

ROZDZIAŁ IV.

Siła elektromotoryczna.

1. Określenie zasadnicze. Pojęcie siły elektromotorycznej określamy w sposób następujący: Wyobraźmy sobie, jak wskazano na rys 11, obwód zamknięty, po którym płynie prąd elektryczny. Załóżmy, że pomiędzy punktami A i B obwodu zostaje pochłonięta energia, dopływająca z zewnątrz w jakiegokolwiek postaci. Twierdzimy wtedy, że w części obwodu AB , w tym miejscu, gdzie odbywa się owa przemiana energii, mamy siłę elektromotoryczną E_1 , która określa się ściśle wzorem:

$$dA = E_1 \cdot dq$$

gdzie dA — energia dopływająca z zewnątrz, dq — ilość elektryczności, która przepłynęła od A do B w tym czasie, kiedy pochłonięta została ilość energii dA .

Jeżeli natężenie prądu będzie i_t , a czas dt , to, ponieważ $dq = i_t dt$, możemy więc napisać:

$$dA = E_1 \cdot i_t \cdot dt;$$

a dla skończonego okresu czasu t :

$$A = \int_0^t E_1 \cdot i_t \cdot dt.$$

Gdy E_1 i i_t w ciągu czasu t mają wielkości stałe, to

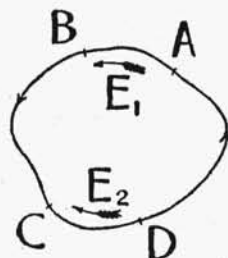
$$A = E_1 \cdot I \cdot t,$$

albo:

$$A = E_1 \cdot Q.$$

Kierunek tej siły elektromotorycznej E_1 uważamy za zgodny z kierunkiem prądu.

Może zachodzić inny jeszcze przypadek, gdy pomiędzy punktami C i D obwodu wywiązuje się energia. W tym razie również twierdzimy,



Rys. 11.

że mamy w tej części obwodu siłę elektromotoryczną E_2 określoną ściśle wzorem:

$$dA = E_2 \cdot dq,$$

albo jak poprzednio:

$$A = E_2 \cdot I \cdot t$$

$$\text{ i } \quad A = E_2 \cdot Q,$$

gdzie A — energia, wywiązująca się pomiędzy punktami C i D , w tym czasie, gdy od C do D przepłynęła ilość elektryczności Q .

Kierunek siły elektromotorycznej E_2 uważamy w tym razie za odwrotny względem kierunku prądu¹⁾.

Z podanych tu wyrażeń siły elektromotorycznej widzimy, że wymiar tej wielkości jest taki sam, jak wymiar napięcia elektrycznego. Wobec tego do mierzenia siły elektromotorycznej stosujemy te same jednostki, co i do mierzenia napięcia.

2. Siła elektromotoryczna w elektrostatyce. Pojęcie siły elektromotorycznej można jeszcze wyjaśnić w inny sposób.

Rozważmy wskazany na rys. 12 odcinek przewodnika AB , usunięty od wszelkich wpływów, działających na ładunki elektryczne.

Przewodnik ten, według pojęć współczesnych, ma ładunki elektryczne dodatnie i ujemne, rozłożone jednostajnie w całej swojej objętości²⁾.

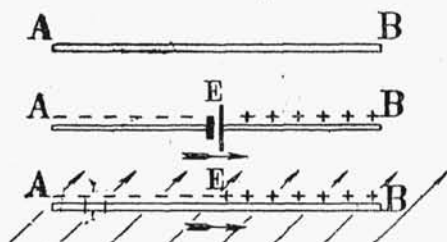
Z chwilą, gdy umieścimy w środku tego przewodnika ogniwo galwaniczne, jak wskazano na rys. 13, lub też jeśli poddamy go indukcyjnemu działaniu pola magnetycznego, np. poruszając przewodnik w tym polu (rys. 14), jednostajność układu ładunków, jak to wiadomo z doświadczenia, będzie naruszona: jedna połowa przewodnika naelektryzuje się dodatnio, a druga ujemnie.

Tego rodzaju układ ładunków jest statyczny, wypadkowa więc wszystkich sił, działających na te ładunki, musi być równa zero.

Wiadomo, że ładunki różnoimienne przyciągają się; wskutek więc oddziaływania na siebie ładunków, wywiązują się siły, które jednak równoważy inna siła odwrotna, pochodząca od tak zwanej siły elektro-

1) Bez wyobrażenia takiej siły elektromotorycznej obchodzimy się tylko w jednym przypadku, gdy w jednorodnym przewodniku wywiązuje się ciepło, tak zwane ciepło Joule'a (patrz rozdział XIX, § 1).

2) Każde ciało, będące w stanie elektrycznie obojętnym, posiada w każdej cząsteczce ładunki elektryczne dodatnie i ujemne w równych ilościach.



Rys. 12, 13, 14.

torycznej. W przypadku, wskazanym na rys. 13, mamy siłę elektromotoryczną ogniwa, a w przewodniku na rys. 14 siłę elektromotoryczną indukcji.

Pod wpływem współdziałania ładunków ładunek dodatni przewodnika A B na rys. 13 przesunąłby się na lewo; czynnik więc, równoważący powyższe działanie, musi być skierowany w prawo. Taki właśnie kierunek przyjmujemy dla siły elektromotorycznej ogniwa. Siła elektromotoryczna sprawia zatem przesunięcie ładunków w przewodnikach i utrzymuje je w nowym położeniu.

Z określenia siły elektromotorycznej, wyprowadzonego na przykładzie obwodu z prądem, widać jednak, że, nie barząc na nazwę, siła elektromotoryczna nie jest siłą w mechanicznym tego słowa znaczeniu.

Na przykładzie statycznym własność powyższa da się uwydatnić jeszcze wyraźniej. Przedtem jednak ustalmy jeszcze jedno pojęcie elektrostatyczne.

Gdy w przestrzeni, gdzie działają siły elektryczne, t. j. w polu elektrycznym na ładunek Q działa pewna siła f , to własności pola elektrycznego¹⁾ w tym punkcie, gdzie znajduje się ładunek Q , określają się wielkością F , którą nazywamy natężeniem pola elektrycznego i wyrażamy wzorem:

$$f = F \cdot Q, \text{ skąd } F = \frac{f}{Q}.$$

Poprzednio dla określenia siły elektromotorycznej podaliśmy wzór,

$$A = E \cdot Q.$$

Załóżmy, że praca A została wykonana przy przesuwaniu ilości elektryczności Q w polu elektrycznym o natężeniu F wzdłuż drogi l , zgodnej co do kierunku z F . Wtedy:

$$A = f l = F \cdot Q \cdot l,$$

a więc:

$$E \cdot Q = F \cdot Q \cdot l$$

$$E = F \cdot l.$$

Siła elektromotoryczna równa się zatem iloczynowi natężenia pola przez drogę. O ile będziemy mieli pole elektryczne niejednostajne, to wprowadzimy do wzoru nieskończenie mały odcinek drogi dl i wtedy otrzymamy wzór:

$$dE = F \cdot dl.$$

Takie wyrażenie dla siły elektromotorycznej wyjaśnić można na przykładzie, przedstawionym na rys. 14.

W każdym odcinku przewodnika AB powstaje pod wpływem pola magnetycznego siła elektromotoryczna. Rozważając odcinek nieskończenie

¹⁾ O polu elektrycznym patrz Rozdział IX.

małej długości dl , mamy w nim nieskończenie małą siłę elektromotoryczną dE , skierowaną na prawo, a jednocześnie ładunki, zebrane na przewodniku AB , wywołują pewne natężenie pola elektrycznego — F , skierowane na lewo. Otóż siła elektromotoryczna jest tutaj tym czynnikiem, który wywołuje pole o natężeniu $+F$ zwrócone na prawo. Wielkość tego natężenia określamy wzorem:

$$F = \frac{dE}{dl}.$$

Tak, że ostatecznie wewnątrz przewodnika natężenie pola elektrycznego równa się zeru i ładunki mogą być w równowadze.

Kierunek siły elektromotorycznej przyjmujemy za zgodny z wywołanym przez nią natężeniem pola.

Cała siła elektromotoryczna na długości AB wyrazi się oczywiście całką:

$$E = \int_{AB} F \cdot dl.$$

Podane tu wzory dla siły elektromotorycznej wskazują, że w każdym polu elektrycznym może być mowa o sile elektromotorycznej jako całce iloczynów natężenia pola przez cząstki drogi wzdłuż linii natężenia¹⁾.

3. Kształt krzywej siły elektromotorycznej. Siły elektromotoryczne mogą być niezmiennie w czasie co do wielkości i co do kierunku, lub też mogą się zmieniać w najrozmaitszy sposób. Uwagi, przytoczone przy omawianiu napięć zmiennych, stosują się w całości do sił elektromotorycznych. Na szczególną jednak uwagę przy siłach elektromotorycznych zasługuje współczynnik, który jest charakterystyczny dla kształtu krzywej siły elektromotorycznej; nazywamy go współczynnikiem kształtu krzywej i określamy jako stosunek wartości skutecznej do średniej.

Oznaczmy go przez k i obliczmy jego wartość dla sinusoidy,

$$k = \frac{E}{E_s} = \frac{\sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} E_t^2 dt}}{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} E_t dt}$$

albo:

$$k = \frac{E_m \frac{1}{\sqrt{2}}}{E_m \frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11.$$

¹⁾ Patrz jeszcze bardzo charakterystyczny przypadek powstawania siły elektromotorycznej w pierścieniu, znajdującym się w zmiennym polu magnetycznym (Rozdział XXIII, 5).

Dla krzywych bardziej ostrych wypadnie k większe, natomiast dla krzywych bardziej płaskich niż sinusoida, współczynnik kształtu będzie mniejszy od powyższego.

P r z y k ł a d y. Przedewszystkiem podaję tu dwie linie najbardziej charakterystyczne, wyrażające siłę elektromotoryczną okresowo-zmienną. Na rys. 15 linia łamana jest ułożona w trójkąty, a na rys. 16 w prostokąty. Średnia siła elektromotoryczna dla połowy okresu (cd a do c) (rys. 15) jest taka sama, jak dla ćwierci okresu (od a do b), i równa się $\frac{1}{2} E_m$ (E_m oznacza wartość maksymalną). Pierwiastek kwadratowy ze średniej z kwadratów dla tejże części okresu znajdziemy ze wzorów następujących:

$$E = \sqrt{\frac{1}{T/4} \int_0^{T/4} E_t^2 dt},$$

w powyższym wzorze

$$E_t = \frac{E_m}{T/4} \cdot t^1)$$

a więc:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{3}}$$

a

$$k = \frac{E}{E_s} = \frac{2 \cdot E_m}{\sqrt{3} \cdot E_m} = 1,15.$$

Dla linii rys. 16 średnia i pierwiastek kwadratowy ze średniej z kwadratów są równe, a więc współczynnik kształtu będzie:

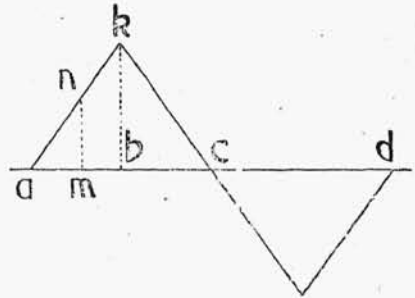
$$k = 1.$$

Są takie kształty krzywych siły elektromotorycznej, jak np. na rys. 17, dla których współczynnik kształtu można wyznaczyć bardzo łatwo

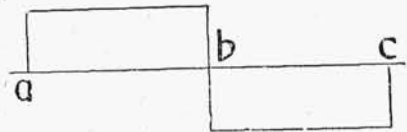
¹⁾ Wzór ten otrzymujemy stąd, że, jak to widać z rysunku, na podstawie podobieństwa trójkątów: $\frac{mn}{am} = \frac{bk}{ab}$,

a $mn = E_t$, $am = t$; $bk = E_m$; $ab = \frac{T}{4}$ (cały okres ciągnie się od a do d), więc:

$$\frac{E_t}{t} = \frac{E_m}{\frac{T}{4}} \text{ skąd } E_t = \frac{E_m}{\frac{T}{4}} \cdot t.$$

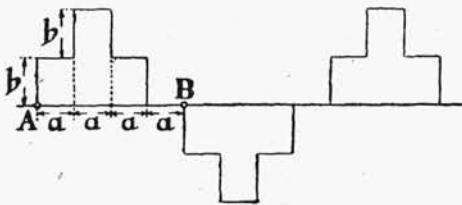


Rys. 15.



Rys. 16.

geometrycznie. Ponieważ współczynnik nie może zależeć od skali, wybranej dla wykreślenia krzywej, więc, oznaczwszy odcinki rzędnych przez



Rys. 17.

b , a odcinki odciętych przez a , jak wskazano na rysunku 17, łatwo znajdziemy omawiany współczynnik, stosując we wzorach te oznaczenia.

Ponieważ pół okresu dla rozważonej krzywej odpowiada odległości od A do B , średnia rzędna na pół okresu wyrazi się wzorem:

$$\frac{2ab + a2b}{4a} = b.$$

Średnią z kwadratów otrzymamy, podnosząc rzędne do kwadratu i pisząc wzór analogiczny do poprzedniego:

$$\frac{2ab^2 + a(2b)^2}{4a} = \frac{3}{2} b^2.$$

Współczynnik kształtu będzie:

$$k = \frac{\sqrt{\frac{3}{2}b^2}}{b} = \sqrt{\frac{3}{2}} = 1,225.$$