

XI OLIMPIADA FIZYCZNA (1961/1962). Stopień II, zadanie teoretyczne – T3

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Czesław Ścisłowski, <i>Fizyka w Szkole</i> nr 3, 1962; Piotr Halfter: Olimpiady fizyczne XI i XII. PZWS, Warszawa 1966
Nazwa zadania:	Rola kondensatora w induktorze Ruhmkorffa
Działy:	Elektromagnetyzm
Słowa kluczowe:	indukcja elektromagnetyczna, prawo indukcji Faradaya, cewka, induktor, transformator, kondensator, uzwojenie pierwotne, wtórne, młoteczek

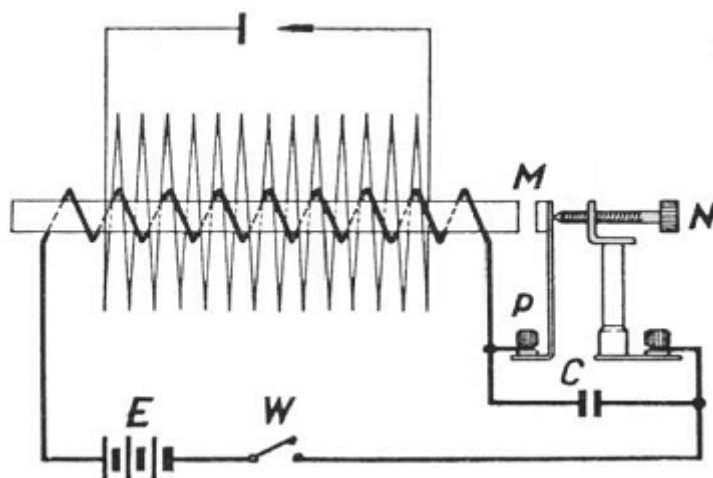
Zadanie teoretyczne – T3, zawody II stopnia, XI OF

W jakim celu stosuje się w induktorze Ruhmkorffa kondensator?
Uzasadnij odpowiedź.

Rozwiązanie

Induktor Ruhmkorffa zwany też cewką Ruhmkorffa jest przyrządem do transformowania prądu stałego w skali laboratoryjnej. Służy do uzyskania wysokich napięć. Schemat budowy cewki Ruhmkorffa typu szkolnego przedstawia rysunek 1. Z cienkich izolowanych drutów (lub płytek) z miękkiej stali sporządzono rdzeń ferromagnetyczny, zapobiegający w ten sposób powstawaniu w nim prądów Foucaulta. Uzwojenie pierwotne nawinięte na rdzeniu składa się z kilkudziesięciu (do kilkuset) zwojów stosunkowo grubego izolowanego drutu miedzianego. Szeregowo z uzwojeniem pierwotnym połączono przerywacz młoteczkowy (w cewkach Ruhmkorffa typu szkolnego) działający w taki sam sposób jak przerywacz w dzwonku elektromagnetycznym. Źródłem napięcia dla obwodu pierwotnego jest bateria ogniw E (zwykle akumulatorów).

Gdy za pomocą wyłącznika W zamkniemy obwód, rdzeń magnesuje się i przyciąga młoteczek M (krążek z miękkiej stali) umocowany na końcu sprężyny. Sprężyna zostaje odkształcona, odchyła się od końca śrubki N , do której przedtem dotykała. W ten sposób obwód prądu zostaje przerwany, rdzeń traci własności magnetyczne. Siła sprężystości



Rys. 1. Induktor Ruhmkorffa

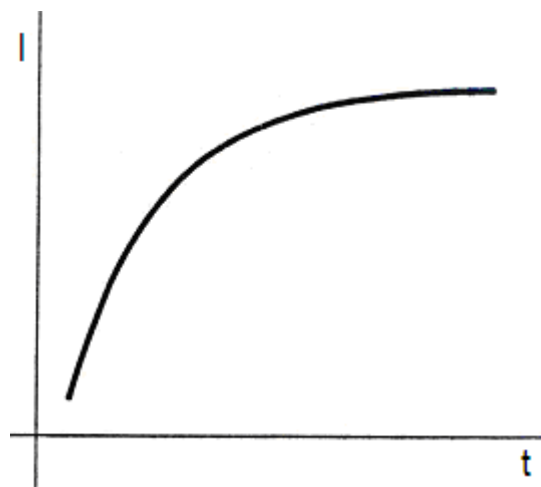
wzbudzona w sprężynie podczas jej odkształcenia, odrywa młoteczek M od rdzenia. Sprężyna powraca do postaci pierwotnej, styka się ze śrubką N i ponownie zamyka obwód. Prąd płynący w obwodzie magnesuje rdzeń, następuje nowe przerwanie prądu itd. Przerzywacz młoteczkowy Neefa daje możliwość uzyskania kilkudziesięciu przerw na minutę.

Na uzwojeniu pierwotnym nawinięte jest uzwojenie wtórne złożone z wielu tysięcy zwojów izolowanego cienkiego drutu, którego końce połączone są z zaciskami na obudowie induktora. Jeżeli zaciski te połączymy przewodem, to w chwili zamykania obwodu pierwotnego powstanie prąd indukcyjny w obwodzie wtórnym. Zgodnie z regułą Lenza kierunek siły elektromotorycznej w tym obwodzie jest przeciwny kierunkowi prądu w obwodzie pierwotnym. W chwili przerywania prądu w obwodzie pierwotnym powstaje w uzwojeniu wtórnym prąd o kierunku zgodnym z kierunkiem prądu, który płynął w obwodzie pierwotnym.

W ten sposób dopóki wyłącznik W pozostaje zamknięty, dopóty w obwodzie wtórnym powstaje siła elektromotoryczna indukcji elektromagnetycznej o zmiennym kierunku. Możemy się o tym przekonać dołączając do zacisków zamiast przewodu iskiernik złożony z dwóch małych kuleczek. Odległość między kuleczkami powinna być mała, wówczas przez powietrze przedzielające kuleczki przeskakują iskierki. Oznacza to że pomiędzy kuleczkami powstaje dość duża różnica potencjałów.

Dokładniejsze badania wykazują, że w chwili gdy obwód pierwotny zostaje otwarty, to w obwodzie wtórnym indukuje się wyższe napięcie niż wtedy, gdy obwód pierwotny zostaje zamknięty. Aby się o tym przekonać, unieruchamiamy przerywacz przez dociśnięcie sprężyny w ten sposób by młoteczek na stałe dotykał rdzenia cewki. Natomiast obwód pierwotny otwieramy i zamykamy posługując się wyłącznikiem W . Zwiększając stopniowo odległość między kulkami iskiernika zauważymy, że przy zamykaniu obwodu powstaje krótka iskierka, zaś przy otwieraniu powstaje iskra długa.

Duża różnica długości iskier spowodowana jest zjawiskiem indukcji własnej powstającej w obwodzie pierwotnym. Po zamknięciu obwodu z samoindukcją natężenie prądu w tym układzie narasta wykładniczo (rys. 2) osiągając stopniowo swą wartość ostateczną. Sprawia to że zmiana strumienia indukcji odbywa się w podobnym tempie. Natomiast wraz z otwarciem obwodu pierwotnego natężenie prądu uwarunkowanego źródłem zasilającym obwód spada do zera. Prąd zaś wywołany przez indukcję własną przepływa w postaci iskry przez przerwę pomiędzy śrubką N a sprężyną. Zanikanie prądu w obwodzie z samoindukcją odbywa się bardzo szybko.

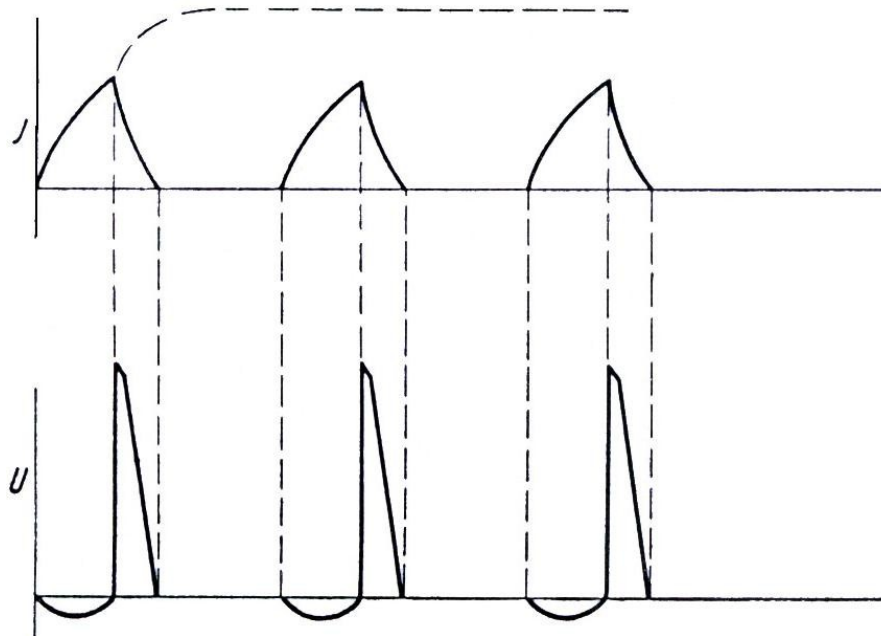


Rys. 2.

Czas jego trwania jest znacznie krótszy niż przy zamykaniu obwodu, przeto szybkość zmian strumienia indukcji magnetycznej jest większa. Z podstawowego prawa indukcji Faradaya wynika, że siła elektromotoryczna indukcji elektromagnetycznej jest proporcjonalna do prędkości zmian pola magnetycznego wytworzonego przez prąd wzbudzający (w obwodzie pierwotnym). Wobec tego siła elektromotoryczna indukcji w obwodzie wtórnym jest większa przy otwieraniu obwodu pierwotnego niż przy jego zamykaniu. Zatem różnica potencjałów na elektrodach iskiernika jest większa przy wyłączaniu niż przy włączaniu prądu.

Uzyskanie większej różnicy potencjałów wymaga zwiększenia prędkości zanikania pola magnetycznego, a więc skrócenia czasu zanikania prądu przy otwieraniu obwodu pierwotnego. Przeshkadza temu iskra powstająca w przerywaczu między śrubką S a sprężyną. Ona to przedłuża czas trwania prądu, a przez to sprawia zmniejszenie różnicy potencjałów na końcach uzwojenia wtórnego. Celem zmniejszenia szkodliwego wpływu iskry łączy się równolegle z przerywaczem kondensator C o pojemności paru μF . Po podłączeniu kondensa-

tora napięcie powstające na biegunach przerwy (wskutek przerywania prądu płynącego w pierwotnym uzwojeniu) może nie spowodować iskrzenia. Przyczyna tkwi w tym, że bieguny przerwy połączone z płytami kondensatora mają napięcie równe napięciu kondensatora. Kondensator ładuje się do napięcia, które zależy od ładunku i od pojemności kondensatora. Czas trwania ładowania kondensatora jest tym dłuższy im większa jest jego pojemność. Przy odpowiednio dobranej pojemności zanim kondensator naładuje się do napięcia iskrzenia, odchylenie sprężyny będzie już tak duże, że iskrzenie nie nastąpi.



Rys. 3.

Prąd w obwodzie pierwotnym szybko zanika, różnica potencjałów na końcach wtórnego uzwojenia znacznie wzrasta.

Ze względu na to, że podczas zamykania obwodu pierwotnego uzyskuje się napięcie znacznie mniejsze niż przy otwieraniu, można praktycznie biorąc – uważać induktor za źródło wysokiego napięcia jednokierunkowego. Rysunek 3 przedstawia wykresy natężenia prądu w uzwojeniu pierwotnym i napięcia w uzwojeniu wtórnym.