

CZĘŚĆ I.

Wielkości charakterystyczne dla prądu elektrycznego.

ROZDZIAŁ I.

Natężenie prądu.

Zasadniczą cechą prądu elektrycznego jest jego natężenie inaczej wielkość lub siła.

Natężenie prądu elektrycznego określamy na zasadzie działania magnetycznego. Dla ilościowego określenia natężenia prądu konieczne są zatem wyznaczalne ilościowo pojęcia masy magnetycznej i natężenia pola magnetycznego.

1. Masa magnetyczna. Masa magnetyczna jest to wielkość, określająca własności magnetyczne ciał namagnesowanych. Wyobrażamy sobie, że jest ona skupiona w biegunach magnetycznych, stanowiących punkty przyłączenia wypadkowej wszystkich sił równoległych, działających na dany biegun magnesu.

Biegun magnesu — oznacza tutaj tę część magnesu, pojętą objętościowo, która znajduje się w pewnym jednoznacznym: północnym lub południowym stanie magnetycznym. Siły zaś równoległe, wspomniane w powyższym twierdzeniu, wyobrażamy sobie, jako pochodzące od działania innych biegunów magnetycznych, znajdujących się w nieskończenie wielkiej odległości.

Ilościowo określa się pojęcie masy magnetycznej ze wzoru Coulomb'a:

$$f = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

gdzie f oznacza siłę, działającą pomiędzy dwiema masami magnetycznymi m_1 i m_2 , skupionymi w punktach, znajdujących się w odległości r od siebie

μ — współczynnik, zależny od rodzaju ośrodka, w którym znajdują się masy magnetyczne; nazywamy go przenikalnością magnetyczną ośrodka, z tym samym współczynnikiem spotykamy się później jeszcze w innym wzorze określającym wielkość indukcji magnetycznej, będzie to ten sam współczynnik μ .

Kierunek siły leży na prostej, łączącej punkty, w których znajdują się masy m_1 i m_2 . Zwykle północną masę magnetyczną uważamy za dodatnią, a południową za ujemną.

Siła spóldziałania mas może więc być tu dodatnią lub ujemną stosownie do tego, czy masy magnetyczne obie są północne albo południowe, czy też jedna jest północna, a druga południowa. Siła dodatnia wyraża odpychanie się mas.

Zakładając w powyższym wzorze dla powietrza $\mu = 1$ i wyrażając f w dynach, a r w centymetrach, otrzymamy następujący wzór, określający wielkość masy magnetycznej w jednostkach bezwzględnych elektromagnetycznych:

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

2. Natężenie pola magnetycznego. Mając ściśle określenie masy magnetycznej, możemy przejść do następującego pojęcia: natężenia pola magnetycznego.

Przestrzeń, w której na bieguny magnesu działają siły magnetyczne, nazywamy polem magnetycznym. Na różnoimienne bieguny siły te działają w przeciwne strony. Wielkość tych sił zależy od dwóch czynników: z jednej strony od stanu magnetycznego magnesu na który te siły działają, a więc od mas magnetycznych biegunów, a z drugiej strony od stopnia zmian magnetycznych w eterze¹⁾.

Oznaczmy przez F siłę, działającą na północną masę magnetyczną, umieszczoną w danym punkcie pola magnetycznego, przez m — wielkość tej masy magnetycznej, przez H — natężenie pola magnetycznego, t. j. wielkość, która określa stopień zmian magnetycznych w eterze.

W nauce o elektromagnetyzmie przyjmujemy, że F jest proporcjonalne do H , więc stąd związek pomiędzy temi wielkościami wyrażamy wzorem:

$$F = H \cdot m,$$

albo:

$$H = \frac{F}{m}.$$

O ile F podamy w dynach, m w jednostkach bezwzględnych elektromagnetycznych, to i H wypadnie w bezwzględnych jednostkach elektromagnetycznych.

¹⁾ Tak nazywamy ośrodek, wypełniający przestrzeń wszechświata po usunięciu materji waźkiej.

Natężenie pola jest wielkością kierunkową i podobnie jak siła może być wyrażona wektorem. Kierunek natężenia określa się kierunkiem siły, działającej na północną masę magnetyczną, umieszczoną w polu.

Linje, styczne w każdym punkcie do kierunku natężenia pola, nazywamy linjami sił. Linjom tym nadajemy kierunek zgodny z kierunkiem natężenia pola. Linje sił są więc linjami geometrycznymi z określonym zwrotem kierunku; na rysunkach wyrażamy to strzałkami, umieszczonymi na tych linjach.

3. Pole magnetyczne, wywołane przez prąd elektryczny.

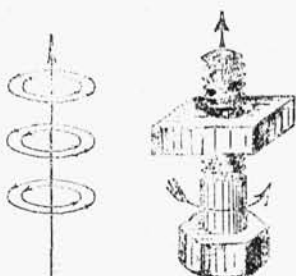
Wiemy z doświadczenia, że wokół prądu elektrycznego powstaje zawsze pole magnetyczne.

Linja magnetyczna i prąd mają kierunek. Za kierunek prądu przyjmujemy dowolnie kierunek ruchu elektryczności dodatniej lub też kierunek odwrotny do kierunku ruchu elektryczności ujemnej.

Opierając się na kierunku natężenia pola magnetycznego, wywołanego przez prąd, możemy określić kierunek prądu elektrycznego. Gdy prąd przepływa wzdłuż bardzo długiego¹⁾ przewodnika prostego, linje sił magnetycznych, wywołane przez ten prąd, znajdują się w płaszczyznach prostopadłych do linii prądu i mają kształt kół, których środki leżą na linii prądu; gdy przewodnik ma kształt inny, to inny kształt mają i linje; wiemy o tem z doświadczenia. Doświadczenie również wskazuje, że kierunek linii sił magnetycznych można odwrócić, przemieniając bieguny źródła prądu, wywołującego prąd w rozważanym przewodniku; z tego wynika, że pole

magnetyczne wywołane prądem zależy od kształtu przewodnika i od kierunku prądu.

Związek pomiędzy kierunkiem prądu i kierunkiem linii sił, t. j. kierunkiem natężenia pola magnetycznego, przyjęty w nauce elektromagnetyzmu, wyraża się najprościej w sposób następujący (patrz rys. 1): obracając śrubę z prawym gwintem w kierunku sił magnetycznych, otrzymamy ruch postępowy tej śruby w kierunku prądu elektrycznego.



Rys. 1.

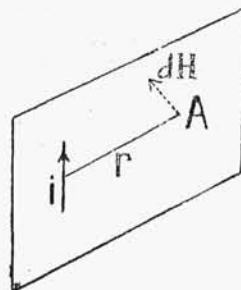
4. Natężenie prądu. Natężenie prądu elektrycznego przyjęto wyznaczać ze wzoru ułożonego na podstawie prac uczonych Biot'a, Savart'a i Laplace'a, a określającego wielkość natężenia pola dH , wywołaną w punkcie A (rys. 2.) przez nieskończenie mały odcinek prądu, o długości dl . Gdy oznaczymy przez r odległość środka odcinka dl od punktu A , przez α — kąt między kierunkami r i dl , a przez i — natężenie prądu,

¹⁾ Ściśle — nieskończenie długiego.

to związek pomiędzy przytoczonymi wyżej wielkościami wyrażamy, ułożonym przez Laplace'a, wzorem:

$$dH = \frac{dl \cdot i}{r^2} \cdot \sin \alpha.$$

Wzór ten został obmyślony w ten sposób, aby wyniki obliczenia teoretycznego wypadków praktycznych były zawsze zgodne z doświadczeniem w granicach błędów pomiarów. Uwaga ta dotyczy oczywiście tylko zależności natężenia pola od długości przewodnika, odległości r i kąta α ; wielkości te określają położenie i postać przewodnika.



Rys. 2.

Proporcjonalność natężenia pola do natężenia prądu i jest założeniem, na którym opiera się ilościowe określenie pojęcia natężenia prądu¹⁾.

Względne położenie prostych, wyznaczających prąd i i natężenie pola, jest zgodnie z doświadczeniem takie, jak wskazuje rys. 2, dH jest tu prostopadłe do płaszczyzny przechodzącej przez dl i r .

Kierunek zaś dH odpowiada przytoczonemu powyżej prawidłu śruby.

Dla określenia bezwzględnej jednostki elektromagnetycznej natężenia prądu zwróćmy się do układu praktycznie wykonalnego.

Jak wskazuje rys. 3. prąd płynie po okręgu koła o promieniu R i wywołuje w środku koła natężenie pola magnetycznego H . Wielkość natężenia pola w środku koła wyznaczmy, dodając natężenia nieskończenie małe, wywołane przez nieskończenie małe cząstki obwodu z prądem.

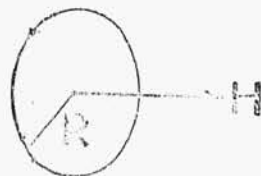
Mając na względzie, że $r = R$, a $\alpha = 90^\circ$, otrzymamy:

$$H = \int_0^{2\pi R} \frac{i}{R^2} \cdot dl = \frac{i}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{2\pi i}{R}, \text{ skąd: } i = \frac{H \cdot R}{2\pi}$$

Kierunek wypadkowego natężenia jest prostopadły do płaszczyzny koła.

Gdy H jest wyrażone w jednostkach bezwzględnych elektromagnetycznych, a R w cm, to z tego wzoru obliczymy i t. j. natężenie prądu w jednostkach bezwzględnych elektromagnetycznych.

Jednostka praktyczna — jeden amper — jest dziesięć razy mniejszą od bezwzględnej. A więc $1 \text{ amper} = 0,1$ bezwzględnej jednostki elektromagnetycznej²⁾.



Rys. 3.

Prądy elektryczne, mające zastosowanie w prak-

¹⁾ Zamiast mówić natężenie prądu, mówi się nieraz siła prądu, a nawet poprostu prąd.

²⁾ Jest to teoretyczne określenie wielkości ampera. Praktycznie natężenie jednego ampera ma prąd, który w ciągu jednej sekundy wydziela 0,001118 gr. srebra z roztworu azotanu srebra w najdogodniejszych warunkach rozkładu.

tyce, bywają stałe i zmienne co do czasu i co do miejsca w przewodniku. Najpospolitszy rodzaj prądu jest tak zwany prąd stały; natężenie jego jest niezmiennie w czasie i jednakowe na całej nierozgałęzionej części obwodu. Następnie szerokie zastosowanie techniczne mają tak zwane prądy zmienne; tu natężenie prądu zmienia kierunek i wielkość okresowo, ale długość okresu i wielkości maksymalne a także i prawo zmienności pozostają niezmiennie w czasie, a nadto są one zwykle jednakowe na całej długości nierozgałęzionego obwodu.

Stosowane są także prądy tętniące, których wielkość zmienia się okresowo z czasem, ale kierunek pozostaje zawsze ten sam. Takie prądy można rozważać jako sumę prądu stałego i zwykłego prądu zmiennego.

W telegrafii bez drutu używane są prądy t. zw. oscylacyjne. Natężenie i kierunek prądu oscylacyjnego zmieniają się również okresowo, ale prąd z biegiem czasu często zmniejsza się; stałym jest okres zmian. W obwodzie nierozgałęzionym w danej chwili nie zawsze natężenie prądu jest w każdym miejscu jednakowe.

Wreszcie, rozważając rozmaite zjawiska, zachodzące w obwodach elektrycznych, wypada mieć do czynienia z prądami najrozmaitszej zmienności.

Gdy prąd jest stały, to, mówiąc o natężeniu prądu, przebiegającego w pewnym obwodzie, mamy na myśli wielkość jego niezmienną w czasie i stałą na całej długości nierozgałęzionego przewodnika, jednoznacznie więc określoną co do czasu i miejsca na przewodniku, bez dokładniejszych objaśnień.

Inaczej sprawa się przedstawia, gdy prąd jest zmienny. W tym przypadku, mówiąc o natężeniu prądu i chcąc określić je ściśle, musimy podać tę chwilę, w której taki prąd przepływa, a nieraz i to miejsce, przez które on przepływa.

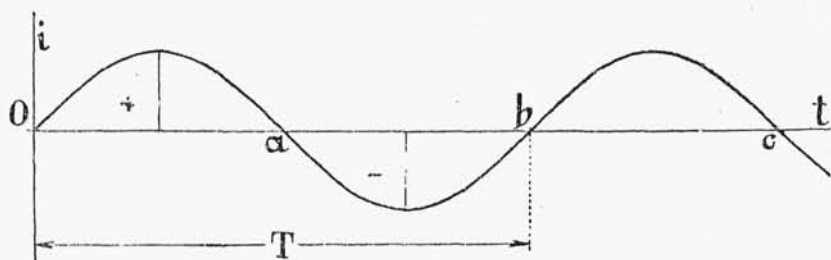
5. Wielkość skuteczna prądu zmiennego. Gdy jednak mamy do czynienia z prądem okresowo zmiennym, najczęściej stosowanym w praktyce, wtedy ważniejsze znaczenie od wartości prądu w danej chwili ma wartość natężenia prądu skuteczna (inaczej efektywna albo czynna), którą określamy jako pierwiastek kwadratowy z przeciętnej z kwadratów wartości chwilowych prądu.

Założmy np., że prąd zmienia się z czasem według prawa sinusoidy i oznaczmy przez i_t — natężenie prądu w danej chwili t , przez I_m natężenie prądu maksymalne¹⁾ i przez T okres zmian; wtedy natężenie prądu w danej chwili da się wyrazić wzorem:

$$i_t = I_m \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

¹⁾ W całej książce, przy wykładzie prądów zmiennych, litera ze znakiem t u dołu oznacza wartość pewnej wielkości w chwili t , —, litera ze znakiem m u dołu oznacza wartość maksymalną, a ta sama litera bez żadnego znaczka — wartość skuteczną tej wielkości.

Prąd taki wyobraża wykres wskazany na rys. 4, z którego widzimy, że natężenie prądu z początku się wzmacnia, dochodzi do maksimum, na-



Rys. 4.

stępnie zmniejsza się do zera; potem wielkość prądu staje się ujemną (t. j. prąd płynie w przewodniku w odwrotną stronę) i w tym nowym kierunku natężenie prądu osiąga to samo maksimum, co poprzednio. Dalej natężenie prądu zmniejsza się znowu do zera, zmienia kierunek na taki, jaki był na początku i t. d. Czas T odpowiadający długości $o b$ nazywamy okresem

$$\frac{1}{T} = \nu$$

stanowi liczbę okresów prądu na sekundę, czyli tak zwaną częstotliwość prądu. Krzywa, wyrażająca w ten sposób zmienność prądu stosownie do wyżej podanego równania, nazywa się sinusoidą. (O wykreślaniu sinusoidy patrz rozdział ostatni).

Wielkość skuteczną prądu — I otrzymamy na podstawie następującego wzoru matematycznego:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \cdot \sin^2 \frac{2\pi t}{T} \cdot dt},$$

który wyraża pierwiastek kwadratowy ze średniej z kwadratów za okres T . Dla wszystkich okresów średnia będzie oczywiście ta sama. Rozwiązanie tej całki otrzymamy łatwo, jeżeli zauważymy, że:

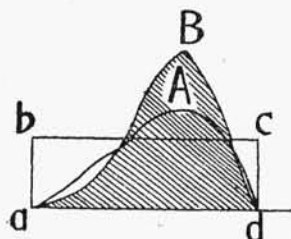
$$\begin{aligned} \int_0^T \sin^2 \frac{2\pi t}{T} dt &= \int_0^T \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \frac{4\pi t}{T} \right) dt = \\ &= \int_0^T \frac{1}{2} dt - \int_0^T \frac{1}{2} \cos \frac{4\pi t}{T} dt = \frac{T}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{4\pi} \left(\sin \frac{4\pi t}{T} \right)_0^T = \frac{T}{2}. \end{aligned}$$

Wobec tego:

$$I = \sqrt{\frac{I_m^2 \cdot T}{T \cdot 2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Taki jest związek pomiędzy maksymalną i skuteczną wartością prądu zmiennego, gdy prąd zmienia się według prawa sinusoidy.

Przy innym prawie zmienności, nie dającym się wyrazić prostym wzorem matematycznym, lecz również okresowym, najłatwiej jest rozwiązać zagadnienie sposobem wykreślnym. Załóżmy np., że zależność okresowo zmiennego prądu od czasu wyraża się dla połowy okresu krzywą *A*,



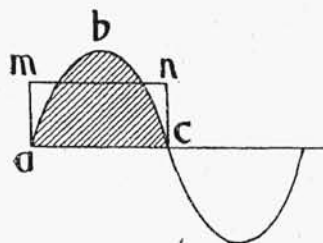
Rys. 5.

wskazaną na rys. 5. Podnosimy rzędne krzywej *A* do kwadratu i wykreślamy drugą krzywą *B*, przedstawiającą zmienność kwadratu prądu w zależności od czasu. Następnie na podstawie *a d* wykreślamy w jakimkolwiek sposób prostokąt *a b c d*, którego pole jest równe zakreskowanemu polu krzywej *B*; wysokość *a b* tego prostokąta jest średnią z kwadratów rzędnych krzywej *A*. Wymierzysz w odpowiedniej skali wysokość *a b* i wyciągnąwszy pierwiastek kwadratowy z otrzymanej wielkości, znajdziemy wielkość skuteczną prądu zmiennego. Oczywiście jest rzeczą, że w podobny sposób znaleźć można także wielkość skuteczną dowolnego prądu zmiennego, nawet nie okresowo zmiennego; trzeba tylko wtedy podać dokładnie czas, dla którego bierzemy przeciętną z kwadratów.

6. Wielkość średnia prądu. Można też obliczać i mierzyć średnie natężenie prądu w ciągu pewnego okresu czasu.

Przy prądach okresowo zmiennych pewne praktyczne znaczenie posiada średnia dla połowy okresu, t. j. dla *0 a* (rys. 4); w tym czasie prąd jest zawsze dodatni i ponieważ kształt krzywej zachowuje się dalej z biegiem czasu bez zmiany, to łatwo spostrzec, że obliczona w ten sposób średnia będzie wogóle średnim natężeniem prądu w ciągu dowolnej liczby całych półokresów, branych niezależnie od kierunku.

Dla sinusoidy taki średni prąd *I_s* znajdziemy w sposób następujący:



Rys. 6.

$$I_s = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \cdot \sin \frac{2\pi t}{T} \cdot dt$$

$$I_s = \frac{2 I_m}{T} \cdot \frac{T}{2\pi} \left(-\cos \frac{2\pi t}{T} \right)_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2}{\pi} \cdot I_m$$

Podobnie jak wielkość skuteczną prądu, można też znaleźć sposobem wykreślnym średnią jego wielkość dla połowy okresu. Określi się ona oczywiście wysokością prostokąta *a m n c* (rys. 6), mającego za podstawę

odcinek, wyrażający czas połowy okresu, a pole równe polu krzywej $a b c$, zakreskowanemu na rysunku.

7. Wielkość prądu w różnych punktach obwodu. Przy prądach okresowo zmiennych, najczęściej używanych w technice, częstotliwość zmian tych prądów jest tak mała w porównaniu z szybkością przenoszenia się wzdłuż przewodników bodźca, wprawiającego w ruch elektryczność, że przyjmujemy wartość chwilową wielkości prądu, a także wartość skuteczną i średnią prądu za niezmiennie na całej długości nierozgałęzionego obwodu. Wyjątek tu stanowią tylko obwody z prądami bardzo wielkiej częstotliwości lub też bardzo długie linie.
