

Oscylograf i jego zastosowanie.

Równoległe z rozwojem zastosowań prądu elektrycznego zmiennego, rozszerzał się zakres badań zjawisk, zachodzących przy tym prądzie.

Dla głębszego poznania prądów zmiennych, wypadło szukać sposobów wyznaczania dokładnego funkcji, wyrażających zależność wielkości tych prądów od czasu.

W technice najczęściej stosują się prądy okresowo zmienne. W celu badania takich prądów Joubert urządził tarczę z kontaktem, który łączył źródło prądu z galwanometrem na krótką chwilę, raz jeden za każdym okresem prądu, zawsze w tej samej fazie. Przy takim urządzeniu, galwanometr dawał odchylenia, wskazujące napięcie źródła prądu w powyższej fazie. Przesuwając szczotkę stykającą się z kontaktem na kółku, można łączyć okresowo galwanometr ze źródłem prądu w innej fazie i t. d. W ten sposób, notując odchylenia galwanometru dla różnych faz w ciągu całego okresu, wyznaczamy zależność napięcia od czasu.

Przepuszczając badany prąd przez pewien opór bezindukcyjny i łącząc powyższy galwanometr z końcami tego oporu, wyznaczmy zależność wielkości prądu od czasu, ponieważ wiemy, że na zasadzie prawa Ohma napięcie i prąd w tym razie są wielkościami wprost proporcjonalnymi. Hospitalier przysposobił do powyższego galwanometru przyrząd samopiszący, w ten sposób, że wskazówka galwanometru wykreśla na papierze wprost linię krzywą, wyrażającą zależność wielkości prądu od czasu.

Kontakt Jouberta nie może jednak dać żadnych wyników, gdy mamy do czynienia z prądami dowolnie, nie zaś okresowo zmiennymi. W celu badania prądów dowolnie zmiennych wynaleziono oscylografię.

Dla napięć wysokich, powyżej tysiąca woltów, stosować można przyrząd Gehekego.

Istotną część tego przyrządu stanowi rurka szklana, wypełniona rozrzedzonym azotem; w rurce są zatopione dwa druciki niklowe, jak to wskazano na rys. 1.

Gdy przez taką rurkę przepuszczamy prąd pod napięciem kilku tysięcy woltów, ujemna elektroda pokrywa się świecąca warstwą, oznaczoną na rysunku kropkami; długość tej warstwy jest dość dokładnie proporcjonalna do siły prądu, przepływającego przez rurkę. Promienie, wybiegające z tej powłoki, można odbić od kręcącego się lustra, którego oś obrotu jest równo-

legła do drucików stanowiących elektrody, i wtedy spostrzeżemy w lustrze smugi, których kształt będzie zależał od tego jak się zmienia w czasie siła prądu, przepływającego między elektrodami.

Korzystając ze znacznej dzielności chemicznej promieni, wybiegających z ujemnej poświaty, możemy również utrwalić wyżej wspomniane smugi na płycie fotograficznej. W tym celu rzucamy za pomocą odpowiednich soczewek obraz świecącej katody na płytę fotograficzną, którą peruszamy dość szybko w kierunku prostopadłym do podłużnej osi rurki.

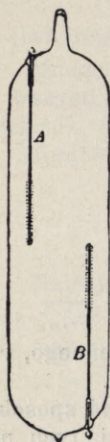
Na rys. 2 widzimy odbitkę z takiej fotografii, otrzymanej przy przepuszczaniu przez rurkę prądu z cewki indukcyjnej z przerywaczem młoteczkowym o małej częstotliwości drgań.

Znacznie dokładniejsze wyobrażenie o zmianie prądu dają oscylografy, oparte na ruchu przewodników z prądem w polu magnetycznym.

Wynalazcą oscylografów tego rodzaju jest Blondel, który w roku 1893 przedstawił Akademii Nauk w Paryżu sposób wyznaczania krzywych prądu, wyrażających zależność wielkości prądu od czasu, za pomocą galwanometrycznego urządzenia o bardzo małym okresie drgań własnych.

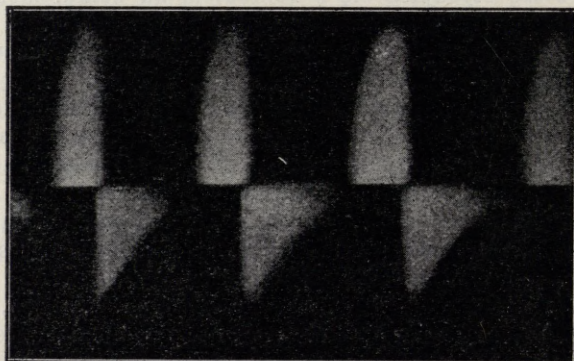
Zasada tego rodzaju oscylografów jest następująca.

W silnym polu magnetycznym pomiędzy biegunami elektromagnesu *N*, *S* (rys. 3), znajduje się pętelka *ss* utworzona z cienkiej wstążeczki metalowej.



a

Rys. 1.



Rys. 2.

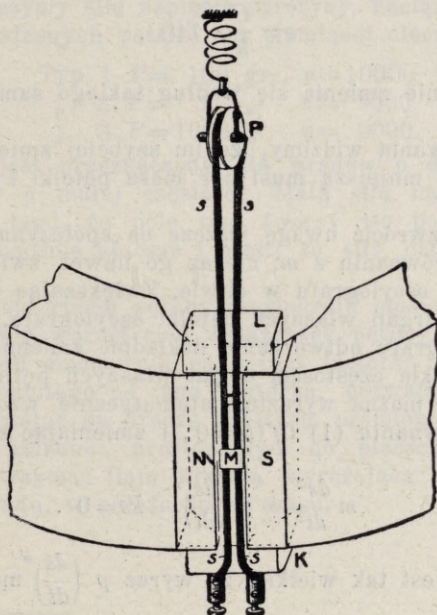
Pętelka ta jest przerzucona przez bloczek *P*, który ciągnie do góry sprężyna, przez co pętelka *ss* jest mocno napięta.

Przez pętelkę *ss* przepływa badany prąd, który wchodzi przez jeden koniec, a wychodzi przez drugi; kiedy kierunek prądu w lewej części pętelki zwrócony jest do góry, to w prawej na dół.

Pole magnetyczne oddziałuje na prąd w ten sposób, że stara się go przesunąć w kierunku prostopadłym do prądu i do linii sił magnetycznych

w jedną lub w drugą stronę, zależnie od kierunku prądu i linii pola. Stąd wynika, że jedna strona pętli przesunie się naprzód, druga zaś wtył; wychylenie to będzie tym większe, im silniejszy będzie prąd. Niewielkie wychylenia są proporcjonalne do siły prądu.

Gdy siła prądu zmienia się powoli, niema żadnej wątpliwości że wychylenia pętli mogą służyć do wyznaczenia siły prądu w każdej chwili. Jeżeli jednak zmiany prądu odbywają się bardzo szybko, to masa wstążeczek pętlicy może sprawić, że wychylenia nie będą dokładnie proporcjonalne do siły prądu.



Rys. 3.

Załóżmy, że prąd zmienia się w czasie według pewnej funkcji

$$i = f(t) .$$

Siła działania pola magnetycznego na ten prąd wyrazi się funkcją

$$F = Cf(t) .$$

Oznaczmy następnie poruszającą się masę pętli przez m , jej wychylenie przez s , współczynnik sprężystości przez k , a współczynnik oporu ośrodka, w którym porusza się pętka, przez p . Według praw mechaniki, ruch będzie odbywał się zgodnie z równaniem

$$m \frac{d^2s}{dt^2} + p \left(\frac{ds}{dt} \right)^n - Cf(t) + k \cdot s = 0 (1)$$

Stąd

$$Cf(t) = m \frac{d^2 s}{dt^2} + p \left(\frac{ds}{dt} \right)^n + ks.$$

Gdy k jest duże w porównaniu z m i p , możemy wyrazy $m \frac{d^2 s}{dt^2}$ i $p \left(\frac{ds}{dt} \right)^n$ opuścić, a wtedy wypadnie

$$Cf(t) = ks$$

i

$$s = \frac{C}{k} \cdot f(t).$$

Wtedy wychylenie zmienia się według takiego samego prawa jak prąd elektryczny.

Z tego rozumowania widzimy, że im szybciej zmienne prądy elektryczne mamy badać, tym mniejszą musi być masa pętli i tym mocniej ją trzeba naciągnąć.

Należy jednak zwrócić uwagę jeszcze na współczynnik p , który nie może być zbyt mały w porównaniu z m ; nieraz go nawet zwiększamy rozmyślnie, umieszczając pętlę oscylografu w oliwie. Zwiększając p , osiągamy tłumienie szybkich bardzo drgań własnych pętli oscylografu.

Zdolność oscylografu odtwarzania dokładnie zmienności prądu elektrycznego określa się zwykle częstością drgań własnych pętli.

Drgania własne można wyrazić matematycznie wzorem, który otrzymamy, zakładając w równaniu (1) $Cf(t) = 0$, i zmieniając znak wyrazu ks ; otrzymamy wtedy

$$m \frac{ds^2}{dt^2} + p \left(\frac{ds}{dt} \right)^n - ks = 0.$$

Założmy, że k jest tak wielkie, że wyraz $p \left(\frac{ds}{dt} \right)^n$ możemy pominąć, wtedy

$$m \frac{ds^2}{dt^2} - ks = 0.$$

Temu równaniu czyni zadość funkcja

$$s = A \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

Mamy więc tu drgania harmoniczne, których okres T z powyższych równań łatwo wyznaczyć; wypadnie

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Im mniejszy jest stosunek $\frac{m}{k}$, tym większa jest częstość drgań. Im większa jest więc częstość drgań własnych pętli oscylografu, tym dokładniej odtwarza on zmiany prądu.

Gdy mamy do czynienia z prądami bardzo szybko zmiennymi, przyspieszenie ruchu pętliki jest bardzo duże i wpływ składnika $m \frac{d^2s}{dt^2}$ w równaniu

(1) znaczny, o ile nie zmniejszymy odpowiednio poruszającej się masy.

Doświadczalnie stwierdzono, że można zupełnie dokładnie odtworzyć zmienność prądów o okresie 30 razy dłuższym od okresu własnych drgań pętliki oscylografu. Jeszcze ściślej, oczywiście, badać można wszystkie prądy o zmienności powolniejszej.

Dla przykładu przytaczam kilka liczb charakterystycznych dla oscylografu Duddella.

Przez P —oznaczmy siłę napięcia sprężyny, naciągającej pętlikę, przez n częstotść drgań*) własnych pętliki bez tłumiącej cieczy.

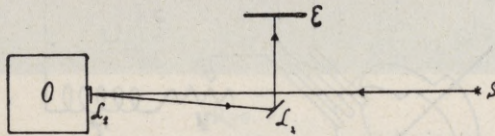
Typ 1 $P=100$ gr., $n=10000$

„ 2 $P=55$ „ $n=3000$

„ 3 $P=1000$ „ $n=2000$.

Typ pierwszy jest przeznaczony dla prądów o dużej częstotści, drugi i trzeci dla prądów o małej częstotści. Małą siłę naprężenia zastosowano w drugim typie dla tego, że pole tam tworzy się pod wpływem magnesu stałego, jest więc znacznie słabsze i przez to siły działające na pętlicę są niewielkie.

Dla spostrzegania ruchu pętlicy oscylografu stosowane są rozmaite sposoby. Gantz otrzymuje wprost cień wstążeczek pętlicy na ekranie, firma Siemens-Halske i Duddell umocowują na pętlicy lusterko M (rys. 3). Ruch promienia świetlnego, odbitego od tego lusterka, pozwala spostrzegać wychYLENIA pętlicy. Umieszczając na drodze odbitych promieni kliszę fotograficzną, poruszającą się w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ruchu promienia świetlnego, łatwo otrzymać linię krzywą wyrażającą zmienność wychYLENIA pętlicy, a więc i prądu, w zależności od czasu.



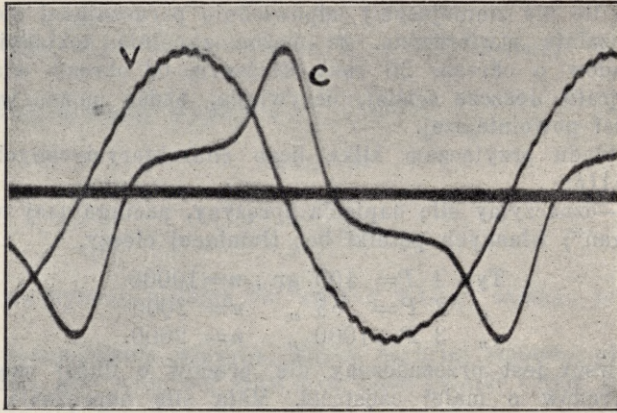
Rys. 4.

Gdy mamy do czynienia z prądami okresowo zmiennymi, krzywą linię, wyrażającą zmienność prądu w zależności od czasu, można oglądać na ekranie, jeżeli promienie odbite od lusterka pętlicy— L_1 (rys. 4)**), odbić raz jeszcze od drugiego lusterka, L_2 obracającego się koło osi, leżącej w płaszczyźnie ruchu promienia odbitego od lusterka pętlicy. To drugie lusterko musi obracać się synchronicznie ze zmiennością prądu. Wtedy promień, odbity od drugiego lusterka, zakreśli krzywą na ekranie E , ustawionym prostopadle do tych promieni.

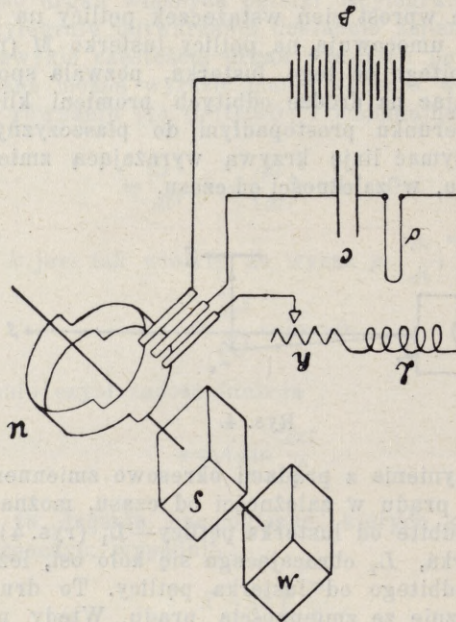
*) Liczba drgań na sekundę.

**) O—oscylograf, S—źródło światła.

Zwykle oscylograf zaopatruje się w dwie pętelki, umieszczone obok siebie w polu tego samego elektromagnesu, w celu otrzymania jednocześnie



Rys. 5.



Rys. 6.

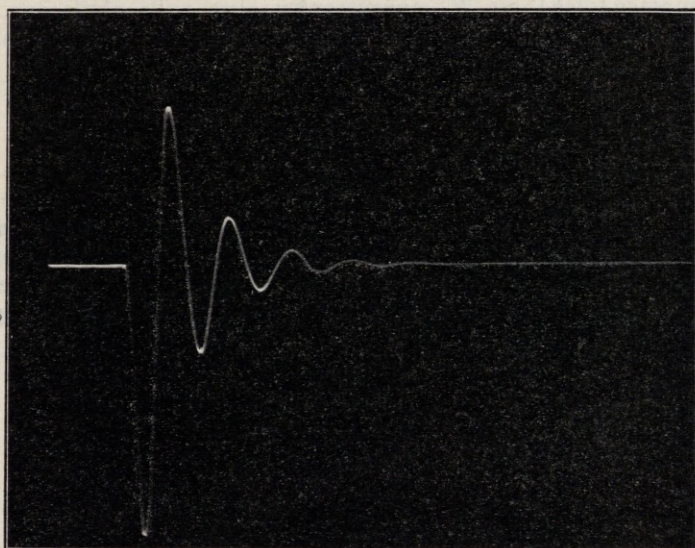
dwóch linii krzywych: jednej przedstawiającej zmianę siły prądu w zależności od czasu, drugiej—zmiannę napięcia. Pozatym pomiędzy lusterkami po-

wyższych pętelek umieszcza się jeszcze trzecie lustro nieruchome; promień odbity od tego lusterka zakreśla na ekranie linię prostą, stanowiącą oś odciętych dla powyższych krzywych.

Fotografowanie takich krzywych na ekranie nie przedstawia żadnej trudności wobec tego, że, przy odpowiednim ruchu lusterka L_2 , obraz na ekranie jest zupełnie nieruchomy. Na rys. 5 widzimy odbitkę jednej z takich fotografii (v —krzywa napięcia, c —krzywa prądu).

Również nieruchome obrazy w oscylografie można otrzymywać dla nieokresowych, krótkotrwałych zmian prądu, o ile zastosujemy przerywacze, za pomocą których można dokładnie powtarzać badane zjawisko wielokrotnie.

Wtedy obracamy lustro L_2 synchronicznie z działaniem powyższego przerywacza i krzywe, wywołane na ekranie zmiennością prądu w pęteli



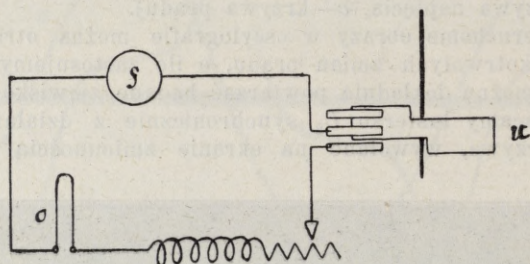
Rys. 7.

oscylografu, powtarzają się wielokrotnie, występując zawsze w tym samym miejscu ekranu.

Urządzenie tego rodzaju zastosowane do badania zjawisk ładowania i wyładowania kondensatora widzimy na rys. 6, U oznacza tu pierścień metalowy osadzony na osi, obracanej silnikiem stałego prądu M . Na tej samej osi mamy generator prądu zmiennego S . Pierścień U łączy przylegające do niego szczotki w ten sposób, że szczotka środkowa kolejno bywa połączona raz z prawą, to znów z lewą szczotką. Gdy środkowa szczotka jest połączona ze szczotką prawą, kondensator C ładuje się od baterji B , gdy zaś środkowa szczotka jest połączona ze szczotką lewą, kondensator wyładowuje się przez obwód z samoindukcją L i oporem bezindukcyjnym R . O —pętka oscylografu. Prąd generatora S wprawia w ruch silnik synchroniczny, obracający lustro L_2 oscylografu (rys. 4).

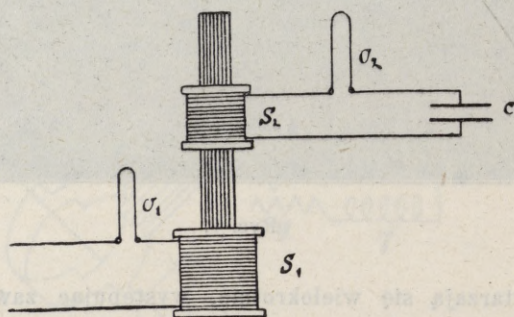
Na rys. 7 podaję odbitkę z fotografii zdjętej z obrazu krzywej oscylacyjnego wyładowania kondensatora *).

Szczególną wartość ma przedstawione tu urządzenie, ze względu na możliwość spostrzegania ciągłych zmian, jakie zachodzą w kształcie krzywej wyładowania przy zmianie współczynnika samoindukcji obwodu, wielkości oporu omicznego i pojemności.



Rys. 8.

Zmieniając obwód elektryczny na inny, mianowicie na taki jak wskazano na rys. 8, można obserwować na ekranie krzywe powstawania prądu elektrycznego zmiennego i stałego. Można także skorzystać z obydwu pętelek oscylografu, wprowadzając jedną z nich w obwód pierwotny, drugą zaś w ob-



Rys. 9.

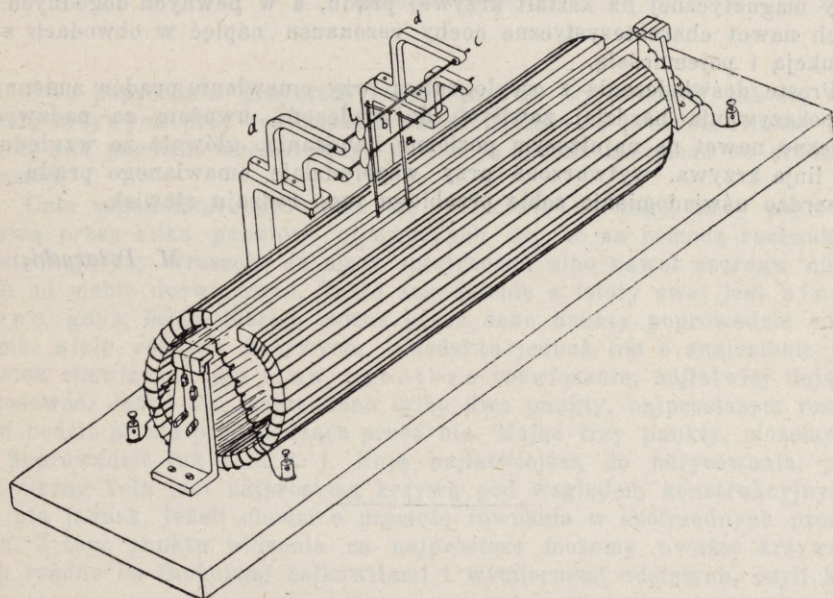
wód wtórny transformatora (rys. 9). Przepuszczając przez zwojnicę S_1 wyładowania kondensatora, w obwodzie wtórnym, utworzonym ze zwojnicy S_2 i drugiego kondensatora C , otrzymamy wahadłowy prąd elektryczny wtórny, wzniecony przez prąd pierwotny. Zmienność obydwu prądów w czasie mo-

*) Tego rodzaju układ urządzeń był pomyślany i wykonany przezemnie łącznie z panem G. Mellerem w pracowni elektrotechnicznej Politechniki Warszawskiej.

żemy jednocześnie widzieć na ekranie, gdzie otrzymamy obrazy krzywych jednego i drugiego prądu. Podnosząc zwojnicę S_2 , zobaczymy w jaki sposób wpływa prąd wtórny na kształt krzywej prądu pierwotnego.

Urządzenie oscylografu, odtwarzającego dokładnie zmienność prądu, wymaga umiejętności i wielkiego nakładu pracy, przez co jest drogie i niedostępne dla tych pracowni, które rozporządzają skromnymi środkami materialnymi. Nie trudno jest jednak zbudować oscylograf tani, za pomocą którego można uzmysłwić i ułatwić uczniom zrozumienie nieraz dość zawiłych zjawisk, zachodzących przy prądach zmiennych. W pracowni szkoły technicznej H. Wawelberga i S. Rotwanda w Warszawie przed kilku laty zrobiłem oscylograf konstrukcji następującej.

W kawałku rury żelaznej wyciąłem przedłużoną szczelinę (rys. 10); wzdłuż rury nawinałem zwoje drutu miedzianego izolowanego w ten sposób, aby wytworzyć w szczelinie silne pole magnetyczne. W tym polu naciągnąłem dwa druty mosiężne grubości około 0,2 mm. Do tych drutów w środku przymo-



Rys. 10.

owałem cienkie drewniane patyczki a , które innymi patyczkami b połączone są z małymi lusterkami L , przyklejonymi do poziomych drewnianych patyczków c . Patyczki c obracają się w otworach nóżek d , które są przesuwalne, aby umożliwić skierowanie w odpowiedni sposób promienia odbitego. Druty mosiężne oczywiście grają tu rolę pęteli powyżej opisanego oscylografu. Gdy prąd przebiega po tych drutach, wyginają się one w płaszczyźnie pionowej i wprawiają w ruch zwierciadełko, które obraca się dokoła osi poziomej.

Na lusterka rzucamy ze zwykłej latarni projekcyjnej dwie wiązki promieni. Promienie odbite skierowujemy na zwierciadło obrotowe (np. stosowane w akustyce dla doświadczeń z płytkami Königa). Po odbiciu od zwierciadła obrotowego, promienie padają na duży ekran. Gdy prąd zmienny przepływa przez druty mosiężne i zwierciadło obracamy, promienie świetlne zakreślają na ekranie krzywe, widoczne zdaleka, o amplitudzie kilkudziesięciu centymetrów.

Na podstawie powyżej podanej teorii oscylografu, niewątpliwie można twierdzić, że oscylograf prymitywny tego rodzaju nie może dać zupełnie ścisłego wyobrażenia o zależności wielkości zmian prądu od czasu; forma krzywej, zakreślonej przez promień musi różnić się od formy krzywej, wyrażającej istotną zmienność prądu w czasie. Ale szereg najważniejszych własności prądu elektrycznego można z łatwością pokazać; mając dość silne pole i mocno napiętszy druty, zupełnie dobrze uwydatnimy zmienność różnicy faz prądu i napięcia przy zmianie współczynnika samoindukcji obwodu; wyprzedzanie fazy prądu, przepływającego przez kondensator, względem napięcia; wpływ histerezy magnetycznej na kształt krzywej prądu, a w pewnych dogodnych warunkach nawet charakterystyczne cechy rezonansu napięć w obwodach z samoindukcją i pojemnością.

Proste doświadczenia z oscylografem przy omawianiu prądów zmiennych, (bez pokazywania bardziej zawiłych doświadczeń), uważam za nadzwyczaj pożyteczne nawet na najniższym poziomie nauczania, głównie ze względu na to, że linja krzywa, wytworzona przy współdziałaniu omawianego prądu, ułatwia bardzo uświadomienie sobie przebiegu tego rodzaju zjawisk.

M. Pożaryski.