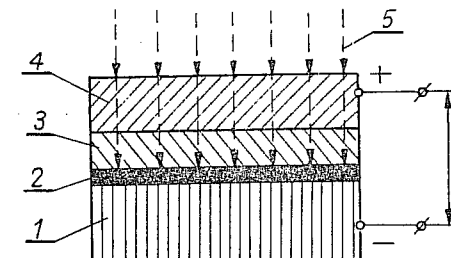
1 — uwypuklenie stykowe, 2 — ramka papierowa, 3 — pierścień igelitowy, 4 — elektroda (anoda), 5 — płytka nasycona elektrolitem, 6 — warstwa elektroprzewodząca, 7 — elektroda cynkowa (płytko)

Uwypuklone wieczko stanowi elektrodę ujemną — katodę. Warstwa elektroprzewodząca ma specjalne własności przewodnictwa elektrycznego — przepuszcza elektrony, lecz nie przepuszcza jonów. Na masie elektroprzewodzącej umieszczona jest papierowa przekładka nasycona elektrolitem, którym jest wodny roztwór chlorku amonowego z dodatkiem chlorku cynkowego, zagęszczony za pomocą mąki ziemniaczanej. Na przekładce z elektrolitem znajduje się dodatkowa ramka tekturowa lub igelitowa, która służy do izolacji biegunów oraz sprasowana przekładka mieszanki depolaryzatora, zawierającego dwutlenek magnezu, nakryty wieczkiem z blachy cynkowej.

W Polsce produkuje się następujące typy ogniwi płytkowych: P-22,5; P-30; P-45; P-67,5; P_z-9a (cyfry przy literach oznaczają wartość siły elektromotorycznej).

Oprócz ogniwi galwanicznych, jako źródła prądu stosuje się również miniaturowe suche akumulatory zasadowe kadmowo-niklowe lub srebrowo-cynkowe, które co pewien okres mogą być doładowywane z zewnętrznego źródła; mimo iż mają one mniejszą pojemność, to dzięki ich wielokrotnemu ładowaniu znajdują dość szerokie zastosowanie w zegarach i zegarkach. Najczęściej stosowane są hermetyczne akumulatory kadmowo-niklowe w kształcie krążka. Ostatnio coraz częściej w zegarach i zegarkach stosowane są fotoelektryczne źródła energii, które przetwarzają bezpośrednio energię świetlną w energię elektryczną.

Zasadę działania ogniwa fotoelektrycznego wyjaśnia rys. 3-6.



Rys. 3-6. Zasada działania ogniwa fotoelektrycznego:

1 — płytka miedziana, 2 — warstwa zaporowa, 3 — warstwa półprzewodnika (tlenku miedziowego), 4 — siatka metalowa (anoda), 5 — promienie świetlne

Na płytkę metalową miedzianą naniesiono cienką warstwę półprzewodnika — tlenku miedziowego (może to być równie dobrze krzem lub selen). W miejscu zetknięcia się półprzewodnika z metalem utworzyła się tzw. warstwa zaporowa. Odznacza się ona tym, że elektrony przechodzą łatwo z metalu do półprzewodnika, natomiast z półprzewodnika znacznie trudniej.

Półprzewodnik zresztą ma bardzo mało swobodnych elektronów. Dopiero gdy na półprzewodnik i warstwę zaporową padnie światło, wtedy ilość elektronów w półprzewodniku szybko wzrasta i staje się on bardziej ujemny w stosunku do metalu, a więc powstaje różnica potencjałów i przechodzenie elektronów z półprzewodnika do metalu. Warstwa półprzewodnika musi być bardzo cienka, aby źródło światła mogło przez nią przenikać. Jednym biegunem ogniwa jest metalowa płytka, a drugim cienka siatka metalowa położona na półprzewodniku lub cienka, przepuszczająca światło warstwa złota lub platyny, otrzymana przez napylenie powierzchni półprzewodnika.

W zegarach i zegarkach stosowane są całe baterie ogniwo fotoelektrycznych połączonych z miniaturowym akumulatorem. Podczas oświetlenia doładowują one akumulator, a przy braku światła akumulator, który jest zasadniczym źródłem zasilania zegara zostaje rozładowywany.

Ostatnio coraz więcej mówi się o uruchomieniu produkcji miniaturowych baterii atomowych, w których energia elektryczna jest bezpośrednio przetwarzana z energii promieniowania izotopu promieniotwórczego. Okres trwałości takiej baterii (ograniczony czasem połowicznego rozpadu izotopu) w zależności od zastosowanego izotopu wynosi od około pięciu do kilkudziesięciu lat.

Łączenie ogniwo. Ogniwa łączone są często w baterie ogniwo szeregowo i równoległe.

Przy łączeniu szeregowym łączymy ujemny biegun pierwszego ogniwa z dodatnim drugiego, ujemny drugiego z dodatnim trzeciego itd., tak, że pozostają na końcach wolne bieguny — ujemny i dodatni (rys. 3-7a).

Siły elektromotoryczne poszczególnych ogniwo powodują przepływ prądu zgodnie z jego kierunkiem i

$$E_b = E_1 + E_2$$

gdzie E_b jest siłą elektromotoryczną baterii ogniwo, jeżeli $E_1 = E_2 = E$, to $E_b = 2E$. Opór wewnętrzny każdego ogniwa jest R_w , a w przypadku dwóch jednakowych ogniwo będzie wynosił $2 \cdot R_w$.

Opór zewnętrzny obwodu wynosi R_o (opór żarówki), a prąd płynący w obwodzie wynosi

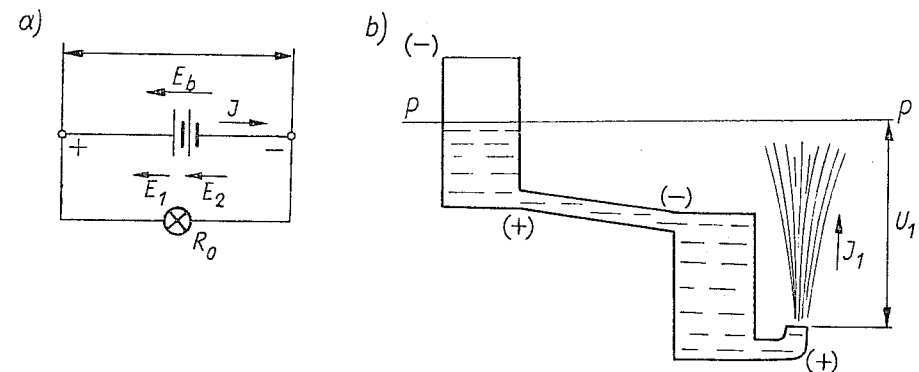
$$I = \frac{2E}{R_o + 2 \cdot R_w}$$

analogicznie dla ilości n baterii

$$I = \frac{nE}{R_o + n \cdot R_w}$$

natomiast napięcie $U_b = n \cdot U$

gdzie U — jest to napięcie jednego ogniwa.



Rys. 3-7. a) Szeregowo połączenie ogniwo. b) Analogia układu hydraulicznego — połączenie szeregowo zbiorników

Z powyższego wynika, że przy szeregowym połączeniu baterii otrzymujemy taki sam prąd jak dla jednej baterii, jeżeli wartość R_o jest mała. Natomiast przy dużym oporze zewnętrznym R_o , natężenie prądu z baterii w porównaniu z prądem jednego ogniwa jest niemal tyle razy większe, ile ogniwo zawiera bateria.

Szeregowo połączenie baterii należy stosować wtedy, gdy chodzi o powiększenie napięcia na zaciskach. Duży prąd otrzymujemy tylko w tym przypadku, gdy opór zewnętrzny obwodu jest duży w porównaniu z wewnętrznym oporem baterii.

Na rys. 3-7b przedstawiono analogiczny przykład hydrauliczny do rys. 3-7a.

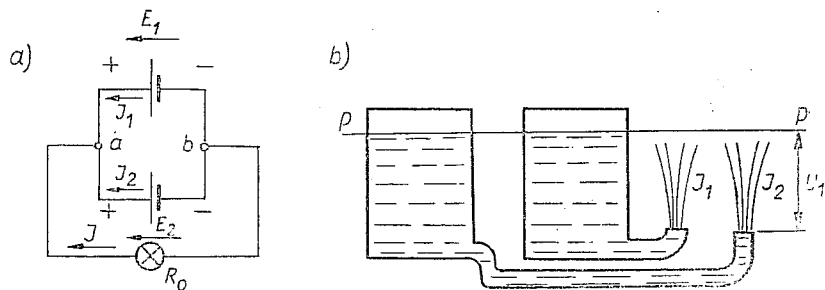
Na rys. 3-8a podano przykład równoległego połączenia ogniwo.

Równoległo połączyć można tylko ogniwa o jednakowych siłach elektromotorycznych. Jeżeli siły elektromotoryczne są różne wtedy prąd z ogniwa o mniejszej s.em. może nawet zmienić kierunek na skutek działania prądu z ogniwa o większej s.em., który w tym przypadku może dawać prąd nie tylko do oporu zewnętrznego, ale i do mniejszych ogniwo, wyczerpując się nadmiernie.

Siła elektromotoryczna każdego ogniwa daje więc do obwodu zewnętrznego prąd I_1 , bo $E_1 = E_2 = E$, natężenie prądu wyniesie

$$I = \frac{E}{R_0 + \frac{R_w}{n}}$$

gdzie n — ilość ogniw.

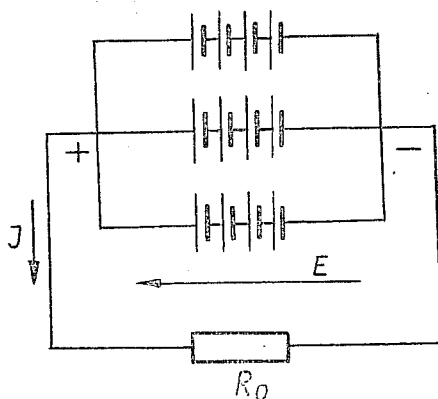


Rys. 3-8. a) Równoległe łączenie ogniw. b) Analogia układu hydraulicznego — równoległe łączenie zbiorników

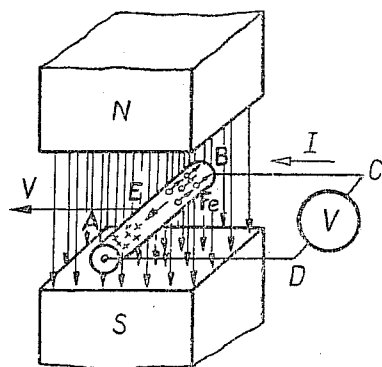
Przy bardzo małym oporze zewnętrznym natężenie prądu z tak utworzonej baterii równoległej powiększy się prawie n -razy.

Natomiast przy dużym oporze zewnętrznym, większym od oporu wewnętrznego baterii zyskujemy bardzo mało na natężeniu prądu. Wartość oporów R_0 i R_w nie ma wpływu na napięcie, które jest takie samo jak w przypadku zastosowania jednego ogniwa.

Często w praktyce chcąc otrzymać jednocześnie zwiększenie napięcia i natężenia prądu łączymy ogniwa w sposób mieszany, tzn. grupy tej samej liczby ogniw połączonych szeregowo łączymy ze sobą jeszcze równoległe (rys. 3-9).



Rys. 3-9. Mieszany sposób łączenia ogniw (równoległy i szeregowy)



Rys. 3-10. Ruch przewodu w polu magnetycznym

3.2. Źródła prądu przemiennego

W 1831 roku Michał Faraday odkrył zjawisko indukcji elektromagnetycznej, które stworzyło podstawy rozwoju współczesnej elektrotechniki i elektroniki. Zjawisko to wykorzystano między innymi do budowy prądnic przetwarzających energię mechaniczną w elektryczną i do budowy transformatorów.

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej polega na powstawaniu siły elektromotorycznej w przewodzie poruszającym się w polu magnetycznym i przecinającym linie pola magnetycznego (rys. 3-10).

Można to wyjaśnić na tle teorii elektronowej. Wraz z przewodem poruszają się znajdujące się w nim elektrony swobodne i jony dodatnie metalu. Na poruszające się wraz z przewodem ładunki elektryczne, zgodnie z zasadą oddziaływania pola magnetycznego, będą działały siły, które spowodują przesunięcie elektronów swobodnych w przewodzie ku jednemu jego końcowi, a jony dodatnie, stanowiące przeciwstawną siatkę krystaliczną nie mogą ulec przesunięciu pod wpływem działania sił. W ten sposób na jednym końcu zgromadzi się nadmiar elektronów, a więc ujemny ładunek elektryczny, na drugim natomiast ładunek dodatni i pomiędzy końcami przewodu powstanie różnica potencjałów czyli s.e.m. indukowania. Przewód poruszający się w polu magnetycznym można więc wykorzystać jako źródło napięcia.

Prąd w przewodzie będzie płynął tak długo, jak długo będzie trwał ruch przewodu w polu magnetycznym. Prąd ten nazywa się prądem elektrycznym indukowanym, zwrot jego jest zgodny z siłą elektromotoryczną indukowaną w przewodzie, można go określić posługując się regułą prawej dłoni.

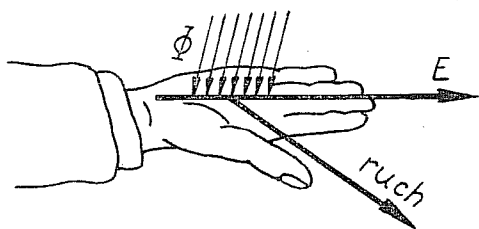
Reguła ta brzmi: jeżeli ustawimy prawą dłoń w ten sposób, aby zwrot linii magnetycznych był skierowany ku dłoni (kierunek linii magnetycznych jest od bieguna N do S) i aby odchyłony kciuk wskazywał kierunek ruchu przewodu, to wyciągnięte cztery palce wskażą zwrot indukowanej w przewodzie siły elektromotorycznej lub w przypadku obwodu zamkniętego — zwrot przepływu prądu (rys. 3-11).

Podczas ruchu przewodu wzdłuż linii magnetycznych w przewodzie nie indukuje się siła elektromotoryczna, ponieważ nie przecina ona pola. Największy efekt uzyskuje się, gdy przewód porusza się w kierunku prostopadłym do linii magnetycznych.

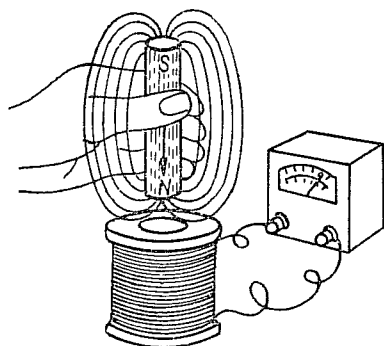
Wzbudzenie prądów elektrycznych w przewodnikach o zamkniętym obwodzie na skutek działania trwałego magnesu nazywa się indukacją elektromagnetyczną. Jeżeli wsuwać trwały magnes o kształcie pręta do cewki nawiniętej izolowanym drutem, to wskazówka przyłączonego do jej końców miliwoltomierza odchyli się (rys. 3-12). Zjawisko zaniknie, gdy magnes zostanie wysunięty lub gdy zostanie zatrzymany.

Tak wywołana siła elektromotoryczna wskutek przecinania linii mag-

netycznych przez zwoje cewki nosi nazwę s.em. indukowanej, zaś napięcie — napięciem indukowanym.



Rys. 3-11. Reguła prawej dłoni — wyznaczenie kierunku siły elektromotorycznej (i kierunku przepływu prądu)



Rys. 3-12. Indukowanie siły elektromotorycznej wskutek poruszania magnesu stałego

Indukcja występuje nie tylko w cewce, ale również przy ruchu przewodnika w polu magnetycznym. Koniecznym warunkiem indukcji elektromagnetycznej jest przecinanie pola magnetycznego przez przewodnik bądź też zmiana natężenia pola magnetycznego, w którym jest przewodnik. Siła elektromotoryczna (a więc płynący prąd i napięcie) indukcji jest tym większa, im większe zmiany strumienia elektromagnetycznego następują w jednostce czasu i im więcej zwojów przewodnika obejmuje strumień magnetyczny.

Wielkość strumienia magnetycznego mierzy się w makswelech (Mx), a natężenie pola magnetycznego (przypadającego na jednostkę powierzchni) mierzy się w erstedach (Oe).

Prądnicą prądu przemiennego. We współczesnej technice energia elektryczna jest przysyłana i użytkowana niemal wyłącznie w postaci prądu przemiennego. Jest to wynikiem możliwości transformowania prądu przemiennego z niskiego napięcia na wysokie i odwrotnie (patrz rozdz. 4.2), co jest konieczne do przesyłania dużych ilości energii elektrycznej na duże odległości.

Prądem przemiennym nazywamy prąd, którego napięcie i natężenie ulegają zmianom nie tylko co do wartości, ale i co do zwrotu (kierunku).

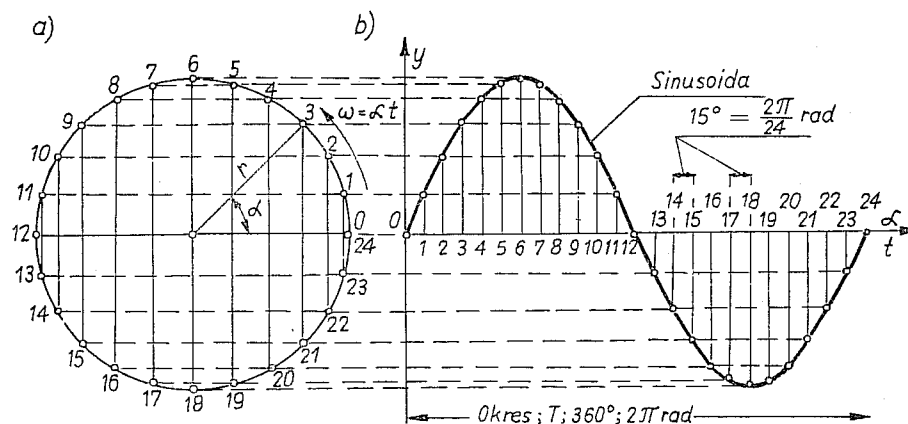
Zmiany te zachodzą okresowo, to znaczy, że po upływie określonego czasu napięcia i natężenia prądu przybierają ponownie te same wartości i zwroty. Postacie zmienności prądu mogą być różne.

Najpraktyczniejszą i najczęściej stosowaną postacią zmienności ma prąd sinusoidalny, którego przebieg zmienności opisuje funkcja sinusoidalna (rys. 3-13)

$$y = \gamma \cdot \sin \alpha$$

Krzywa ta ogranicza zmieniając się w sposób sinusoidalny długości pionowych odcinków (rzędnych) y , które w obranej podziałce mogą wyrazić zmieniającą się okresowo wielkość elektryczną napięcia, s.em. lub natężenia prądu.

Zasady wykreślania sinusoidy zostały wyjaśnione na rysunku 3-13. Dokładność wykreślania sinusoidy jest tym większa im na większą ilość czasu (na mniejsze kąty) podzieli się krąg koła. Pozioma oś może być nie tylko osią kątów α , ale również czasem t . Natomiast odpowiednie wartości rzędnych będą przedstawiać chwilowe wartości zmieniającej się sinusoidalnie wielkości elektrycznej.

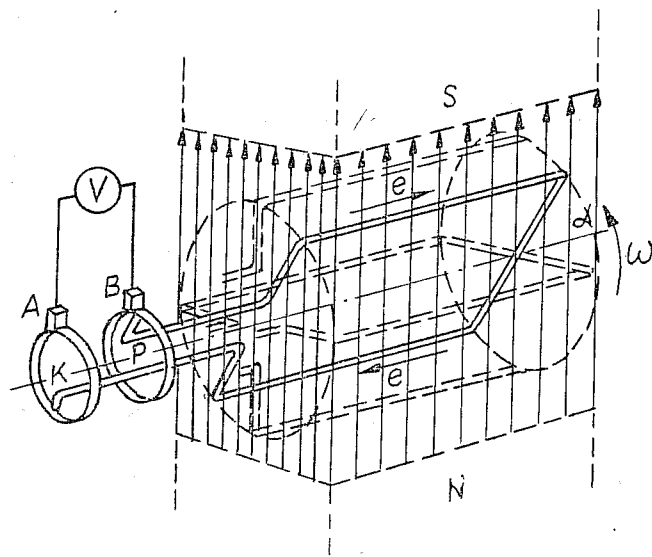


Rys. 3-13. Sposób wykreślania sinusoidy

Na rys. 3-14 przedstawiono zasadę działania prądnicy prądu sinusoidalnego, jako źródła prądu przemiennego. Prądnicą zbudowaną jest z obracającej się z niezmienną prędkością kątową w równomiernym polu magnetycznym prostokątnej otwartej ramki z drutu, której dwa końce p i k są przyłączone do dwóch pierścieni ślizgowych odizolowanych od siebie. Po wirujących z ramką pierścieniach ślizgają się metalowe szczotki A i B , do których przyłączono obwód zewnętrzny — woltomierz. Powstająca w jednostajnie wirującym zwoju s.em. jest sinusoidalnie zmienna, a przebieg zmian jej wartości podano na rys. 3-13.

Wartości zmieniających się wielkości siły elektromotorycznej, napięcia, prądu lub mocy w dowolnej chwili nazywamy wartościami chwilowymi i oznaczamy małymi literami e , u , i .

Największa wartość chwilowa dodatnia lub ujemna, jaką osiągają wielkości sinusoidalnie zmienne, nazywa się wartością szczytową oznaczaną przez E_m , U_m i I_m .



Rys. 3-14. Prądnica prądu sinusoidalnego zmiennego — zasada działania

W wirującej ramce s.em. osiąga wartość szczytową w chwili gdy przy obrocie ramki jej boki przecinają największą liczbę linii magnetycznych w jednostce czasu (rys. 3-13) — odpowiada to położeniu pionowemu ramki. Natomiast, gdy ramka dochodzi do położenia poziomego i jej boki przesuwały się prawie wzdłuż linii sił pola magnetycznego następuje całkowity zanik s.em. (oraz prądu i napięcia). Wartości szczytowe (maksymalne) s.em. powtarzają się co pół okresu (co pół obrotu), ale zwroty tych s.em. są przeciwne.

Czas trwania jednego cyklu zmian wielkości sinusoidalnie zmiennych nazywa się okresem i oznacza literą T .

Liczba cykli w ciągu sekundy nazywa się częstotliwością prądu przemiennego, oznacza się przez f i jest równa liczbie obrotów ramki na sekundę. Im więcej obrotów w jednostce czasu wykonuje ramka, tym większa jest częstotliwość f wytwarzanego prądu

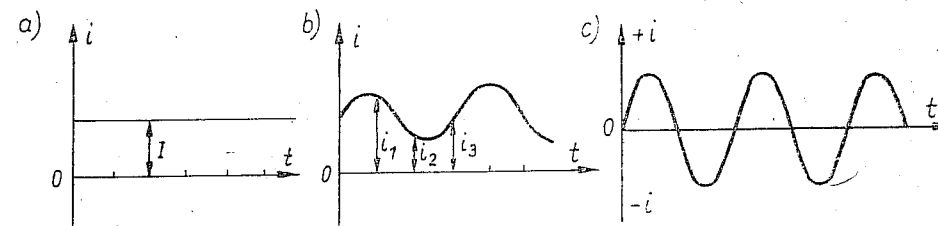
$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{60}$$

Jednostkę częstotliwości nazywamy hercem (Hz). Herc jest odwrotnością sekundy — określa częstotliwość zmian prądu w ciągu jednej sekundy.

Częstotliwość prądu przemysłowego w większości krajów świata i w Polsce wynosi 50 Hz. Natomiast w radiotechnice i telewizji stosowane są prądy o setkach, a nawet tysiącach milionów herców.

Prąd tętniący. Prądem tętniącym nazywa się prąd o tym samym

zwrocie, którego natężenie zmienia się okresowo. Na rys. 3-15 porównano przebiegi prądu stałego, tętniącego i sinusoidalnie zmiennego.



Rys. 3-15. Wykresy prądu: a) stałego, b) tętniącego, c) sinusoidalnie zmiennego

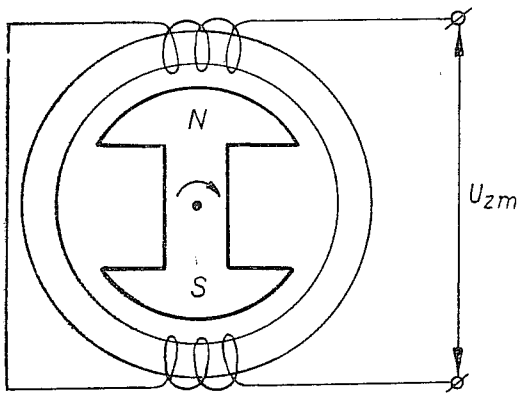
Prąd tętniący stosowany jest najczęściej w urządzeniach telekomunikacyjnych. W urządzeniach energetycznych jest on niepożądany i dlatego przy użyciu dławików (cewek o dużej indukcyjności, małym oporze oraz kondensatorów) jest wygładzany do charakterystyki prądu jak najbardziej zbliżonej do prądu stałego.

Prąd trójfazowy. Wytwarzanie i przesyłanie energii elektrycznej odbywa się obecnie niemal wyłącznie za pośrednictwem prądu trójfazowego. Głównymi zaletami prądu trójfazowego są: oszczędne przesyłanie energii elektrycznej na znaczne odległości oraz duża sprawność i prostota budowy silników elektrycznych trójfazowych.

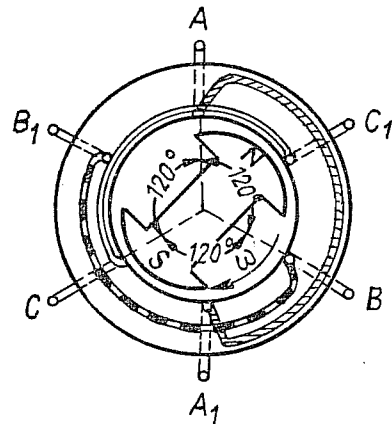
Prąd trójfazowy wytwarzają specjalne prądnice, których zasada działania jest ta sama co i prądnic prądu przemiennego. Należy przy tym dodać, że przy otrzymywaniu prądu jednofazowego oraz także trójfazowego jest obojętne czy uzwojenia (ramka) obracają się w stosunku do nieruchomego pola magnetycznego, czy też obraca się pole magnetyczne w stosunku do nieruchomych uzwojeń (rys. 3-16). Ten drugi przypadek jest nawet bardziej korzystny, gdyż odpada problem iskrzenia na pierścieniach i szczotkach zbierających indukowany prąd (patrz rys. 3-14).

Różnica między prądnicą jednofazową i trójfazową o dwubiegunowym wirniku — magneśnicy polega na tym, że na obwodzie twornika prądnicy trójfazowej są umieszczone trzy jednakowe uzwojenia przesunięte wzajemnie o kąt wynoszący 120° , odpowiada to przesunięciu w fazie powstających w zwojach s.em. o $1/3$ okresu.

Poszczególne obwody prądu prądnicy trójfazowej nazywają się fazami. Na rys. 3-17 przedstawiono schemat prądnicy prądu trójfazowego z wirującą magneśnicą o dwóch biegunach. Na obwodzie twornika — stojana są umieszczone jednakowe zwojnice (ramki) przesunięte względem siebie o kąt 120° w ten sposób, że gdy biegun magnetyczny N podczas wirowania magneśnicy mija jeden bok zwojnicy, to w tej samej chwili biegun S mija drugi bok tej zwojnicy. Początki zwojnic są ozna-



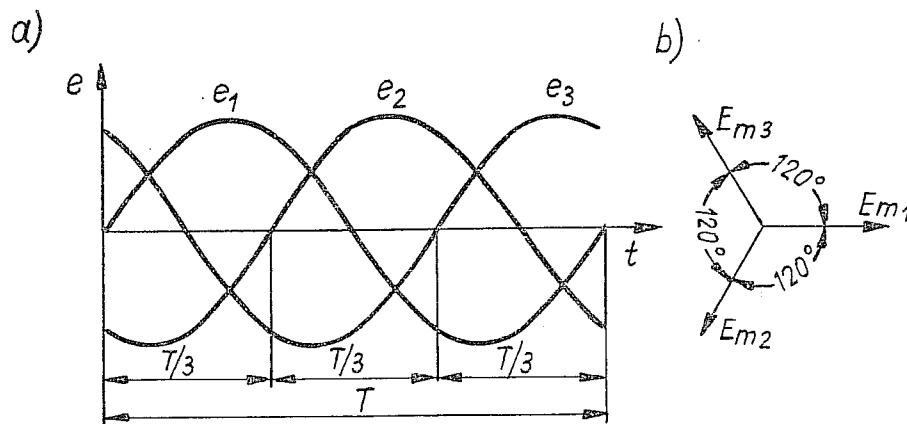
Rys. 3-16. Zasada działania prądnicy prądu sinusoidalnie zmiennego z wirującym magnesem



Rys. 3-17. Schemat prądnicy trójfazowej

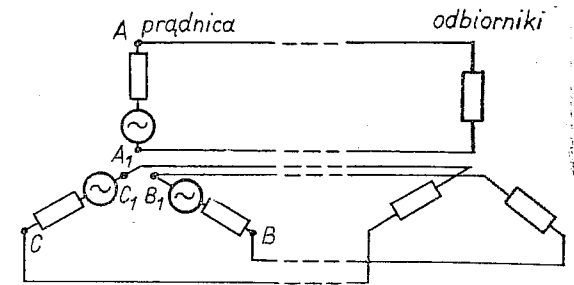
czone literami A, B i C i jak widać na schemacie są przesunięte względem siebie o 120° .

Przebieg zmienności trzech s.em. układu trójfazowego przedstawia rys. 3-18. Z wykresu widać, że w każdej chwili suma chwilowych wartości trzech s.em. układu trójfazowego (symetrycznego) jest równa zero.



Rys. 3-18. Wykresy siły elektromotorycznej układu trójfazowego: a) sinusoid, b) wektorów

Każda zwojnica uzwojenia twornika prądnicy trójfazowej jest źródłem napięcia, wobec czego można utworzyć trzy niezależne od siebie obwody prądu, włączając do każdego z nich odbiornik. Takie trzy nieskojarzone obwody prądu trójfazowego nazywamy układem trójfazowym nieskojarzonym (rys. 3-19).

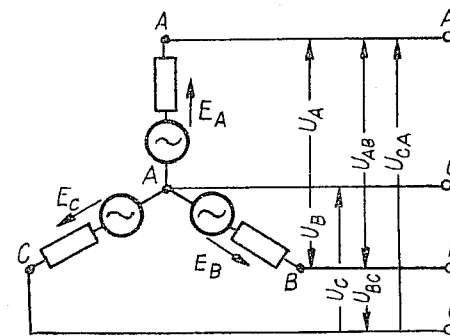


Rys. 3-19. Schemat układu trójfazowego nieskojarzonego

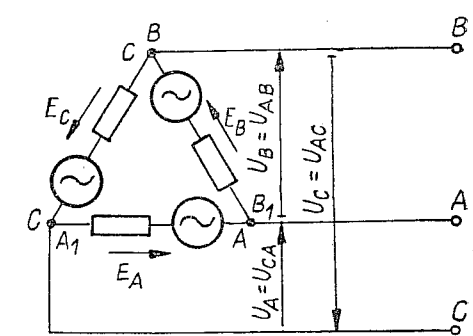
Obwody układu nieskojarzonego wymagają sześciu przewodów dla dostarczenia energii do odbiorników i wobec tego nie są stosowane.

W praktyce znalazły zastosowanie układy skojarzone: w gwiazde i trójkąt.

Układ w gwiazde. Otrzymuje się go łącząc końce A_1, B_1, C_1 zwojnic prądnicy w jednym punkcie zwanym punktem zerowym (rys. 3-20). Prądnicę łączy się z odbiornikiem za pomocą trzech albo czterech przewodów. Trzy przewody zwane fazowymi i oznaczane A, B, C, łączy się z początkiem zwojnic, a jeden zwany zerowym — z punktem zerowym prądnicy.



Rys. 3-20. Schemat połączenia zwojnic prądnicy w gwiazde:
 $U_B = U_A = U_C = 220 \text{ V}$; $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 380 \text{ V}$



Rys. 3-21. Schemat połączenia zwojnic prądnicy w trójkąt

Taki układ połączeń przewodów daje możliwość korzystania z dwóch napięć: fazowego i międzyprzewodowego.

Napięcie fazowe $U_f = 220 \text{ V}$ jest wykorzystywane do odbiorników jednofazowych (np. oświetlenie mieszkań), a napięcie międzyprzewodowe (które wynosi $220 \text{ V} \cdot 3 = 380 \text{ V}$) wykorzystywane jest do odbiorników trójfazowych, a więc dużych silników i innych odbiorników specjalnych.

Układ w trójkąt. Układ ten otrzymuje się przez przełączenie w prądnicy A_1 zwojnicy pierwszej z początkiem trzeciej C , następnie końca trzeciej C_1 z początkiem drugiej B i końca drugiej B_1 z początkiem pierwszej A (rys. 3-21).

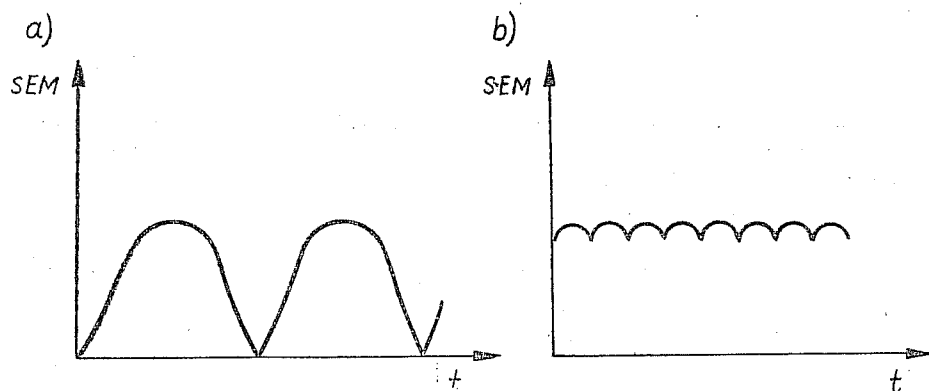
W ten sposób wszystkie 3 uzwojenia tworzą obwód zamknięty o małym oporze. Dla tego układu połączeń wartości skuteczne prądów przewodowych są 3 razy większe niż wartości skuteczne prądów fazowych.

W prądnicy prądu zmiennego siła elektromotoryczna i prąd co pół okresu zmieniają kierunek. Jeżeli usuniemy w takiej prądnicy jeden z pierścieni (rys. 3-14), a drugi przetniemy systematycznie z dwóch stron i do tak otrzymanych połówek pierścieni zwanych wycinkami dołączymy końce ramki to otrzymamy prądnicę prądu stałego (rys. 8-4). W takim uzwojeniu prąd przepływa ze szczotki B przez woltomierz do szczotki A . Szczotka B jest więc szczotką dodatnią, a szczotka A — ujemną. Po obrocie twornika o 180° pierścienie wraz ze zwojem zmieniają swoje położenie, jednocześnie zaś zmieni się kierunek siły elektromotorycznej w prętach. W wyniku tego szczotka B zachowa w dalszym ciągu swój znak dodatni. W rezultacie prąd płynący przez woltomierz będzie miał jednakowy kierunek, ale jego wartość będzie się zmieniać.

Część maszyny elektrycznej umożliwiająca uzyskanie napięcia jednokierunkowego nazywamy *komutatorem*.

W opisanym wyżej wypadku jest on najbardziej prymitywny i składa się z dwóch pierścieni, zwanych wycinkami komutatora. Natomiast proces zmiany prądu zmiennego na prąd jednokierunkowy w maszynie z wirującym uzwojeniem w polu magnetycznym nazywamy *komutacją*.

Zasadniczą wadą opisaney prądnicy jest wytwarzanie napięcia o tętniącej wartości (rys. 3-23a) — jego wartość zmienia się w miarę obrotu wirnika od zera do wartości szczytowej.



Rys. 3-22. Wykres s.e.m.: a) otrzymanej z prądnicy przedstawionej na rys. 3-22, b) otrzymanej z prądnicy o wielu zwojach odpowiednio połączonych z wieloma wycinkami komutatora

Zwiększając liczby wycinków komutatora, połączonych ze zwiększoną liczbą zwojów rozmieszczonych na obwodzie walca wirującego w polu magnetycznym, można zmniejszyć tętnienia do zakresu przedstawionego na rys. 3-23b.

Ćwiczenia i pokazy

1. Pokaz na planszy budowy i zasady działania ogniwa galwanicznego.
2. Pokaz ogniw miniaturowych: płytkowych, rtęciowych i krzemowych.
3. Połączyć trzy ogniwa R-20 w obwodzie z żarówką szeregowo, a następnie równolegle. Zmierzyć napięcie i natężenie prądu.
4. Dane jest 10 ogniw każde o s.e.m. $E=1,8\text{ V}$, oporze wewnętrznym $R_w=0,6\ \Omega$. Dla oporu zewnętrznego $R_1=1,2\ \Omega$ i $R_2=120\ \Omega$ obliczyć (oddzielnie dla obu przypadków) natężenie prądu I_1 i I_2 przy pomocy:
 - a) jednego ogniwa,
 - b) przy baterii zestawionej szeregowo z 10 ogniw,
 - c) przy baterii zestawionej równolegle z 10 ogniw,
 - d) przy baterii zestawionej równolegle z dwóch rzędów po 5 ogniw w rzędzie.

Pytania sprawdzające

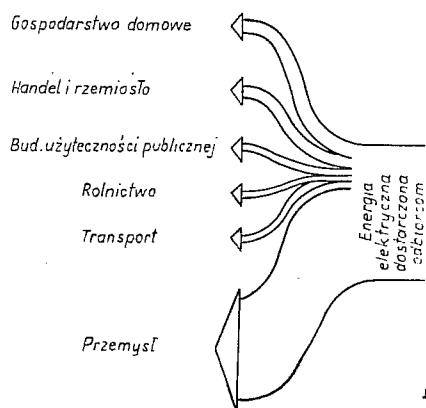
1. Omówić ogólną budowę ogniwa galwanicznego.
2. Omówić budowę ogniwa Leclanche'go.
3. Omówić budowę ogniw miniaturowych.
4. Omówić sposoby łączenia ogniw i korzyści stąd wynikające.
5. Podać warunki konieczne do powstawania indukcji.
6. Omówić budowę prądnicy prądu zmiennego i stałego.
7. Podać różnice między prądem przemiennym i tętniącym.
 8. Omówić zasady ładowania, rozładowania i budowę akumulatora ołowiowego lub kwasowego.
 9. Omówić zasadę działania ogniwa fotoelektrycznego.
 10. Omówić powstawanie indukowanej siły elektromotorycznej.
 11. Omówić budowę prądnicy prądu trójfazowego.
 12. Omówić sposoby łączenia obwodów prądu trójfazowego.

4. WYTWARZANIE, PRZESYŁANIE I PRZEKAZYWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

4.1. Przesyłanie energii elektrycznej

Energia elektryczna wytwarzana jest w elektrowniach, a następnie przesyłana do różnego rodzaju odbiorców.

Na rys. 4-1 podano diagram zużycia energii elektrycznej w Polsce. Jak z niego wynika, głównym odbiorcą energii jest przemysł. Ze względu na rodzaj energii, jaką wykorzystuje się do napędu prądnic, rozróżnia się elektrownie ciepłe i wodne.



rys. 4-1. Diagram zużycia energii elektrycznej w Polsce

W elektrowniach ciepłych napęd prądnic stanowią turbiny parowe, parę do turbin uzyskuje się przez spalanie pewnych gatunków węgla, ropy i gazu ziemnego. Elektrownie ciepłe zwane również elektrociepłowniami dostarczają odbiorcom również energię ciepłą zawartą w parze wodnej, parze, która przeszła już przez turbinę.

Elektrownie atomowe (jądrowe) są również elektrowniami ciepłymi, gdzie ciepło do wytwarzania pary uzyskuje się z procesu rozszczepienia jąder uranu, plutonu lub toru na skutek bombardowania neutronami.

W elektrowniach wodnych źródłem energii jest wyzyskanie spadku wody. Najbardziej kosztowną częścią tych elektrowni są urządzenia do

spiętrzania wody i doprowadzenia jej do turbin. W elektrowniach wodnych energię elektryczną otrzymuje się z hydrogeneratorów.

W Polsce ze względu na duże zasoby węgla kamiennego i brunatnego i małe zasoby wody oraz ze względu na duże koszty budowy elektrowni atomowych, około 97% całkowitej ilości energii elektrycznej produkują elektrownie ciepłe.

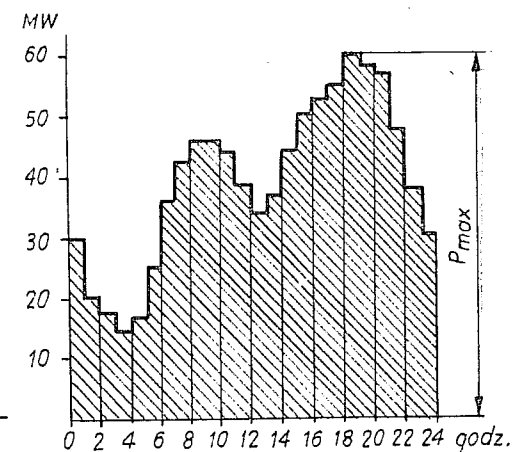
Wszystkie elektrownie wytwarzają trójfazowy prąd sinusoidalnie zmienny o częstotliwości 50 Hz. Pod względem wielkości rozróżnia się elektrownie małe o mocach do 50 MW (50 000 000 watów), średnie 50–100 i duże — powyżej 100 MW.

Cały obszar Polski jest podzielony na okręgi energetyczne, których systemy energetyczne są połączone z siecią państwową o napięciu 220 lub 400 kV (400 000 V).

Stworzenie systemu energetycznego przyczyniło się do oszczędnej gospodarki energią elektryczną, gdyż elektrownie umieszcza się w pobliżu zasobów paliw albo w pobliżu źródeł energii wodnej.

Umożliwia to wykorzystanie gorszych gatunków węgla, np. węgla brunatnego, którego transport byłby nieopłacalny. System energetyczny zwiększa pewność zasilania odbiorców w energię elektryczną, gdyż w przypadku uszkodzenia którejś z elektrowni włączonej do systemu zasilanie odbiorców będzie się odbywało nadal, tylko kosztem wzrostu obciążenia pozostałych elektrowni.

Przebieg obciążenia elektrowni w ciągu doby ulega dość znacznym wahaniom w zależności od pory dnia, a także pory roku. Znajomość przebiegu obciążenia ma duże znaczenie ze względu na racjonalne wykorzystanie mocy elektrowni. W okresach szczytowych do systemu włączają się tzw. elektrownie szczytowe, które dają prąd tylko w godzinach szczytu. Na rys. 4-2 przedstawiono przebieg zmian obciążenia elektrowni w ciągu doby — nazywany dobowym wykresem obciążenia elektrowni.

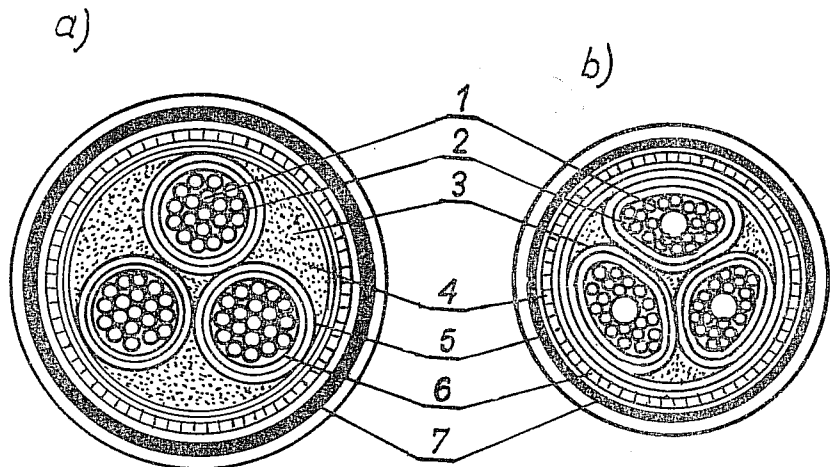


Rys. 4-2. Wykres obciążenia elektrowni w ciągu doby

Sieć energetyczna składa się z linii elektroenergetycznych i stacji elektroenergetycznych (transformatorowych i rozdzielczych). Przewody stosowane do linii są wyrabiane z miedzi albo z aluminium.

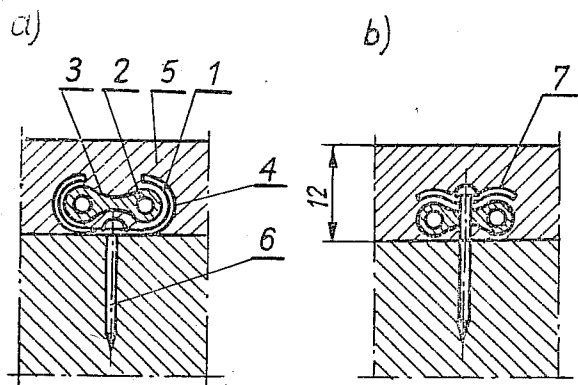
Przewody wykonuje się zwykle w postaci linki skręconej z 7 lub 19 drutów. Stosuje się także linki stalowo-aluminiowe, w których stal stanowi część nośną przewodu. W miastach albo miejscach, gdzie napowietrzne linie elektryczne mogą być narażone na uszkodzenia mechaniczne, stosuje się linie podziemne kablowe.

Kable przedstawione na rys. 4-3 można układać w ziemi, wodzie, kopalniach itp.



Rys. 4-3. Przekrój kabli trójfazowych z żyłami: a) okrągłymi, b) sektorowymi; 1 — żyła, 2 — izolacja żyły, 3 — izolacja, 4 — powłoka ołowiana, 5 — warstwa nasyconej juty, 6 — pancerz, 7 — warstwa ochronna z nasyconej juty

W budynkach energię elektryczną do gniazdek kontaktowych przewożą przewody podtynkowe. Sposoby mocowania tych przewodów wyjaśnia rys. 4-4.



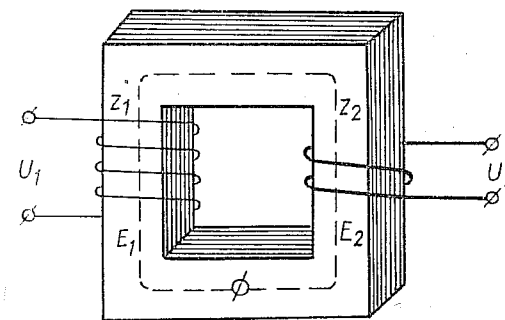
Rys. 4-4. Mocowanie przewodów podtynkowych: a) specjalnymi uchwytami b) za pomocą gwoździ i podkładek; 1 — żyły przewodu, 2 — izolacja poliwinylowa, 3 — osłona poliwinylowa, 4 — uchwyt z materiału izolacyjnego, 5 — tynk, 6 — gwoździe, 7 — podkładka z materiału izolacyjnego

4.2. Transformatory

Przy przesyłaniu energii elektrycznej mamy zawsze do czynienia ze spadkiem napięcia i ze stratami mocy. Straty te powstają na skutek przemiany energii elektrycznej w ciepłą. Wartość tych strat wyraża wzór $R_p \cdot I^2$. Widać stąd, że straty te zależą głównie od wartości prądu. Dlatego też przy przesyłaniu energii elektrycznej na duże odległości staramy się maksymalnie zmniejszać prąd, a podwyższać napięcie, które nie ma wpływu na ilość strat w przewodzie. Do tego celu służy transformator, który prąd (prąd tylko przemienny) o dużym natężeniu i małym napięciu potrafi przetransformować na prąd o małym natężeniu i dużym napięciu, o tej samej częstotliwości.

W czasie transformowania energii elektrycznej, natężenie prądu zmienia się w stosunku odwrotnym do zmiany napięcia.

Na rys. 4-5 podano schemat budowy transformatora jednofazowego. Składa się on z dwóch uzwojeń nawiniętych na rdzeniu wykonanym z blach stalowych. Do jednego z tych uzwojeń doprowadza się energię elektryczną — uzwojenie to nazywa się pierwotnym. Uzwojenie drugie nazywa się uzwojeniem wtórnym; stanowi ono źródło napięcia zasilającego linię przesyłową albo odbiorniki. Napięcie wyższe nazywamy górnym, a napięcie niższe — dolnym.



Rys. 4-5. Schemat transformatora jednofazowego

Wielkości występujące po stronie pierwotnej transformatora oznacza się indeksem „1”, a po stronie wtórnej indeksem „2”. Wielkości odpowiadające napięciu górnemu oznacza się indeksem „g”, a dolnemu — indeksem „d”.

Po doprowadzeniu do uzwojenia pierwotnego transformatora napięcia prądu przemiennego U_1 (zwanego napięciem pierwotnym) w uzwojeniu tym popłynie prąd I_1 . W ten sposób w stalowym rdzeniu transformatora zostanie wzbudzony zamknięty strumień magnetyczny Φ . Przebieg zjawisk będzie podobny jak w przypadku cewki z rdzeniem ferromagnetycznym (patrz rozdz. 3.2).

Wzniesiony przemienny strumień magnetyczny, zamykający się w rdzeniu, będzie indukował w obu uzwojeniach siły elektromotorycz-

ne. W każdym zwoju uzwojenia pierwotnego i wtórnego siły elektromotoryczne będą jednakowe i będą miały wartości E woltów na 1 zwój.

Całkowita siła elektromotoryczna w każdym z uzwojeń będzie wprost proporcjonalna do liczby zwojów uzwojenia (gdyż oczywiście zwoje połączone są ze sobą szeregowo). Jeżeli liczba zwojów uzwojenia pierwotnego wynosi z_1 , a wtórnego z_2 , to siły elektromotoryczne indukowane w uzwojeniach wynoszą odpowiednio

$$E_1 = E'z_1 \text{ i } E_2 = E'z_2$$

stąd można wyznaczyć stosunek tych sił elektromotorycznych zwany przekładnią transformatora (Θ)

$$\Theta = \frac{E_1}{E_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Z wystarczająco dokładnym przybliżeniem przekładnię transformatora można obliczyć ze wzoru

$$\Theta = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Wzór ten mówi, że napięcie pierwotne ma się do wtórnego proporcjonalnie do ilości zwojów uzwojenia pierwotnego do wtórnego.

Po przyłączeniu do zacisków uzwojenia wtórnego odbiorników w uzwojeniu tym popłynie prąd I_2 , który spowoduje powstanie drugiego strumienia magnetycznego o zwrocie przeciwnym do zwrotu strumienia wywołanego przez prąd płynący w uzwojeniu pierwotnym; wskutek tego w rdzeniu transformatora powstanie strumień wypadkowy o wartości w przybliżeniu równej wartości strumienia pierwotnego w stanie nie obciążonym, ponieważ z tą chwilą w uzwojeniu pierwotnym popłynie prąd I_1 odpowiednio większy niż w stanie jałowym.

Prąd ten wytworzy w uzwojeniu pierwotnym transformatora siłę magnetomotoryczną kompensującą siłę magnetomotoryczną wywołaną przez prąd I_2 , pobierany przez odbiorniki i płynący w uzwojeniu wtórnym.

Obciążenie transformatora spowodowało więc wzrost prądu w obwodzie pierwotnym, czyli wzrost poboru mocy przez uzwojenie pierwotne. Transformator więc automatycznie dostosowuje się do zmian obciążenia po stronie wtórnej. W miarę wzrostu obciążenia transformatora napięcie wtórne zmniejszy się nieco na skutek spadku napięcia wewnątrz transformatora.

Transformator charakteryzuje się dużą sprawnością dochodzącą do 98–99%, wobec tego moc pierwotna i wtórna niewiele różnią się od siebie

$$\text{czyli } U_1 \cdot I_1 = \text{ok. } U_2 \cdot I_2$$

i stąd

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

a więc stosunek prądów pierwotnego do wtórnego jest równy odwrotności przekładni transformatora.

Straty mocy w transformatorze są dwojakiego rodzaju:

- straty w uzwojeniach,
- straty w rdzeniu.

Straty w uzwojeniach (uzwojenia są wykonywane tylko z miedzi) powstają na skutek wytwarzania się ciepła w oporze uzwojeń zgodnie z prawem Joule'a-Lenza

$$P_{Cu} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 I_2^2$$

Przy biegu jałowym, przy którym $I_2 = 0$ i $I_1 = I_0$, straty te będą bardzo małe.

Straty w rdzeniu stalowym (P_{Fe}) powstają na skutek zjawisk histerezy i prądów wirowych. Straty te są proporcjonalne do kwadratu indukcji magnetycznej w rdzeniu i do kwadratu częstotliwości. Straty te nie zależą od obciążenia transformatora (gdyż przy obciążeniu nie zmienia się ani indukcja, ani strumień) i nazywamy je stratami stałymi

$$P_{Fe} = P_n + P_w$$

gdzie:

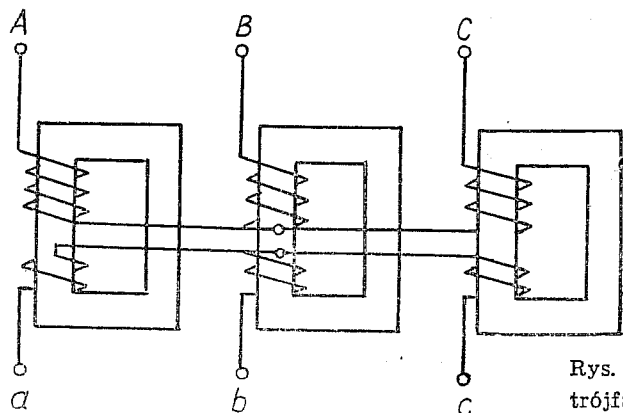
- P_n — straty na skutek histerezy,
- P_w — straty na skutek prądów wirowych.

Prądy wirowe powstają na skutek wpływu zmiennego strumienia magnetycznego na metalowy przedmiot. Prądy wirowe występują w rdzeniu (wirnika prądnicy, transformatora itp.), nagrzewają go, co powoduje straty energii oraz niepotrzebne grzanie maszyny — w niektórych przypadkach może to doprowadzić do uszkodzenia izolacji i zniszczenia uzwojenia.

Działanie prądów wirowych zmniejsza się przez dodanie do stali ok. 4% krzemu (zwiększa się wtedy opór elektryczny stali). Również zmniejszenie prądów wirowych otrzymuje się przez budowę rdzenia z cienkich odizolowanych od siebie blach. Prądy wirowe wykorzystuje się przy budowie pieców indukcyjnych (wykorzystanie powstającego ciepła) oraz przy budowie liczników energii elektrycznej (wykorzystanie energii prądów — patrz rozdz. 2). Większość transformatorów tak jest zbudowana, że jest kilka wejść i wyjść, to znaczy że mają one odczepy od uzwojeń. Jeżeli na przykład na wejściu jest 3600 zwojów, to odczepy są tak umieszczone, że można wykorzystywać tylko 600 zwojów, 1200, 1800, 2400 i 3600 zwojów. Podobnie i na wyjściu. Dzięki temu można

otrzywać w szerokim zakresie różnego rodzaju prądu i napięcia stosując tylko jeden transformator.

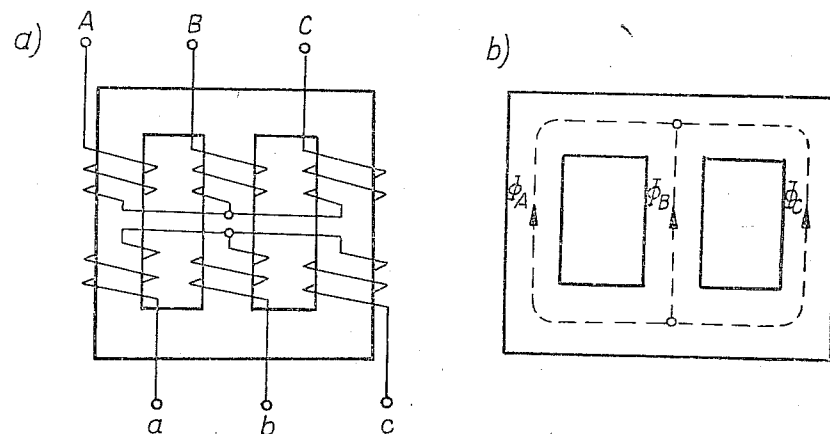
Transformatory prądu trójfazowego. Trójfazowy układ transformacji można utworzyć przez zestawienie trzech transformatorów jednofazowych (rys. 4-6).



Rys. 4-6. Transformacja prądu trójfazowego za pomocą trzech transformatorów jednofazowych

Jednak duże rozmiary, ciężar i podwyższony koszt powodują, że taki układ transformacji jest stosowany tylko w stacjach transformatorowych bardzo dużej mocy w celu zmniejszenia ciężaru i gabarytów jednostkowych, co odgrywa dużą rolę przy montażu i transporcie.

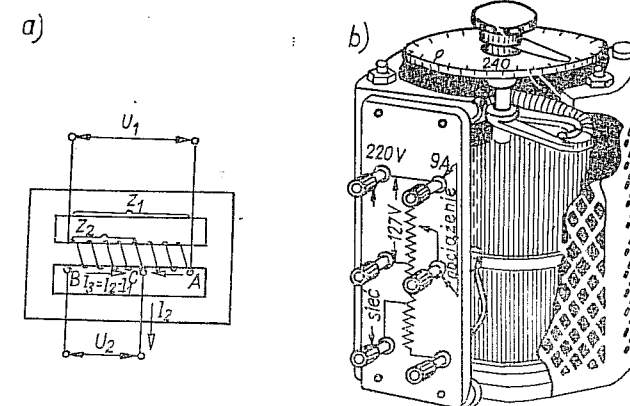
W stacjach o mocy do 60 MW stosuje się zazwyczaj transformatory trójfazowe (rys. 4-7a), w których uzwojenia umieszczone są na trzech kolumnach, połączonych we wspólny obwód magnetyczny za pomocą



Rys. 4-7. Transformator trójfazowy: a) schemat połączeń, b) obwód magnetyczny

dwóch jarzm. Początki uzwojeń poszczególnych faz wyższego napięcia oznacza się odpowiednio dużymi literami A, B, C, a niższego napięcia małymi literami. Na rys. 4-7b podano rozkład strumieni magnetycznych w rdzeniu transformatora trójfazowego.

Autotransformatory. Autotransformator jest to transformator mający jedno wspólne uzwojenie dla obwodu pierwotnego i wtórnego. Budowa autotransformatora nie różni się na ogół od budowy zwykłego transformatora z wyjątkiem sposobu połączenia obwodów. Schemat połączeń uzwojeń autotransformatora jednofazowego przedstawia rys. 4-8a, a rys. 4-8b — jego budowę.



Rys. 4-8. Autotransformator: a) układ połączeń, b) budowa

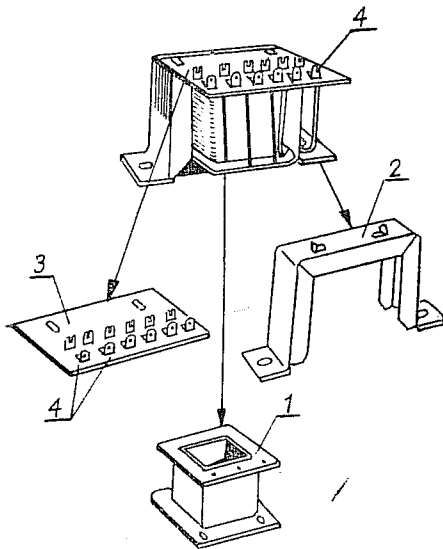
Autotransformatory stosuje się, gdy chodzi o zmianę napięcia tego samego rzędu wielkości, np. 220 V na 60 V. Przekładnię autotransformatora określa taki sam wzór jak transformatora

$$n = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Ponieważ zwroty chwilowych wartości prądów pierwotnego i wtórnego, są przeciwnie skierowane, dlatego w części uzwojenia, przez które płyną oba prądy, wypadkowy prąd skuteczny tych prądów jest prawie równy ich różnicy algebraicznej. Stwarza to możliwość wykonania wspólnej części uzwojenia BC (patrz rys. 4-8a) z drutu o mniejszym przekroju, a więc uzwojenie autotransformatora i jego rdzeń są lżejsze i tańsze od transformatora tej samej mocy.

Rysunek 4-8b przedstawia autotransformator, który oprócz przedkładni zmiennej od 0 do 240 V ma również przedkładnię stałą 220 V / 127 V.

Miniaturowe transformatory mają korpus jednolity i są mocowane za pomocą obejm (rys. 4-9). Korpus cewki jest klejony i osadzany na rdzeń. Transformatory mocuje się do podstawy montażowej obejmą. W



Rys. 4-9. Konstrukcja transformatora miniaturowego:
1 — jednolity korpus, 2 — obejmująca mocująca, 3 — płytka montażowa, 4 — wyprowadzenia

przypadku wykorzystania transformatora w układach tranzystorowych, rozmieszczanych na płytkach drukowanych, wprowadzenia elektryczne i sposób mocowania minitransformatora dostosowuje się do wymagań obwodów drukowanych.

4.3. Kondensatory

Przestrzeń, w której występuje określona wielkość fizyczna, nazywa się ogólnie polem. Jeżeli wielkość ta ma tylko wartość, to pole nazywa się skalarnym (np. pole temperatury), natomiast jeżeli charakteryzuje się ona wartością i kierunkiem to mówi się o polu wektorowym (np. pole prędkości).

W elektrotechnice do pól wektorowych należy *pole elektryczne* i *pole magnetyczne*.

Wiadomo, że pole elektryczne powstaje w otoczeniu ładunków elektrycznych. Jeżeli ładunki są nieruchome i niezmiennie w czasie, to pole nazywa się elektrostatycznym; przy ruchu ładunków, bądź przy ich zmianie w czasie, pole nazywa się elektrycznym polem przepływowym.

Pole wektorowe można przedstawić graficznie za pomocą linii pola (patrz rys. 3-12 i 3-14). Jeżeli linie pola tworzą rodzinę prostych równoległych, to pole nazywa się równomiernym.

Sumę wszystkich linii pola elektrycznego, przechodzących przez określony przekrój S nazywa się strumieniem elektrycznym. Jednostką strumienia elektrycznego jest kulomb.

Gęstość strumienia elektrycznego, określoną liczbą linii pola, przypadającą na jednostkową powierzchnię, nazywa się *indukcją elektryczną*. Wyraża się ona związkiem

$$D = \frac{Q}{S}$$

gdzie:

Q — wielkość ładunku

S — powierzchnia

Jednostką indukcji jest kulomb na metr kwadratowy.

Natężenie pola elektrycznego E określa siłę działającą w rozpatrywanym punkcie pola na jednostkowy ładunek dodatni. Jednostką natężenia pola jest volt na metr — V/m , lub praktycznie używana volt na centymetr — V/cm .

Między indukcją i natężeniem pola zachodzi zależność

$$D = \epsilon \cdot E$$

Wielkość ϵ we wzorze jest stałą charakteryzującą środowisko, w którym rozciąga się pole. Stała ta nazywa się *przenikalnością elektryczną*. Jednostką przenikalności elektrycznej jest farad na metr — F/m . Próżnia ma przenikalność elektryczną najmniejszą

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F/m$$

Dla prostoty rozważań przyjęto pojęcie *względnej przenikalności elektrycznej*, która wskazuje ile razy przenikalność danego środowiska jest większa od przenikalności elektrycznej próżni

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Kondensatorem nazywa się układ składający się z dwóch przewodników zwanych okładzinami i rozdzielonych warstwą izolacyjną czyli dielektrykiem. Charakterystyczną cechą kondensatora jest zdolność do gromadzenia ładunków elektrycznych na okładkach.

Jeżeli między okładzinami kondensatora występuje napięcie U to wartość nagromadzonego ładunku Q jest wprost proporcjonalna do napięcia, czyli

$$Q = C \cdot U$$

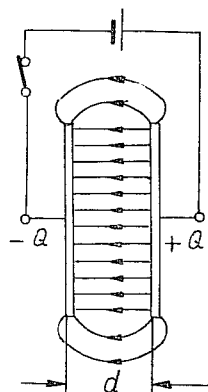
gdzie współczynnik C nazywa się pojemnością elektryczną. Jednostką pojemności elektrycznej jest farad (F).

$$1F = \frac{1 \text{ A} \cdot \text{s}}{1 \text{ V}}$$

jest to pojemność duża, w praktyce operuje się jednostkami mniejszymi:

$$1 \mu F = 10^{-6} F, 1 \text{ nF} = 10^{-9} F \text{ i } 1 \text{ pF} = 10^{-12} F$$

Na rys. 4-10 przedstawiono schematycznie rozkład pola w kondensatorze płaskim.



Rys. 4-10. Pole równomierne w kondensatorze płaskim

Pojemność kondensatora jest wprost proporcjonalna do wielkości okładzin, zależy od jakości dielektryka i jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między okładzinami.

Pojemność kondensatora przedstawionego na rys. 4-10 można obliczyć ze wzoru

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

gdzie:

- S — pole powierzchni okładziny kondensatora w m^2 ,
- d — odstęp wzajemny okładzin lub grubość dielektryka w m ,
- ϵ — przenikalność dielektryczna materiału izolującego okładziny kondensatora

przy czym: $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$

ϵ_r — podano w tabeli 5,

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left(\frac{F}{m} \right)$ przenikalność próżni.

TABELA 5

Względna przenikalność elektryczna różnych dielektryków

Rodzaj dielektryka	ϵ_r	Rodzaj dielektryka	ϵ_r
Próżnia	1	Szelak	3,1
Powietrze	1,0006	Porcelana	4,5÷5
Papier izolacyjny	1,8÷2,6	Szkło	5÷10
Olej	2,2÷2,5	Mika	5÷10
Guma	2,7	Marmur	8,3
Drzewo	3÷3,5	Woda destylowana	80
Papier impregnowany	3÷4	Dwutlenek tytanu	100

W tabelicy 6 podano wzory do obliczania pojemności różnych kondensatorów.

TABELA 6

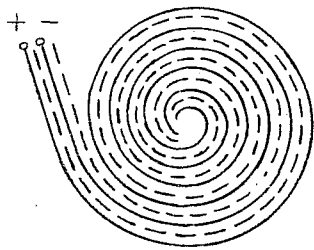
Wzory do obliczania pojemności typowych układów kondensatorów

Konfiguracja	Rysunek wymiarowy	Pojemność
Kondensator płaski		$C = \frac{\epsilon S}{d}$
Długi współosiowy kondensator cylindryczny		$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$
Kondensator kulisty		$C = \frac{4\pi\epsilon r_1 r_2}{r_1 - r_2}$
Linia dwuprzewodowa		$C \approx \frac{\pi\epsilon l}{\ln \frac{D}{r}}$ $D \gg r$ $l \gg D$

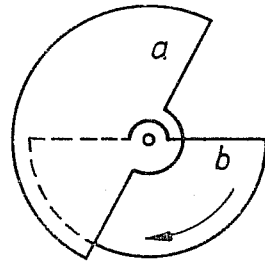
Na rys. 4-11, 4-12 i 4-13 podano przykłady budowy najczęściej spotykanych kondensatorów. *Kondensator papierowy* wykonuje się układając dwie jednakowe taśmy z folii aluminiowej dwoma warstwami woskowanego papieru, a następnie zwiąja się razem w formie cylindra tak, jak to przedstawiono na rys. 4-11. *Kondensator mikowy* składa się z płytek metalowych oddzielonych od siebie warstwami miki (rys. 4-12). Mika jest lepszym dielektrykiem niż papier. Rys. 4-13 przedstawia *kondensator powietrzny* o zmiennej pojemności. Stosowany w większości odbiorników radiowych. Zbudowany jest on z kilkunastu płytek, które mogą się obracać i pokrywać z takimi samymi płytkami umocowanymi na stałe. Dielektrykiem jest tutaj powietrze. Pojemność kondensatora można regulować przez zmianę wspólnej powierzchni płyt. Przy całkowitym pokryciu się powierzchni pojemność jest rzędu 0,5 nF.

Oprócz kondensatorów papierowych i mikowych stosowane są także kondensatory polistyrenowe, ceramiczne i elektrolityczne (dielektrykiem jest tlenek glinu).

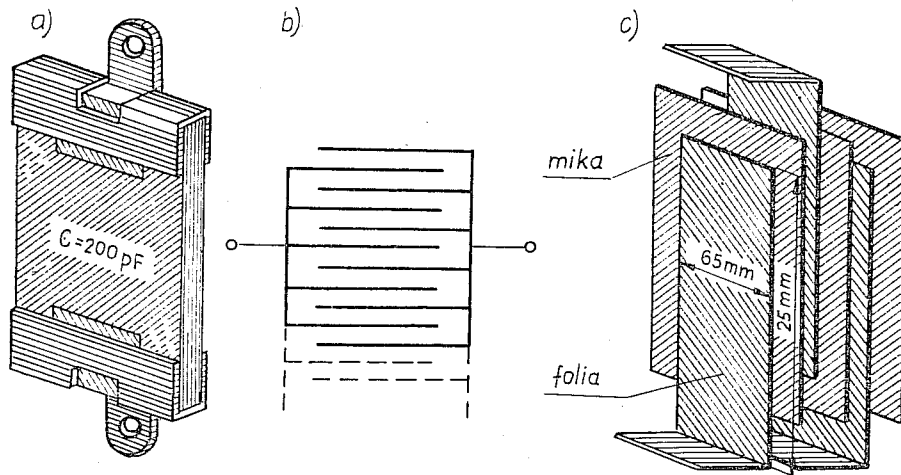
Łączenie kondensatorów. Kondensatory, podobnie jak źródło i odbiorniki prądu można łączyć szeregowo, równolegle i sposobem mie-



Rys. 4-11. Kondensator papierowy

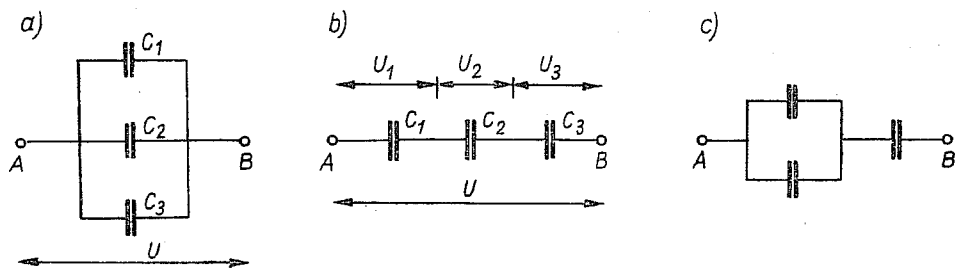


Rys. 4-13. Kondensator powietrzny: a — okładzina nieruchoma, b — okładzina ruchoma



Rys. 4-12. Kondensator płaski o dużej liczbie płytek z izolacją mikową a) wygląd zewnętrzny, b) schemat, c) budowa

szanym (rys. 4-14). Przyłączeniu równoległym kondensatorów (rys. 4-14a) całkowity ładunek kondensatora będzie równy sumie ładunków poszczególnych kondensatorów



Rys. 4-14. Sposoby łączenia kondensatorów: a) równoległy, b) szeregowy, c) mieszany

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

oraz pojemność takiego układu będzie równa sumie pojemności poszczególnych kondensatorów

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Przy równoległym połączeniu kondensatorów zwiększa się wypadkowa pojemności.

Przy łączeniu szeregowym (rys. 4-14b) napięcie na zaciskach A i B równa się sumie napięć

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

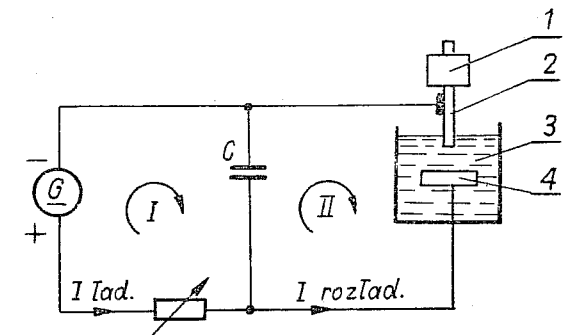
natomiast odwrotność pojemności całkowitej równa się sumie odwrotności poszczególnych kondensatorów

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Kondensator uniemożliwia przepływ prądu stałego w obwodzie, pozwala natomiast na przepływ prądu przemiennego, stosowany jest więc do rozdzielania w obwodzie prądów stałych od przemiennych.

Na rys. 4-15 podano przykład wykorzystania kondensatora do elektroiskrowej obróbki metali.

Rys. 4-15. Schemat urządzenia do elektroiskrowej obróbki metali: 1 — mechanizm wibracyjny, 2 — elektroda robocza, 3 — olej mineralny, 4 — przedmiot obrabiany; I — obwód ładowania kondensatora, II — obwód rozładowania kondensatora



Wyładowania iskrowe pomiędzy przedmiotem obrabianym a elektrodą roboczą odbywają się w oleju mineralnym, który jest płynnym dielektrykiem. Przedmiot obrabiany podłączony jest do bieguna dodatniego źródła energii i stanowi anodę, a elektroda robocza przyłączona do bieguna ujemnego, stanowi katodę.

Elektrody połączone są z kondensatorem C, który może ładować się przez opornik R ze źródła prądu stałego G. Specjalny mechanizm wprawia w drgania elektrodę roboczą i powoduje jej okresowy styk z metalem obrabianym. Następuje przeskok iskry (przy odpowiednio małym odstępnie elektrody) i rozładowanie kondensatora C. Ładowanie kondensatora

następuje w okresie rozwarcia elektrod. Zjawisko powtarza się cyklicznie, a kondensator jest źródłem elektrycznych impulsów. Wyładowania iskrowe powodują wyrywanie cząstek materiału z anody.

Obrabiarki elektroiskrowe mają zastosowanie do materiałów bardzo twardych, np. matryc, narzędzi itp. Można nimi drażyć otwory o bardzo małych średnicach (ok. 0,1 mm) oraz wykonywać otwory o dowolnym kształcie.

Ćwiczenia i pokazy

1. Obliczyć pojemność kondensatora płaskiego o powierzchni okładziny $s=40 \text{ cm}^2$ i odległość między okładzinami 1 mm, przy dielektrykach:
a) powietrze, b) szkło, c) mika.
2. Ile zwojów musi mieć uzwojenie wtórne transformatora dzwonekowego 220/8 V, jeżeli uzwojenie pierwotne ma $z_1=3300$ zwojów?
3. Pokaz różnego typu kondensatorów stosowanych w układach elektronicznych mechanizmów zegarowych.

Pytania sprawdzające

1. Omówić korzyści wynikające ze stworzenia systemu energetycznego w Polsce.
2. Omówić korzyści wynikające z transformacji prądu.
3. Omówić straty w mocy transformatorów.
4. Co to są prądy wirowe? Do czego są one wykorzystywane?
5. Omówić konstrukcje kondensatorów.
6. Omówić zasadę działania transformatora.
7. Omówić zasadę działania autotransformatora.
8. Co to jest przenikalność elektryczna względna i bezwzględna?
9. Omówić zastosowanie kondensatora do elektroiskrowej obróbki metali.

5. INSTALACJE ELEKTRYCZNE

Rodzaje instalacji elektrycznych. Instalacją niskiego napięcia nazywa się instalacja, w której napięcie między dwoma dowolnymi przewodami nie przekracza 250 V. Do instalacji niskiego napięcia zalicza się również instalacje czteroprzepływowe prądu trójfazowego (napięcie międzyprzewodowe 380 V) o napięciu międzyfazowym $3 \times 220 \text{ V}$.

Ze względu na przeznaczenie rozróżnia się instalacje oświetleniowe, siłowe i specjalne (np. telefoniczne, alarmowe itp.). W zależności od miejsca pracy rozróżnia się instalacje mieszkaniowe, biurowe, przemysłowe, rolnicze i inne.

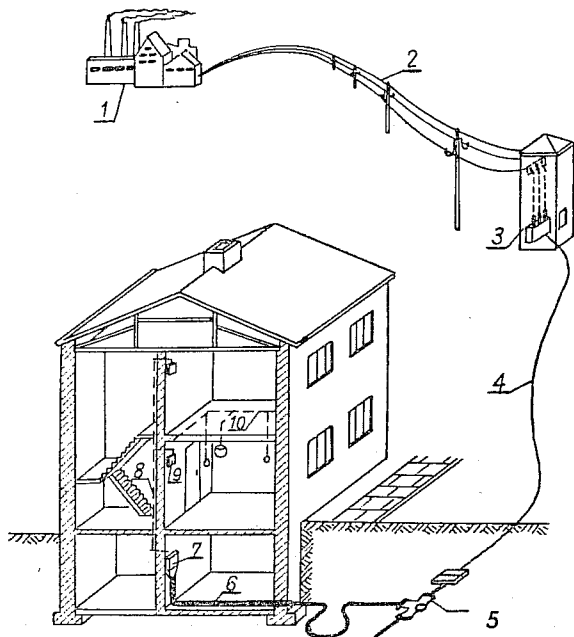
Pod względem sposobu wykonania rozróżnia się instalacje wewnętrzne oraz zewnętrzne, a ze względu na sposób prowadzenia w pomieszczeniach na: natynkowe, podtynkowe i wtynkowe.

Instalację elektryczną budynku przyłącza się do linii niskiego napięcia za pomocą krótkiego odgałęzienia napowietrznego lub kablowego zwanego przyłączem. Na rys. 5-1 przedstawiono schemat zaopatrzenia domów w energię elektryczną.

Przewody instalacyjne. Przewody gołe (bez izolacji) używa się w liniach napowietrznych. Przewody jednodrutowe (oznaczone przez D) stosowane są przy małych przekrojach do 16 mm^2 (np. oznaczenie D16 — drut o przekroju 16 mm^2). Przewody o większym przekroju wykonuje się w postaci linki (L) skręconej z wielu drutów. Przewody miedziane są obecnie rzadko stosowane, zamiast nich stosuje się przewody aluminiowe (Al) ze względu na większe korzyści gospodarcze.

Opór właściwy aluminium $\frac{1}{53} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$ jest 1,63 razy większy od oporu właściwego miedzi $\left(\frac{1}{57} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \right)$

Natomiast ciężar właściwy miedzi jest 3,3 razy większy od ciężaru właściwego aluminium. Przewód miedziany jest więc 2,06 razy cięższy od przewodu aluminiowego o tym samym oporze.

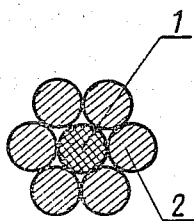


Rys. 5-1. Schemat zaopatrzenia domów w energię elektryczną:

1 — elektrownia, 2 — linia napowietrzna, 3 — stacja transformatorowa, 4 — linia kablowa niskiego napięcia, 5 — mufa odgająca, 6 — przyłącze, 7 — skrzynka przyłączeniowa z bezpiecznikami, 8 — pion, 9 — licznik, 10 — instalacja odbiorcza

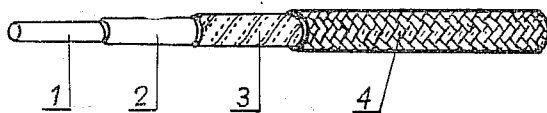
W sieciach wysokiego napięcia stosuje się przewody stalowo-aluminiowe (AFL) — mające dużą wytrzymałość i dobrą przewodność (rys. 5-2). Czasem stosowane są jeszcze przewody stalowe (Fl) w liniach słabo obciążonych, gdzie drogie przewody z metali nieżelaznych byłyby wykorzystane tylko przez krótki okres w ciągu doby (np. na obszarach wiejskich).

Przewody izolowane stosowane są w instalacjach odbiorczych. Przewód izolowany (rys. 5-3) zbudowany jest w ten sposób, że goły drut lub linkę pokrywa się warstwą gumy lub igelitu, a następnie zabezpiecza warstwami różnych materiałów przed działaniem wpływów atmosferycznych, chemicznych i uszkodzeń mechanicznych zależnie od warunków pracy.



Rys. 5-2. Przekrój linki 7-drutowej stalowo-aluminiowej (AFL):

1 — stal 2 — aluminium



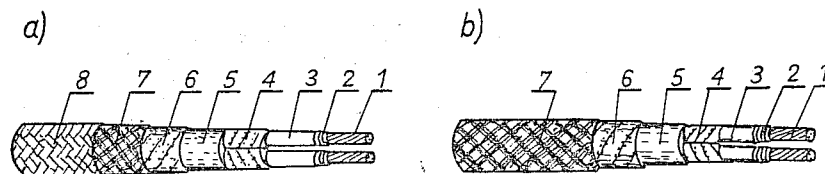
Rys. 5-3. Przewód w izolacji gumowej (DG, LG, ADG, ALG) w odzieży włóknistej na napięcie do 750 V:

1 — żyła, 2 — powłoka gumowa, 3 — taśma gumowana, 4 — nasycony opłot włóknisty

W miejscach narażonych na uszkodzenie mechaniczne, np. w halach warsztatowych, stosuje się przewody pancerne, które dodatkowo posiadają pancerz z taśm stalowych. Przewody te oznacza się symbolem KG auo (uzbrojenie drutem) lub KG ato (uzbrojenie taśmą stalową).

Sznurowy mieszkaniowy używane są do przyłączania małych odbiorników w gospodarstwie mieszkaniowym.

W warsztatach stosowane są sznury warsztatowe (rys. 5-4) o dwóch lub trzech żyłach.



Rys. 5-4. Sznurowy warsztatowy na napięcie 220 V: a) zwykły (SW), b) lekki (SWL); 1 — żyła z ocynkowanych drutów miedzianych, 2 — oprzęd z przędzy lub nici, 3 — powłoka gumowa, 4 — taśma gumowana, 5 — włókno wyokrąglałe, 6 — opłot z nasyconego materiału włóknistego, 7 — taśma nagumowana, 8 — opłot ze sznurka

Przewody i kable mogą układać tylko elektromonterzy. Instalacja wykonana zgodnie z przepisami jest pewna i bezpieczna w użyciu. Osoby nie mające odpowiednich kwalifikacji nie powinny w założonej instalacji nic zmieniać, a w szczególności nie powinny zakładać w zbudowanej instalacji nowych odgałęzień.

Odbiorniki przyłączone do sieci powinny znajdować się pod napięciem znamionowym. Źródło prądu musi mieć napięcie o tyle wyższe, aby pokryć spadki napięcia w przewodach doprowadzających prąd do odbiorników. Ponieważ przewody mają pewien określony opór, to zawsze część energii elektrycznej przekształca się w ciepło. Aby temperatura przewodu nie przekroczyła dopuszczalnej wartości, a przez to nie zmniejszyła się wytrzymałość elektryczna i mechaniczna i nie powstało niebezpieczeństwo pożaru, ustalono dopuszczalne obciążenie przewodów miedzianych:

dla przekroju 0,05 mm² — 0,7 A;
 dla przekroju 0,1 mm² — 1,3 A;
 dla przekroju 0,2 mm² — 2,5 A;
 dla przekroju 0,5 mm² — 5 A;
 dla przekroju 1,0 mm² — 10 A;
 dla przekroju 2,0 mm² — 17 A.

Do zabezpieczania instalacji elektrycznych przed przeciążeniem (a więc i przegrzaniem) stosuje się bezpieczniki topikowe i bezpieczniki samo-

czynne (automatyczne), które wyłączają obwód przy przekroczeniu dopuszczalnej temperatury instalacji.

Obwody elektroniczne. Przewody montażowe. Do wykonywania połączeń oraz mostków między blisko leżącymi podzespołami stosuje się izolowany drut miedziany srebrzony lub z nałożoną rurką izolacyjną. Stosowane są średnice drutów od 0,1 mm do 1 mm (stopniowane co 0,5 mm) i od 1 do 2 mm (stopniowane co 0,1 mm).

Do połączeń podzespołów odległych stosuje się przewody izolowane jedno- lub wielożyłowe (linki) ekranowane lub zwykłe. Rodzaj izolacji zależy od warunków pracy. Najczęściej stosuje się przewody:

TDY — Przewód teletechniczny (T) montażowy o żyłę jednodrutowej (D) ocynkowanej i o izolacji winitowej (Y) normalnej grubości o średnicy drutu od 0,4 do 0,9 (co 0,1 mm).

TLY — Przewód teletechniczny (T) montażowy o żyłę wielodrutowej (L) ocynkowanej i o izolacji poliwinilowej (Y) normalnej grubości o liczbie i średnicy drutów $7 \times 0,1$ mm, $7 \times 0,15$, $20 \times 0,15$, $16 \times 0,20$ i grubości izolacji 0,3 mm.

Oraz te same przewody w izolacji polietylenowej (X) o grubości izolacji 0,3 mm.

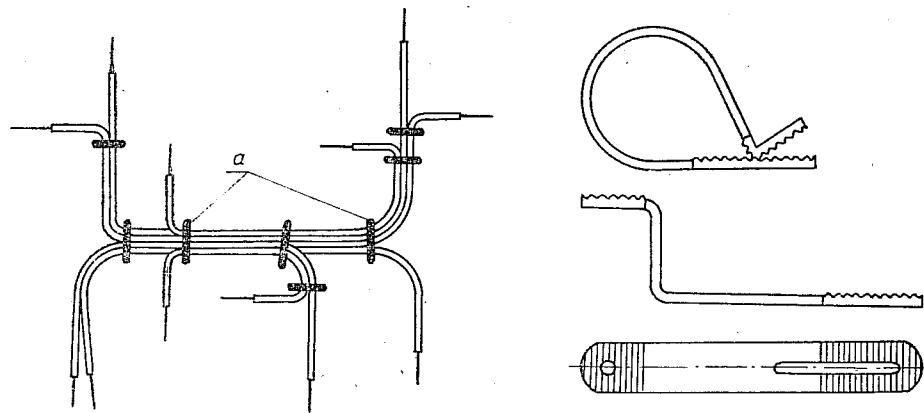
Jeżeli istnieje konieczność wspólnego ekranowania kilku przewodów nieekranowanych, wtedy umieszcza się je w koszulkach ekranujących. Koszulka ekranująca jest plecionką z cienkich drutów miedzianych lub stalowych. Oba końce koszulki należy dobrze połączyć z masą.

Połączenia elektryczne elementów elektronicznych rozmieszczonych na podstawie montażowej można wykonać bądź łącząc ich wyprowadzenia bezpośrednio przewodami, bądź też grupując przewody w wiązki.

W pierwszym przypadku połączenia są najkrótsze, lecz muszą być wykonywane na częściowo zmontowanym zespole i zasłaniają wiele elementów. W drugim przypadku wiązki wykonuje się oddzielnie, a następnie montuje się je w zespole, łącząc elektryczne końce przewodów z odpowiednimi wyprowadzeniami elementów elektronicznych.

Na rys. 5-5 podano przykład wiązki przewodów. Wiązki wykonuje się ze wstępnie przygotowanych przewodów z końcami obnażonymi z izolacji przed lub po wykonaniu wiązki, pocynowanymi, osadzonymi w odpowiednich końcówkach kablowych, bardzo często są one ponumerowane. W celu ułatwienia montażu przewodów długość ich powinna być większa o około 12-20 mm.

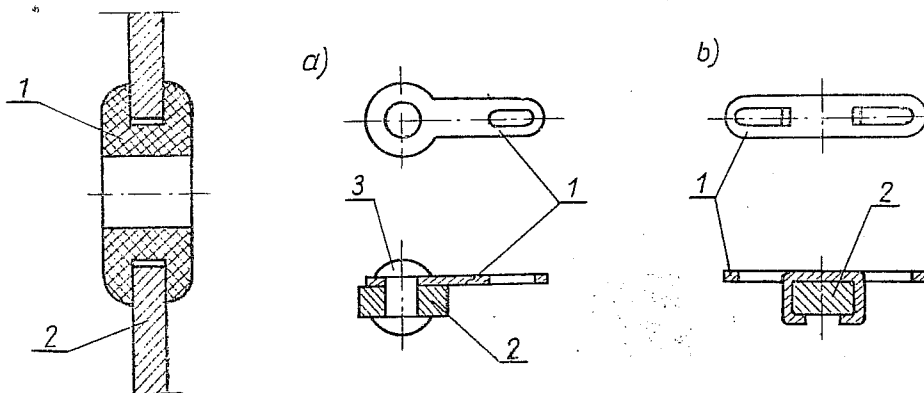
Do wiązania wiązki służą spinacze, które zakłada się zawsze przed i za miejscem odprowadzenia przewodu (patrz rys. 5-5). Celem mocowania wiązki jest jej zabezpieczenie przed przesunięciami szczególnie w warunkach wibracji i wstrząsów. Do wiązek sztywnych używa się dociskaczy i obejm z tworzyw sztucznych mocowanych wraz z wiązką do podstawy montażowej (rys. 5-6). Wiązki należy rozmieszczać i przewo-



Rys. 5-5. Wiązka przewodów: a — spinacz

Rys. 5-6. Obejma wiązki

dzić w sposób zapobiegający uszkodzeniu izolacji przewodów. Otwory w metalowych przedmiotach, przez które przechodzi wiązka, należy zabezpieczyć przepustem z gumy (rys. 5-7).



Rys. 5-7. Zabezpieczenie wiązki przed uszkodzeniem w otworze:

1 — przepust, 2 — metalowy przedmiot

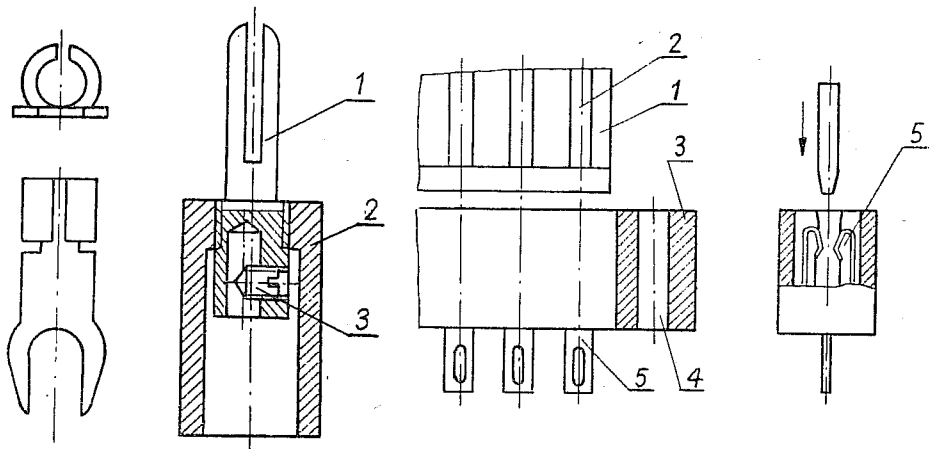
Rys. 5-8. Końcówki lutownicze: a) do nitowania, b) do zagięcia

1 — końcówka lutownicza, 2 — płytka montażowa, 3 — nit

Do łączenia wyprowadzeń elementów elektronicznych oraz przewodów służą końcówki lutownicze (rys. 5-8), które mocuje się do listwy montażowej przez roznitowanie lub zagięcie. Również w przypadku konieczności szybkiego łączenia i rozłączania przewodów stosuje się końcówki kablowe i wtyczki. Koniec przewodu może być mocowany do końcówki kablowej przez zaciśnięcie jej części walcowej (rys. 5-9), zaś wtyczki w gnieździe przez dokręcenie wkręta (rys. 5-10).

Układy elektroniczne składają się z wielu podzespołów i elementów.

Celem zapewnienia szybkiego rozłączenia połączeń między nimi stosuje się złącza. Na rys. 5-11 przedstawiono złącze krawędziowe, które służy do bezpośredniego połączenia płytki drukowanej z gniazdem. W złączu tym połączenie elektryczne następuje przez styk ścieżki płytki drukowanej ze sprężynami stykowymi gniazda.



Rys. 5-9. Końcówka kablowa

Rys. 5-10. Wtyczka: 1 — styk, 2 — osłona, 3 — wkręt

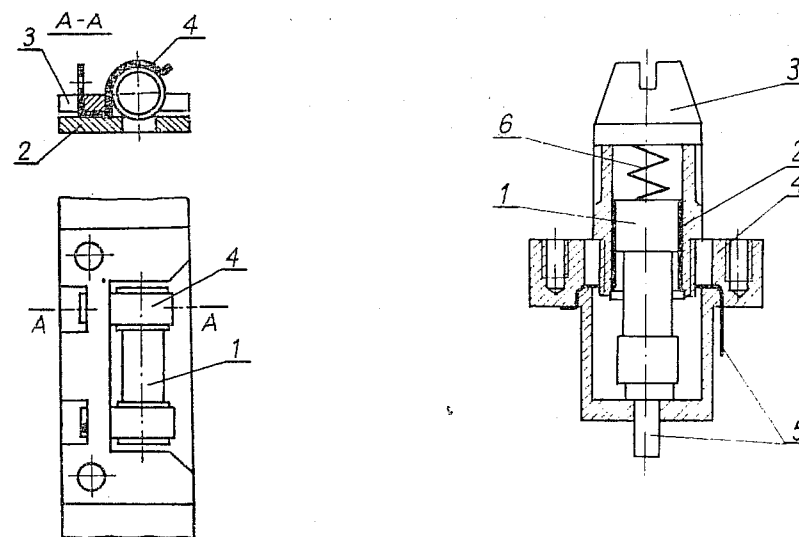
Rys. 5-11. Złącze krawędziowe 1 — płytka drukowana, 2 — ścieżka, 3 — gniazdo, 4 — otwór do mocowania gniazda do obudowy, 5 — sprężyna stykowa

W układach elektronicznych tak jak i we wszystkich instalacjach elektrycznych stosuje się bezpieczniki. Oprawki bezpieczników muszą być tak skonstruowane, aby zapewniały pewne mocowanie elementów i możliwość szybkiej ich wymiany oraz dobrą styczność elektryczną. Przykłady oprawek przedstawiono na rys. 5-12 i 5-13.

Na rys. 5-12 przedstawiono oprawkę do mocowania bezpiecznika wewnątrz przyrządu. Bezpiecznik 1 po wsunięciu w wycięcie płytek 2 i 3 jest ustalany sprężynami 4, które służą jednocześnie jako końcówki lutownicze.

Oprawka przedstawiona na rys. 5-13 służy do mocowania bezpiecznika na płycie czołowej. Bezpiecznik po osadzeniu w tulejce jest dociskany po wkręceniu oprawy w korpus 4 do dolnej końcówki lutowniczej przez sprężynę.

Obwody drukowane. Nowoczesną odmianą szkieletów płytowych służących do osadzania i łączenia elementów elektronicznych są obwody drukowane. Obwody drukowane zaczęto stosować z chwilą przejścia z układów elektronicznych lampowych na tranzystorowe, co pozwoliło na miniaturyzację wielu elementów elektroniki.



Rys. 5-12. Oprawa bezpiecznika do montażu wewnątrz przyrządu: 1 — bezpiecznik, 2, 3 — płytki, 4 — sprężyna

Rys. 5-13. Oprawa bezpiecznika do montażu na płycie czołowej: 1 — bezpiecznik, 2 — tulejka, 3 — oprawa, 4 — korpus, 5 — końcówki lutownicze, 6 — sprężyna

Obwody drukowane (rys. 5-14) wykonuje się zwykle przez trawienie przewodzącej folii osadzonej na podłożu izolacyjnym. Ścianki i punkty lutownicze mogą być wykonane na jednej lub na obu stronach podłoża. W porównaniu z montażem za pomocą przewodów obwody drukowane umożliwiają:

- 1) obniżenie kosztów produkcji dzięki zmniejszeniu czasu wykonywania połączeń i montażu elementów,
- 2) zmniejszenie czasu kontroli przez częściowe wyeliminowanie możliwości popełnienia błędów,
- 3) uzyskanie powtarzalności charakterystyk montowanych układów dzięki utrzymaniu na nie zmienionym poziomie pojemności międzyścieżkowych.

Ćwiczenia i pokazy

1. Pokaz różnego rodzaju przewodów instalacji elektrycznej.
2. Pokaz różnego rodzaju elementów układów elektronicznych (wiązki przewodów, bezpieczniki, oprawki, wtyczki, złącza, obwody drukowane).

Pytania sprawdzające

1. Omówić podział i rodzaje instalacji elektrycznych.
2. Omówić budowę przewodu izolowanego.

3. Jakie kryteria decydują przy ustalaniu dopuszczalnej wartości prądu w przewodzie.
4. Do czego służą wiązki przewodów?
5. Omówić osadzanie bezpieczników w układach elektronicznych.
6. Jakie zalety mają obwody drukowane?

6. KONSTRUKCJA I DZIAŁANIE STYKÓW

Zegary niezależne elektromechanicznie, a tym bardziej zegary zależne w sieciach czasu są najczęściej sterowane impulsami prądu. Zwarcie styków ustala początek, a rozwarcie — koniec impulsu. Istnieją też układy bezstykowe, realizowane za pomocą induktora i układów tranzystorowych, które w technice zegarowej znajdują coraz większe zastosowanie.

W mechanizmach zegarowych wymaga się od styków całkowitej niezawodności działania, a oprócz tego małej siły i małej energii potrzebnej do zwarcia i rozwarcia styków, małego oporu przejścia prądu przez styki oraz przede wszystkim trwałości, tzn. niezmienności parametrów charakterystycznych w czasie, tym bardziej że na przykład w elektrycznych zegarkach naręcznych liczba zadziałań stykowych sięga ponad 150 milionów rocznie. Obecnie poprawne rozwiązania konstrukcyjne styków zapewniają nieomal całkowitą pewność działania.

W czasie pracy każdego układu stykowego można wyróżnić trzy fazy pracy:

- zwieranie styków,
- zwarcie styków (nacisk styczek),
- rozwieranie styków.

Zwieranie styków odbywa się zwykle z dużą prędkością. Następuje wtedy zderzenie styczek o charakterze półsprężystym, część energii zostaje przekazana sprężynie biernej i następują drgania styczek, które trwają aż do całkowitego uspokojenia układu.

Drgania styczek są bardzo szkodliwe, gdyż:

- przedłużają czas zwarcia styków i uzyskania pełnego napięcia prądu potrzebnego do uruchomienia odbiornika,
- powodują iskrzenie w chwili przerw, a nawet powstawanie łuku elektrycznego.

Iskrzenie i łuk elektryczny powodują erozję styków i ich grzanie. Natomiast drgania o dłuższym okresie mogą nawet spowodować kilkukrotne zadziałanie odbiornika, co będzie prowadziło do błędnego wskazania zegara.

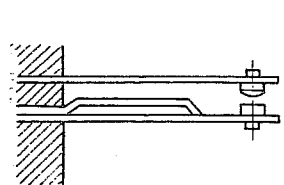
W celu wyeliminowania drgań stosuje się:

- sprężyny spoczynkowe kilkakrotnie sztywniejsze od sprężyn ruchomych;
- zastosowanie podparć sprężyn spoczynkowych (rys. 6-1) — podparcie podwyższa okres drgań sprężyny spoczynkowej, wywołuje tarcie między sprężyną i przeciwsprężyną i powoduje dzięki temu mniejsze drgania i szybsze ich zanikania;
- założenie na sprężyny tłumików drgań z tworzyw sztucznych;
- stosowanie styków ślizgowych zamiast sprężynowych (rys. 6-2), gdzie zwarcie styków następuje przez obrót wałka stykowego.

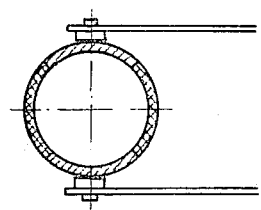
Podczas zderzania się stycek następuje również ich zużywanie mechaniczne. Dlatego na stycki zaleca się stosować twarde metale i stopy, np. platyno-iryd.

Przy zwieraniu styków korozja jest czynnikiem, który działa bardzo szkodliwie, powoduje wzrost oporności przejścia. Aby zmniejszyć jej wpływ stosuje się styki samooczyszczające się. Samooczyszczanie się styków polega na wzajemnym ślizganiu się stycek po sobie; następuje wtedy starcie produktów korozji i zanieczyszczeń.

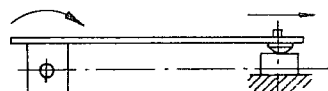
Zasadę działania styków samooczyszczających się wyjaśnia rys. 6-3. Ponieważ punkt obrotu sprężyny stykowej nie leży w jej płaszczyźnie, docisk styku powoduje jej ślizganie się w kierunku strzałki.



Rys. 6-1. Podparcie sprężyny spoczynkowej w systemie stykowym w celu zmniejszenia drgań



Rys. 6-2. Stykowy — ślizgowy system obrotowy



Rys. 6-3. System stykowy samooczyszczający się

Zakończenia stycek mogą być bardzo różne: płaskie, półkoliste, stożkowe, walcowe i mogą występować różne kombinacje ich układów. Nie stosuje się jedynie dwóch stycek płaskich, bo nawet najdokładniej wypolerowana powierzchnia nie jest płaska i dwie płaszczyzny zawsze stykają się tylko punktowo. Znacznie korzystniej przedstawia się współpraca dwóch stycek wypukłych, gdyż pod działaniem siły docisku następuje sprężyste odkształcanie się stycek w miejscu ich zetknięcia.

Duży wpływ na dobrą pracę układu stykowego ma dobór odpowiedniej siły docisku stycek. Dla każdego materiału styków istnieje pewien minimalny docisk, poniżej którego styki pracują nieekonomicznie (mają zbyt dużą oporność przejścia).

Siła docisku stycek wynosi:

- styki srebrne — 0,05 do 0,5 N;
- styki platynowe — 0,01 do 0,05 N;
- styki złote (z dodatkiem 3% niklu) — poniżej 0,03 N;
- styki wolframowe — 0,5—0,8 N

Zmiana oporności styków spowodowana utlenianiem i zanieczyszczeniem bywa powodem wadliwego działania zegarów. Dlatego też dla różnych materiałów stycek należy stosować inne minimalne napięcie. Przy napięciu 4 V stosuje się wyłącznie styki złote lub srebrno-kadmowe, przy 12 V — platynowe, przy 12–30 V — platynowo-irydowe, srebrne lub srebrno-platynowe, a przy 60 V i powyżej — wolframowe.

Dopuszczalny prąd trwałego obciążenia zwartych stycek ze współczynnikiem bezpieczeństwa około 5 razy wynosi:

- srebro — 2 A;
- platyna — 2 A;
- złoto — 1,5 A;
- wolfram — 10 A.

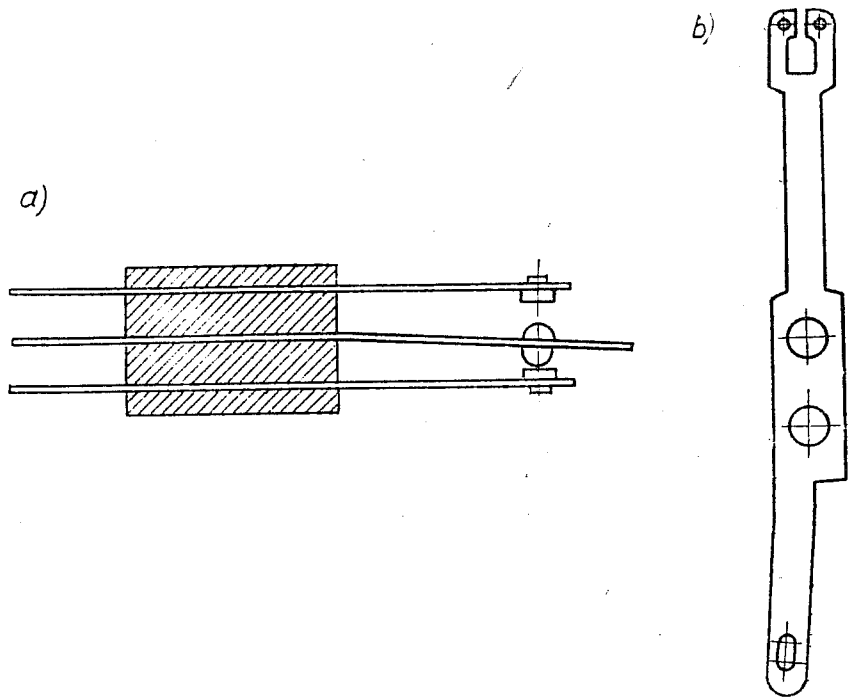
Podczas rozwierania styków następuje nagła przerwa obwodu, co spowoduje powstanie prądów samoindukcji o kierunku zgodnym z prądem przerywanym i prowadzi do powstawania łuku pomiędzy styckami. Aby temu zapobiec stosuje się urządzenia gasikowe. Sprężyny stykowe wykonuje się albo z brązu berylowego B7, albo nowego srebra. Przy niewielkiej produkcji stosuje się systemy stykowe składane ze sprężyn i przekładek z materiału izolacyjnego (patrz „Rysunek zawodowy”).

Wkręty ściągające system stykowy są odizolowane od sprężyn przez rurkę, wykonaną zwykle z gumoidu. Przy produkcji masowej sprężyny stykowe zaprasowuje się lub zalewa w tworzywie sztucznym (rys. 6-4a). Gdy zależy nam na dużej niezawodności działania wtedy stosuje się styki podwójne (rys. 6-4b), w których sprężyna stykowa zaopatrzona jest w dwie stycki.

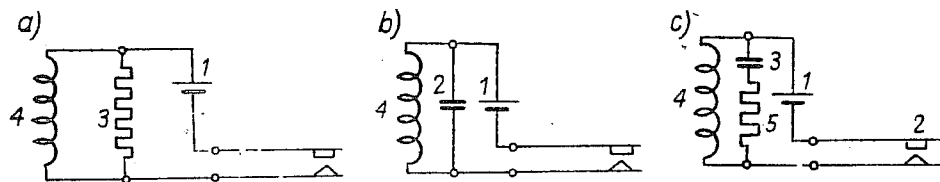
Srodki zabezpieczające styki przed zniszczeniem przez prądy samoindukcji (urządzenia gasikowe). Na rys. 6-5a, b, c podano kilka przykładów rozwiązań układów gasikowych.

Zbocznikowanie za pomocą oporu (rys. 6-5a). Podczas pracy urządzenia prąd płynie równolegle przez odbiornik 4 cewka i opór 3. W chwili przerywania prądu prąd samoindukcji płynie przez opór 3. Wadą układu jest to, że pobiera bezużytecznie prąd na grzanie podczas pracy odbiornika, co ma szczególnie znaczenie przy źródłach prądu o ograniczonym zasobie mocy (baterie).

Zbocznikowanie za pomocą kondensatora (rys. 6-5b). Podczas pracy prąd stały płynie tylko przez odbiornik, gdyż kondensator nie prze-



Rys. 6-4. Sprężyny stykowe: a) zalewane lub zaprasowane w tworzywie, b) sprężyna z podwójnymi stycznymi



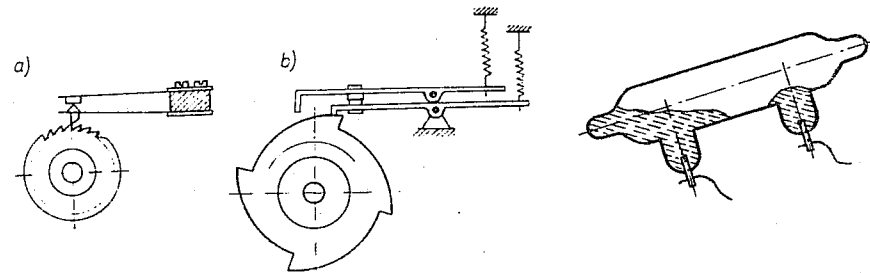
Rys. 6-5. Układy gasikowe. Zbocznikowanie za pomocą: a) oporu, b) kondensatora, c) oporu i kondensatora

wodzi prądu stałego. W chwili rozwarcia styków prąd samoindukcji, który jest prądem zmiennym, przepływa przez kondensator. Układ jest bardzo prosty, ale nie nadaje się dla prądu zmiennego, o wysokiej częstotliwości, który podczas pracy przepływałby przez kondensator; ma także tę wadę, że kondensator nie pochłania energii.

Zbocznikowanie za pomocą oporu i kondensatora włączonych szeregowo (rys. 6-5c) — jest znacznie korzystniejsze, gdyż opór tłumí szybko drgania, które mogłyby powstać w układzie. Układ ten jest najczęściej stosowany, gdyż jest prosty i nie zużywa prądu w boczniku podczas pracy.

W układzie tym stosuje się najczęściej opór od kilkudziesięciu do kilkuset omów i kondensator o pojemności 0,1 do kilku mikrofaradów.

Inne sposoby zabezpieczające przed powstawaniem łuku elektrycznego. Celem zmniejszenia niszczącego działania łuku jest jak najszybsze otwieranie styków. Do tego celu buduje się styki migowe. Przykłady takich styków przedstawiono na rys. 6-6a i b.



Rys. 6-6. Układy do szybkiego rozwierania (a) i zwierania (b) styków

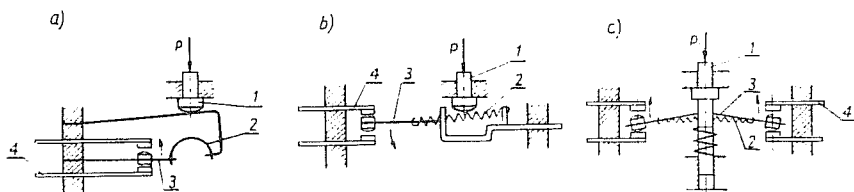
Rys. 6-7. Wyłącznik rtęciowy

Styki na rys. 6-6 są sterowane przez koło krzywkowe. Krzywka jest ukształtowana podobnie do koła zapadkowego. Podczas obrotu krzywki sprężyna gwałtownie spada z zęba krzywki. Rozwarcie jest migowe, natomiast zwieranie powolne (rys. 6-6a), a przy zastosowaniu rozwiązania na rys. 6-6b otrzymuje się również szybkie zwieranie.

Wyłącznik rtęciowy stosowany jest w większych zegarach. Składa się on z ampulki szklanej (rys. 6-7) posiadającej dwa zagłębienia, w których są zatopione dwie końcówki metalowe do podłączenia przewodów. Ampulka jest wypełniona częściowo rtęcią. W położeniu pokazanym na rysunku końcówki są rozwarte. Przechylenie ampulki w prawo powoduje gwałtowne przelanie się rtęci (spowodowane małymi siłami przylegania rtęci do szkła) i zwarcie styków. Wyłącznik działa zatem migowo. Wadą wyłączników jest duża siła konieczna do przechylenia oraz pęknięcie ampulek przy przeciążeniu nadmiernym prądem.

W urządzeniach elektronicznych coraz częściej stosowane są mikroprzełączniki, których uruchomienie wymaga niewielkich sił i przesunięć (rzędu 0,1 mm!).

Na rys. 6-8 podano szereg rozwiązań konstrukcyjnych przełączników tego typu. Elementem dokonującym przełączenia jest sprężyna, która pod wpływem siły działającej na przycisk powoduje szybkie przełączenie układu po przejściu dźwigni styków ruchomych przez stan równowagi chwiejnej.



Rys. 6-8. Schematy konstrukcyjne mikroprzełączników:

1 — przycisk, 2 — sprężyna, 3 — dźwignia styków ruchomych, 4 — styk nieruchomy

Ćwiczenia i pokazy

1. Pokaz różnego rodzaju stycek stosowanych w mechanizmach zegarowych.
2. Pokaz zasady działania wyłącznika rtęciowego.
3. Pokaz różnego rodzaju wyłączników migowych.

Pytania sprawdzające

1. Omówić trzy fazy działania układu stykowego.
2. Omówić sposoby zabezpieczenia stycek przed iskrzeniem.
3. Omówić budowę urządzeń gasikowych.
4. Omówić budowę i zasadę działania mikroprzełączników.

7. MAGNESY TRWAŁE I ELEKTROMAGNESY

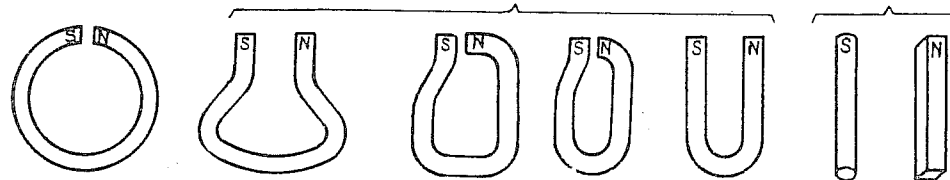
7.1. Magnesy trwałe

Magnesem nazywamy ciało mające własności przyciągania przedmiotów wykonanych z żelaza, niklu, kobaltu i z niektórych stopów. Zdolność przyciągania takich ciał nazywamy własnością magnetyczną.

Rozróżnia się magnesy naturalne i sztuczne. Magnesem naturalnym jest magnetyt, ruda żelaza — która wykazuje właściwości przyciągania małych elementów stalowych. Została ona wykryta w starożytności w pobliżu miasta Magneszja w Azji Mniejszej.

W technice stosuje się magnesy sztuczne, które dzielą się na magnesy trwałe i elektromagnesy.

Magnesy trwałe otrzymuje się przez potarcie dostateczną ilość razy kawałka zahartowanej stali innym magnesem lub przez wsunięcie go do cewki, przez którą przepływa prąd stały. Nazywa się to magnesowaniem przez indukcję. Ze względu na kształt rozróżnia się magnesy podkowiaste, igłowe, prętowe, pierścieniowe i inne (rys. 7-1).

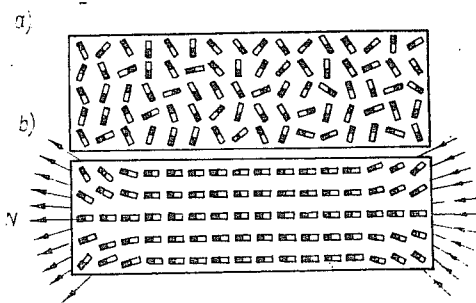


Rys. 7-1. Kształty magnesów

Końce magnesu mające własności najsilniejszego przyciągania nazywamy biegunami. Bieguny magnetyczne jednoimienne odpychają się, a różnoimienne przyciągają się. Jeden biegun magnesu nie może istnieć samodzielnie — bieguny występują zawsze parami.

Jeżeli magnes podzielimy na bardzo wiele kawałków, to okaże się że każdy kawałek wykazuje własności magnetyczne i posiada dwa bieguny. Z tego wysnuto wniosek, że każdy magnes składa się z elementarnych magnesów, tzw. dipoli, które przed namagnesowaniem ułożone są chaotycznie (rys. 7-2a). Dopiero po namagnesowaniu następuje uporządkowa-

nie ich ułożenia rys. 7-2b). Śluszność tego poglądu potwierdzają liczne doświadczenia. Np. magnes silnie uderzony lub podgrzany traci własności magnetyczne. Tłumaczy się to tym, że podczas podgrzewania zwiększają się drgania cząsteczek materiału i elementarne ładunki magnesu ustawiają się w różnych kierunkach.



Rys. 7-2. Schemat układu elementarnych magnesów: a) przed namagnesowaniem, b) po namagnesowaniu

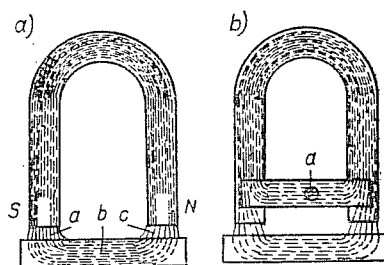
Każdy magnes wytwarza dookoła siebie pole magnetyczne. Natomiast kawałki metali mające własności magnetyczne i znajdujące się w polu magnetycznym zagęszczają linie pola (rys. 7-3). Zjawisko zagęszczania linii pola tłumaczy się tym, że metale mają większą przewodność magnetyczną, czyli mniejszy opór magnetyczny niż powietrze. Największą przewodność magnetyczną ma stal miękka.

7.2. Zasada działania elektromagnesów

W 1820 roku fizyk duński Oersted stwierdził, że wokół przewodnika z prądem powstaje pole magnetyczne. Pole to charakteryzuje się następującymi własnościami:

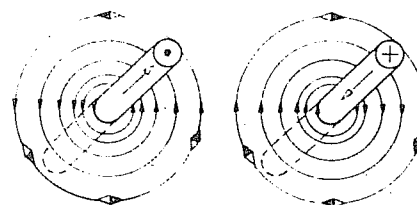
- linie pola mają kształt kół współśrodkowych leżących w płaszczyznach prostopadłych do kierunku prądu;
- zwrot linii sił zależy od kierunku prądu w przewodzie;
- zagęszczenie linii wzrasta w miarę zbliżania się do przewodnika;
- gęstość linii magnetycznych zależy od wartości natężenia prądu w przewodzie.

Każdemu przepływowi prądu towarzyszy pole magnetyczne, którego wartość i kierunki zależą od natężenia i kierunku przepływającego prądu

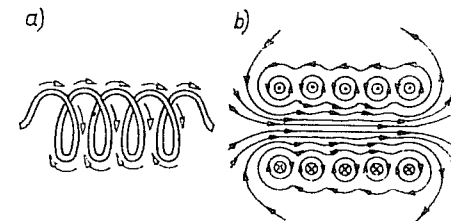


Rys. 7-3. Zjawisko zagęszczenia linii magnetycznych przez elementy stalowe umieszczone w polu magnetycznym: a) magnes podkowiasty ze zworą, b) zastosowanie zwory i bocznika magnetycznego

du (rys. 7-4). Na rys. 7-5a oznaczono kierunek prądu płynącego przez zwoje, a na rys. 7-5b przekrój cewki z prądem. Tutaj linie sił magnetycznych wytworzone przez poszczególne zwoje sumują się i przebiegają przez środek cewki i zamykają się na zewnątrz niej. Pole magnetyczne cewki jest podobne do pola magnesu trwałego, z tą różnicą, że wszystkie linie magnetyczne cewki bezrdzeniowej przebiegają w powietrzu.



Rys. 7-4. Linie pola magnetycznego wokół przewodu prowadzącego prąd



Rys. 7-5. Przebieg linii magnetycznych w cewce: a) przepływ prądu w cewce, b) przekrój cewki z zaznaczeniem linii magnetycznych

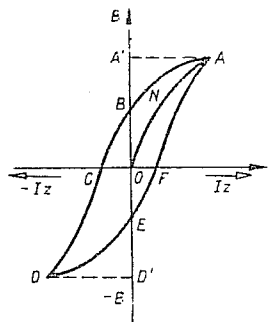
Jeżeli w tak utworzonym polu magnetycznym umieścimy sztabkę z żelaza, to ulegnie ona namagnesowaniu zgodnie z kierunkiem działającego pola i zacznie wysyłać swe własne linie magnetyczne.

Histeresa magnetyczna. W laboratoriach naukowych istnieją przyrządy do badania własności magnetycznych stali. W przyrządach tych jest wytwarzane pole (magnetyczne) magnesujące próbkę stalową za pomocą cewki o znanej liczbie zwojów. Przez cewkę można przepuszczać prąd o mierzonym natężeniu zmiennym i jednocześnie mierzyć indukcję magnetyczną powstającą w badanej próbce stalowej.

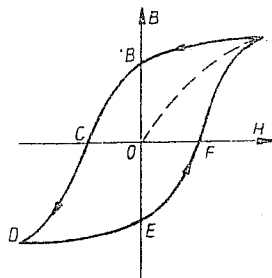
Wskutek stopniowego powiększania natężenia prądu przepływającego przez cewkę magnesującą indukcja magnetyczna w próbce uprzednio rozmagnesowanej (np. wyżarzonej) będzie wzrastać zgodnie z charakterystyką magnesowania pierwotnego przedstawioną na rys. 7-6 (krzywa OA).

Gdy po osiągnięciu pewnego stanu namagnesowania określonego punktem A zaczniemy zmniejszać natężenie prądu magnesującego, to mierząc indukcję magnetyczną zauważymy, że krzywa wyrażająca zjawisko nie będzie przebiegać wg krzywej magnesowania pierwotnego OA, lecz wg krzywej AB, wyrażającej teraz większe wartości indukcji magnetycznej. Po zniknięciu prądu magnesującego ($I=0$) nasza próbka będzie

miała pewną wartość indukcji magnetycznej, odpowiadającą na wykresie odcinkowi OB . Wartość ta nazywa się indukcją szczątkową i określa znany stan magnetyczny pod nazwą szczątkowego magnetyzmu.



Rys. 7-6. Obieg (cykl) histerezy.



Rys. 7-7. Obieg histerezy stali magnetycznie twardej o dużych stratach z histerezy i stali magnetycznie miękkiej o małych stratach z histerezy

Zwiększając teraz natężenie prądu magnesującego w kierunku przeciwnym (ujemnym), będzie się próbkę najpierw rozmagnesowywać, a następnie magnesować przeciwnie, doprowadzając wartość bezwzględną indukcji do wyrażonej rzędną OD' równą OA' , ale o kierunku ujemnym względem stanu magnetycznego.

Zmniejszając teraz prąd ujemny, po jego dojściu do zera znowu otrzymamy stan szczątkowego magnetyzmu. Wreszcie, zwiększając znowu prąd w kierunku dodatnim, przejdziemy przez stan zaniku indukcji — punkt F — by osiągnąć znowu punkt A o indukcji wyrażonej rzędną OA' .

Jeżeli doświadczenie powtórzymy, doprowadzając indukcję magnetyczną do większej wartości, otrzymamy nową krzywą o takim samym kształcie. Krzywa $ABCDEF A$ nazywa się obiegiem, albo cyklem histerezy; przedstawia ona zjawisko polegające na zmianie indukcji magnetycznej ciała ferromagnetycznego w zależności nie tylko od natężenia pola magnesującego w danej chwili, ale także od jego wartości poprzednich, a więc i poprzednich stanów namagnesowania.

Wartość prądu magnesującego (siły magnetomotorycznej) wyrażonego odcinkiem OC lub OF , a potrzebnego do zniesienia magnetyzmu szczątkowego, nazywa się koercją, albo natężeniem powściągającym.

Krzywa histerezy jest różna dla różnych materiałów. Dla stali miękkiej jest ona wąska, a dla stali twardej — stosunkowo szeroka i bardziej pochylona ku osi odciętych (rys. 7-7).

Materiały magnetyczne mające szeroki obieg histerezy nazywamy materiałami magnetycznymi twardymi, materiały zaś mające wąski obieg histerezy — materiałami magnetycznie miękkimi.

W rdzeniach, w których jest stale zmienny kierunek strumienia mag-

netycznego, np. w rdzeniach transformatora lub wirników maszyn elektrycznych, zjawisko histerezy jest zjawiskiem niepożądanym. Przy każdym przemagnesowaniu ponosi się stratę energii prądu magnesującego, która powoduje wywiązywanie się ciepła wywołanego tarciami międzycząsteczkowym przy przestawianiu się (obrocie) magnesów elementarnych (dipoli) przemagnesowywanego ciała ferromagnetycznego. Te straty na ciepło nazywa się stratami z histerezy.

Dążeniem hutnictwa jest produkowanie takich stali na rdzenie do maszyn prądu zmiennego, aby charakteryzowały się obiegiem histerezy o jak najmniejszym szczątkowym magnetyzmie i koercji, czyli o jak najmniejszej powierzchni obejmowanej przez obieg histerezy (rys. 7-7b).

Stal na magnesy trwałe powinna natomiast mieć jak największą powierzchnię obejmowaną przez obieg histerezy, tzn. szczątkowy magnetyzm i koercję możliwie duże (rys. 7-7a).

Powierzchnia pola obejmowanego przez obieg histerezy jest pewną miarą straty energii przy przemagnesowywaniu stali.

Wielkość charakteryzująca intensywność pola magnetycznego nazywa się indukcją magnetyczną i jest oznaczana literą B . Indukcja magnetyczna B określa właściwości magnetyczne pola magnetycznego. Indukcja jest gęstością pola magnetycznego. Jeżeli pole jest silniejsze — to gęstość jego (indukcja) jest większa, gdy słabsze — mniejsza. Jednostką indukcji magnetycznej jest weber na metr kwadratowy

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$$

Linie sił pola magnetycznego tworzą *strumień magnetyczny*. Wartość równomiernego strumienia magnetycznego (Φ) o indukcji (B) przenikającego płaszczyznę (S) prostopadłą do kierunku linii określamy iloczynem B i S .

$$\Phi = B \cdot S$$

Jednostką strumienia magnetycznego jest woltosekunda, zwana weberem.

Wartość strumienia magnetycznego wytwarzanego przez zwoje przewodu wiodącego prąd zależy od wartości prądu przepływającego oraz od ilości zwojów — zależy więc od siły magnetomotorycznej (smm):

$$\text{smm} = A \cdot z$$

Jednostką jest amperozwój $A \cdot z$ (amper · ilość zwojów).

Do obwodów magnetycznych stosuje się tak jak i do obwodów elektrycznych prawo Ohma, które mówi, że opór magnetyczny podobnie jak opór elektryczny zależy od środowiska w jakim się stru-

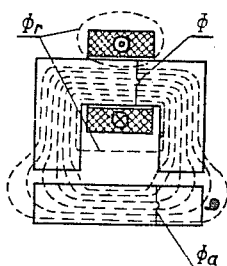
mień wytwarza, od długości obwodu magnetycznego, ilości zwojów i wielkości płaszczyzny obejmowanej przez poszczególny zwoj. Największy strumień magnetyczny otrzyma się w cewce po włożeniu do niej ciała ferromagnetycznego — są to ciała, których przenikalność magnetyczna jest od kilkuset do kilku tysięcy razy większa od przenikalności próżni.

Ciało ferromagnetyczne po usunięciu go z pola magnetycznego zachowuje w większym lub mniejszym stopniu swe własności magnetyczne — ma tzw. magnetyzm szczątkowy.

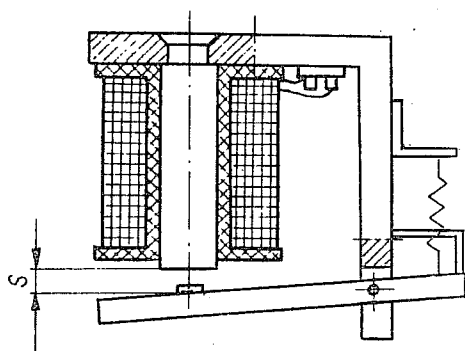
Magnetyzm szczątkowy jest wynikiem pozostawienia pewnej części elementarnych magnesów w położeniu wymuszonym przez pola magnesyjące. Ciała ferromagnetyczne mają tę zaletę, że wielokrotnie wzmacniają magnesyjące je pole.

Rozproszenie magnetyczne. W elektromagnesach nie cały strumień magnetyczny przebiega przez rdzeń stalowy elektromagnesu, tj. przez główny szlak obwodu magnetycznego, pewna jego część wychodzi na zewnątrz i przebiega w powietrzu. Ta część strumienia nazywa się strumieniem rozproszenia lub rozprószaniem magnetycznym. Rozproszenie występuje w tym większym stopniu, im mniejsza jest przenikalność magnetyczna rdzenia oraz im większa jest w rdzeniu szczelina powietrza, czyli im obwód magnetyczny ma większy opór magnetyczny.

Na rys. 7-8 przedstawiono obwód ze szczeliną powietrzną i pokazano strumień główny i strumień rozproszenia.



Rys. 7-8. Przebieg linii magnetycznych strumieni: głównego i rozproszenia

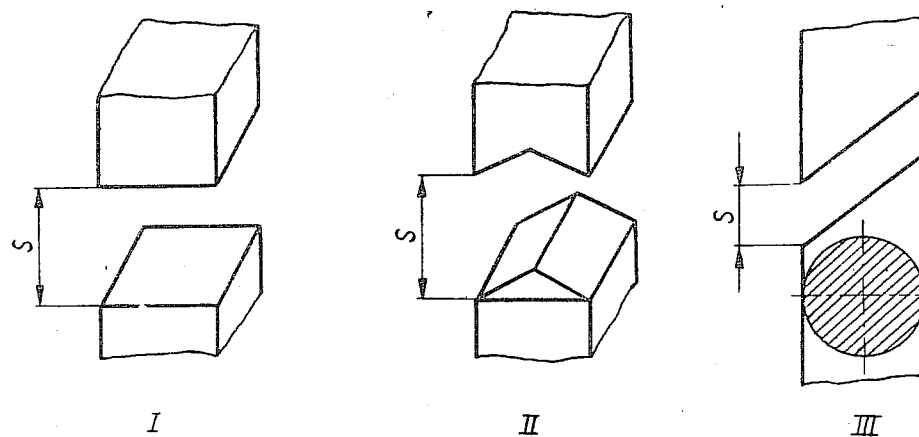


Rys. 7-9. Elektromagnes obojętny ze zworą wahliwą

W zależności od przeznaczenia są różne konstrukcje elektromagnesów. Na rys. 7-9 podano przykład elektromagnesu ze zworą wahliwą. Gdy szczelina jest duża siła elektromagnesu jest bardzo mała i wzrasta bardzo szybko z maleniem szczeliny. Dla pewnego elektromagnesu otrzymano następujące wartości pomiarowe:

szczelina s (mm)	3	2	1	0,5	0,15	0,0
siła G	2	3	15	50	350	3600

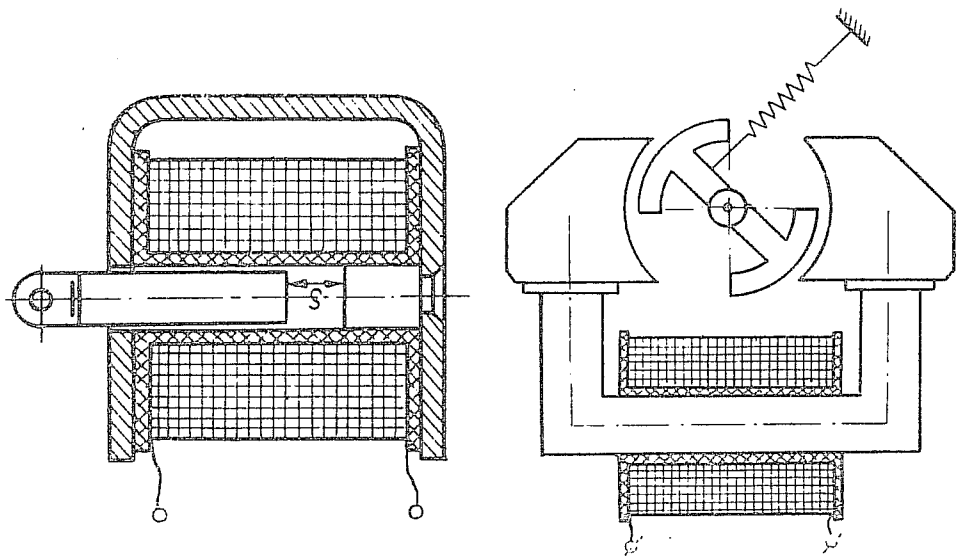
Taki elektromagnes jest więc bardzo niekorzystny do napędu mechanizmów, gdyż prawie każdy mechanizm w chwili ruszania ze spoczynku stawia największe opory ze względu na dużą wartość spoczynkowego współczynnika tarcia oraz ze względu na duże bezwładności mechanizmu. Elektromagnes natomiast w pierwszej chwili ma siłę bardzo małą. Aby temu zaradzić zastosowano skośne szczeliny (rys. 7-10), jednak ścięcia skośne zawory i rdzenia jak w przykładzie III stwarza duże siły boczne co komplikuje konstrukcję. W rozwiązaniu II występują natomiast kłopoty wykonawcze przy wykonywaniu równych skośnych szczelin. Z tego powodu gdy zależy na prostocie konstrukcji, pomimo wad stosuje się zwory wahliwe płaskie.



Rys. 7-10. Różne kształty szczeliny elektromagnesu

Elektromagnesy nurnikowe (rys. 7-11) mają duży skok, co jest niekiedy pożądane, jednak ze względu na niesymetryczne pole magnetyczne, które powoduje przyciskanie rdzenia nurnika do jednej ze ścianek, występują tutaj duże straty wywołane tarciem.

Najbardziej korzystne są elektromagnesy ze zworą obrotową (rys. 7-12). W tym przypadku cała energia elektromagnesu może być zużyta do napięcia sprężyny i wykorzystana przy powrotnym ruchu. Odpowiednim ukształtowaniem biegunów elektromagnesów lub zwory można wytworzyć szczelinę klinową i osiągnąć bardzo korzystną charakterystykę. Jeszcze jedną zaletą jest to, że nie występuje tutaj zjawisko „klejenia się” zwory do rdzenia, co ma miejsce przy elektromagnesach ze zworą wahliwą lub rdzeniem nurnikowym. „Klejenie się” zwory jest to zjawisko spowodowane pozostałością magnetyczną w materiałach ferromagnetycznych, które jest tym większe, im większa jest koercja danego materiału.



Rys. 7-11. Elektromagnes ze zwołą nurnikową

Rys. 7-12. Elektromagnes ze zwołą obrotową

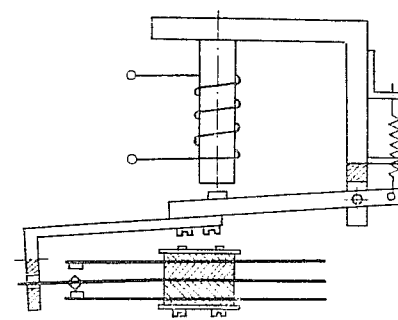
7.3. Przekładniki

Przekładniki służą do sterowania większymi mocami za pomocą małych prądów wzbudzenia. W technice zegarowej stosuje się prawie wyłącznie przekładniki prądu stałego. Przekładniki, które są sterowane przez elektromagnes mogą być obojętne i spolaryzowane.

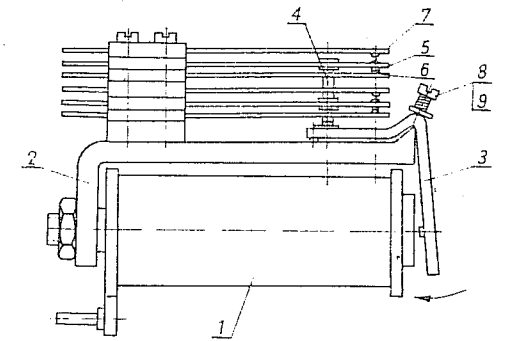
Przekładniki obojętne prądu stałego. Stosuje się tu przekładniki, gdy mamy do czynienia zarówno z większymi prądami oraz dla prądów słabych. Schemat przekładnika obojętnego z układem stykowym przełączalnym przedstawiono na rys. 7-13.

Inny przykład przekładnika elektromagnetycznego stosowanego w układach telefonicznych przedstawiono na rys. 7-14. Przekładnik ten składa się z rdzenia 1 z cewką, jarzma 2, kotwicy 3 i układu sprężyn stykowych. Przy włączeniu uzwojenia cewki do źródła zasilania w obwodzie magnetycznym powstające pole magnetyczne przyciąga kotwicę. Następuje wówczas obrót kotwicy na ostrzu jarzma i przez słupek 4 — przełączenie układu sprężyn (sprężyna ruchome 5 po rozwarciu się ze sprężynami 6 zetkną się ze sprężynami 7). Słupek jest połączony na stałe ze sprężynami 5 i przechodzi luźno przez otwory w sprężynach 6 i 7. Wkręt 8 ze sprężyną 9 zabezpieczają przed spadnięciem kotwicy z jarzma.

Przekładniki spolaryzowane — stosuje się w sieciach z dwukierunkowymi impulsami prądu. Schemat takiej konstrukcji przedstawiono na rys. 7-15.

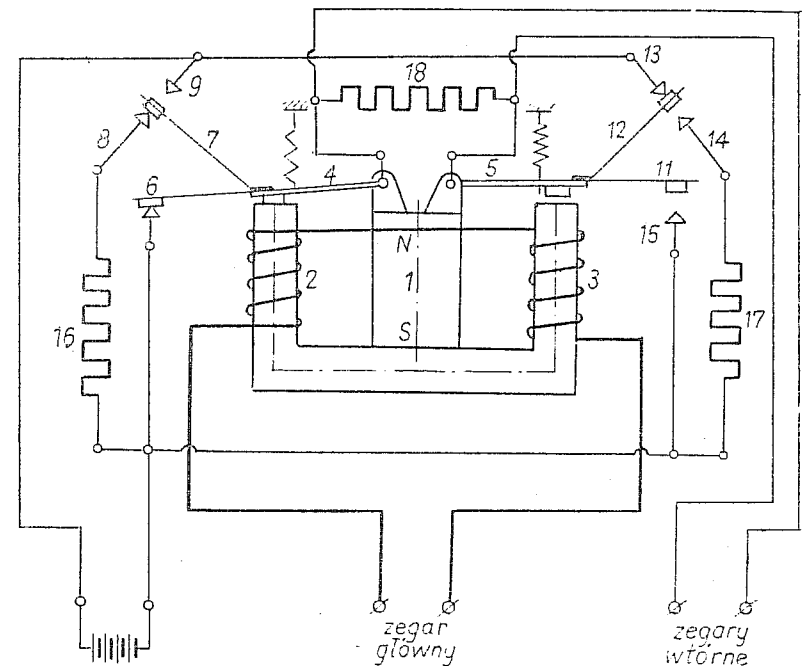


Rys. 7-13. Przekładnik obojętny



Rys. 7-14. Przekładnik elektromagnetyczny (telefoniczny)

1 — rdzeń z cewką, 2 — jarzmo, 3 — kotwica, 4 — słupek, 5 — sprężyna ruchoma, 6, 7 — sprężyny nieruchome, 8 — wkręt, 9 — sprężyna



Rys. 7-15. Przekładnik spolaryzowany

Jeżeli prąd nie płynie przez cewki elektromagnesu 2 i 3, wtedy zwory 4 i 5 są odciągnięte od biegunów elektromagnesu i styki 6-10, 8-7, 15-11 i 12-14 są rozwarte. Obwód zegarów wtórnych jest otwarty. Siła przyciągania zwor 4 i 5 przez bieguny 3 i 2, wywołana polem magnesu stałego 1, jest nie tylko za mała, aby je przyciągnąć, gdy są one odciągnięte przez sprężyny, ale także i w tym przypadku, gdy zwory dotykają biegunów. Jeżeli elektromagnes zostanie wzbudzony impulsem prądu stałego o takim kierunku, że pole magnetyczne bieguna 2 zostanie wzmocnione w znacznym stopniu, to może pokonać siłę sprężyny i przyciągnie zworę 4. Równocześnie ten sam prąd wzbudzający cewkę 3 wywołuje pole magnetyczne o kierunku przeciwnym do pola magnesu 1 i pole bieguna 3 zostaje znacznie osłabione. Zwora 5 pozostaje w spoczynku. W ten sposób wzbudzenie spowodowało początkowo zwarcie styków 7-8 i przepływ prądu do zegarów wtórnych przez opór 16, a następnie zwarcie styków 6 i 10 i zbocznikowanie oporu 16. Prąd został wyłączony stopniowo. Z chwilą ustania impulsu sprężyna odciągnie zworę 4, rozewrze początkowo styki 6-10, a następnie 7-8. Następuje dwustopniowe wyłączenie zegarów wtórnych.

Przeciwny kierunek prądu wzbudzającego wywoła takie samo zadziałanie zwory 5 i skierowanie w taki sam sposób do zegarów wtórnych impulsu o odwrotnym kierunku. A zatem przekaźnik odtwarza impulsy prądu wzbudzania, nadawane przez zegar wtórny.

Ćwiczenia i pokazy

1. Na płytce szklanej rozsypać równomiernie opiłki żelaza. Pod płytką umieszczać różne magnesy stałe. Obserwować przebieg linii sił pola magnetycznego. W czasie ćwiczenia płytkę należy opukiwać.
2. Do cewki z dużą ilością zwojów włożyć pręt wykonany z miękkiej stali. Uzwojenie cewki podłączyć do źródła prądu stałego. Określić rodzaje biegunów w elektromagnecie (stosując odpowiednie reguły) a następnie sprawdzić za pomocą magnesu stałego.
3. Cewka ma długość $l=10$ cm i średnicę $d=2$ cm. Uzwojenie cewki wykonano z drutu miedzianego o średnicy $d_1=0,4$ mm. Jakie natężenie pola magnetycznego powstanie w cewce, jeżeli zasilimy ją ze źródła o napięciu 4,5 V (odp.: 5000 A/m).

Pytania sprawdzające

1. Omówić budowę magnesów trwałych.
2. Omówić zasady działania elektromagnesów.
3. Od czego zależy wartość rozproszenia magnetycznego?
4. Omówić budowę elektromagnesów ze zworą wahliwą, nurnikową i obrotową.
 - a. Co nazywamy indukcją, a co strumieniem magnetycznym?
6. Omówić zasadę działania przekaźników spolaryzowanych.

8. SILNIKI ELEKTRYCZNE

8.1. Silniki prądu stałego

Do naciągu elementów napędowych mechanizmów zegarowych zasilanych ze źródeł prądu stałego o ograniczonym zasobie energii, stosowane są oprócz elektromagnesów również miniaturowe silniki prądu stałego. Silniki te są stosowane w mechanizmach zegarowych bateryjnych, zasilanych zwykle z ogniwi typu R20 o napięciu 1,5 V.

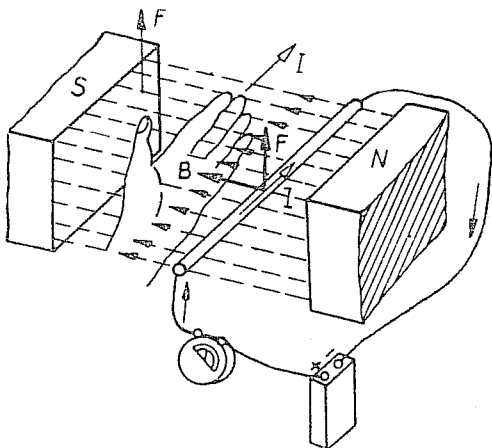
Natomiast w mechanizmach zegarowych, które mogą być przyłączone do źródeł o dużym zasobie energii (np. zegary samochodowe), do naciągu sprężyny stosowane są zwykle elektromagnesy.

Dużą zaletą silników jest to, że silniki prądu stałego mają znacznie większą sprawność niż elektromagnesy. Oprócz tego, ze względu na to, że praca naciągania sprężyny przez silnik trwa dłużej w naciągu z elektromagnesem, chwilowe obciążenie silnika jest małe, co prowadzi do mniejszego poboru mocy i dlatego takie silniki mogą jeszcze poprawnie pracować przy częściowo wyczerpanej baterii (nawet przy spadku napięcia do ok. 1 V). Również zastosowanie silnika pozwala na bardziej racjonalne wykorzystanie zasobów energii ogniwa zasilającego, niż w przypadku elektromagnesu, gdyż włączanie takiego silnika następuje w większych odstępach czasu niż elektromagnesu, dzięki czemu ogniwo ma czas na tzw. samoregenerację. Dodatkową zaletą silników jest ich mniejsza hałaśliwość pracy niż elektromagnesów, a szczególnie elektromagnesów ze zworą wahliwą lub nurnikową.

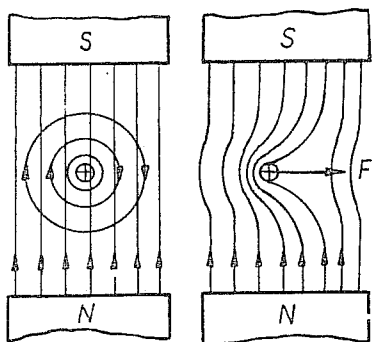
W mechanizmach zegarowych stosuje się następujące silniki prądu stałego:

- szeregowe,
- z drukowanymi wirnikami tarczowymi lub kubkowymi (Ferraris),
- bocznikowe,
- szeregowo-bocznikowe.

Zasada działania silnika prądu stałego. Na rys. 8-1 między biegunami pola magnetycznego umieszczono prostopadle do płaszczyzny rysunku przewód z prądem. Zgodnie z przebiegiem linii magnetycznych wokół przewodu widocznego przed i między biegunami magnesu trwałego wy-



Rys. 8-1. Przewód wiodący prąd w polu magnetycznym



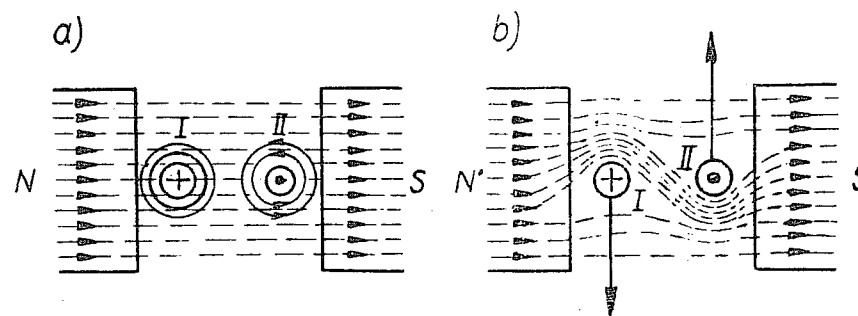
Rys. 8-2. Reguła lewej dłoni

tworzy się wypadkowe pole magnetyczne. Linie obu pól zgodnie skierowane dodają się, a więc będą zagęszczają pole, linie zaś pól skierowanych przeciwnie, osłabiają pole, czyli następuje ich rozrzedzenie. W rezultacie na przewód zacznie działać siła F w kierunku zaznaczonym strzałką. Siła działająca na przewód jest więc wynikiem współdziałania głównego pola magnetycznego, do którego wprowadzono przewód i pola wytworzonego przez płynący w przewodzie prąd.

Aby zmienić kierunek ruchu przewodu należy albo zmienić kierunek prądu, albo kierunek pola magnetycznego (zamienić bieguny magnesów). Kierunek ruchu przewodu można określić za pomocą tzw. reguły lewej dłoni (rys. 8.2). Jeżeli lewą dłoń ustawimy tak, aby linie magnetyczne wychodzące z bieguna N wchodziły do dłoni, a cztery wyprostowane palce wskazywały kierunek prądu w przewodzie, to odchyłony duży palec wskaże nam kierunek ruchu przewodu.

Wartość siły F wypychającej przewód jest tym większa, im większy prąd I płynie w przewodzie i im większa jest długość l przewodu objęta polem magnetycznym, i im silniejsze jest to pole. Zjawisko wywołania ruchu przewodu z prądem w polu magnetycznym zostało powszechnie wykorzystane w maszynach elektrycznych zwanych silnikami elektrycznymi.

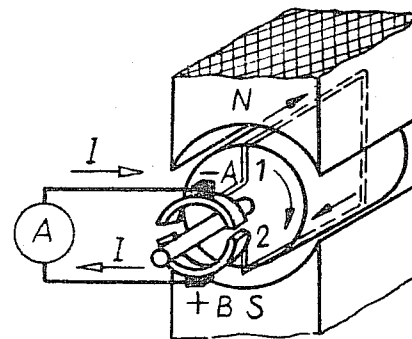
Jeżeli w polu magnetycznym umieści się dwa przewody z prądem o kierunkach przeciwnych (rys. 8-3), wtedy powstanie wypadkowa pole i powstaną siły wypychające, takie jak na rys. 8-3b. Jeżeli takie przewody umieścić na obrotowym cylindrze osadzonym na osi, wtedy przewody nadadzą cylindrowi ruch obrotowy. Jednak w czasie obrotu należy pamiętać, że gdy np. przewód II w swym obrocie zacznie się zbliżać do bieguna N, należy zmienić w nim kierunek prądu na przeciwny, aby został utrzymany kierunek ruchu cylindra. W razie niezachowania tego warunku przewód II po dostaniu się w strefę działania bieguna N wy-



Rys. 8-3. Ruch w polu magnetycznym dwóch przewodów wiodących prąd

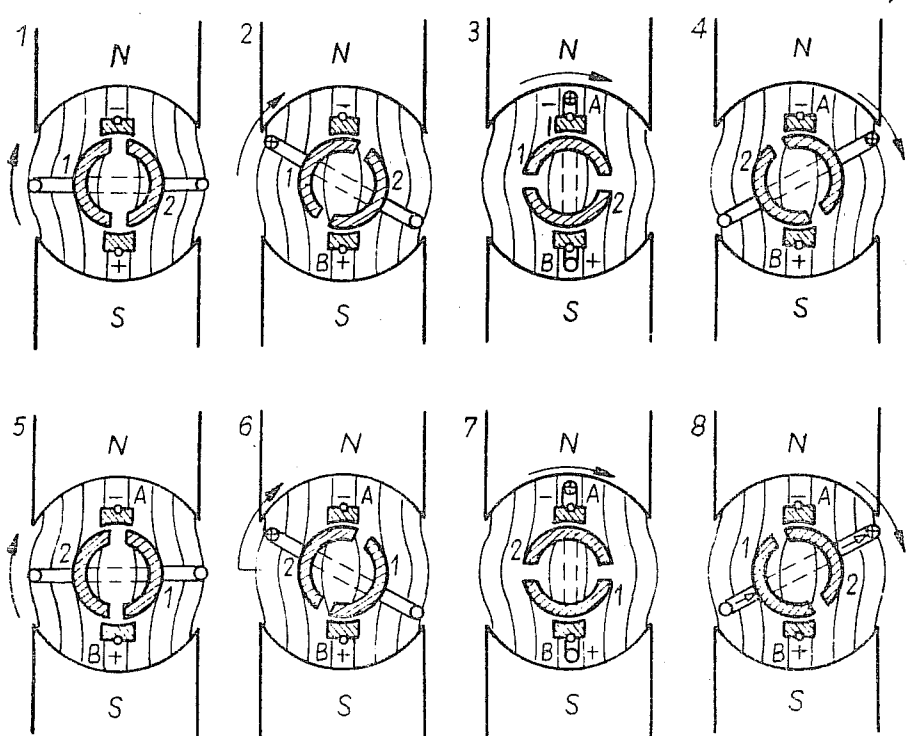
wołały siłą działającą w kierunku przeciwnym, co spowodowałoby zatrzymanie cylindra. Aby więc przewodowi nadać ruch obrotowy trzeba zmieniać kierunek pola albo kierunek prądu w przewodach; w praktyce zmienia się kierunek prądu.

Na rys. 8-4 przedstawiono najprostszy układ silnika z dwoma przewodami złączonymi w jeden zwoj i z urządzeniem do zmiany kierunku prądu. Urządzenie to składa się z dwu połówek A i B pierścienia. Do połówek pierścienia dołączone są końce zwoju. Do półpierścieni przylegają nieruchome szczotki 1 i 2 węglowe lub metalowe, dołączone do zacisków źródła prądu. Urządzenie składające się z tzw. wycinków (przeciętego pierścienia), które przy udziale szczotek służy do prostowania prądu przemiennego płynącego w zwojach prądnicy na prąd jednokierunkowy w obwodzie zewnętrznym tej prądnicy, nazywa się komutatorem.



Rys. 8-4. Model prądnicy prądu stałego (z komutatorem)

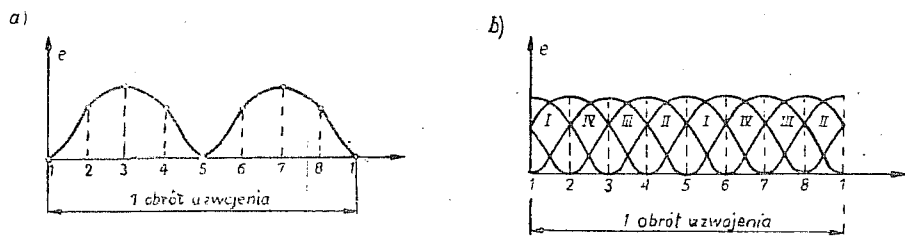
Kierunek powstającej siły elektromotorycznej i przepływającego prądu w bokach wirującego zwoju w różnych jego położeniach przedstawia rys. 8-5. Przy przechodzeniu zwoju przez położenie 1 i 5 siła elektromotoryczna zanika, gdyż w tych chwilach oba boki zwoju przesuwają się wzdłuż linii magnetycznych nie przecinając ich. W innych położeniach zwoju powstaje w jego bokach siła elektromotoryczna,



Rys. 8-5. Działanie komutatora — osiem pozycji wirującego zwoju w polu magnetycznym

a pod szczotką przesuwają się półpłaszczyzny i dzięki temu prąd I płynie w obwodzie zewnętrznym tylko od szczotki B do szczotki A. Najwięcej linii magnetycznych przecinają boki zwoju w położeniach 3 i 7, wówczas wartości powstającej siły elektromotorycznej są największe.

Na rys. 8-6a przedstawiono wykres przebiegu siły elektromotorycznej, otrzymywanej z dwudziałkowego komutatora przy jednym obrocie zwoju. Przy zastosowaniu kilku zwojów połączonych z komutatorem o odpowiedniej liczbie wycinków otrzymamy wykres siły



Rys. 8-6. Ośmiu pozycji uzwojenia o jednym zwoju wirującym w polu magnetycznym (a) oraz uzwojenie o czterech zwojach (b)

elektromotorycznej zbliżony do stałego (rys. 8-6b). Siła elektromotoryczna E prądnicy zależy od jej prędkości obrotowej n wirnika oraz od strumienia magnetycznego Φ magnesnicy: $E = k \cdot \Phi \cdot n$ gdzie k — współczynnik proporcjonalności zależny od budowy maszyny.

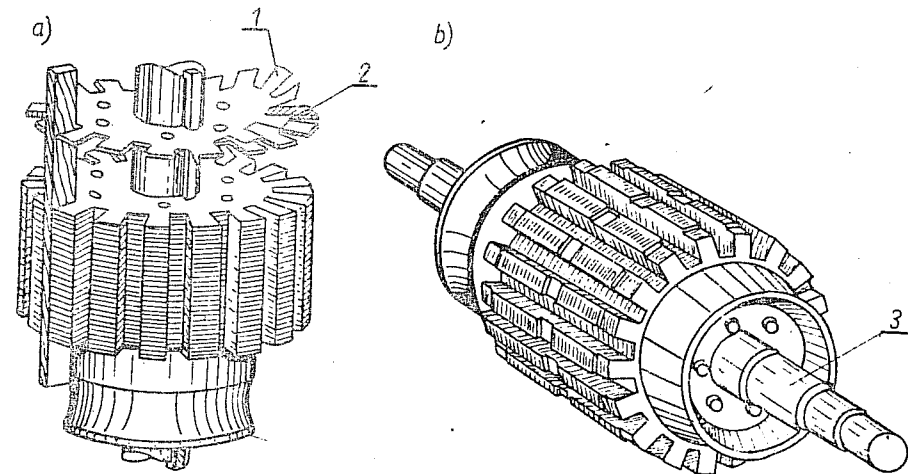
Moment obrotowy takiego silnika zależy od wielkości strumienia magnetycznego Φ i prądu I_t (prądu twornika):

$$M_{obr} = k \cdot \Phi \cdot I_t$$

gdzie k — współczynnik proporcjonalności zależy od budowy maszyny.

Budowa maszyn prądu stałego. Podstawowymi elementami są magnesnice — wytwarzające pola magnetyczne, tzw. stojan oraz wirnik, na którym naciśnięte są zwoje.

W stojanie umieszcza się jedną lub więcej par elektromagnesów. Rdzeń wirnika na skutek obrotu w nieruchomym polu magnetycznym jest stale przemagnesowywany. Aby zmniejszyć straty spowodowane prądami wirowymi rdzeń składa się z oddzielnych izolowanych od siebie blach z miękkiej stali krzemowej. Na obwodzie każdej blachy znajdują się wycięcia, w które zakładane są uzwojenia wirnika (rys. 8-7).



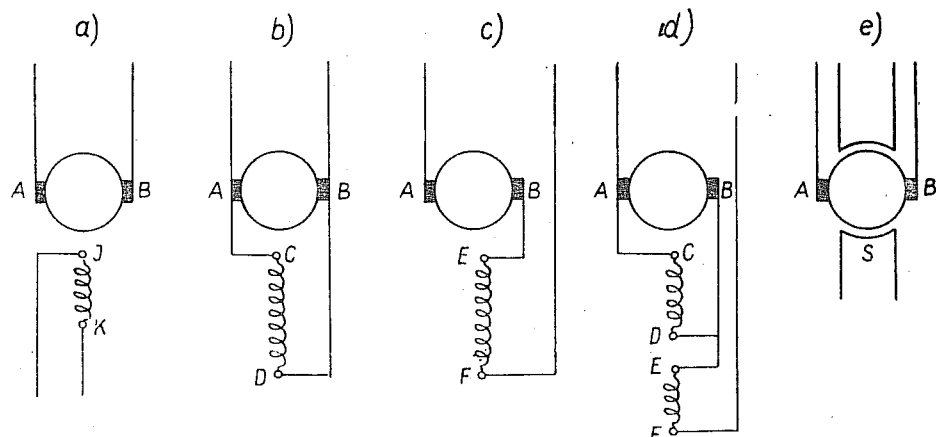
Rys. 8-7. Budowa rdzenia wirnika: a) składanie wirnika, b) widok wirnika bez uzwojeń

Zaletami silników prądu stałego są:

- możliwość uzyskiwania dowolnych prędkości obrotowych,
- korzystne warunki regulacji obrotów w dużych granicach,
- małe wymiary i ciężar,
- duży moment rozruchowy.

Z drugiej strony szereg wad tych silników wypływa z występowania w nim kumulatora i szczotek, co powoduje niestabilność charakterystyki silnika spowodowaną zmiennością oporności przejścia styku oraz zakłócenia odbioru radiowego i telewizyjnego.

Ze względu na sposób wzbudzania, silniki prądu stałego można podzielić na: obcowzbudne, bocznikowe, szeregowe, szeregowo-bocznikowe i silniki ze wzbudzeniem za pomocą magnesów trwałych (rys. 8-8).



Rys. 8-8. Podział silników prądu stałego ze względu na sposób wzbudzania: a) obcowzbudny, b) bocznikowy, c) szeregowy, d) szeregowo-bocznikowy, e) ze wzbudzeniem za pomocą magnesów trwałych

W silniku obcowzbudnym uzwojenie wzbudzania zasilane jest z innego źródła niż uzwojenie twornika (rys. 8-8a). Silnik bocznikowy ma uzwojenie wzbudzania połączone równolegle z uzwojeniem twornika (rys. 8-8b).

Silnik szeregowy jest to taki silnik, w którym uzwojenie wzbudzania połączone jest w szereg z uzwojeniem twornika (rys. 8-8c).

Silnik szeregowo-bocznikowy ma dwa uzwojenia wzbudzania: szeregowo — połączone w szereg z uzwojeniem twornika i bocznikowe — połączone równolegle z uzwojeniem twornika (rys. 8-8d). Silnik z magnesami trwałymi nie jest wzbudzany za pomocą elektromagnesów. Pole magnetyczne w tym silniku pochodzi od biegunów wykonanych w postaci magnesów trwałych.

Silnik bocznikowy ma sztywną charakterystykę mechaniczną, tzn. prędkość obrotowa przy wzroście momentu obciążenia zmienia się tylko nieznacznie. Regulację prędkości obrotowej takiego silnika przeprowadza się przez włączenie regulowanego oporu w obwód wzbudzania silnika. Sposób ten daje płynną regulację obrotów w dużym zakresie (1:3) praktycznie bez strat. Wadą tych silników jest tendencja do rozbiegania przy biegu jałowym lub małym obciążeniu. Następnym sposobem regu-

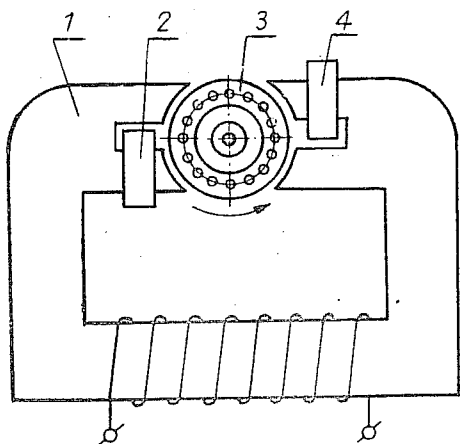
lacji prędkości obrotowej jest zmiana napięcia przyłożonego do zacisków twornika.

Silnik szeregowy (rys. 8-8c) ma uzwojenie wzbudzania połączone w szereg z uzwojeniem twornika. Dlatego prąd wzbudzania równy jest prądowi twornika. Silnik szeregowy ma charakterystykę mechaniczną „miękką”, tzn. że następują tutaj znaczne zmiany prędkości obrotowej ze wzrostem obciążenia. Przy małym obciążeniu obroty silnika mogą wzrosnąć bardzo znacznie, co może doprowadzić do rozbiegania silnika i w konsekwencji do jego zniszczenia. Dlatego też silnik szeregowy musi być uruchamiany pod obciążeniem i łączy się go mechanicznie z urządzeniami napędzanymi — za pomocą sprzęgieł lub kół zębatych, unikając przekładni pasowych. Obciążenie silnika nie powinno nigdy wynosić mniej niż 20% obciążenia znamionowego. Prędkość obrotową silnika szeregowego reguluje się przez: włączenie oporności w obwód twornika lub zmianę przyłożonego napięcia. Silnik szeregowy charakteryzuje się dużym momentem rozruchowym.

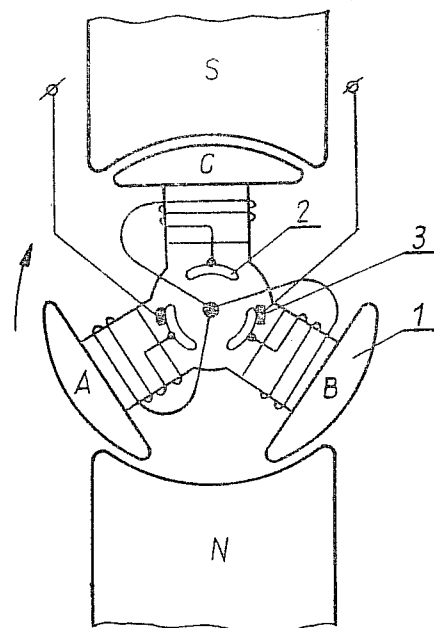
Silnik szeregowo-bocznikowy (rys. 8-8d) ma dwa uzwojenia wzbudzania, z których jedno włączone jest szeregowo, drugie zaś równolegle do uzwojenia twornika. Charakteryzuje się on dużym momentem rozruchowym. Regulacja prędkości obrotowej odbywa się podobnie jak w silniku bocznikowym.

Silniki prądu stałego ze wzbudzeniem za pomocą magnesów trwałych znalazły zastosowanie w mechanizmach zegarowych. Są to zwykle silniki komutatorowe z wirnikiem o trzech biegunach w polu magnetycznym wytwarzanym przez magnes trwały (rys. 8-9). W literaturze jest on spotykany pod nazwą silnika Siemens. Na biegunach wirnika 1 rozmieszczonych względem siebie pod kątem 120° nawinięte są cewki, których początki uzwojenia połączone są z trzema wycinkami komutatora 2, końce zaś połączone ze sobą. Z komutatorem współpracują nieruchome szczotki 3 wykonane w postaci mosiężnych blaszek, połączone ze źródłem prądu stałego. Wirnik umieszczony jest między odpowiednio ukształtowanymi nabiegunkami magnesu trwałego stanowiącego stojan silnika. W położeniu wirnika jak na rys. 8-9 prąd płynie tylko przez cewki A i B. Wytwarzane przez cewki bieguny wirnika N i S współdziałają z biegunem N stojana; biegun wirnika N jest odpychany, a biegun S — przyciągany przez biegun N stojana. Pod wpływem wytwarzanego w ten sposób momentu następuje obrót wirnika w kierunku oznaczonym na rysunku strzałką. Po obrocie wirnika o kąt 60° prąd płynie przez cewki A i C. Na bieguny magnetyczne wirnika działa teraz biegun S stojana.

Podczas ruchu obrotowego wirnika następuje więc połączenie przez komutator kierunku prądu w uzwojeniach wirnika, przez co zapewniona jest ciągłość działania momentu obrotowego. Silnik może zatem ruszać ze spoczynku przy dowolnym położeniu wirnika.



Rys. 8-9. Schemat silnika komutatorowego na prąd stały



Rys. 8-10. Silnik asynchroniczny jednofazowy klatkowy
1 — rdzeń stojana, 2, 4 — zwoje zwarte, 3 — wirnik klatkowy

Silniki prądu stałego z drukowanym uzwojeniem wirnika pojawiły się stosunkowo niedawno. Wirnik tego silnika wykonany jest w postaci cienkiej tarczy szklanej (lub ceramicznej), z obu stron której nadrukowano uzwojenie wykonane nie izolowanym płaskim przewodem miedzianym. Silnik ten ma bardzo mały ciężar wirnika (a więc i małą bezwładność). Jest odporny na zmiany temperatury. Nie posiada komutatora, gdyż szczotki srebrno-grafitowe ślizgają się bezpośrednio po drukowanych zwojach wirnika.

Twornik nie posiada żelaza, oddziaływanie twornika prawie wcale nie istnieje. Komutacja jest całkowicie beziskrowa. Ze względu na że w wirniku nie ma materiałów izolacyjnych organicznych, mogą być w nim dopuszczone znaczne przyrosty temperatur. Dopuszczalne są duże gęstości prądów w przewodach uzwojenia twornika, dla pracy ciągłej 40 A/mm², a dla pracy przerywanej nawet 100 A/mm².

Silniki z drukowanym uzwojeniem wirnika są maszynami elektrycznymi przeznaczonymi do pracy przy dużych prądach i niskich napięciach.

8.2. Silniki prądu przemiennego

W zależności od budowy i sposobu działania istnieją różnego rodzaju

silniki prądu przemiennego. Jeżeli wirnik wykazuje takie same obroty jak wirujące pole magnetyczne, wówczas taki silnik nazywamy synchronicznym. Jeżeli natomiast wirnik podąża za wirującym polem magnetycznym z pewnym opóźnieniem, to taki silnik nazywa się asynchronicznym. Innym rodzajem są silniki komutatorowe. Zasilanie tych silników dokonuje się prądem trójfazowym lub jednofazowym.

Do napędu urządzeń naciągowych zegarów stacjonarnych, a także w zegarach synchronicznych stosuje się jednofazowe silniki prądu przemiennego (bezkomutatorowe). Silniki trójfazowe stosowane są w wyjątkowych wypadkach, np. do naciągu napędu w dużych zegarach wieżowych.

Warunkiem obracania się wirnika w silniku indukcyjnym lub synchronicznym jest wytworzenie wirującego pola magnetycznego między biegunami stojana. Do wytworzenia tego pola konieczne jest występowanie przynajmniej dwóch sinusoidalnie zmiennych (prądu zmiennego) strumieni magnetycznych, które będą przesunięte w działaniu między sobą o pewien okres czasu, tak aby jeden strumień działał z pewnym opóźnieniem w stosunku do drugiego strumienia. W tym celu w silnikach jednofazowych stosuje się tzw. fazę pomocniczą. (W silnikach trójfazowych fazy są przesunięte względem siebie o kąt 120°, tak że prąd może być doprowadzony bezpośrednio do biegunów stojana).

Schemat takiego silnika pokazano na rys. 8.10.

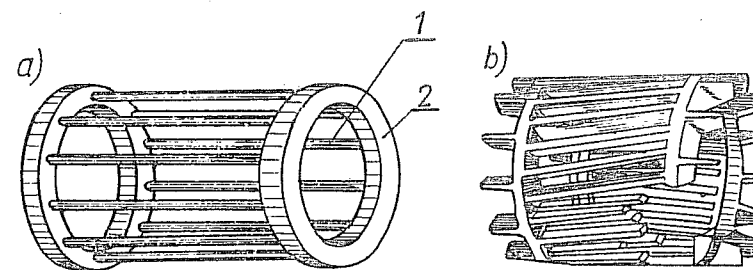
Dwa strumienie magnetyczne rozsunęte przestrzennie i przesunięte względem siebie w fazie (czasie), wytwarzają wirujące pole magnetyczne, które uzyskuje się przez podzielenie biegunów stojana na dwie części i nałożenie na jedną z nich miedzianego zwoju zwartego 2 i 4.

Prędkość wirowania strumienia magnetycznego wynosi

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ obr/min}$$

gdzie: f — częstotliwość prądu zasilającego
 p — liczba par biegunów głównych

Wirnik 3 jest wykonany jako klatka z miedzi lub aluminium wypełniona żelazem (rys. 8-11). Wirujące pole magnetyczne indukuje w klat-



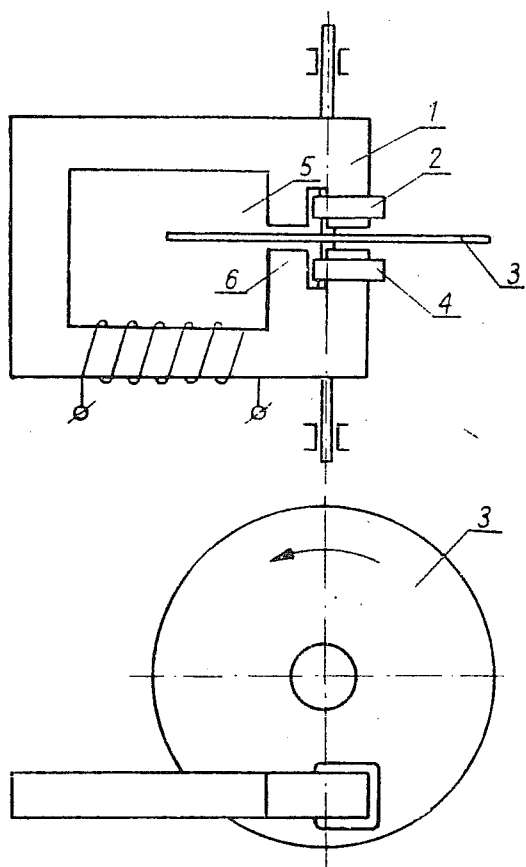
Rys. 8-11. Klatki wirników: a) miedziana, b) aluminiowa, 1 — pręty, 2 — pierścienie

ce prądy, które wytwarzają strumień magnetyczny. Ten z kolei strumień oddziałuje na wirujące pole, powodując obrót wirnika w kierunku zgodnym z kierunkiem wirowania pola. Wirnik obraca się z prędkością mniejszą od prędkości obrotowej pola magnetycznego o poślizg, który w tego rodzaju silnikach jest dosyć duży i wynosi około 10%. Silniki te są bardzo proste i tanie, pracują cicho i niezawodnie. Mają jednak małą sprawność.

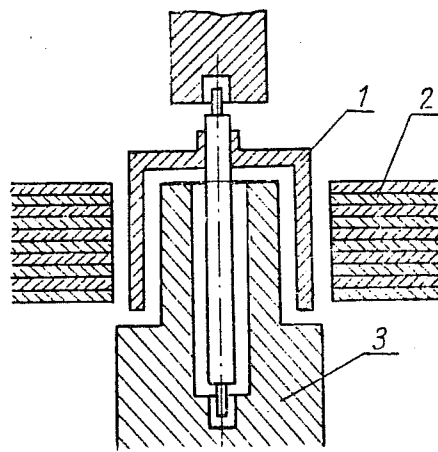
Z powodu dużych strat prąd podczas biegu luzem jest nieznacznie mniejszy niż przy obciążeniu. Dlatego silniki można przeciążać, a nawet zatrzymać pod prądem bez obawy uszkodzenia uzwojeń stojana.

Oprócz miniaturowych silników klatkowych w urządzeniach zegarowych stosuje się także silniki indukcyjne z wirnikami niemagnetycznymi (*Ferrarisa*) wykonanymi z miedzi lub aluminium.

Wirnik może mieć kształt płaskiej tarczy (rys. 8-12), poruszającej



Rys. 8-12. Silnik tarczowy asynchroniczny (*Ferrarisa*):
1 — stojan, 2, 4 — zwoje zwarte,
3 — wirnik, 5, 6 — bieguny



Rys. 8-13. Wirnik kubkowy silnika *Ferrarisa*:
1 — wirnik kubkowy, 2 — żelazo stojana z uzwojeniem, 3 — nieruchomy rdzeń

się między płasko zakończonymi biegunami stojana (podobnie jak w licznikach energii elektrycznej) lub kształt kubka umieszczonego w stojanie (rys. 8-13). Przesuwające się pole magnetyczne indukuje w tarczy 3 (rys. 8-12) wykonanej zwykle z aluminium, prądy wirowe, które powodują ruch tarczy w kierunku zgodnym z kierunkiem przesuwania się pola. Silnik taki ma znaczny poślizg nawet podczas biegu luzem.

Współczynnik sprawności silników *Ferrarisa* jest bardzo mały. Dla silników o mocy ułamek wata sprawność ich wynosi zaledwie 0,1-0,2%. Przyczyną małej sprawności tych silników są znaczne straty w uzwojeniu stojana, powstające na skutek dużego prądu magnesującego, oraz straty w wirniku związane z jego dużą opornością czynną.

Aby zmniejszyć gabaryty silników stosuje się je często przy podwyższonych częstotliwościach zasilania od 330 do 1000 Hz. Ich prędkości obrotowe są wtedy duże i zawierają się w granicach 1500 do 30 000 obr./min.

Zaletami silników *Ferrarisa* jest ich mały moment bezwładności wirnika, duży moment rozruchowy, prawie liniowe przebiegi charakterystyk mechanicznych, możliwość regulacji prędkości w szerszym zakresie, nawet 1:1200, szybka zmiana kierunku wirowania silnika przez zmianę fazy napięcia sterującego, cichobieżna i płynna praca i niewystępowanie pierścieni ślizgowych i komutatora, który wywołuje zakłócenia odbioru radiowego.

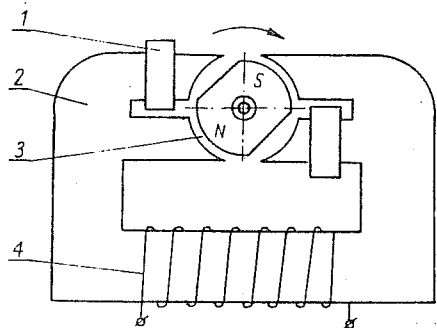
Silniki indukcyjne stosowane są w mechanizmach zegarowych zwykle do napędzania urządzeń naciągowych napędów sprężynowych.

Silniki synchroniczne. W silnikach synchronicznych prędkość wirowania wirnika równa jest prędkości wirowania pola magnetycznego w stojanie, nawet przy znacznych wahaniach napięcia na zaciskach uzwojenia. Prędkość wirowania wirnika jest więc określona wzorem

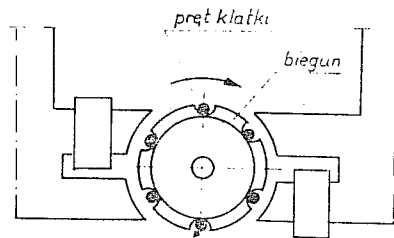
$$n = n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ obr./min}$$

W zależności od rodzaju wirnika silniki synchroniczne mogą mieć różne zasady działania. W urządzeniach zegarowych stosowane są najczęściej silniki synchroniczne z magnesami trwałymi, histerezowe i reaktancyjne.

Silniki synchroniczne z magnesem trwałym (rys. 8-14) mają wirnik wykonany z materiału trudno rozmagnesowującego się (np. stopu Al — Ni) i trwale namagnesowany. Przy prędkości obrotowej (wirnika) synchronicznej, bieguny wirnika są stale przyciągane przez odpowiednie bieguny wirującego pola magnetycznego. W celu zapewnienia samoczynnego rozruchu wirnik może być zaopatrzony w klatkę rozruchową, podobnie jak silnik indukcyjny. W chwili rozruchu silnik działa jak asynchroniczny, a w chwili gdy prędkość obrotowa wirnika



Rys. 8-14. Silnik synchroniczny z magnesem trwałym
1 — zwoj zwarty, 2 — rdzeń stojana,
3 — wirnik, 4 — cewka



Rys. 8-15. Silnik reluktancyjny systemu Sangamo

jest bliska prędkości wirowania pola magnetycznego, bieguny wirnika zostają przechwycone przez wirujące pole i dalej wirnik ma prędkość obrotową synchroniczną.

Silniki histerezowe — budowa ich jest taka sama jak silnika z magnesem trwałym, tylko zamiast magnesu mają wirnik wykonany w postaci gładkiego walca wykonanego z materiału o dużej pozostałości magnetycznej. Moment obrotowy na takim wirniku w chwili rozruchu powstaje w wyniku przemagnesowania wirnika przez wirujące pole stojana. Częstotliwość przemagnesowania maleje ze wzrostem prędkości wirowania wirnika i zanika z chwilą osiągnięcia przez wirnik prędkości obrotowej synchronicznej. Na skutek dużej histerezy magnetycznej wirnik ma wtedy stałe bieguny magnetyczne, które są pociągane przez wirujące pole magnetyczne (liczba biegunów wirnika odpowiada liczbie biegunów stojana).

Silniki histerezowe mają łatwiejszy rozruch w porównaniu z silnikami z magnesem trwałym, a ich konstrukcja jest prostsza. Silniki reluktancyjne mają wirnik zaopatrzony w występy lub zęby tak ukształtowane, że opór magnetyczny zależy od położenia wirnika. Wskutek tego przy synchronicznej prędkości wirowania wirnika powstaje moment obrotowy zwany reluktancyjnym (od ang. reluctance — oporność magnetyczna). W celu uzyskania momentu rozruchowego wirnik może być zaopatrzony w klatkę rozruchową (rys. 8-15). W chwili rozruchu wirnik zaczyna się obracać i osiąga prędkość asynchroniczną pod wpływem momentu indukcyjnego, przy czym dzięki momentowi reluktancyjnemu zostaje wciągnięty w synchronizm.

Oprócz silników o jednej parze biegunów stosowane są często w urządzeniach zegarowych silniki *synchroniczne wielobiegunowe*. Miniaturowe silniki synchroniczne są przeznaczone w zasadzie do napędu

zegarów i urządzeń zegarowych synchronicznych, jednak ze względu na duży moment rozruchu i niską cenę, stosowane są także do napędu urządzeń naciągowych, gdzie z powodzeniem wystarczyłoby użycie silników indukcyjnych (asynchronicznych).

Tabliczka znamionowa. Na każdym silniku umieszczona jest tabliczka, na której podany jest typ silnika, rodzaj i wielkość zasilania (prąd stały czy też przemienny) prędkość obrotowa, moment oddawany na wałku silnika w Gcm lub watach (W) oraz czasami jeszcze pobór mocy pobieranej przez silnik. Na tabliczce podany jest również prąd znamionowy, w amperach.

Jeśli silnik jest przez dłuższy czas przeciążony, to płynący przez jego uzwojenie prąd, znacznie większy od znamionowego, nagrzewa silnie uzwojenie, co może doprowadzić do spalenia silnika. Prąd znamionowy jest miarą obciążenia silnika i nie należy wartości tej przekraczać.

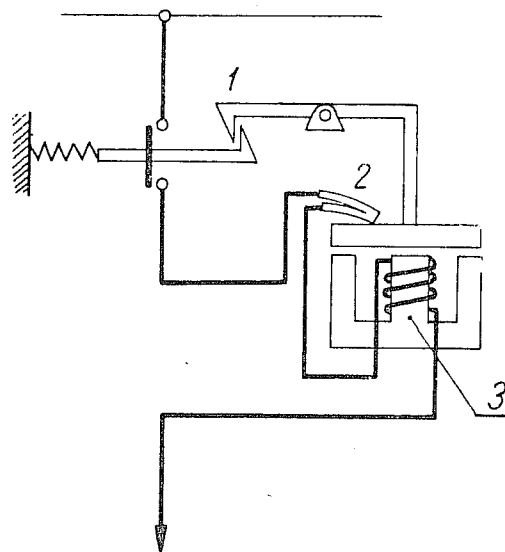
8.3. Zabezpieczanie silników przed uszkodzeniami

Każdy silnik powinien być zabezpieczony od zwarcia i od przeciążenia. Jako zabezpieczenie sieci i silnika od skutków prądu zwarcia i prądów wielokrotnie większych od prądu znamionowego i płynącego przez dłuższy czas stosuje się najczęściej bezpieczniki topikowe. Nie zabezpieczają one dostatecznie silnika od przeciążenia, gdyż bezpieczniki topikowe nie powinny przepalać się i powodować wyłączeń silnika przy jego zwykłej pracy a więc i przy jego rozruchu, a prąd rozruchowy jak wiemy jest kilkakrotnie większy od prądu znamionowego silnika.

Silniki o większej mocy zabezpiecza się od przeciążeń wyłącznikami samoczynnymi z wyzwalaczami. Stosowane są wyzwalacze nadmiarowe elektromagnetyczne, cieplne (bimetalowe) i podnapięciowe — zanikowe.

Schemat i zasadę działania nadmiarowego wyłącznika przedstawia rys. 8-16. W razie dużego wzrostu prądu, elektromagnes 3 przyciągnie zworę i zwolni zapadkę 1 wyłącznika. Sprężyna odciągnie zapadkę i dopływ prądu do silnika zostanie przerwany. Jeżeli prąd będzie znacznie większy od znamionowego to wyzwalacz elektromagnetyczny nie zadziała. Prąd ten będzie jednak również przepływał przez wyzwalacz cieplny 2 i spowoduje jego ogrzanie i wygięcie (zasada działania termobimetalu). Wyzwalacz naciśnie na zapadkę 3 i spowoduje wyłączenie silnika.

Silniki powinny być również zabezpieczone przed skutkami zaniku napięcia. Chwilowy zanik napięcia w sieci, a następnie wzrost napięcia do wartości znamionowej, może wywołać zatrzymanie silnika i ponowne jego uruchomienie bez urządzeń rozruchowych. Wystąpi wtedy duży prąd rozruchu, szkodliwy dla silnika i dla sieci. Nie kontrolowany rozruch grozi również uszkodzeniem maszyny napędzanej oraz stwarza nie-



Rys. 8-16. Zasada działania wyłącznika zapadkowego z wyzwaczami 1 — zapadka, 2 — wyzwacz cieplny, 3 — wyzwacz elektromagnetyczny

bezpieczeństwo dla życia i zdrowia obsługi. Aby uniknąć tego rodzaju wypadków, silnik zabezpiecza się przed zanikiem napięcia przez wyzwalacz podnapięciowy, który odłącza silnik od sieci przy znacznym spadku napięcia sieci.

Silnik i jego otoczenie powinny być utrzymane w czystości. Nie należy przechowywać silników w pomieszczeniach zapyłonych, gdyż pył, który dostanie się do łożysk silnika razem ze smarem tworzy pastę ścierną. Następuje wtedy szybkie zniszczenie łożysk, wzrost oporów ruchu i spalanie silnika. Przy konserwacji silników należy zwrócić zawsze uwagę na łożyska toczne ułożyskowań wirnika. Łożyska te pracują dobrze, jeżeli są utrzymane czysto i są szczelne.

Przy obsłudze i konserwacji silników należy przestrzegać ogólnych zasad bhp:

- nie czyścić obudowy silników i miejsc w bezpośredniej bliskości silników w czasie ich pracy,
- nie dotykać rękami przewodów i zacisków pod napięciem,
- nie naprawiać uszkodzeń silników w czasie pracy silnika,
- nie naprawiać silników i ich instalacji elektrycznej jeżeli nie ma się odpowiedniego przeszkolenia.

Złe, niefachowo przeprowadzone naprawy grożą nie tylko uszkodzeniem silnika i instalacji, lecz również porażeniem prądem elektrycznym.

Pytania sprawdzające

1. Omówić zalety silników prądu stałego.
2. Podać zasady podziału silników.
3. Omówić zasadę działania silnika prądu stałego.

4. Omówić elementy konstrukcyjne maszyn prądu stałego.
5. Podać podział silników prądu stałego i omówić zasady pracy każdego z nich.
6. Omówić zasadę działania silników prądu zmiennego, asynchronicznych.
7. Omówić budowę i zasadę działania silników *Ferrarisa*.
8. Omówić sposoby zabezpieczania silników przed uszkodzeniami.
9. Omówić kierunki i wartości siły elektromotorycznej w różnych położeniach obrotowych zwoju, umieszczonego między biegunami magnetycznymi.
10. Omówić zasadę działania silników synchronicznych.

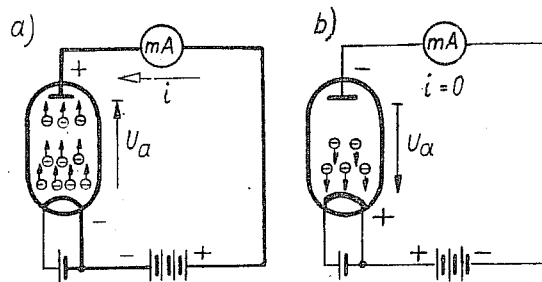
9. ELEKTRONIKA W CZASOMIERZACH

9.1. Lampy elektronowe

Pod koniec XIX wieku zwrócono uwagę na zjawisko emitowania elektronów z powierzchni rozżarzonych metali i ich tlenków. Zjawisko to zostało wykorzystane przy konstrukcji lamp elektronowych i prostowników rtęciowych.

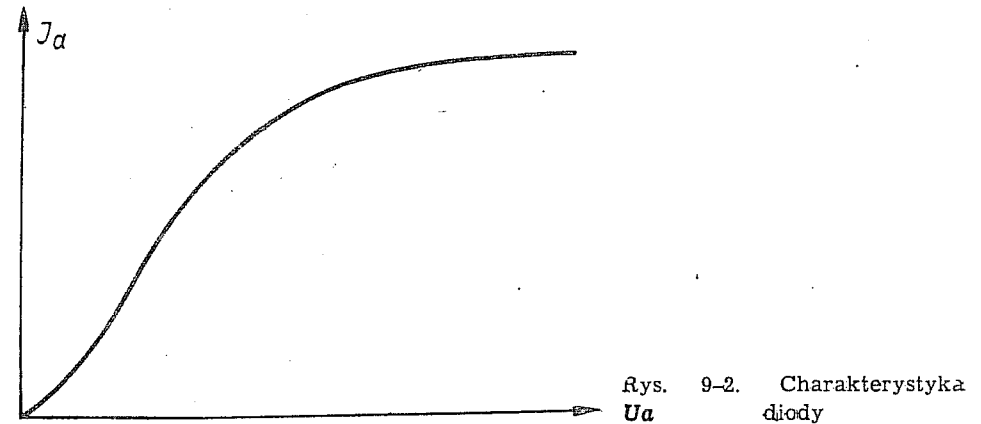
Bańka szklana, z której wypompowano powietrze oraz umieszczono katodę emitującą elektrony i anodę (do której one zdążają) nazywa się lampą dwuelektrodową lub diodą próżniową. Diody próżniowe stosowane są do przetwarzania prądu zmiennego na prąd stały. Katoda ma postać drucika lub rurki, może ona być żarzona bezpośrednio przez prąd elektryczny (tzw. prąd żarzenia) lub przez umieszczony w rurce grzejnik. Katoda jest wykonana z metalu mającego zdolności emitowania dużej liczby elektronów, gdy jest rozżarzona. Zazwyczaj stosuje się katody wolframowe, lub katody z innych metali pokryte tlenkami toru, boru itp.

Anoda ma kształt siatki otaczającej katodę. Anody są wykonane zazwyczaj z niklu lub molibdenu. Jeżeli anoda ma potencjał wyższy od katody to emitowane elektrony będą przyciągane przez anodę i w obwodzie popłynie prąd (rys. 9-1). Jeżeli natomiast anoda ma potencjał niż-



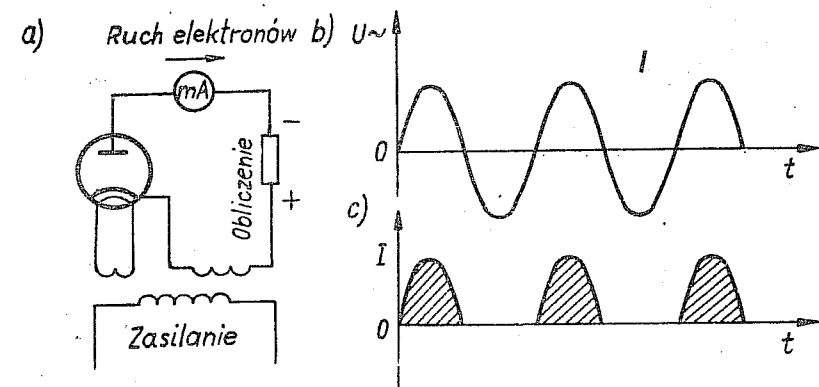
Rys. 9-1. Działanie diody: a) prąd w anodzie płynie, anoda ma ładunek dodatni, katoda ujemny, b) prąd w obwodzie nie płynie, ujemny ładunek anody odpycha elektrony

szy, będzie ona odpychać elektrony i prąd nie popłynie. Prąd płynący w lampie (I_a) wzrasta ze wzrostem napięcia przyłożonego do elektrod, ale tylko do pewnej określonej wartości. Przebieg prądu anodowego I_a w diodzie w zależności od napięcia U_a anody, przedstawiono na rys. 9-2.



Środkowa część charakterystyki ma przebieg, który można przyjąć jako prostoliniowy, natomiast końcowa jest prawie pozioma — jest to zakres prądu nasycenia, gdyż wszystkie elektrony emitowane z katody docierają do anody i dalsze zwiększanie napięcia anodowego nie wpływa na powiększenie prądu anodowego.

Właściwość diody jednokierunkowego przewodzenia prądu została wykorzystana do prostowania prądu przemiennego. Na rys. 9-3 przedstawiono schemat połączeń diody dla prostowania prądu zmiennego. Obwód katodowy diody jest zasilany prądem sinusoidalnie zmiennym.

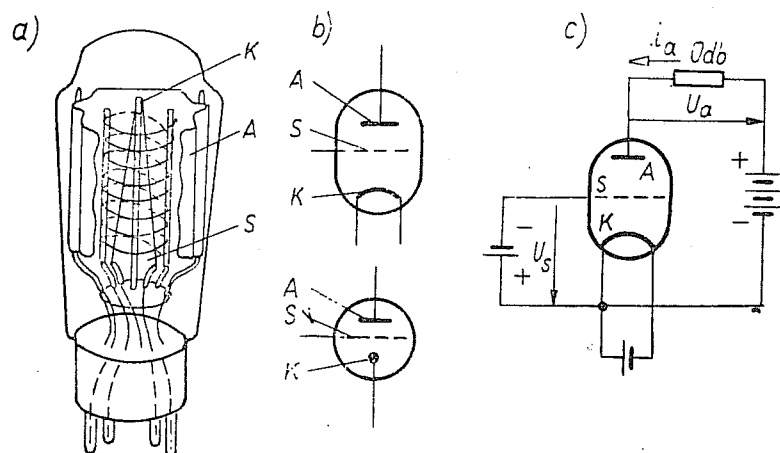


Rys. 9-3. Schematy układów połączeń i wykresy przedstawiające półokresowe prostowanie prądu sinusoidalnie zmiennego

Znacznie większe zastosowanie znalazły lampy elektronowe próżniowe, w których między anodą i katodą umieszczono jedną lub więcej dodatkowych elektrod zwanych siatkami.

Przez wprowadzenie pomiędzy anodę i katodę siatki sterującej

otrzymuje się lampę trój elektrodową czyli triodę. Siatkę sterującą wykonuje się w postaci spiralki z drutu otaczającego współosiowo katodę (rys. 9-4). Siatka S pracuje zwykle przy niewielkim napięciu V_s ujemnym względem katody K , dlatego elektrony emitowane nie osiadają na siatce. Ze względu na bliskość położenia w stosunku do katody siatka oddziałuje bardzo silnie na przepływ elektronów, jest więc zdolna do sterowania przepływem prądu z katody do anody, sama nie biorąc udziału w tym przepływie.



Rys. 9-4. Trioda: a) budowa triody, b) symbole graficzne, c) typowy układ połączeń:

A — anoda, K — katoda, S — siatka, odb — odbiornik, U_s — napięcie siatkowe, U_a — napięcie anodowe, i_a — prąd anodowy

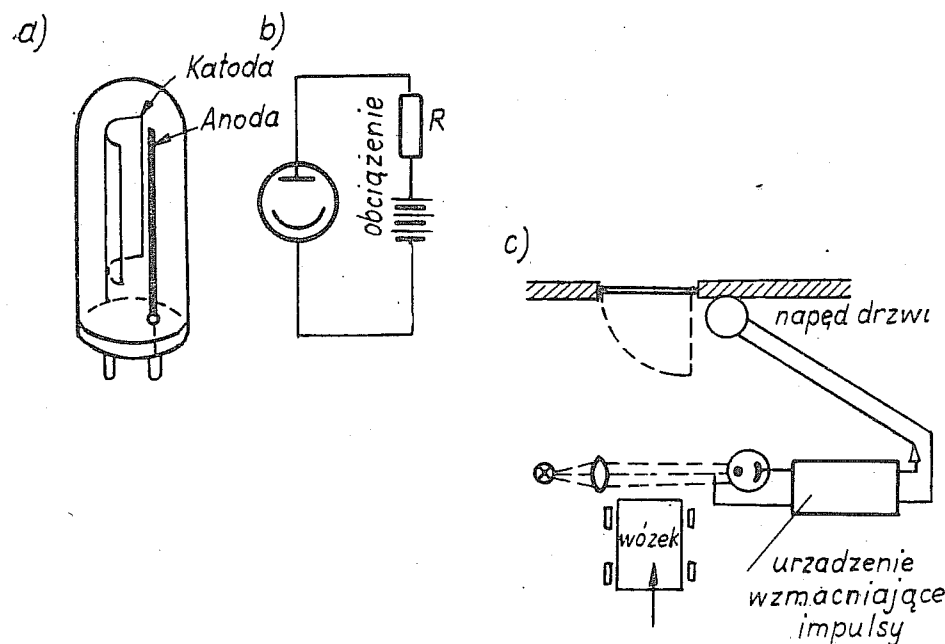
Jeżeli siatka ma względem katody napięcie ujemne, np. rzędu kilku wolt, to odpycha elektrony i wtedy tylko nieliczne z nich dotrą do anody — w takich warunkach prąd płynący w obwodzie jest bardzo mały. Jeżeli potencjał siatki względem katody będzie wyższy (np. bliski zera) to siatka nie będzie odpychać elektronów i w obwodzie popłynie znacznie większy prąd. Jak z tego widać nawet nieznaczne zmiany napięcia siatki będą zmieniać wyraźnie wartość prądu anodowego oraz napięcie anodowe.

Tak więc zmiany U_a mogą być od kilku do kilkuset razy większe od zmian napięcia siatki U_s . W niektórych układach konieczne jest stosowanie lamp o większej liczbie siatek. Dzięki tym siatkom można uzyskać charakterystyki praktycznie o dowolnych kształtach.

Komórki fotoelektryczne. Komórka fotoelektryczna, zwana inaczej fotodiodą, przetwarza sygnał w postaci strumienia kwantów energii świetlnej na pewną liczbę wolnych elektronów wyzwolonych z fotokato-

dy. Ich pobudzenie energetyczne (przepływ elektronów to przepływ prądu elektrycznego) spowodowane jest napięciem anodowym.

Działanie komórki fotoelektrycznej polega na wykorzystaniu zjawiska emisji fotoelektronowej, zwanego też fotoefektem, albo zewnętrznym zjawiskiem fotoelektrycznym polegającym na emisji elektronów z oświetlonej powierzchni. Fotokomórka składa się z katody o powierzchni światłoczułej i anody umieszczonej w bańce szklanej, z której wypompowano powietrze (rys. 9-5). Katoda i anoda są połączone z baterią (anoda z biegunem dodatnim) i obciążeniem stanowiącym pewien opór R (rys. 9-5b). Światło padając na katodę wywołuje emisję elektronów, które podobnie jak i w diodzie pod działaniem pola elektrycznego podążają ku anodzie i w ten sposób zamykają obwód prądu. Komórka fotoelektryczna znalazła bardzo szerokie zastosowanie do włączania i wyłączania oświetlenia i w urządzeniach automatycznych.



Rys. 9-5. Fotokomórka: a) schemat budowy, b) schemat układu połączeń, c) zastosowanie do samoczynnego otwierania drzwi

Przepływ prądu w gazach. Gazy zaliczane są do nieprzewodników. Jednak w pewnych warunkach, takich jak promienie Roentgena, wysoka temperatura oraz silne pole elektryczne, następuje zjawisko jonizacji gazów i gaz staje się przewodnikiem. Podczas jonizacji obojętne elektrycznie cząsteczki gazu tracą jeden lub więcej elektronów

i przekształcają się w jony dodatnie, a oderwane elektrony przyłączają się do innych cząsteczek, tworząc w ten sposób jony ujemne.

Jeżeli w zjonizowanym gazie umieścimy dwie elektrody i doprowadzimy do nich napięcie nastąpi wtedy ruch jonów. Przy odpowiednio silnym napięciu między elektrodami prędkość jonów będzie tak duża, że zaczną się jonizować obojętne cząsteczki gazu, co prowadzi do wzrostu przewodnictwa gazu i następuje jego świecenie. Przy dalszym wzroście napięcia nastąpi wyładowanie łukowe. Podczas tego wyładowania następuje rozgrzanie anody do ok. 4000°C, a katody do ok. 3000°C. Łuk elektryczny utrzymuje się przy napięciu ok. 40 V.

Taki łuk elektryczny znalazł zastosowanie przy topieniu r. tali, przy spawaniu elektrycznym i oświetleniu.

Prostowniki lampowe (lampy gazowane). Gazotron pod względem budowy jest podobny do diody. W bańce szklanej są umieszczone anoda i rozżarzona katoda. Różnica w stosunku do diody polega na tym, że bańka gazotronu jest wypełniona parą rtęci. Elektrony wydzielające się z rozżarzonej katody wywołują jonizację pary rtęci. Podczas jonizacji powstają dodatkowe jony, które przyczyniają się do zobojętnienia gromadzących się w pobliżu katody elektronów, powodują przez to wzrost emisji i zmniejszanie spadku napięcia. Stanowi to zaletę gazotronu w porównaniu z dwuelektrodową lampą elektronową. Natężenie prądu żarzenia gazotronu w zależności od jego mocy wynosi 4 do 50 A.

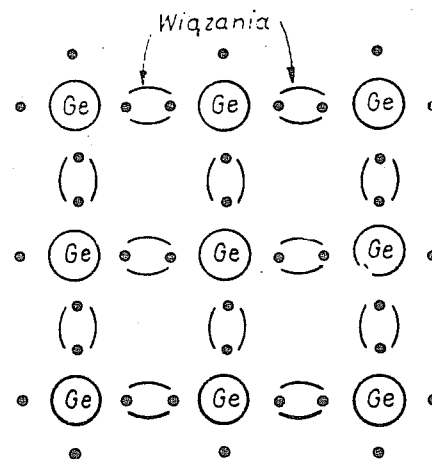
Gazotron znalazł zastosowanie jako prostownik prądu przemienego na stały do zasilania silników elektrycznych i do ładowania akumulatorów.

9.2. Elementy półprzewodnikowe

Półprzewodniki stanowią specjalną grupę ciał, która pod względem przewodzenia prądu elektrycznego zajmuje miejsce między przewodnikami a dielektrykami (izolatorami). Zdolność ich przewodzenia prądu różni się bardzo od przewodzenia metali i te różnice przewodzenia pozwoliły na bardzo cenne praktyczne wykorzystanie półprzewodników. Do stosowanych w elektronice półprzewodników zalicza się german, krzem, selen i tlenek miedzi.

Przewodzenie prądu elektrycznego zostanie rozpatrzone na przykładzie chemicznie czystego germanu, którego atomy tworzą siatkę krystaliczną w postaci szeregu zespolonych ze sobą sześciątów. Pojedynczy sześciąt zawiera pięć atomów germanu — cztery w narożnikach i jeden w środku. Każdy z atomów ma cztery elektrony walencyjne. Łączą się one z podobnymi im elektronami z sąsiednimi atomami w pary elektrony.

Na rys. 9-6 pokazano schematycznie na płaszczyźnie wiązania w kryształach germanu. W germanie nie występują elektrony swobodne i dla-



Rys. 9-6. Schemat sieci krystalicznej chemicznie czystego germanu

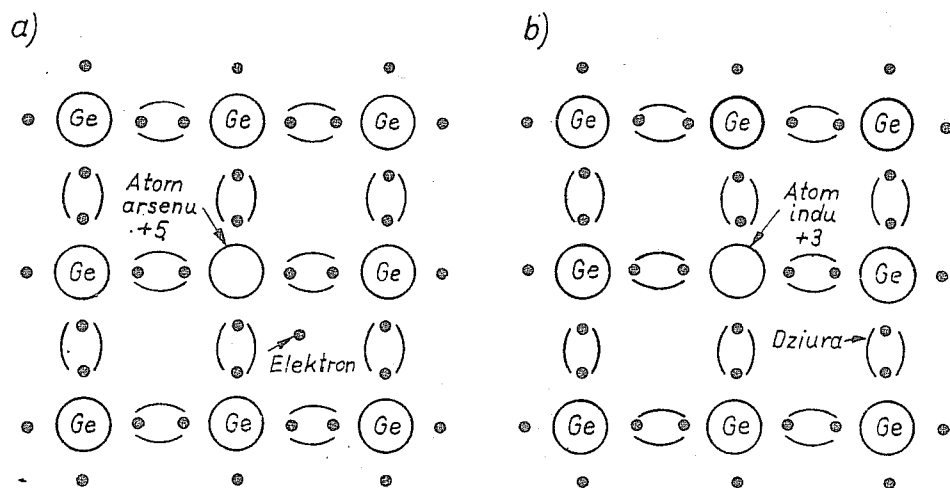
tęgo w niskich temperaturach zachowuje się jak dielektryk. Przy dostarczaniu z zewnątrz odpowiednio dużej energii cieplnej lub świetlnej można spowodować zniszczenie któregoś wiązania i w ten sposób wyzwolenie wolnego elektronu. W sieci krystalicznej w miejscu wyzwolonego elektronu pozostanie przestrzeń pusta, nazywana „dziurą”, która zachowuje się tak, jak ładunek dodatni (przewaga dodatniego ładunku jądra po utracie jednego elektronu) i może być nośnikiem prądu elektrycznego.

W ten sposób na skutek wyzwolenia elektronu w kryształach germanu powstanie para elektron-dziura. Oba te nośniki tzn. ujemny elektron i dodatnia dziura umożliwiają przewodzenie prądu elektrycznego. Przy dalszym wzroście temperatury następuje wydzielanie coraz to większej liczby elektronów swobodnych i opór właściwy przewodnika maleje. Tę właściwość półprzewodników wykorzystano do budowy tzw. *termistorów*, czyli oporników o oporze szybko malejącym ze wzrostem temperatury.

Termistorów używa się bardzo często do pomiarów temperatury. Przewodzenie dziurowe przebiega w ten sposób, że w atomie w miejscu dziury pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego przechodzi elektron z sąsiedniego atomu, w którym powstaje dziura, do której trafi elektron z następnego atomu itd. Ruch dziur można więc porównać do skoków a ich przemieszczanie jest równoważne z przepływem prądu elektrycznego, którego nośnikami są ładunki dodatnie dziur. Przy danej temperaturze w jednostce objętości półprzewodnika ilość par elektron-dziura utrzymuje się mniej więcej na stałym poziomie. Materiały takie nazywane są *półprzewodnikami samoistnymi*.

Własności germanu i krzemu zmieniają się zasadniczo po wprowadzeniu do ich sieci krystalicznych nieznacznych ilości domiaru arsenu lub antymonu mających po 5 walencyjnych elektronów. Po wprowadzeniu

domieszki cztery elektrony walencyjne domieszki zostaną powiązane z atomami germanu (rys. 9-7a), a piąty staje się elektronem swobodnym i może być nośnikiem prądu wewnątrz siatki krystalicznej. Taki półprzewodnik nazywa się wtedy półprzewodnikiem typu „n”.



Rys. 9-7. Sieć krystaliczna germanu a) z domieszką arsenu, b) z domieszką indu

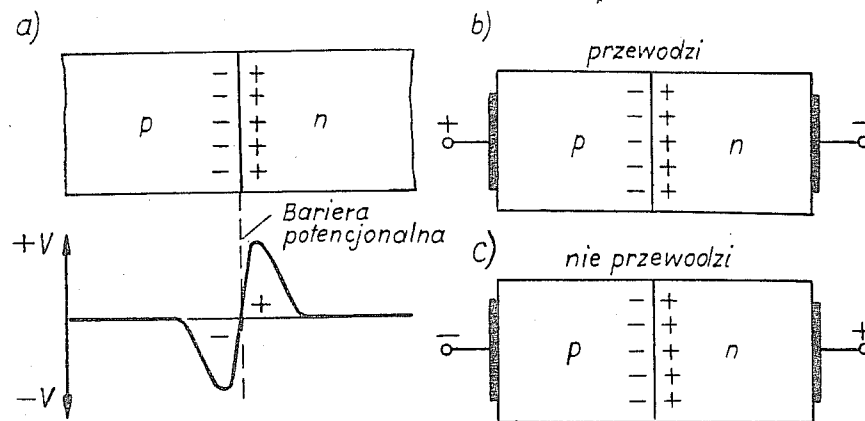
Jeżeli do sieci krystalicznej wprowadzimy niewielkie domieszki boru lub indu, które mają tylko trzy elektrony walencyjne, wtedy w siatce germanu zabraknie jednego elektronu do wytwarzania 4 powiązań (rys. 9-7b). Brak elektronu stwarza puste miejsce — „dziurę”, która oczywiście może być nośnikiem prądu elektrycznego. Taki półprzewodnik nazywa się półprzewodnikiem typu „p”.

Prostowniki półprzewodnikowe. Po ścisłym zetknięciu półprzewodników typu *p* i *n* otrzymuje się w miejscu ich zetknięcia tzw. złącze *p-n*, w którym następuje dyfuzja dziur z półprzewodnika *p* do półprzewodnika *n* i dyfuzja elektronów z *n* do *p*. Przejście nośników przez złącze *p-n* spowoduje wzrost dodatniego ładunku i potencjału po stronie typu *n* złącza, a po stronie typu *p* — wzrost ujemnego ładunku i potencjału (rys. 9-8a).

Wytworzona różnica potencjałów w złączu *p-n* nazywa się barierą potencjału i nie dopuszcza do dalszego przeniesienia dziur do półprzewodnika typu *n* i elektronów do półprzewodnika typu *p*. W złączu powstało pole elektryczne, które przeciwstawia się dalszemu przechodzeniu nośników przez złącze i utrzymuje ładunki w stanie równowagi. Jeżeli teraz do ścianek obu półprzewodników doprowadzi się napięcie tak jak na rys. 9-8b, to przez złącze popłynie prąd (ruch dziur i elektronów).

Jest to kierunek przewodzenia — półprzewodnik jest spolaryzowany w kierunku przewodzenia.

Jeżeli napięcie zostanie doprowadzone odwrotnie (rys. 9-8c) to wytworzy się tzw. warstwa zaporowa i prąd będzie miał bardzo małą wartość.



Rys. 9-8. Schemat złącza *p-n*: a) bariera potencjału, b) złącze *p-n* pod napięciem, c) złącze *p-n* pod napięciem o odwróconej biegunowości

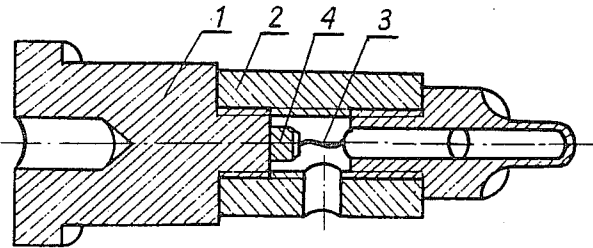
Rozróżnia się dwa rodzaje prostowników — warstwowe, zwane diodami złączonymi, używanymi dla większych mocy i ostrzowe zwane diodami krystalicznymi i używanymi dla małych mocy.

Dioda ostrzowa. Rozpatrzmy przypadek, gdy półprzewodnik typu *n* styka się z metalem. Teoria wykazuje, że w pobliżu złącza metal-półprzewodnik jest inny rozkład elektronów niż w głębi metalu czy półprzewodnika. Powstaje przy tym w złączu powierzchniowa warstwa ładunku. Jeżeli energia potrzebna elektronom do oderwania się od półprzewodnika jest mniejsza niż energia potrzebna elektronom atomów metalu do oderwania się od nich, to na powierzchni metalu powstaje warstwa ujemnego ładunku, a na powierzchni półprzewodnika — taka sama warstwa ładunku dodatniego. Przybliżona grubość warstwy powierzchniowej jest rzędu 10^{-6} do 10^{-4} cm.

Prostownianie na złączu metal-półprzewodnik odbywa się w przybliżeniu w następujący sposób: założmy, że napięcie zewnętrzne działa w kierunku przewodzenia (biegun ujemny źródła dołączony do półprzewodnika). Zwiększa to energię potencjalną półprzewodnika o wartość równą napięciu zewnętrznemu. Wysokość bariery powierzchniowej od strony metalu nie uległa zmianie, natomiast od strony półprzewodnika maleje. Tak więc elektrony mają mniejszą barierę potencjału do pokonania i w ten sposób powstaje strumień elektronów płynących z półprzewodnika do metalu.

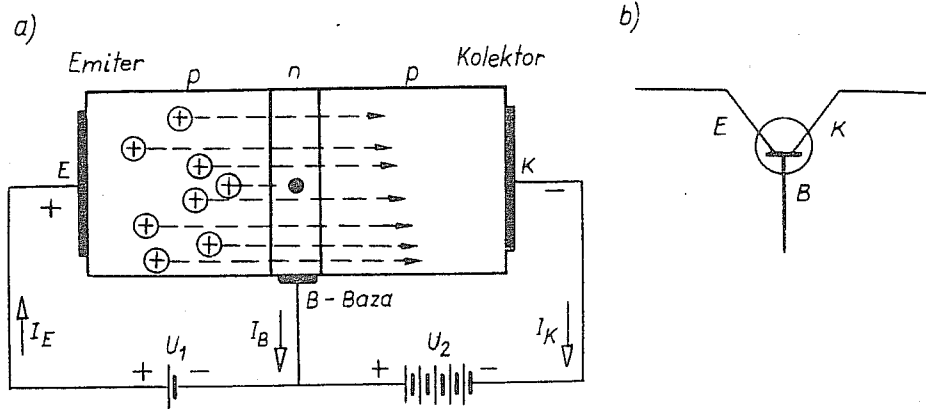
Jeżeli napięcie zewnętrzne będzie doprowadzone w kierunku zaporowym, to energia potencjalna będzie powiększać barierę od strony półprzewodnika. Powoduje to zmniejszenie przepływu elektronów z półprzewodnika do metalu. Mamy więc tu pewien kierunek prądu uprzywilejowany, a więc dioda ostrzowa, której budowę przedstawia rys. 9-9 może służyć do prostowania prądu.

Rys. 9-9. Budowa krzemowej diody ostrzowej
1 — rurka mosiężna,
2 — rurka ceramiczna,
3 — drucik wolframowy, 4 — płytka krzemowa



9.3. Tranzystory

Właściwości półprzewodników wykorzystano do budowy tranzystorów, które w urządzeniach elektronicznych pracują tak jak triody próżniowe. Najpierw wynaleziono tranzystor ostrzowy, a dopiero później tranzystory warstwowe, które dzisiaj są szeroko stosowane. Tranzystor warstwowy składa się z dwóch płytek o tym samym przewodnictwie (p lub n) przedzielonych cienką warstwą (o grubości setnych części milimetra) o przewodnictwie typu przeciwnego. Przedstawiony na rys. 9-10 tranzystor jest tranzystorem typu p-n-p, który jest najczęściej stosowany. Rzadziej spotyka się tranzystor typu n-p-n.



Rys. 9-10. Schemat tranzystora p-n-p (a), schemat graficzny tranzystora (b)

W tranzystorze p-n-p występują dwa złącza: jedno p-n i drugie n-p. Do tranzystora przylegają elektrody doprowadzające spolaryzowane na-

pięcie. Elektrode boczną lewą spolaryzowaną w kierunku przewodzenia, nazywamy emiterym, spolaryzowaną w kierunku zaporowym — kolektorem, a środkową — bazą.

Przed doprowadzeniem napięć na złączach między emiterym i bazą, oraz między bazą a kolektorem powstają bariery potencjału. Z chwilą doprowadzenia napięć do obwodu emiter — baza U_1 — rzędu 0,5-1 V do obwodu baza-kolektor U_2 — rzędu kilkudziesięciu woltów popłyną w tranzystorze prądu.

Napięcie U_1 emiter — baza jest bardzo małe, natomiast napięcie U_2 kolektor — baza jest wielokrotnie większe niż napięcie U_1 . Mała zmiana napięcia U_1 wydatnie wpływa na ilość dziur przechodzących do kolektora. A zatem przez zmianę napięcia bazy można sterować prądem kolektora I_k . Tranzystor ma więc zdolność wzmacniania mocy, ponieważ prąd I_E przy niskim napięciu U_1 , wpływa na zmiany prawie równego prądu I_k płynącego pod wielokrotnie wyższym napięciem U_2 . Występuje tu podobieństwo działania napięcia bazy tranzystora do działania napięcia siatki w triodzie próżniowej. Stąd też nazwa tranzystora — lampa półprzewodnikowa.

W porównaniu z lampami elektronowymi próżniowymi tranzystory mają szereg zalet:

- są oszczędniejsze w eksploatacji;
- nie wymagają stosowania źródła energii do żarzenia;
- pracują przy mniejszych napięciach niż lampy elektronowe;
- mają większą trwałość;
- mają małe wymiary;
- są odporne na wstrząsy;
- są bardzo tanie w produkcji.

Dużą wadą tranzystorów jest ich wrażliwość na wyższe temperatury, przy temperaturze wyższej od 70°C pracują niestabilnie.

9.4. Prostowniki

W wielu dziedzinach elektrotechniki używany jest tylko prąd stały, np. w elektrochemii, urządzeniach zasilających telefony, telegrafy, aparaty radiowe, aparaturę medyczną, przy zasilaniu instalacji większości zegarów elektrycznych itp. Prąd stały można bezpośrednio uzyskać z prądnic prądu stałego, ogniw galwanicznych czy też akumulatorów. Najczęściej jednak do miejsc odbioru dostarcza się prąd przemienny, ze względu na małe straty (patrz rozdz. 4), który dopiero w bliskiej odległości od odbiornika przetwarza się na prąd stały.

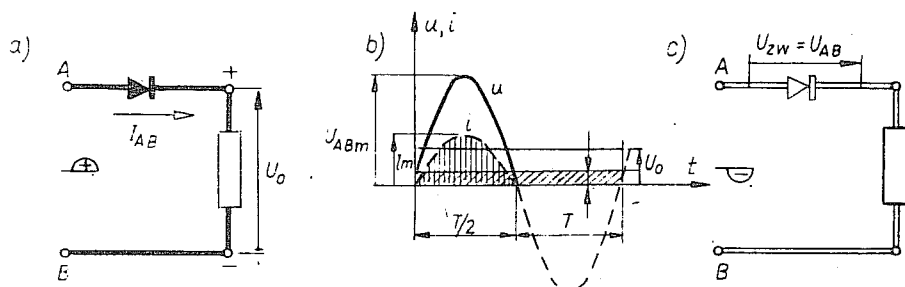
Dawniej do przetwarzania prądu zmiennego na stały stosowano przetwornice dwumaszynowe składające się z silnika elektrycznego prądu zmiennego sprzęgniętego z prądnicą prądu stałego. Silnik zasilany jest

z sieci prądu zmiennego i obraca prądnice, która z kolei wytwarza prąd stały.

Obecnie do przetwarzania prądu zmiennego na stały stosuje się powszechnie specjalne urządzenia, zwane prostownikami. W zależności od budowy i zasady działania rozróżnia się prostowniki elektrolityczne, lampowe (lampy elektronowe), rtęciowe, stykowe (z warstwą zaporową) półprzewodnikowe i mechaniczne (przy pomocy prądnicy prądu stałego).

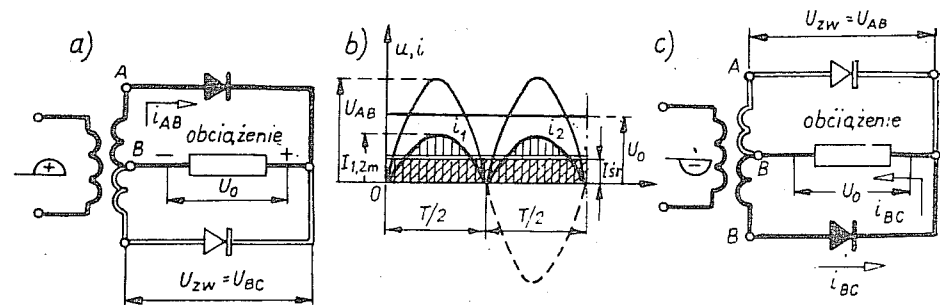
Działanie prostownika można porównać do zaworu pozwalającego prądowi (strumieniowi elektronów) płynąć swobodnie w jednym kierunku — a zamykającego przepływ prądu w kierunku przeciwnym. Przy prostowaniu prądu przemiennego otrzymuje się po wyprostowaniu prąd tętniący, którego przebieg zależy od stosowanego układu połączeń. Większe tętnienie otrzymujemy w tzw. układach prostowania półokresowego (jednokierunkowego) — mniejsze w układach prostowania pełnookresowego (dwukierunkowego). Dalsze wygładzenie tętniącego prądu otrzymuje się przy włączeniu szeregowo do układu cewki ze stalowym rdzeniem zwanej dławikiem, lub filtra RC.

Prąd jednofazowy można wyprostować stosując układ połączeń przedstawiony na rys. 9–11. Jest to układ półokresowy, gdyż dolna część sinusoidy jest odcięta przez prostownik i w obwodzie za prostownikiem płynie prąd tętniący, mający przerwy półokresowe. Średni prąd (I_{sr}) jest stosunkowo mały, gdyż wykorzystywane jest tylko pół okresu przemiennego. Takie układy półokresowe (rys. 9–11) stosuje się tylko w pro-



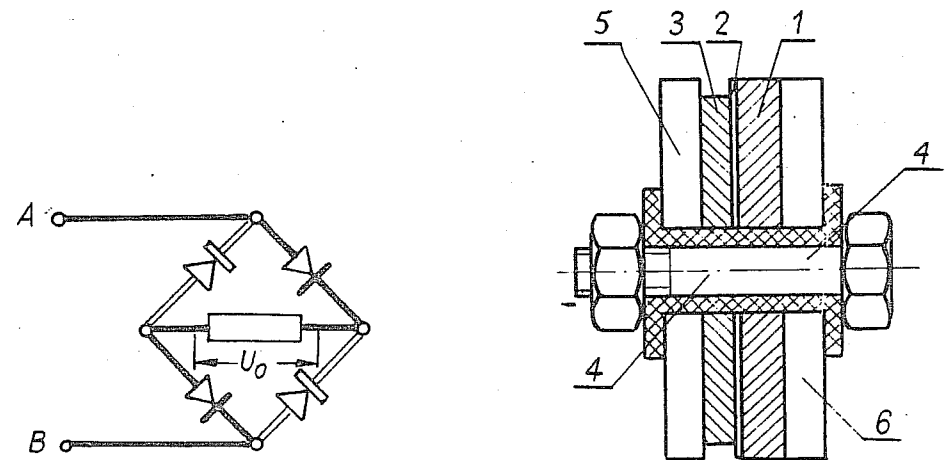
Rys. 9-11. Schemat układu połączeń prostownika półokresowego jednofazowego: a) przy dodatnim kierunku napięcia w pierwszym półokresie płynie prąd w obwodzie prostownika, na prostowniku występuje minimalny spadek napięcia, b) przebiegi prądów i napięć z wyznaczeniem średnich I_{sr} i U_o za cały okres, c) przy ujemnym kierunku napięcia prąd w obwodzie prostownika nie płynie; na prostowniku występuje pełne napięcie wsteczne U_{zw} równe napięciu prostowanego prądu przemiennego

stownikach małej mocy. Chcąc wykorzystać obie połówki okresu prądu sinusoidalnego przemiennego stosuje się układ pełnookresowy (rys. 9-12). W obwodzie tym za prostownikami płynie prąd tętniący, który



Rys. 9-12 Schemat układu połączeń prostownika pełnookresowego jednofazowego: a) przepływ prądu w pierwszej połowie okresu, b) przebiegi prądów i napięć z wyznaczeniem średnich I_{sr} i U_o za cały okres, c) przepływ prądu w drugiej połowie okresu

nie ma przerw. Dzięki temu wartość średnia prądu (I_{sr}) jest dwukrotnie większa, podobnie jak i otrzymywane średnie napięcie U_o). Jeszcze lepsze wyprostowanie prądu otrzymuje się przy zastosowaniu układu mostkowego składającego się z czterech prostowników i będącego również układem dwupołówkowym (rys. 9-13). Wykres wyprostowanego prądu jest taki sam jak dla prostownika dwupołówkowego przedstawionego na rys. 9-12.



Rys. 9-13. Schemat układu połączeń prostownika w układzie mostkowym

Rys. 9-14. Budowa członu prostownika miedzianego

1 — krążek miedziany, 2 — tlenek miedziany, 3 — krążek z ołowiu, 4 — izolowany trzpień ściskający, 5, 6 — krążki mosiężne

Prostowniki stykowe. Działanie prostowników stykowych oparte jest na właściwościach warstwy na granicy styku metalu, który ma dużą ilość

elektronów walencyjnych i półprzewodnika o małej ilości swobodnych elektronów. Jeżeli do takich związanych dwóch elementów (metal i półprzewodnika) doprowadzimy napięcie tak, że przewodnik będzie miał napięcie ujemne, a półprzewodnik dodatnie to duża liczba elektronów swobodnych będzie przepływać z metalu do półprzewodnika i przez prostownik popłynie prąd.

Jeżeli zmienimy biegunowość, to prąd nie popłynie, gdyż półprzewodnik praktycznie nie ma wolnych elektronów. Ta jednokierunkowa przewodność układu przewodnik—półprzewodnik została wykorzystana do prostowania prądu przemiennego. Z prostowników stykowych najszersze zastosowanie w technice znalazły prostowniki miedziane i selenowe a ostatnio germanowe i krzemowe.

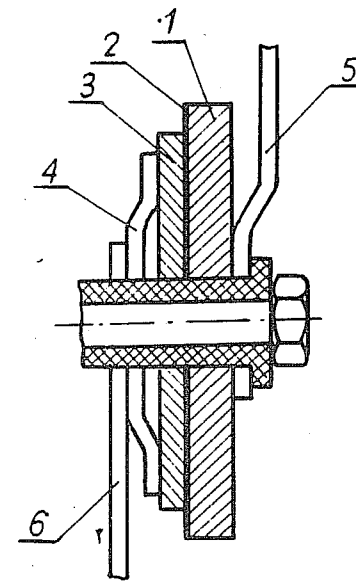
Budowę prostownika miedzianego przedstawiono na rys. 9-14. W prostowniku tym przewodnikiem jest krążek miedziany (1), a półprzewodnikiem tlenek miedziawy Cu_2O (2). Tlenek miedziawy otrzymywany jest przez ogrzanie krążka miedzianego do wysokiej temperatury i następnie szybkim ostudzeniu go w wodzie. Napięcie do warstwy półprzewodnika doprowadza się za pośrednictwem płytki ołowiowej 3 — gdyż plastyczność ołowiu zapewnia dobry styk między dwoma powierzchniami. Poszczególne części prostownika nakładane są na izolowany trzpień 4 i zaściśnięte między mosiężnymi krążkami 5 i 6. Krążki te służą do doprowadzania napięcia, a z drugiej strony do doprowadzania wydzielanego ciepła przy pracy prostownika. Do jednego członu prostownika doprowadza się napięcie od 4 do 6 V.

Do napięć większych łączy się w szereg odpowiednią liczbą członów. Maksymalny prąd jaki może płynąć przez przewodnik nie może przekroczyć 0,04 A na każdy centymetr kwadratowy powierzchni roboczych płytek. Przy większych prądach prostowniki łączy się równolegle. Okres pracy prostowników miedzianych wynosi przeciętnie 12 do 15 lat.

Na rys. 9-15 przedstawiono budowę prostownika selenowego. Na stalowy lub aluminiowy poniklowany krążek 1 nałożona jest cienka warstwa selenu 2, która z kolei pokryta jest dobrze przewodzącym stopem bizmutu, cynku lub kadmu (3). Warstwa zaporowa powstaje między selenem i warstwą 3. Do warstwy 3 przyciśnięty jest sprężysty mosiężny krążek 4. Natomiast płytki metalowe 5 i 6 łączą człon z obwodem. W prostownikach o członach połączonych szeregowo zamiast płytki 5 umieszczony jest stalowy krążek następnego członu.

Obecnie zamiast prostowników miedzianych i selenowych stosuje się prostowniki germanowe i krzemowe, które mają znacznie lepsze wskaźniki eksploatacyjne i przez to mniejsze gabaryty. Np. prostownik germanowy przy naturalnym chłodzeniu wytrzymuje prąd 40 A/cm² a krzemowy aż 80 A/cm². Dopuszczalne skuteczne napięcie wsteczne, które dla prostownika miedzianego wynosiło 6 V, dla germanowego wynosi 110 V a dla krzemowego 380 V. Również spraw-

ność prostowników germanowych i krzemowych dochodzi do 99%, natomiast miedzianych do 60-70% a selenowych do 85%.

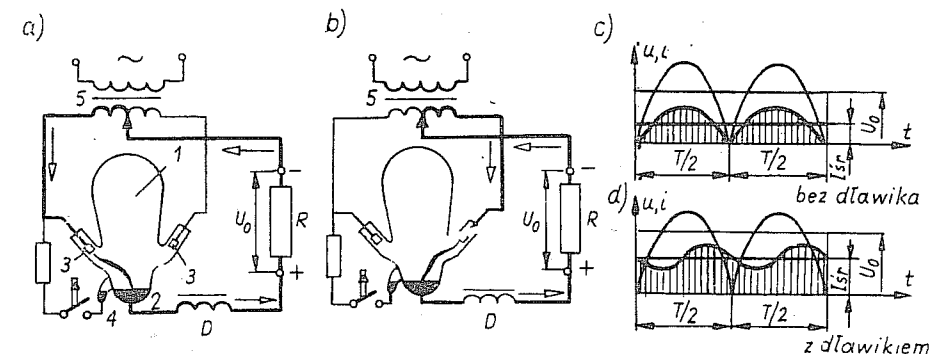


Rys. 9-15. Budowa członu prostownika selenowego:

1 — krążek stalowy lub aluminiowy, 2 — warstwa selenu, 3 — stop dobrze przewodzący, 4 — mosiężny sprężysty krążek, 5, 6 — metalowe płytki łączące

Prostowniki rtęciowe. Prostowniki rtęciowe są stosowane do prostowania prądu w układach wielkiej mocy. Działanie ich oparte jest na zjawisku emitowania elektronów przez ujemnie naładowane ciała ogrzane do wysokiej temperatury.

Prostownik rtęciowy prądu jednofazowego przedstawiony jest na rys. 9-16. Składa się on ze szklanego balonu 1 z wtopionymi elektrodami 3. W balonie na dnie znajduje się ciekła rtęć 2. Przestrzeń wewnątrz ba-



Rys. 9-16. Układ prostownika rtęciowego do prostowania prądu jednofazowego: a), b) obwody prądu przy pracy w pierwszej lub drugiej połowie okresu prądu przemiennego, c), d) prąd i napięcie wyprostowane U_0 bez i przy zastosowaniu dławika (d)

onu 1 wypełniona jest parami rtęci. Prostownik przyłącza się do sieci prądu przemiennego za pośrednictwem transformatora 5, którego uzwojenie wtórne połączone jest z grafitowymi elektrodami 3 oraz elektrodą pomocniczą 4.

Prostownik rtęciowy uruchamiamy przez przechylenie balonu tak, by rtęć z katodą 2 połączyła się z rtęcią elektrody pomocniczej 4. Po wyprostowaniu balonu powstanie łuk elektryczny, który rozżarzy część powierzchni rtęci 2, tworząc jasno świecącą plamkę katodową. Elektrony emitowane z plamki będą przyciągane przez naładowaną dodatnio anodę 3 (lewa). Poruszając się w stronę anody, będą one uderzać o atomy rtęci znajdującej się w balonie w postaci pary rtęci jonizując je, tzn. wytrącając z nich elektrony dążące również do anody. Naładowane dodatnio jony rtęci będą się poruszać w stronę katody i uderzając o powierzchnię rtęci wytworzą ciepło podtrzymujące temperaturę plamki katodowej.

Przepływ elektronów i jonów przez rozrzedzone pary rtęci zamyka obwód prądu jednokierunkowego od anody do katody. Po upływie 1/2 okresu prąd przemienny zmieni kierunek i elektroda lewa 3 będzie miała ładunek ujemny; elektrony nie mogą do niej płynąć i przepływ prądu ustaliby. W tym samym jednak czasie gdy elektroda lewa zaczyna być naładowana ujemnie, elektroda prawa 3 staje się elektrodą dodatnią i strumień elektronów przerzuca się do tej elektrody.

Przez odbiornik R elektrony płyną stale w jednym kierunku: od środka uzwojenia wtórnego transformatora 5 przez odbiornik do katody, a następnie do jednej z anod głównych. Prąd otrzymany w obwodzie jest prądem tętniącym o zmiennym natężeniu.

Dla wyrównania tętnień prądu w obwód włącza się dławik D . Zapobiega on również dzięki swojej indukcji gaśnięciu prostownika. Prostowniki rtęciowe są prostownikami pełnozakresowymi i mogą prostować prądy do 500 A o napięciu do 500 V. Prostowniki te służą także do prostowania prądów trójfazowych. Zaletami prostowników rtęciowych jest pewna i cicha praca, łatwa obsługa i duża sprawność.

9.5. Wybrane elementy mikroelektroniki.

Wyświetlacze cyfr i znaków. Współczesne urządzenia elektroniczne są przystosowane do opracowywania ogromnych ilości informacji z niespotykaną dawniej szybkością. Przy dużej ilości informacji i znacznej szybkości ich przekazywania stosowanie urządzeń rejestrujących jest ograniczone. W tych warunkach znacznie bardziej uniwersalne są systemy informacji wizualnej, działające szybciej i mające większą przepustowość. Ostatnim ogniwem systemu informacji wizualnej są urządzenia alfanumeryczne, albo inaczej zwane wyświetlacze cyfr i znaków.

Wyświetlacze cyfr i znaków stanowią bardzo ważny element w

elektronicznych układach do pomiaru czasu, pozwalają bowiem realizować czasomierze pozbawione jakichkolwiek elementów ruchomych.

Wyświetlacze pracować mogą w oparciu o różne zjawiska. Do najczęściej stosowanych należą:

- jarzeniowe, w formie wieloelektrodowych lamp neonowych,
- półprzewodnikowe (diody luminescencyjne),
- krystaliczne — wykorzystujące zjawiska zmiany odbicia czy przepuszczalności światła przez ciekłe kryształy pod wpływem pól elektrycznych.

We współczesnych czasomierzach elektronicznych stosowane są urządzenia wyświetlające typu półprzewodnikowego (wskaźniki luminescencyjne) lub krystalicznego.

Wskaźniki luminescencyjne. Luminescencja jest to zjawisko emitowania światła przez substancję zwaną luminoforem, lub fosforem, zachodzące w niskiej temperaturze pod wpływem pobudzenia zewnętrznego.

Emisja ta występuje wtedy, gdy elektrony ciała stałego przechodzą z wyższego poziomu energetycznego na niższy poziom; wydziela się wówczas energia w postaci kwantów światła (fotonów). Emisja jest tym intensywniejsza, im więcej elektronów znajduje się na wyższych poziomach energetycznych.

Czynnikami pobudzającym luminescencję może być:

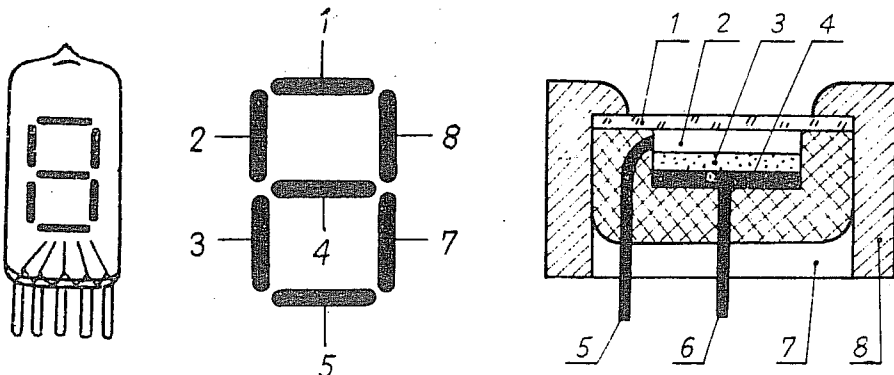
- strumień elektronów o odpowiednio dużej energii, bombardujących luminofor (występuje wówczas elektronoluminescencja);
- lawiny elektronowe powstające w luminoforze pod wpływem silnego zmiennego pola elektrycznego (występuje wówczas elektroluminescencja w polu zmiennym);
- wstrzykiwanie nośników mniejszościowych do złącza $p-n$ spolaryzowanego w kierunku przewodzenia (występuje wówczas elektroluminescencja w polu stałym).

Mechanizm przekształcania energii elektronów bombardujących luminofor w energię świetlną nie jest dotychczas całkowicie wyjaśniony. Wiadomo jedynie, że energia szybkich elektronów padających na luminofor pobudza w jego siatce elektrony, by następnie (przy powrocie do stanu równowagi) oddać nadwyżkę energii w postaci fotonu.

Zjawisko elektroluminescencji jest wykorzystywane w tzw. wskaźnikach fluorescencyjnych, które należą do lamp próżniowych z żarzoną katodą. Obraz świetlny cyfry, litery, lub znaku jest złożony z segmentów. Segmenty te stanowią anody lampy, pokryte materiałem luminescencyjnym, emitujące światło przy bombardowaniu elektronami emitowanymi przez termokatodę. Segmenty tworzące obraz odpowiedniego znaku wybiera deszyfrator, tłumaczący kod binarny

lub dziesiątą na kod wskaźnika. Na rysunku 9-17 przedstawiono jeden ze wskaźników fluorescencyjnych.

Wskaźniki te mają bardzo prostą konstrukcję. Szklana lampa o średnicy 18 mm i wysokości 44,5 mm posiada w cokole 9 lub 10 doprowadzeń szpilkowych. Bezpośrednio żarzona katoda jest zasilana prądem stałym lub zmiennym o natężeniu 45 mA i napięciu 1,6 V.



9-17. Wskaźnik fluorescencyjny typu Digivac S/G firmy Tung-Sol International Corp USA

9-18. Rozmieszczenie doprowadzeń wskaźników fluorescencyjnych typu Digivac S/G, przy porządkowaniu wzajemne segmentów i numerów doprowadzeń w cokole

9-19. Wskaźnik segmentowy elektroluminescencyjny (prod. ZSRR)

1 — szybka szklana, 2 — elektroda górna (segment), 3 — luminofor, 4 — elektroda dolna, 5 — doprowadzenie elektrody górnej 6 — doprowadzenie elektrody dolnej, 7 — żywica syntetyczna, 8 — obudowa

Na rysunku 9-18 przedstawiono układ segmentów anodowych wraz z oznaczeniami numerowymi odpowiadających im doprowadzeń. Wyświetlane znaki mają wysokość 14,5 mm i szerokość 9,1 mm i są pochylone pod kątem 10° .

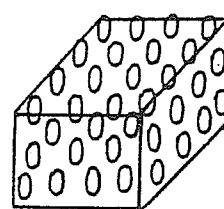
Wskaźniki elektroluminescencyjne różnią się tym od fluorescencyjnych, że zjawisko pobudzenia elektronów w strukturze półprzewodnikowej luminofora uzyskuje się przez zmienne lub stałe pole elektryczne.

Na rys. 9-19 przedstawiono schematycznie budowę wskaźnika elektroluminescencyjnego produkcji ZSRR.

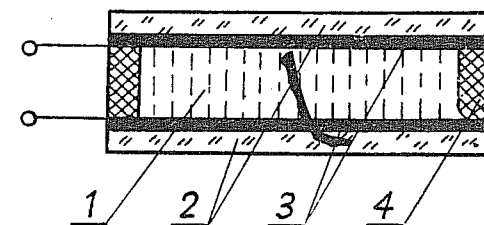
Wskaźniki z ciekłymi kryształami. Ciekłe kryształy jest to dość rozpowszechniona grupa związków organicznych. Posiadają one pewne zewnętrzne cechy cieczy — dają się przelewać, przyjmują kształt naczyń, lecz w przeciwieństwie do cieczy ich cząsteczki mają ten-

dencję do układania się w duże uporządkowane zespoły, podobnie jak w ciałach stałych, takich jak mika czy kwarc. Tendencja ta występuje w określonym charakterystycznym dla danego związku przedziale temperatur (przeciętnie od kilku do 80°C).

Ciekłe kryształy zawierają cząsteczki o kształcie pałeczkowym (rys. 9-20), ustawione tak, że ich osie są w przybliżeniu równoległe a cząsteczki mogą obracać się wokół swych osi i przemieszczać w objętości bez zasadniczej zmiany kierunku ustawienia osi. Gdy cienka warstwa



9-20. Struktura ciekłych kryształów



9-21. Schemat budowy wskaźnika z ciekłymi kryształami
1 — warstwa czynna — ciekły kryształ, 2 — płytki szklane, 3 — elektrody, 4 — przekładka dystansowa

ciekłego kryształu zostanie umieszczona w silnym polu elektrycznym, to pod wpływem tego pola nastąpi porządkowanie całej struktury ciekłego kryształu i ustawiają się one w całej objętości tak, by kierunki ich elektrycznych momentów dipolowych pokrywały się z kierunkiem pola elektrycznego. Równocześnie istniejące w objętości kryształu jony poruszające się w polu elektrycznym powodują zaburzenia porządku cząsteczek wytwarzając strefy zaburzeń o wymiarach 1 do $5\ \mu\text{m}$, co powoduje w tych strefach zmiany współczynnika załamania światła i jego rozproszenie. Cienka warstwa ciekłego kryształu, poprzednio przezroczysta, staje się nieprzezroczysta, przybiera barwę mleczną.

Opisane zjawisko nosi nazwę rozpraszania dynamicznego. Wyłączenie pola elektrycznego powoduje przerwanie procesu rozpraszania dynamicznego i kryształ odzyskuje przezroczystość. Gdy ciekły kryształ zawiera pewne domieszki innych pierwiastków wtedy staje się przezroczysty przy nieobecności pola elektrycznego, natomiast w stałym lub zmiennym polu elektrycznym o małej częstotliwości i przy napięciu przekraczającym 20 V materiał staje się nieprzezroczysty.

Ogólnie można powiedzieć, że kryształy są przezroczyste wtedy gdy cząsteczki są uporządkowane a nieprzezroczyste gdy ulegnie zakłóceniu uporządkowanie przez poruszające się jony.

Element czynny wskaźników stanowi warstwa o grubości 5 do $50\ \mu\text{m}$ (rys. 9-21) umieszczona między płytkami szklanymi utrzymy-

wanymi w określonej odległości przy pomocy teflonowych przekładek dystansowych. Na wewnętrznej powierzchni płytek znajdują się przezroczyste warstwy przewodzące (tlenek cyny) stanowiące okładki płaskiego kondensatora, w którym rolę dielektryka pełni ciekły kryształ. Często tylna elektroda jest wykonana w postaci metalicznego zwierciadła (naparowana lub napyłona warstwa srebra, złota, niklu lub aluminium), odbijającego światło w kierunku obserwatora.

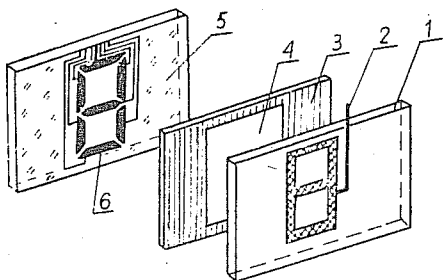
Zaletę wskaźników z ciekłymi kryształami stanowi to, że pracują one przy bardzo małym prądzie sterowania (1 do 10 μA na cm^2 powierzchni czynnej) i bardzo małym poborze mocy od 20 do 200 μW na cm^2 . Stanowią więc idealne elementy urządzeń cyfrowych przenośnych takich jak zegarki naręczne czy kalkulatory kieszonkowe. Dodatkowymi zaletami są:

- możliwość bezpośredniego zasilania wskaźników przez układy scalone (tak jak w zegarkach naręcznych);
- niski koszt produkcji i materiałów;
- płaska konstrukcja i możliwość uzyskiwania dużych znaków.

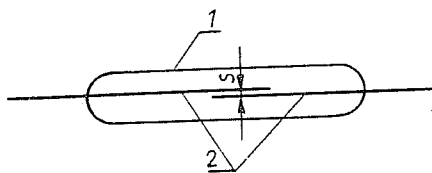
Podstawową wadę stanowi ich stosunkowo duża bezwładność wynosząca od 10 do 200 ms — wskaźniki są więc raczej powolne, oraz to, że mogą być eksploatowane tylko w ściśle określonym przedziale temperatur, w którym warstwa czynna zachowuje właściwości ciekłego kryształu.

Trwałość produkowanych obecnie wskaźników osiąga kilka tysięcy godzin, przy czym na ogół nie występuje nagłe uszkodzenie, lecz stopniowe zmniejszenie kontrastu.

Na rysunku 9-22 przedstawiono szkic konstrukcyjny prostego



9-22. Wskaźnik segmentowy z ciekłymi kryształami
1 — płytką szklaną przednią, 2 — elektrodą przednią z doprowadzeniem, 3 — przekładką dystansową, 4 — okienko na warstwę ciekłego kryształu, 5 — płytką szklaną tylną, 6 — elektrodą tylną (siedem segmentów) z doprowadzeniami



9-23. Schemat budowy kontaktronu,
1 — szklaną bańką, 2 — stycznymi,
s — szczeliną między stycznymi

wskaźnika siedmiosegmentowego typu przepuszczającego z tylnym podświetleniem. Na przedniej ścianie szklanej jest naniesiona jednolita przezroczysta warstwa przewodząca wraz z doprowadzeniem. Na tylnej płytce szklanej jest naniesiona przezroczysta warstwa przewodząca w formie siedmiu segmentów o oddzielnych doprowadzeniach. Płytki szklane są rozdzielone teflonową przekładką dystansową o grubości ok 25 μm . Okienko w klatce jest wypełnione ciekłym kryształem. Układ sterujący z deszyfratorem wybiera właściwy zestaw segmentów dla wyświetlenia każdej z cyfr. Napięcie doprowadzane między elektrodę przednią a wybrany segment elektrody tylnej powoduje rozpraszanie światła między nimi i wówczas kształt segmentu staje się widoczny.

Wskaźnik tego typu ma czas działania ok. 2 ms, a wartością jaskrawości nie ustępuje segmentowym wskaźnikom elektroluminescencyjnym.

Opracowano także wskaźnik siedmiosegmentowy odbiciowy płaski, o poborze mocy kilkaset razy mniejszym niż wskaźniki elektroluminescencyjne, który przeznaczony jest do bateryjnych, elektronicznych zegarków naręcznych.

Kontaktrony. Kontaktrony są doskonałymi elementami konstrukcyjnymi zarówno w układach elektronicznych mechanizmów zegarowych, jak i w wielu innych dziedzinach techniki ze względu na pewność działania i prostą budowę. Kontaktron zbudowany jest ze szklanej zamkniętej rurki wypełnionej gazem obojętnym, w której zatopione są dwie (lub więcej) stycznki wykonane z materiału magnetycznego, oddalone od siebie na niewielką odległość (rys. 9-23).

Jeżeli do kontaktronu zbliżymy magnes stały lub elektromagnes to pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego stycznki magnesują się różniomienne i przyciągają się tworząc kontakt elektryczny — wtedy kontaktron przewodzi. Po usunięciu magnesu, stycznki przestają się przyciągać i rozłączają obwód.

W Polsce produkuje się kontaktrony już od 1964 r. i należy podkreślić, że należą one do najlepszych na świecie. Wyróżniają się one dużą trwałością, krótkim czasem zadziałania (kilka milisekund), małą opornością przejścia (oporność styku podczas zwarcia stycznek — w miliomach), wysoką opornością izolacji, niewielką pojemnością styku i co bardzo ważne — małą mocą niezbędną do sterowania.

Trwałość kontaktronu wynosi od 10^6 do 2×10^8 zadziałań. Do możliwych uszkodzeń kontaktronów należy trwałe sklejenie styków oraz jednokrotne przekroczenie oporności przejścia powyżej 1 oma. Niezmienna oporność przejścia jest jednym z podstawowych warunków trwałości kontaktronu. Zależy ona od złożonych i trudnych do sterowania czynników, takich jak materiał stykowy, siła nacisku sty-

czek, stan powierzchni stykowej oraz skład gazu wypełniającego rurkę.

Ważnym parametrem kontaktronu jest jego czułość zadziałania i zwalniania. Jeżeli kontaktron współpracuje z elektromagnesem to jego czułość zadziałania będzie tym większa im cewka będzie miała mniejszą średnicę wewnętrzną.

Ogólnie biorąc kontaktrony mają stosunkowo małą czułość zwalniania (mierzoną w amperozwojach) w porównaniu do czułości zadziałania. Jest to ważne przy sterowaniu cewek (włączających) kontaktronów układami tranzystorowymi, gdzie prądy zerowe lub niepełne nasycenie tranzystora (zależne od układu) może być przyczyną tego, że kontaktron uprzednio zwarty nie zwolni. Tak więc zbyt niska czułość zwalniania może być przyczyną wadliwej pracy kontaktronów w niektórych układach.

Przy współpracy kontaktronu z magnesem stałym zwieranie styków odbywa się stosunkowo wolno. Ponadto, po ich zwarceniu w pobliżu kontaktronu może być jeszcze obecny strumień magnetyczny.

Oprócz tego może występować częściowe zwieranie styków zmniejszające odległość między nimi oraz ich iskrzenie.

Przekładniki kontaktronowe odznaczają się cenną zaletą w porównaniu z przekładnikami tranzystorowymi — mają większą odporność na zakłócenia zewnętrzne.

Układy scalone. Współczesne urządzenia elektroniczne spełniają coraz to bardziej złożone funkcje i przez to stają się coraz bardziej skomplikowane, a do wytworzenia ich należy użyć coraz to większej liczby elementów konstrukcyjnych.

Zastosowanie konwencjonalnych, indywidualnych elementów konstrukcyjnych w tego typu urządzeniach, doprowadziłoby do wielu niedogodności, jak duże rozmiary i ciężar, duży pobór mocy, duży koszt wytwarzania itp. Ponadto, praca takich urządzeń jest niepewna, gdyż każdy z indywidualnych elementów (a w szczególności jego połączenia z pozostałą częścią urządzenia) jest narażony na uszkodzenie. Problemy te są rozwiązywane dzięki rozwojowi nowego kierunku elektroniki, jakim jest mikroelektronika. Mikroelektronika jest związana z układami, w których gęstość montażu, to jest liczba elementów montażowych na jednostkę objętości jest bardzo duża — powyżej 3 elementów na 1 cm^3 .

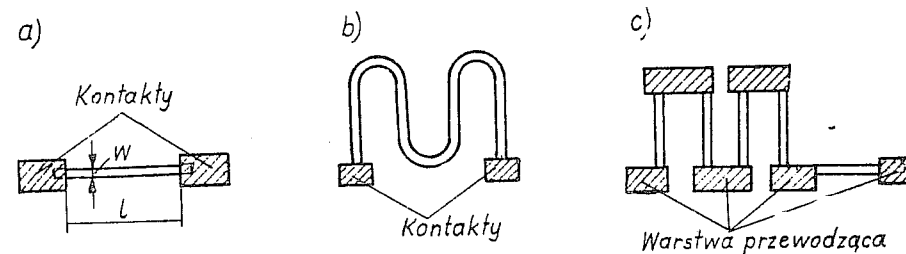
Mikroelektronikę można podzielić na dwa działy: mikrominiaturyzację, gdzie mamy do czynienia z pojedynczymi indywidualnymi elementami składowymi, oraz elektronikę scaloną — związaną z nowymi sposobami wytwarzania układów elektronicznych, polegającą na wytwarzaniu jednocześnie wielu różnych elementów razem z ich połączeniami w sposób nierozłączny na wspólnym podłożu.

Inną cechą charakterystyczną układów scalonych jest fakt, że tworzą one układy monolityczne z elementami nierozłącznie związanymi z podłożem izolacyjnym lub półprzewodnikowym.

Układy scalone mają do minimum zredukowaną liczbę połączeń a także inne rodzaje lutowania lub spawania pomiędzy poszczególnymi elementami układu scalonego. Trwałość wewnętrznych połączeń przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby połączeń lutowaniczych sprawia, że niezawodność układów scalonych jest znacznie lepsza aniżeli układów z elementami indywidualnymi.

Układy scalone nie mogą być rozbierane, przerabiane lub naprawiane po ich wykonaniu. Stąd też wymagana jest niezwykle duża precyzja w przygotowaniu układów scalonych do produkcji.

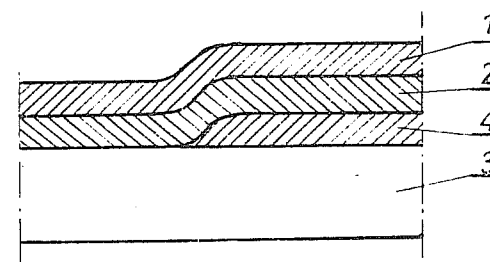
Nakładanie różnorodnych materiałów w postaci cienkich warstw o różnych kształtach i rozmiarach geometrycznych dokonywane jest wieloma różniącymi się od siebie metodami. Do najczęściej stosowanych procesów technologicznych należy: naparowanie próżniowe, rozpylanie katodowe, piroliza i elektroliza. Na rys. 9-24 przedstawiono kilka najczęściej spotykanych kształtów oporników cienkowarstwowych.



9-24. Kształty stosowanych oporników cienkowarstwowych

Kondensatory cienkowarstwowe są z reguły wykonywane jako struktury trójwarstwowe typu metal — dielektryk — metal. Warstwy dielektryczne nanosi się najczęściej metodą naparowywania próżniowego.

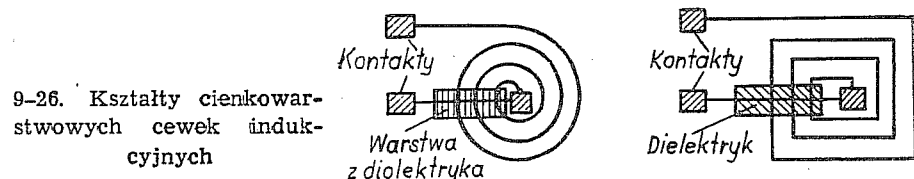
Przekroje naparowanych kondensatorów cienkowarstwowych pokazano na rys. 9-25. Grubości elektrod metalowych są tego samego rzędu



9-25. Przekrój kondensatora cienkowarstwowego
1, 4 — metal, 2 — dielektryk, 3 — podłoże

co grubości warstwy dielektrycznej i są rzędu kilku tysięcy angströmów!

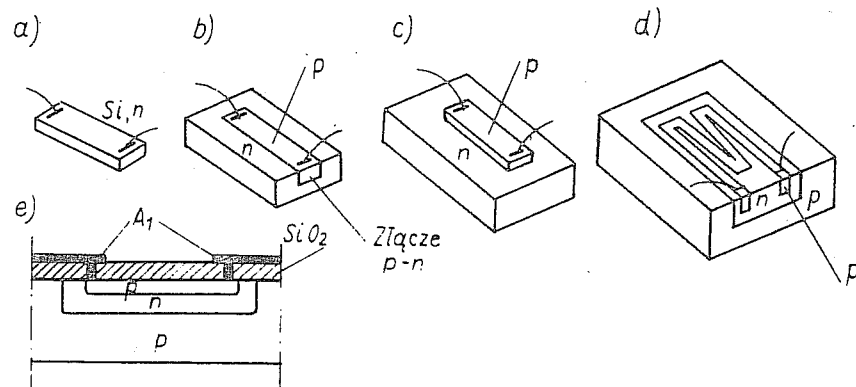
Cienkościenne cewki indukcyjne mogą być naniesione bezpośrednio na podłoże, lub na uprzednio nałożonej warstwie ferrytowej. Cewki najczęściej mają kształt spirali Archimedesesa lub kształt prostokątny (rys. 9-26). Wewnętrzne zakończenie cewki jest wyprowadzone na zewnątrz za pomocą ścieżki prowadzącej, naniesionej na uprzednio nałożoną warstwę izolacyjną.



9-26. Kształty cienkowarstwowych cewek indukcyjnych

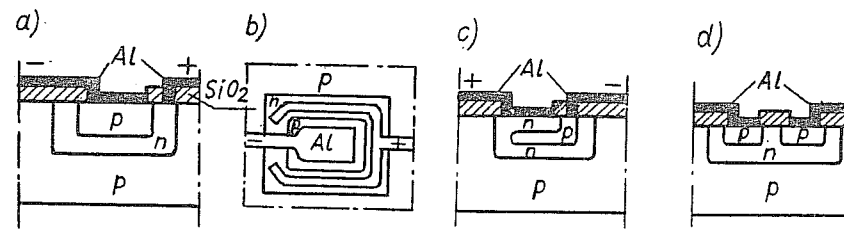
Wszystkie podane elementy elektroniczne cienkowarstwowe mogą być wytwarzane przy zastosowaniu półprzewodników, co prowadzi do jeszcze większej ich miniaturyzacji — są one stosowane wtedy wyłącznie w układach scalonych.

Na rys. 9-27 podano przykłady konstrukcji oporników półprzewodnikowych, a na rys. 9-28 kondensatorów półprzewodnikowych (złączowych) wykorzystując pojemność bariery złącza p-n.

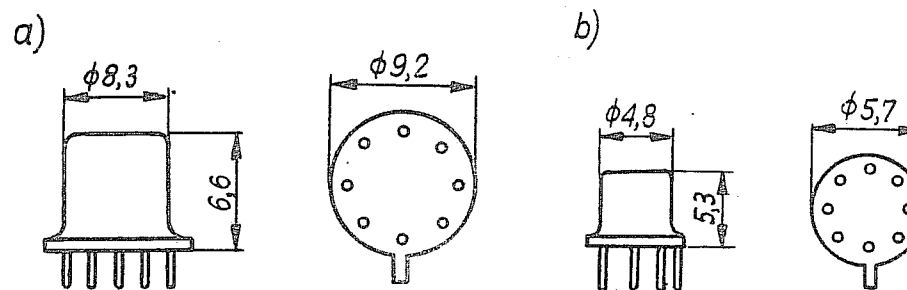


9-27. Przykłady konstrukcji oporników półprzewodnikowych
a) opornik objętościowy, b) oporniki warstwowe

Typowymi obudowami układów scalonych stosowanymi we wczesnej fazie rozwoju mikroelektroniki, były obudowy przedstawione na rys. 9-29. Nie były one optymalne dla płytek półprzewodnikowych ze względu na okrągłą podstawę i stosunkowo dużą wysokość. Ponadto połączenia kontaktów układu z wyprowadzeniami obudowy muszą być wykonywane za pomocą przewodów, co nie jest zalecane ze względu na możliwości uszkodzeń.

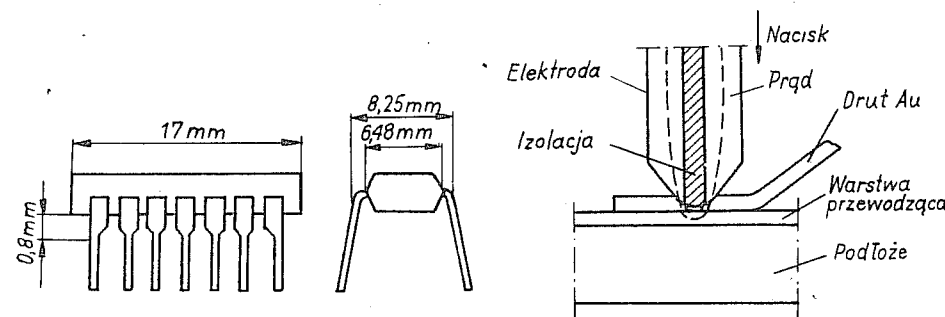


9-28. Przykłady konstrukcji kondensatorów półprzewodnikowych



9-29. Przykłady obudowy a) — TO-5, b) — TO-18

Obecnie przeważnie stosuje się obudowy typu „dual — in — line” (rys. 9-30) z dwoma rzędami wyprowadzeń, odpowiednio zaigiętych, co pozwala na łatwe mocowanie układów na płytkach zbiorczych.



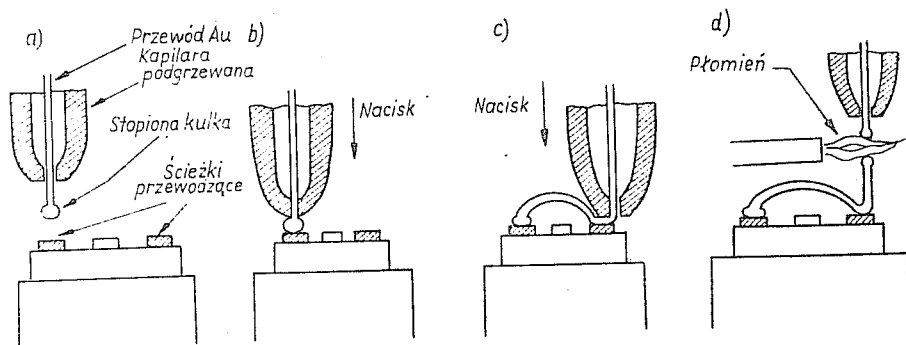
9-30. Przykłady obudowy „dual-in-line” 9-31. Zasada zgrzewania oporowego w mikroelektronice

Zagadnienie połączeń układów i obudów staje się poważnym problemem ze względu na bardzo małe rozmiary właściwych układów scalonych. Połączenia półprzewodnikowych układów scalonych i obudowy zajmują obecnie znacznie większą objętość aniżeli same układy, powodując ograniczenie miniaturyzacji.

Sposoby wykonywania połączeń w układach cienkowarstwowych. Przy wytwarzaniu układu cienkowarstwowego wymagane jest dokonanie szeregu połączeń wewnętrznych w ramach jednej płytki podłożowej, oraz połączeń zewnętrznych łączących układ z danej płytki z układami znajdującymi się na innych płytkach.

Najczęściej stosowanymi sposobami dokonywania połączeń są: lutowanie, zgrzewanie oporowe i łączenie termokompresyjne. Łączenie za pomocą lutowania nie różni się od konwencjonalnego, jedynie moc lutownic i rozmiary są znacznie mniejsze od konwencjonalnych. Łączenie metodą zgrzewania oporowego (rys. 9-31) polega na rozgrzewaniu łączonych materiałów za pomocą prądu przepływającego przez nie przy jednoczesnym nacisku.

Zasadą łączenia termokompresyjnego (rys. 9-32) opiera się na adhezji podgrzewanych ciał stałych w połączeniu z zespoleniem się mikronierówności podczas ściskania obu materiałów. Stosowane są temperatury od 50 do 500°C i naciski rzędu 20 do 200 G.



9-32. Kolejne fazy zgrzewania termokompresyjnego

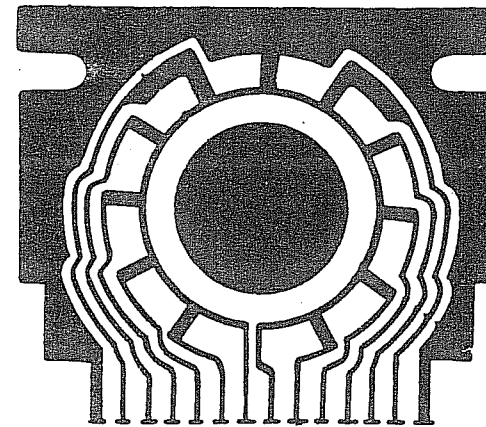
Średnice stosowanych drutów połączeniowych zawierają się w granicach 0,01 do 0,1 mm. Typowe aparaty do łączenia termokompresyjnego pozwalają na dokonywanie 200—250 połączeń w ciągu godziny.

Obwody drukowane. Do połączeń między elementami elektronicznymi a podzespołami elektromechanicznymi są stosowane obecnie przede wszystkim obwody drukowane. Podstawą obwodu drukowanego jest podłoże izolacyjne foliowane miedzią (podstawa montażowa), na powierzchni której wytrawia się pola lutownicze (łączenie wyprowadzeń elementów) oraz ścieżki łączące pola, będące odpowiednikiem przewodów w konwencjonalnym sposobie montażu.

W urządzeniach elektronicznych stosuje się trzy rodzaje obwodów drukowanych:

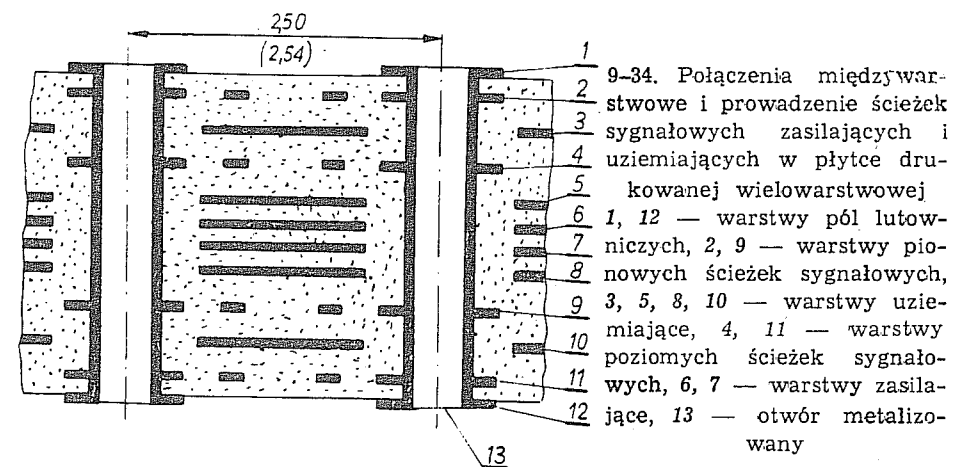
— obwody drukowane jednowarstwowe — ścieżki i pola lutownicze

są rozmieszczone na jednej płaszczyźnie (warstwie) podłoża izolacyjnego (rys. 9-33);



9-33. Płytkę drukowaną jednowarstwową przełącznika drukowanego

- obwody drukowane dwuwarstwowe — ścieżki i pola lutownicze są rozmieszczone na obu płaszczyznach (warstwach) podłoża izolacyjnego;
- obwody drukowane wielowarstwowe — obwód drukowany wielowarstwowy składa się z dwu lub więcej płytek drukowanych, jedno lub dwuwarstwowych sklejęcych ze sobą, połączenia elektryczne między warstwami są zwykle realizowane przez otwory metalizowane (rys. 9-34).



9-34. Połączenia międzywarstwowe i prowadzenie ścieżek sygnałowych zasilających i uziemiających w płytce drukowanej wielowarstwowej
1, 12 — warstwy pół lutowniczych, 2, 9 — warstwy pionowych ścieżek sygnałowych, 3, 5, 8, 10 — warstwy uziemiające, 4, 11 — warstwy poziomych ścieżek sygnałowych, 6, 7 — warstwy zasilające, 13 — otwór metalizowany

Konstruowanie obwodów drukowanych obejmuje zaprojektowanie tych wszystkich elementów, za pomocą których:

- łączy się elektryczne wyprowadzenie elementów elektronicznych do obwodu drukowanego;

- przesyła się sygnały między poszczególnymi elementami i podzespołami;
- łączy się obwód drukowany z innymi obwodami;
- oznacza się położenie wszystkich elementów i podzespołów oraz napięcie zasilających;
- identyfikuje się obwód drukowany.

Do zalet obwodów drukowanych należy:

- powtarzalność parametrów, identyczne rozmieszczenie ścieżek i pól we wszystkich egzemplarzach powielanego obwodu sprawia, że wszystkie pojemności i indukcyjności szkodliwe na wszystkich płytach mają jednakowe wartości;
- zmniejszenie ciężaru, płytka z obwodem drukowanym eliminuje większość elementów montażowych i izolacji (przewody);
- łatwość automatyzacji montażu i lutowania podzespołów;
- proste sposoby zabezpieczania przed ciężkimi warunkami atmosferycznymi;
- łatwość oznaczania położenia elementów i podzespołów;
- niskie koszty wytwarzania w dużych seriach;
- zmniejszenie czasu i automatyzacja kontroli.

Do wad obwodów drukowanych zalicza się:

- trudności wprowadzenia zmian, wprowadzenie zmian w obwodzie drukowanym jest zarówno czasochłonne jak i kosztowne;
- utrudnione chłodzenie, materiały podłożowe płytek drukowanych są złymi przewodnikami ciepła;
- ograniczone możliwości prowadzenia ścieżek, ścieżki mogą być prowadzone tylko w płaszczyźnie;
- wysokie koszty wytwarzania przy małych seriach produkcyjnych;
- wymagane wysokie kwalifikacje personelu oraz specyficzne narzędzia do naprawy.

Jeżeli chodzi o eksploatację, obwody drukowane cechuje większa niezawodność połączeń elektrycznych w porównaniu z montażem konwencjonalnym.

Problemy cieplne w mikroelektronice. W rozwijającej się szybko aparaturze elektronicznej problemy cieplne występują coraz ostrzej. Wiąże się to przede wszystkim z miniaturyzacją sprzętu, która w pewnych dziedzinach elektroniki stała się nieodłącznym warunkiem dalszego rozwoju.

W takim samym stopniu jak gęstość montażu wzrasta gęstość mocy wydzielanej w postaci ciepła, która gdy nie zostanie odprowadzona — spowoduje wzrost temperatury elementów do wartości uniemożliwiających ich normalną pracę.

W celu poprawy warunków chłodzenia (zwiększenie powierzchni) powietrzem elementów elektronicznych stanowiących skupione źród-

ła ciepła, stosuje się rozpraszacze, tzw. radiatory. Kształty i konstrukcje radiatorów mogą być różne. Materiał z jakiego zbudowany jest radiator powinien odznaczać się dobrą przewodnością, małym ciężarem właściwym i niską ceną. Do najczęściej stosowanych materiałów należą aluminium, miedź i magnez.

Cwiczenia i pokazy

1. Pokaz na oscyloskopie tętnienia wyprostowanego prądu przy zastosowaniu w układzie prostownika, kondensatora o zmiennej pojemności lub kilku kondensatorów elektrolitycznych o różnych pojemnościach.
2. Pokaz schematu elektrycznego urządzenia do ładowania akumulatora z sieci prądu przemiennego, tzw. prostownika — zbudowanego z transformatora, opornika regulowanego i prostownika pełnozakresowego na czterech diodach.
3. Pokaz różnego rodzaju elementów elektronicznych wykonanych z półprzewodników.

Pytania sprawdzające

1. Omówić budowę i działanie diody.
2. Omówić zasadę działania komórek fotoelektrycznych.
3. Omówić przewodzenie „dziurowe” i „elektronowe” w półprzewodnikach.
4. Co to jest bariera potencjału?
5. Jak działa tranzystor *p-n-p*.
6. Omówić rodzaje i budowę prostowników.
7. Omówić zasady działania prostowników o układzie półokresowym i pełnokresowym.
8. Omówić zasadę działania prostownika miedziowego.
9. Omówić budowę i zasadę działania triody.
10. Omówić zasady działania lamp gazowanych.
11. Omówić zasadę działania diody ostrzowej.
12. Omówić zasadę działania prostownika selenowego i rtęciowego.

10. URZĄDZENIA GASIKOWE I DŁAWIKOWE

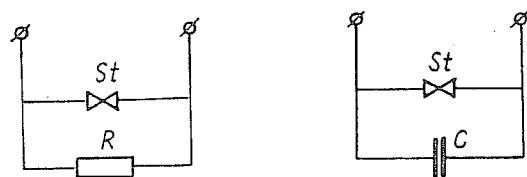
Od wszystkich układów stykowych pracujących w urządzeniach zegarowych wymaga się ich beziskrowej pracy. Chodzi tutaj nie tylko o zużywanie się styków, ale również o pewną i bezbłędną pracę układu stykowego, który w przypadku iskrzenia może wysłać nie jeden, lecz kilka impulsów.

Iskrzenie styków spowodowane jest głównie przez prądy samoindukcyjne cewek, które powstają przy otwieraniu styków i one to właśnie dostając się do prądów przebiegających przez układ stykowy powodują iskrzenie styków.

W obwodach sterujących obwodami z indukcyjnością, nawet przy małych napięciach roboczych rzędu kilku woltów, mogą powstawać w chwili przerywania obwodu siły elektromotoryczne rzędu kilkuset woltów, które powodują powstawanie łuku między stycznymi (iskrzenie styków), a w pewnych skrajnych przypadkach mogą doprowadzić do przebicia izolacji w cewce elektromagnesu. W celu stłumienia iskrzenia styków równolegle do nich przyłącza się oporniki lub kondensatory (rys. 10-1). Zaletą kondensatorów jest to, że przepuszczają one tylko prądy zmienne i równocześnie są blokadą dla prądu stałego.

Oprócz oporników i kondensatorów w układach stykowych stosowane są dławiki.

10-1. Tłumienie iskrzenia styków (St): a) przez równoległe włączenie opornika (R); b) za pomocą kondensatora (C)



Zasada działania dławika polega na tym, że dławik przepuszcza prąd stały, natomiast prąd przemienny przepuszcza tym gorzej im większa jest jego częstotliwość. Dławiki zbudowane są z drutu miedzianego nawiniętego w formie cewki na rdzeń ferromagnetyczny. W czasie iskrzenia styków (które włączają lub wyłączają obwód prądu stałego) następuje zamiana prądu stałego na prąd zmienny o wielkiej częstotli-

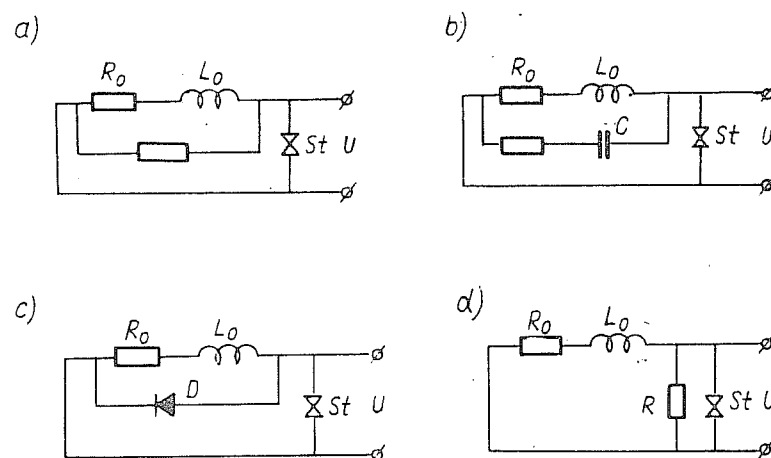
wości. Prąd ten indukuje w cewce dławika siłę elektromagnetyczną, a w rdzeniu powstaje strumień magnetyczny. Strumień magnetyczny z kolei indukuje w cewce siłę elektromotoryczną i prąd, którego kierunek jest przeciwny do prądu pierwotnego (indukowany prąd jest przesunięty w fazie w stosunku do prądu pierwotnego, ale dla jasności rozumowania pominięto to zjawisko). Prąd indukowany jest odejmowany od prądu pierwotnego.

Indukcja siły elektromotorycznej w cewce jest tym większa (a zatem i prąd indukowany jest tym większy) im częstotliwość zmian jest większa, co w konsekwencji prowadzi do tego, że układ ten przy dużej częstotliwości nie przepuszcza prądów zmiennych.

Dławiki wielkiej częstotliwości wykonane są w postaci cewek o dużej liczbie zwojów nawiniętych na korpusy wykonane z izolacji, natomiast dławiki małej częstotliwości mają cewkę nawiniętą na korpus izolacyjny, wewnątrz którego znajduje się rdzeń wykonany z pakietu odizolowanych od siebie stalowych blach. Przy małych częstotliwościach rdzeń jest niezbędny, gdyż wzmacnia on strumień magnetyczny, który z kolei może wytworzyć większą siłę elektromotoryczną i większy prąd przeciwnie skierowany. Natomiast w układach wielkiej częstotliwości do wytwarzania odpowiedniego strumienia wystarczy sama cewka.

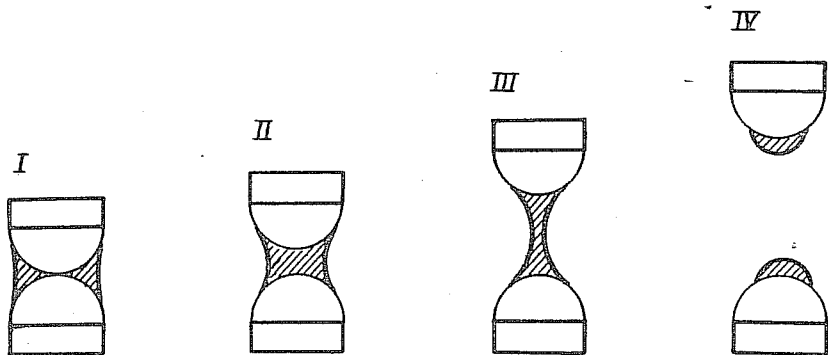
Często jako urządzenie gasikowe stosuje się samą cewkę, którą umieszcza się w obszarze styków. Cewka w momencie ich rozwierania wytwarza silne pole magnetyczne działające elektrodynamicznie na łuk elektryczny (powoduje jego wygaszenie).

Na rys. 10-2 podano najczęściej stosowane układy gasikowe w ukła-



10-2. Układy gasikowe styków (St) przez włączenie do układu dławika (R_0 , L_0): a) opornika równoległe, b) opornika z kondensatorem, c) diody półprzewodnikowej, d) bocznikując oporem układ styków

dach elektronicznych urządzeń zegarowych. Na rys. symbolami L_o , R_o oznaczono dławik (R_o — oporność dławika, L_o — indukcyjność). W 1971 r. prasa zagraniczna podawała o wynalezieniu płynu „technokontaktol”, który zabezpiecza styki przed istrzeniem. Działanie płynu przedstawia rys. 10-3. Przy styku zamkniętym przepływ prądu jest



10-3. Działanie płynu „technokontaktol” przeciwdziałające iskrzeniu styków
I — styk zwarty; II — początek rozwarcia, III — końcowa faza rozwarcia,
IV — styk rozwarty

całkowity. Z chwilą otwarcia styku następuje przepływ płynu i prąd płynie między styczkami przez płyn, który ma własności przewodnika. Przy większym rozwarciu styczek (III faza) następuje zwięźnienie wyciągniętej kropli płynu i dalsze zmniejszanie przepływu prądu aż do całkowitego rozwarcia styczek i przerwy w obwodzie.

Pytania sprawdzające

1. Omówić zasadę działania i budowę dławika małej i dużej częstotliwości.
2. Omówić zasadę działania układów gasikowych.
3. Jakie jest działanie kondensatora w układzie przeciwwiskrzeniowym?

11. BEZPIECZEŃSTWO PRACY PRZY OBSŁUDZE URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH

Przepływ prądu elektrycznego przez ciało ludzkie powoduje w organizmie powstanie zmian szkodliwych dla zdrowia lub niebezpiecznych dla życia. Zjawisko to nazywa się porażeniem elektrycznym.

Prąd elektryczny zależnie od wartości, częstotliwości i czasu przepływu przez człowieka, może spowodować oparzenie, zatrucie organizmu produktami rozkładu tkanek, częściowy paraliż, wstrząsy nerwowe, zaburzenie świadomości i zmysłu równowagi a nawet śmierć. Działanie prądu na organizm powoduje przede wszystkim skurcz mięśni, wskutek czego porażony nie jest w stanie bez pomocy oderwać się od trzymanego przez siebie urządzenia, będącego pod napięciem. Następuje to już przy prądzie rzędu 15 mA. Szczególnie niebezpieczne jest działanie prądu na serce, wzmożone bowiem migotanie zastawek sercowych może wywołać stan śmierci klinicznej lub śmierć biologiczną.

Prąd przepływający przez ciało ludzkie zależy od oporności ciała, która jest zmienna i zależy od wielu czynników takich jak stan wilgotności skóry, od powierzchni styku i docisku skóry do miejsca będącego pod napięciem, od temperatury otoczenia i od drogi przepływu prądu przez ciało.

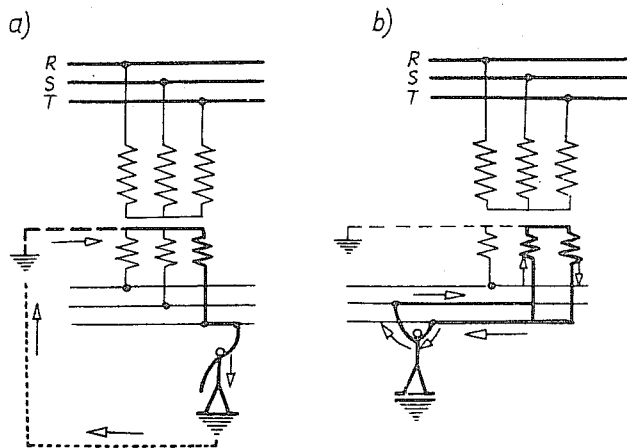
Jako granicę napięcia bezpiecznego dla człowieka przyjmuje się napięcie o wartości 42 V. Wartość ta musi być obniżona przy dużej wilgotności i dlatego za całkowicie bezpieczne napięcie przyjmuje się 24 V.

Opór ciała ludzkiego składa się z oporu skóry w miejscu dotyku części będącej pod napięciem oraz z oporu tkanek i naczyń krwionośnych. Opór naskórka jest znacznie większy od oporu samego ciała, jednak przy wysokich napięciach następuje jego przebicie. Przepływowi prądu przez organizm ludzki towarzyszy wydzielanie się ciepła, jednak wydzielana ilość ciepła w całej objętości ciała jest mała i nie odgrywa poważniejszej roli. Inaczej wygląda sprawa wydzielania ciepła w przypadku naskórka, który ma duży opór i małą pojemność cieplną, co prowadzi do intensywnego wydzielania ciepła i poparzeń skóry

Duży wpływ na wartość prądu przepływającego przez ciało ludzkie ma wilgotność ziemi, na której stoi człowiek, gdyż ziemia wilgotna ma

znacznie mniejszy opór i natężenie prądu jest większe. Również istotną rolę odgrywa droga prądu w ciele człowieka.

Prąd płynący od ręki do nogi jest mniej niebezpieczny niż prąd, który płynie od ręki do ręki (rys. 11-1). Najbardziej niebezpieczny jest prąd płynący przez serce.



11-1. Przepływ prądu przez ciało ludzkie przy dotknięciu sieci trójfazowej: a) przy dotknięciu jednego przewodu, b) przy dotknięciu dwóch przewodów

Środki ochronne i zabezpieczające. Podstawowym środkiem zapewniającym bezpieczeństwo pracy przy instalacjach i urządzeniach elektrycznych jest właściwe i zgodne z przepisami bhp wykonanie instalacji.

W celu uniknięcia lub przynajmniej zmniejszenia niebezpieczeństwa porażenia stosuje się:

- izolowanie części urządzeń znajdujących się pod napięciem;
- izolowanie pokrywami zamykanymi części znajdujących się pod napięciem (złącz, wyłączników, osłony przewodów);
- umieszczanie części i przewodów znajdujących się pod napięciem w miejscach trudno dostępnych, np. przeprowadzanie przewodów wysoko nad ziemią, pod podłogą pomieszczenia.

W najlepiej nawet zabezpieczonych urządzeniach eksploatacyjnych mogą się zdarzyć uszkodzenia lub przebicie izolacji i pojawienie się napięcia na metalowych częściach, takich jak korpusy, maszyny, osłony itp. Dlatego właśnie stosuje się środki ochronne i zabezpieczające, które mają na celu:

- izolowanie człowieka od ziemi i od napięcia;
- niedopuszczanie do powstawania niebezpiecznych dla otoczenia napięć na obudowie urządzeń elektrycznych;
- wyłączanie samoczynne urządzenia elektrycznego spod napięcia w wypadku pojawienia się niebezpiecznego napięcia na obudowie urządzeń.

W celu izolowania człowieka od ziemi i od napięcia stosuje się sprzęt

ochronny. Przy niskim napięciu są to dielektryczne rękawice gumowe i izolowane narzędzia monterskie.

W urządzeniach o wysokim napięciu od 250 V do 1000 V zasadniczym sprzętem ochronnym są drążki i ceگی izolowane oraz rękawice ochronne. Napięcia powyżej 1000 V są traktowane jako bardzo wysokie — obsługa urządzeń o tych napięciach jest specjalnie szkolona.

Jednym ze sposobów ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym jest stosowanie uziemień ochronnych.

Uziemienie ochronne jest to celowo wykonane metaliczne połączenie z ziemią części odizolowanych od części będących pod napięciem, chroniące od niebezpiecznych napięć dotykowych. Część metalowa umieszczona w ziemi nazywa się uziomem. Rozróżnia się uziomy naturalne i sztuczne.

Do uziomów naturalnych zalicza się rury wodociągowe ułożone w ziemi, metalowe konstrukcje budynków, mające należyte połączenie z ziemią. Uziomy naturalne powinny być połączone z przewodem uziemiającym za pośrednictwem co najmniej dwóch przewodów przyłączonych w różnych miejscach uziomu.

Uziomy sztuczne dzielą się na dwie grupy:

- 1) uziomy pionowe (głębokie) w postaci pionowo wbitych lub zakopanych rur, sztab itp.;
- 2) uziomy poziome w postaci poziomo ułożonych taśm, linek lub drutów na głębokości od 0,6 do 0,7 m pod powierzchnią ziemi.

Przewody uziemiające powinny być chronione przed uszkodzeniami mechanicznymi i chemicznymi.

Przy przeprowadzaniu przewodu uziemiającego przez ściany należy umieścić go w rurce ochronnej. Uziemienie ochronne spełni swoje zadanie, jeżeli przez obwód zwarcia doziemnego popłynie prąd tak duży, że nastąpi przepalenie się bezpiecznika lub wyłączenie samoczynnego wyłącznika. Aby prąd zwarcia był duży, oporność uziemienia powinna być odpowiednio mała. Według przepisów oporność uziemienia ochronnego w sieciach nie powinna przekraczać 4 Ω .

Zerowanie ochronne. W sieciach elektrycznych niskiego napięcia z uziemionym przewodem zerowym często stosuje się zamiast uziemienia — zerowanie ochronne polegające na tym, że obudowę urządzeń elektrycznych łączy się nie z ziemią, lecz z uziemionym przewodem zerowym wyprowadzonym ze stacji transformatorowej wraz z przewodami zasilającymi.

Celem zerowania jest dostatecznie szybkie odłączenie od sieci uszkodzonego urządzenia w przypadku pojawienia się na zerowanych częściach napięcia niebezpiecznego dla ludzi. W razie uszkodzenia izolacji urządzenia w obwodzie utworzonym przez przewód fazowy i zerowy popłynie prąd zwarcia, którego wartość będzie większa niż w przypadku uzie-

mienia ochronnego. Zaletą zerowania jest to, że prąd ten można dokładnie obliczyć i dobrać zabezpieczenie tak, aby działało ono niezawodnie w przypadku uszkodzenia izolacji.

Przy zerowaniu kilku urządzeń nie wolno łączyć kablubów i osłon tych urządzeń ze sobą, a następnie jednego z nich, z przewodem zerowym. Zasady bezpieczeństwa wymagają, aby każde urządzenie było oddzielnie i bezpośrednio połączone z przewodem zerowym.

Zerowanie musi być wykonane przy zachowaniu następujących warunków:

- punkt zerowy transformatora powinien być uziemiony przez uziom o oporze nie przekraczającym 4Ω ;
- w przewodzie zerowym nie mogą być instalowane bezpieczniki lub łączniki, a połączenia przewodu zerowego powinny być wykonane bardzo starannie;
- przekrój przewodu zerowego powinien być dostatecznie duży, aby powstały w wypadku uszkodzenia izolacji odbiornika duży prąd zwarciovyy wywołał zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego;
- przewód zerowy powinien być starannie odizolowany od przewodów fazowych.

Uziemienia i zerowania nie wolno jednocześnie stosować w sieci zasilanej z jednego transformatora. W przewodach do odbiorników przenośnych żyła zerująca lub uziemiająca znajduje się razem z żyłami roboczymi we wspólnej oponie. Żyłę taką łączy się stykiem ochronnym (uziemiającym) specjalnej wtyczki.

Ratowanie porażonego prądem elektrycznym. W przypadku porażenia elektrycznego pierwszą czynnością jaką należy wykonać jest uwolnienie porażonego spod napięcia. Jeżeli wyłączenie obwodu za pomocą wyłącznika jest niemożliwe, należy obwód wyłączyć przez zarzucenie na przewody uziemionej linki — nastąpi zwarcie i obwód zostanie wyłączony przez bezpieczniki.

Jeżeli porażony jest przytomny po uwolnieniu spod napięcia lub jeśli odzyskał przytomność, należy odwieźć go do lekarza, jeżeli natomiast w wyniku porażenia nastąpiło poparzenie lub potłuczenie, lub porażony jest nieprzytomny, wtedy wzywamy lekarza do porażonego.

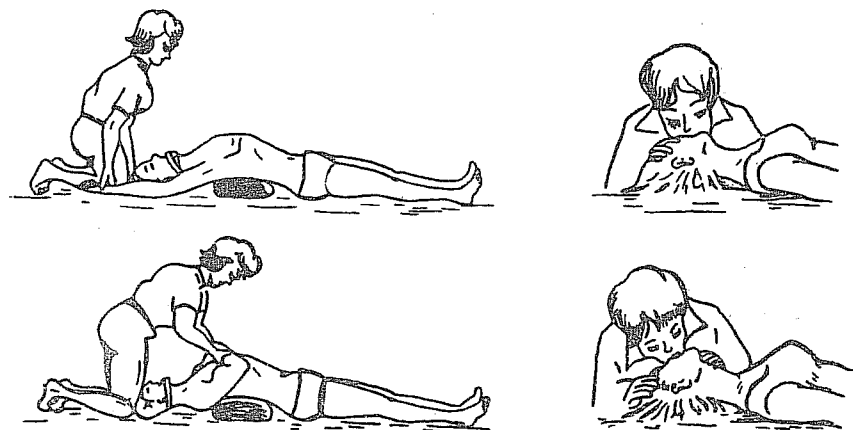
Oparzenia goją się stosunkowo łatwo, jeśli rany nie zostaną zakażone. Przed przybyciem lekarza należy zdjąć części ubrania przylegającego do oparzenia, a na oparzenie stosować okłady z 3% roztworu nadmanganianu potasu lub z riwanolu. Na oparzenie można położyć wyjałowiony opatrunek zanurzony w roztworze nadmanganianu potasu. We wszystkich wypadkach ofierze podawać płyny do picia: herbatę, kawę oraz środki nasercowe, kardiamid lub kofeinę (kofeina znajduje się również w kawie naturalnej). Przy złamaniach lub zwichnięciach należy prowizorycznie unieruchomić kończyny w łubkach.

Jeśli porażony nie daje oznak życia (brak oddechu, bicia serca, zanik tętna), nie wolno go uważać za zmarłego. Jeśli porażony nie oddycha, należy stosować sztuczne oddychanie. Sztuczne oddychanie stosuje się aż do odzyskania przytomności lub do czasu przybycia lekarza. Zdarzają się wypadki, że porażony dopiero po kilku godzinach sztucznego oddychania odzyskuje przytomność. Przerwanie sztucznego oddychania przed odzyskaniem przytomności jest bardzo często powodem śmierci porażonego, dlatego też nieprzytomnego nie należy odwozić do lekarza, lecz powinno się wezwać lekarza na miejsce wypadku.

Sztuczne oddychanie polega na rytmicznym wykonaniu określonych ruchów kończynami zemdlonego, tak aby powietrze mogło wnikać do jego układu oddechowego i wydobywać się z niego.

W tym celu układamy porażonego płasko i dość silnie zginamy mu kończyny dolne, tak aby kolana sięgały brody. Następnie prostujemy kończyny i znów powtarzamy tę czynność około 10–15 razy na minutę, aż do przybycia lekarza pogotowia lub odzyskania przytomności przez chorego. Jeśli jest obecna jeszcze druga osoba, polecamy aby jednocześnie unosiła i opuszczała kończyny górne. Nie należy jednak przesadzać w gorliwości ratowania. Znane są bowiem przypadki, że podczas „ratowania” porażonego i wykonywania sztucznego oddychania doznał on połamania żeber.

Sposoby wykonywania sztucznego oddychania przedstawia rys. 11–2. Metoda sztucznego oddychania zwana „usta-usta” polega na wdmuchiwaniu powietrza bezpośrednio do płuc porażonego.



11–2. Sposoby wykonywania sztucznego oddychania

Ratowanemu wyciąga się język na brodę przymocowując go opaską lub chustką do żuchwy i zaciska mu nozdrza palcami. Ratujący robi głęboki wdech i przykładając swe usta do ust nieprzytomnego wdmuchuje

własne powietrze wydechowe. Zabieg ten należy powtarzać rytmicznie 12 razy na minutę.

Przy stosowaniu metody „usta-usta” zamykamy szczelnie usta porażonego i powietrze wdmuchujemy przez nos.

Prowadzący sztuczne oddychanie powinien się zmieniać, gdyż jest to zabieg męczący. Porażonemu nie wolno wlewać do ust żadnych płynów.

Pytania sprawdzające

1. Omówić skutki działania prądu na organizm ludzki.
2. Omówić środki zmierzające do uniknięcia niebezpieczeństwa porażeniem prądem.
3. Do czego służą środki ochronne?
4. Czym powinno charakteryzować się uziemienie?
5. Co to jest zerowanie ochronne?
6. Omówić sposoby ratowania człowieka porażonego prądem elektrycznym.

LITERATURA

1. M. Białko *Układy mikroelektroniczne*, WKiŁ, Warszawa 1969.
2. J. Dreszer *Zarys elektrotechniki*, PWSZ, Warszawa 1971.
3. Z. Grzesiczak *Elementy mechaniczne w elektronice*, PWSZ, Warszawa 1972.
4. J. Jawecki *Podzespoły elektroniczne*, WSiP, Warszawa 1974.
5. Z. Kleczko *Podstawy elektroniki i układy elektroniczne*, PWSZ, Warszawa 1971.
6. H. Meluzin *Elektrotechnika — przykłady, obliczenia, zadania*, WKiŁ, Warszawa 1972.
7. E. Niecejowski, *Elektrotechnika*, PWSZ, Warszawa 1972.
8. W. Oleksiuk, K. Paprocki *Elementy mechaniczne w elektrotechnice*, WSiP, Warszawa 1975.
9. J. Sawicki *Podzespoły elektrotechniki*, PWSZ, Warszawa 1972.
10. W. Tryliński *Zegary i zegarki mechaniczne oraz urządzenia zegarowe elektromechaniczne* (wyd. II), WPW, Warszawa 1960.
11. Praca zbiorowa pod red. J. Kijaka. *Konstruowanie urządzeń elektronicznych*, WNT, Warszawa 1975.

Witajcie miłośnicy zegarmistrzostwa ☺,

*Niniejszym prezentuję pierwszy w Polsce i na Świecie
zarchiwizowany komplet polskiej literatury zegarmistrzowskiej.*

Zachowany na wieki wieków dla potomnych w postaci cyfrowej.

*Mam nadzieję, że ta nietypowa publikacja przyczyni się do
podtrzymania tego fachu przed wymarciem i dzięki takim hobbystom
jak ja i Wy, upowszechni się masowo choćby dzięki usługom przez internet.*

*Jeżeli natraficie na rzadkie pozycje z tej dziedziny, dajcie proszę znać
i w miarę technicznych możliwości dodam ją do obecnego kompletu
12-stu tomów „Zegarmistrzostwa” Podwapińskiego, polskiego Sieverta
„Podręcznik zegarmistrza” z 1939 roku, „Nowoczesnego zegarmistrza”
Jendritzkiego, „Słów kilka...” Czapka z 1850 roku i innych.*

Miłej lektury ☺

Piotr Samulik

Email: samulikp@o2.pl

[http:// crazywatches.w.interia.pl](http://crazywatches.w.interia.pl)

