

## **TRANSFORMATOR SKŁADANY Z KOMPLETEM PRZYRZĄDÓW DO INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ.**

**V 5-128**

Komplet służy do pokazów wielu doświadczeń na lekcjach fizyki w szkole.

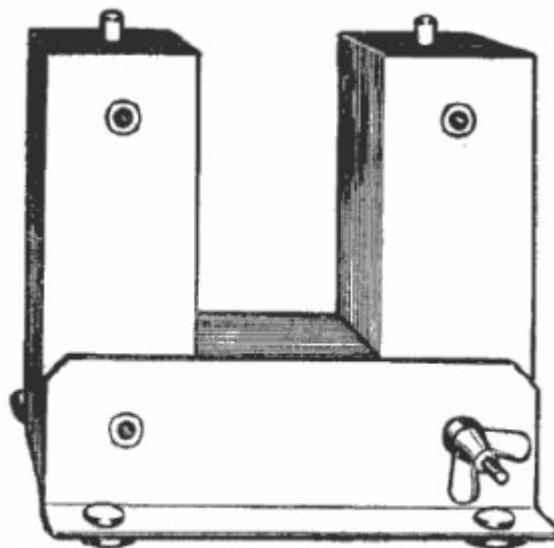
Skład kompletu:

1. Rdzeń.
2. Zwora.
3. Siedem cewek
4. Cewka z żarówką.
5. Cewka do spawania.
6. Wahadło Waltenthofena z nabiegunnikami.
7. Pierścień aluminiowy pełny.
8. Pierścień aluminiowy przecięty.
9. Rynienka do topienia metali.
10. Stojan.
11. Cewka-ramka.
12. Twornik.
13. Koła pasowe – małe i duże ze wspornikiem.
14. Galwanoskop.
15. Dwa magnesy ferrytowe toroidalne z wkładkami.
16. Magnes sztabkowy.
17. Pręt stalowy.
18. Opornica suwaka  $20 \Omega$ , 25 W.
19. Oprawka do żarówki telefonicznej.
20. Podstawka z trzema oprawkami do żarówek.
21. Dwie podstawki do baterijek.
22. Prostownik selenowy.
23. Sześć przewodów z wtyczkami.
24. Cztery przewody z wtyczkami i końcówkami widelkowymi.
25. Pas gumowy.
26. Trzy żarówki 6,3 V 0,3 A.
27. Żarówka 2,5 V 0,2 A.
28. Żarówka 12 V 0,05 A (telefoniczna).

Części kompletu są umieszczone w drewnianym pudełku z przegródkami.

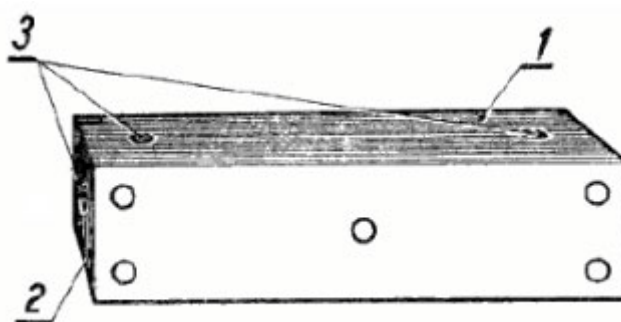
## OPIS CZĘŚCI KOMPLETU

1. Rdzeń (rys. 1.) jest złożony z kształtek "U". Ma podstawkę z nóżkami gumowymi. Górne powierzchnie pionowych kolumn rdzenia są dokładnie oszlifowane i zaopatrzone w kołki ustalające położenie zwory, nabiegunników lub stojana, nakładanych na rdzeń. Powierzchnie te należy chronić przed uszkodzeniami mechanicznymi i korozją. Kołek z nakrętką skrzydełkową służy do mocowania wspornika koła pasowego.



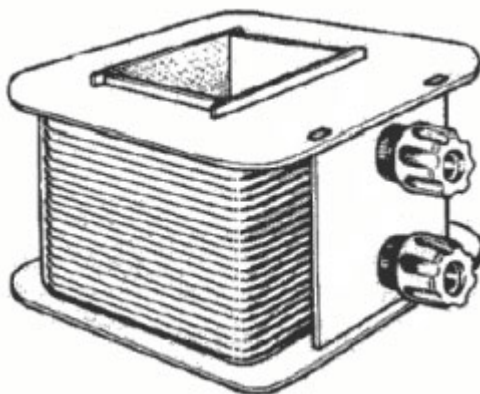
Rys. 1.

2. Zwora (rys. 2) jest złożona z kształtek "I". Powierzchnie (1) i (2) zwory są oszlifowane i mają otwory (3) na kołki znajdujące się w kolumnach rdzenia. Powierzchnie te należy chronić przed uszkodzeniami mechanicznymi i korozją. Zworę można nakładać na rdzeń poziomo lub pionowo.



Rys. 2.

3. Cewki (rys. 3) są nawinięte na korpusach rezokartowych. Są one zaopatrzone w zaciski elektryczne i mają etykiety znamionowe podające liczbę zwojów, średnicę drutu nawojowego i kierunek uzwojania.



Rys. 3.

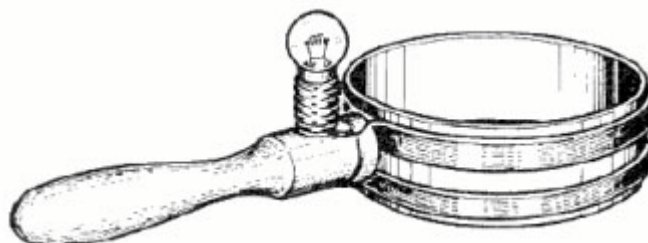
Charakterystykę cewek zawiera tabela.

Liczba zwojów	Średnica drutu nawojowego (mm)	Napięcie (V)	Natężenie prądu (A)	Opór (Ω)	Liczba cewek
33	2,2	6,0	10,0	0,94	1
66	1,8	12,0	6,5	0,1	1
130	1,5	24,0	4,5	0,18	1
600	0,65	110,0	0,85	6,5	2
1100	0,5	220,0	0,5	19,0	2
6500	0,2	1100,0	0,08	900,0	1

Podane w tabelce napięcia występują na cewkach, gdy w transformatorze stosujemy cewkę 1100 zwojów jako uzwojenie pierwotne. Dopuszczalne natężenie prądu poszczególnych cewek podano dla gęstości prądu:

$$J = 2,5 \text{ A/mm}^2.$$

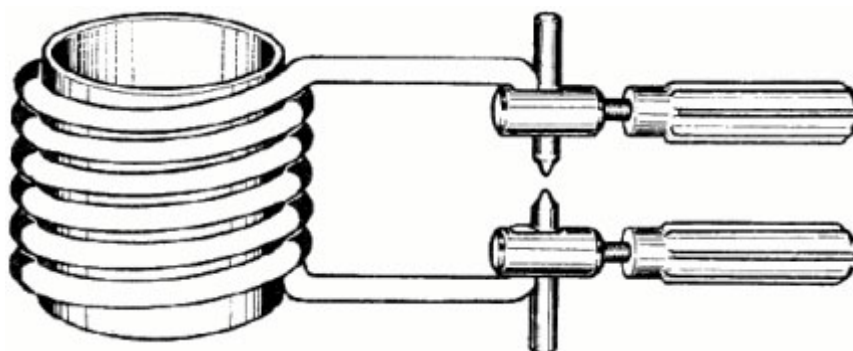
4. Cewka z żarówką (rys. 4). Cewka jest nawinięta na rurze pertinaksowej i jest zaopatrzona w uchwyt, do którego jest przymocowana oprawka. W oprawkę wkręcona jest żarówka.



Rys. 4.

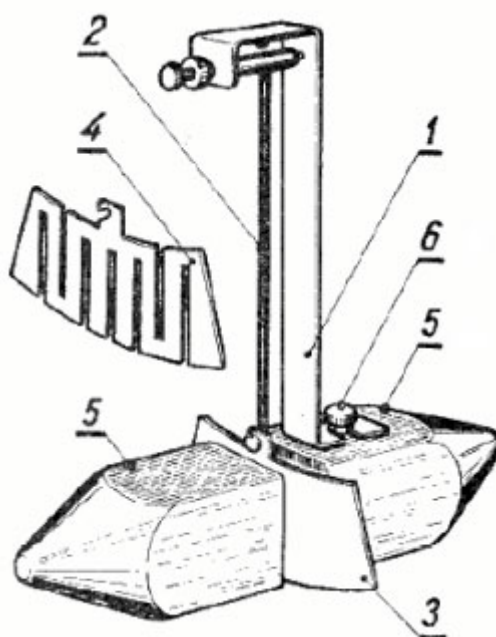
5. Cewka do spawania (rys. 5) jest wykonana z grubego drutu miedzianego. Końce cewki są zaopatrzone w elektrody miedziane osadzone w imakach i zaciskane w nich za pomocą uchwytów. Do wnętrza cewki uchwytów. Do wnętrza cewki jest włożona rura pertinakso-

zabezpieczająca przed zwarcieniem zwojów przez rdzeń transformatora.



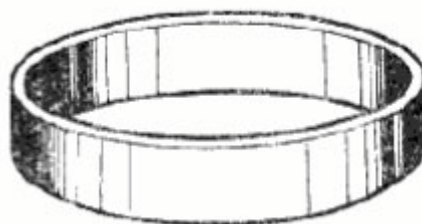
Rys. 5.

6. Wahadło Waltenhofena (rys. 6). W metalowym jarzmie (1) jest umieszczony w łożyskach kłowych pręt wahadła (2) zakończony śrubą zaciskową. Na pręcie można zawieszać płytki aluminiowe (3) lub (4). Nabiegunniki (5) umieszcza się na kolumnach rdzenia transformatora, a wahadło mocuje się na jednym z nabiegunników zaopatrzonego w śrubę zaciskową (6). Nabiegunniki mają jeden koniec stożkowy, a drugi płaski.



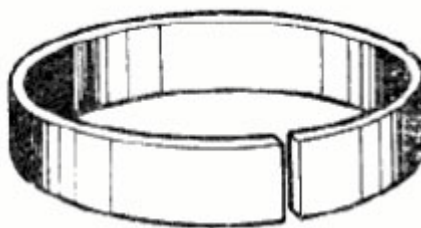
Rys. 6.

7. Pierścień aluminiowy pełny (rys. 7).



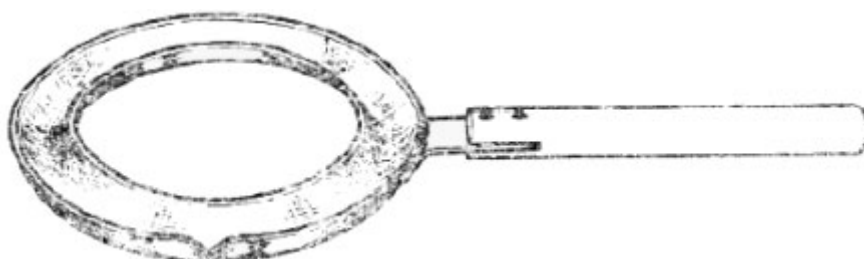
Rys. 7.

8. Pierścień aluminiowy przecięty (rys. 8).



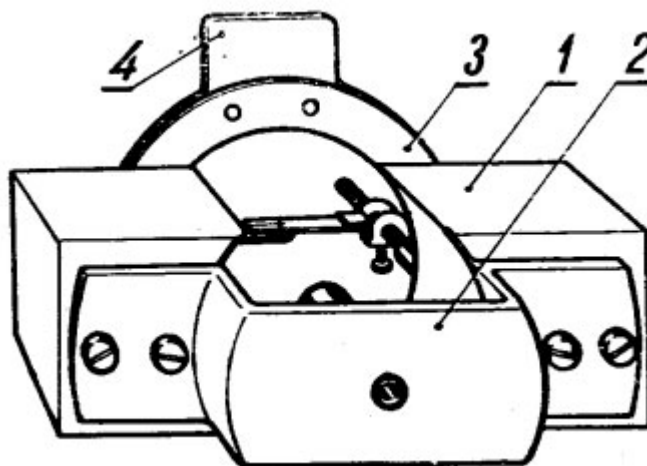
Rys. 8.

9. Rynienka do topienia metali (rys. 9).



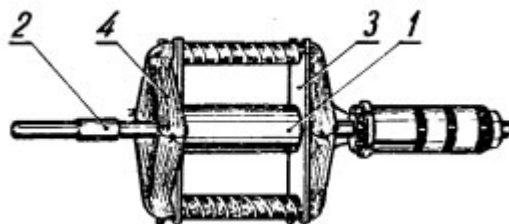
Rys. 9.

10. Stożan (rys. 10) jest częścią modelu maszyny elektrycznej (prądnicy lub silnika). Można go osadzić na rdzeniu transformatora. Stożan składa się z dwóch stalowych nabiegowników (1). Nabiegownicy są połączone z jednej strony pokrywą łożyskową (2), a z drugiej pierścieniem (3), do którego jest przymocowany uchwyt szczotek (4).



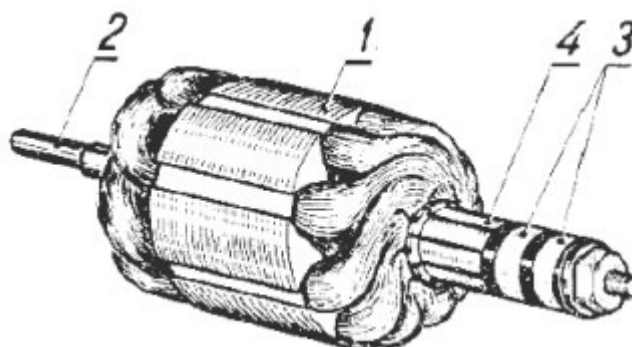
Rys. 10.

11. Cewka – ramka (rys. 11) służy do wyjaśnienia zasady generacji prądu stałego i zmiennego. Do tulei stalowej (1), w której jest osadzona oś (2), są przynitowane wsporniki izolacyjne (3), a na nich nawinięta cewka (4) mająca 1000 zwojów. Jeden koniec osi jest zaopatrzony w kolektor dla napięcia przemiennego i komutator dla napięcia stałego.



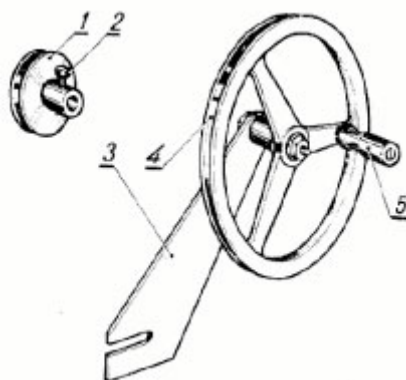
Rys. 11.

12. Twornik (rys. 12) składa się z walca (1) złożonego z blach transformatorowych i osadzonego na osi (2). Walec ma osiem zębów (wycięć), w których znajduje się uzwojenie. Na jednym z końców osi jest kolektor (3) i komutator (4). Uzwojenie twornika ma osiem cewek, których końce są połączone komutatorem i kolektorem.



Rys. 12.

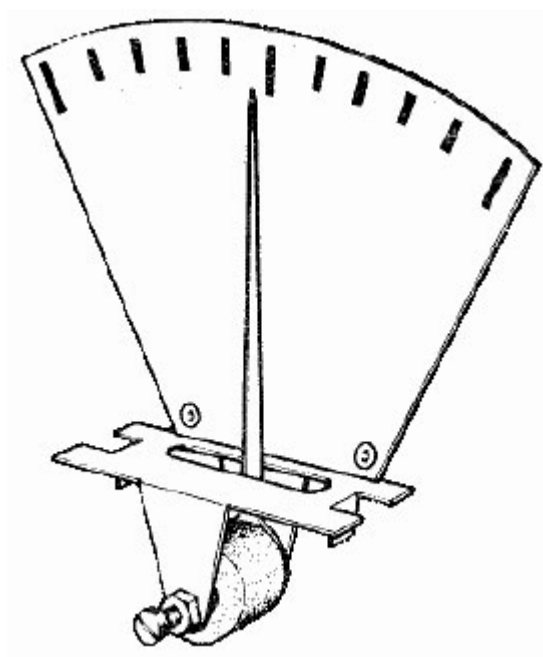
13. Koło pasowe małe (1) nakłada się na osie cewki-ramki lub twornika i zaciska wkrętem (2). Wspornik (3) dużego koła pasowego mocuje się do rdzenia magnetycznego. Duże koło pasowe (4) jest zaopatrzone w rączkę (5) służącą do ręcznego napędu twornika.



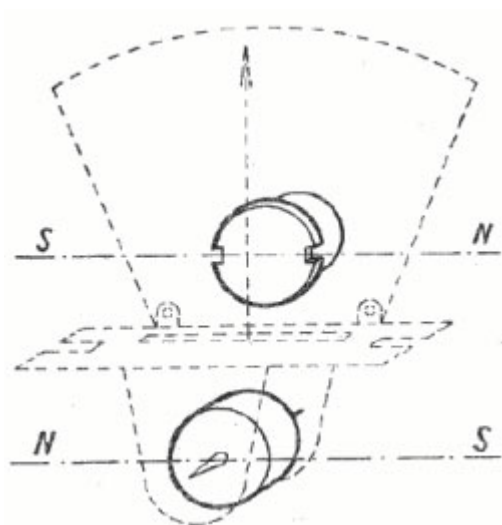
Rys. 13.

14. Galwanoskop (rys. 14) jest czułym wskaźnikiem wzbudzanych w czasie doświadczeń prądów indukcyjnych. Galwanoskop można nakładać na cewki transformatora. Czułość galwanoskopu będzie zależna od liczby zwojów cewki. Galwanoskop jest wskaźnikiem elektrycznym o stałym magnesie. Oś magnesu jest umieszczona w łożyskach szklanych. Moment zwrotny jest magnetyczny. Wytwarza go magnes ferrytowy umieszczony z tyłu skali. Magnesem tym można korygować położenie wskazówki oraz ustawiać ją na środku

lub na początku skali. Magnes korekcyjny wytwarza moment zwrotny tylko w tym przypadku, gdy jego bieguny są przeciwne biegunom magnesu organu ruchomego. Prawidłowe ustawienie magnesu korekcyjnego oznaczono na rys. 15.

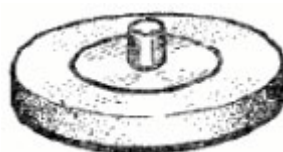


Rys. 14.



Rys. 15.

15. Magnes ferrytonowy toroidalny z wkładką (rys. 16).



Rys. 16.

16. Magnes sztabkowy (rys. 17)



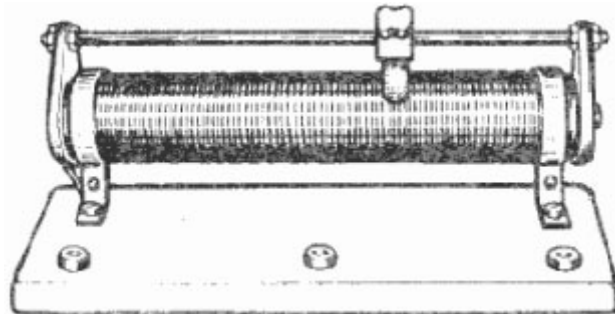
Rys. 17.

17. Pręt stalowy (rys. 18)



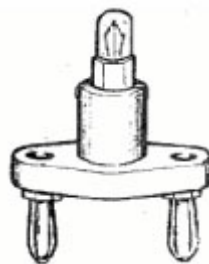
Rys. 18.

18. Opornica suwakowa na podstawie  $20 \Omega$ ,  $25 \text{ W}$  (rys. 19).



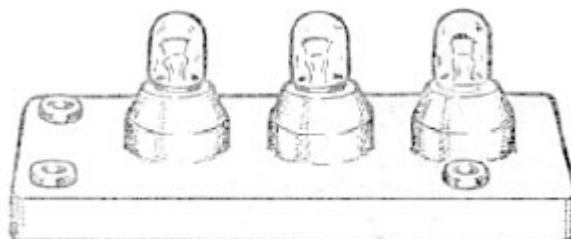
Rys. 19.

19. Oprawka do żarówki telefonicznej (rys. 20) jest zaopatrzona w dwa kolki wtykowe.



Rys. 20.

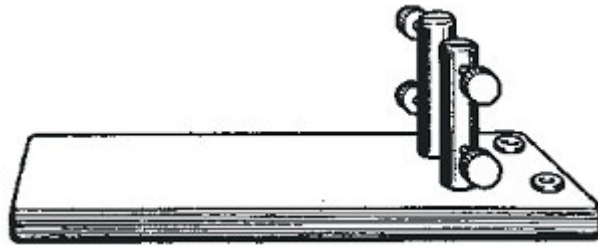
20. Podstawka z trzema oprawkami do żarówek typu E10 (rys. 21)



Rys. 21.

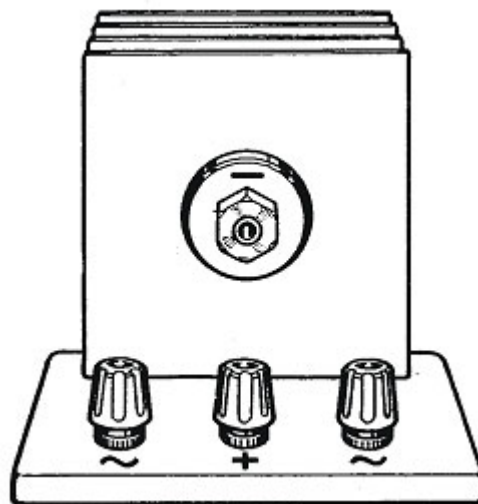


21. Podstawka do bateryjki (rys. 22) jest przeznaczona do baterijek płaskich o napięciu 4,5 V i pojemności 0,3 Ah. Słupki kontaktowe umożliwiają umieszczenie na podstawkach dwóch baterijek połączonych równoległe .

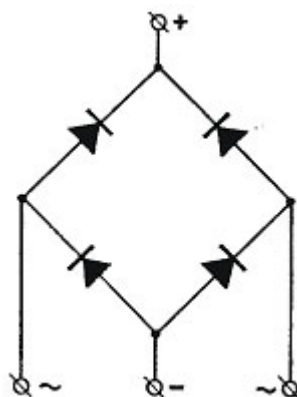


Rys. 22.

22. Prostownik selenowy (rys. 23) składa się z czterech płyt selenowych o wymiarach 100x100 mm połączonych w układzie Graetza i przymocowanych za pomocą wspornika do podstawki . schemat połączenia płyt przedstawia rys. 23a



Rys. 23.

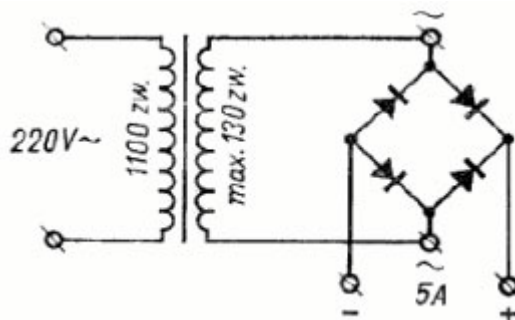


Rys. 23a.

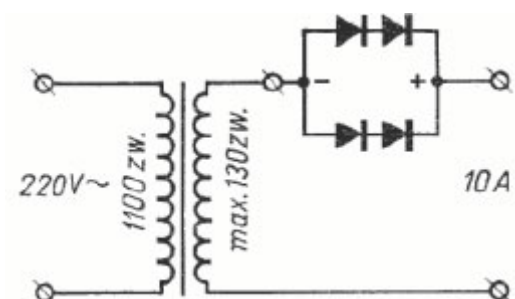
## DOŚWIADCZENIA

### Prostowanie napięcia przemiennego

Za pomocą prostownika można prostować napięcia w układach jedno- i dwupołówkowym. Schemat układu prostowania dwupołówkowego przedstawia rys. 24, a schemat prostowania jednapołówkowego rys. 24a.



Rys. 24



Rys. 24a

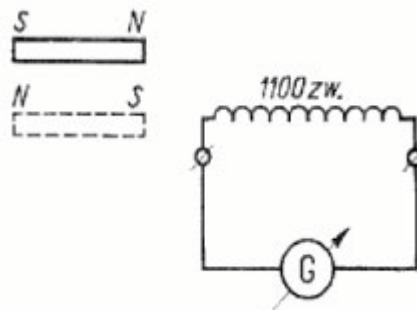
W zamkniętym obwodzie elektrycznym, który tworzy przewodnik lub przewodniki (cewka) powstaje prąd elektryczny, gdy obwód ten jest przemieszczany w polu magnetycznym tak, że "przecina" linie tego pola. Prądy elektryczne wzbudzone w ten sposób nazywają się prądami indukcyjnymi. Wzbudzenie siły elektromotorycznej indukcji nazywa się indukcją elektromagnetyczną. Wielkość indukowanej siły elektromotorycznej zależy od indukcji magnetycznej, długości czynnej i liczby przewodników (liczby zwojów cewki) oraz prędkości przemieszczania przewodników w polu magnetycznym. Jest ona proporcjonalna do sinusa kąta, jaki tworzy kierunek przemieszczania się przewodników i kierunek indukcji magnetycznej. Kierunek indukowanych SEM określa się za pomocą reguły Flemminga (reguła dłoni prawej ręki). Do prądów indukcyjnych Flemminga indukowanych SEM ma zastosowanie reguła Lenza. Wielkość indukowanych SEM określa wzór:

$$\mathcal{E} = Blv \sin \alpha \cdot 10^{-8}, \text{ (V)}.$$

### Wzbudzenie prądu indukcyjnego magnesem trwałym

Tworzymy obwód elektryczny z cewki 1100 zw. i galwanoskopu umieszczonego również na cewce 1100 zw. Następnie szybkim ruchem wkładamy magnes do cewki. Galwanoskop wychylił się. Szybkim ruchem wyciągamy magnes z cewki. Galwanoskop wychylił się w przeciwnym kierunku. Stwierdzamy, że kierunek prądu indukcyjnego zależy od kierunku przemieszczania się przewodnika w polu magnetycznym. Powtarzamy doświadczenie obracając magnes biegunami (magnes narysowany linią przerywaną na rys. 25). Galwanoskop przy

wkładaniu magnesu do cewki i wyjmowaniu go będzie się wychylał w przeciwnym kierunku aniżeli to miało miejsce poprzednio. Stwierdzamy, że kierunek prądu indukcyjnego zależy od kierunku pola magnetycznego. Doświadczenie powtarzamy włączając do obwodu cewki o mniejszych liczbach zwojów np. 600 i 130 zwojów. Stwierdzamy, że prądy indukcyjne maleją wraz ze zmniejszeniem się liczby zwojów cewki.



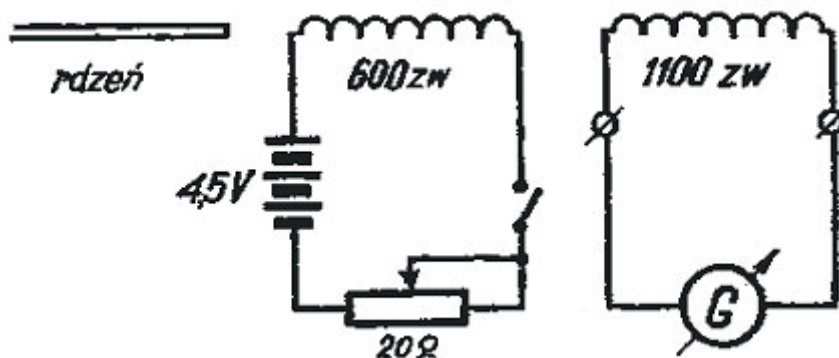
Rys. 25.

Wkładając magnes do cewki i wyjmując go z różnymi prędkościami możemy stwierdzić, że wielkość prądu indukcyjnego zależy od prędkości przemieszczania przewodnika w polu magnetycznym.

**Uwaga.** Galwanoskop należy tak ustawić względem cewki, aby leżący w niej swobodnie magnes nie wywołał wskazań.

### Wzbudzenie prądu indukcyjnego elektromagnesem

Składamy obwód elektryczny przedstawiony na rys. 26. Cewkę elektromagnesu (600 zw.) ustawiamy na jednej prostej z cewką indukcyjną (1100 zw.). Galwanoskop ustawiamy na cewce 1100 zwojów.



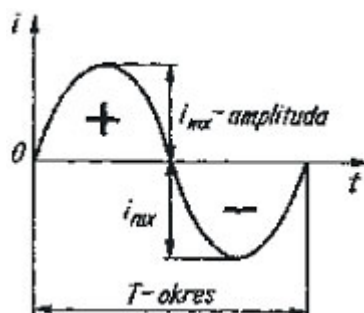
Rys. 26.

- Zamykamy obwód elektromagnesu i do jego cewki szybkim ruchem wkładamy i wyjmujemy pręt stalowy. Galwanoskop wykaże przepływ prądu w obwodzie cewki indukcyjnej. Doświadczenie można powtórzyć ustalając za pomocą opornika regulowanego różne natężenia prądów w obwodzie elektromagnesu.
- Wzbudzamy prąd indukcyjny przez przerywanie obwodu elektromagnesu. Doświadczenie to wykonujemy: 1) Bez rdzenia stalowego, 2) z prętem stalowym jako rdzeniem włożonym do obu cewek oraz 3) ze zworą włożoną do cewki zamiast pręta stalowego. Prąd indukcyjny jest większy w doświadczeniu z rdzeniem stalowym i wzrasta przy użyciu rdzenia o większym przekroju.

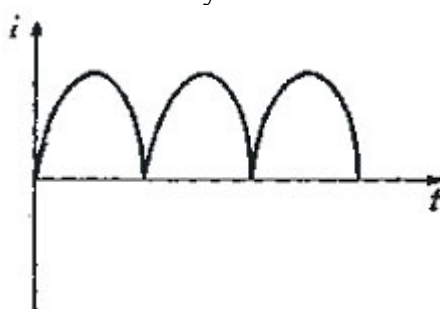
c) Wzbudzamy prąd indukcyjny przez zmianę natężenia prądu w obwodzie elektromagnesu. Zmieniamy wielkość prądu szybko przesuwając suwak opornika regulowanego. Zmiana wielkości oporu powoduje zmiany prądu w obwodzie elektromagnesu, a zatem i zmiany pola magnetycznego. Galwanoskop wykaże przepływ prądu w obwodzie cewki indukcyjnej. Doświadczenie można powtórzyć z rdzeniami stalowymi.

Opisane sposoby wzbudzania prądów indukcyjnych służą jedynie do poznania wpływu różnych czynników na indukcję elektromagnetyczną. Do wytwarzania SEM i prądów indukcyjnych znalazły zastosowanie zezwoje przemieszczane jednostajnym ruchem obrotowym w stałym polu magnetycznym.

Przykładem zezwoju jest cewka – ramka. Umieszczamy ją w łożysku stojana i na oś nakładamy małe koło pasowe. W otworach rdzenia umieszczamy magnesy ferrytowe z wkładkami i nakładamy stojan. Szczotki ustawiamy na pierścieniach kolektora. Do szczotek przyłączamy galwanoskop ustawiony na cewce 6500  $\Omega$ . Na kołek w rdzeniu wsuwamy wspornik z dużym kołem pasowym i zaciskamy go nakrętką skrzydełkową. Małe i duże koła łączymy pasem gumowym. Obracając korbką wprawiamy zezwój w wolny ruch obrotowy. Galwanoskop będzie się wychylał w lewo i w prawo od położenia spoczynkowego. Na podstawie ruchu wskazówki galwanoskopu można wywnioskować, że prąd indukowany w zezwoju jest prądem przemiennym, którego wykres  $i = f(t)$  przedstawia rys. 27. Powtarzamy doświadczenie ustawiając szczotki na półpierścieniach komutatora. Obracając wolno zezwój zauważymy, że galwanoskop wychyla się z położenia początkowego, osiąga maksimum, wraca do położenia początkowego i znowu wychyla się w tym samym kierunku. Wykres zmian prądu  $i = f(t)$  przedstawia rys. 28.



Rys. 27.



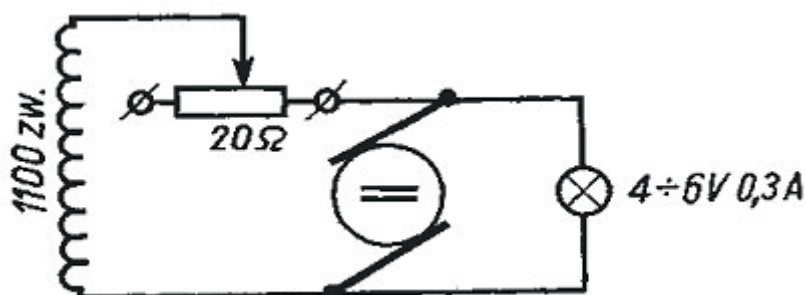
Rys. 28.

Gdy zwiększymy obroty zezwoju, zmiany prądu będą przebiegały tak szybko, że wskazówka galwanoskopu nie nadążając za nimi ze względu na bezwładność mechanizmu będzie stale wskazywała przepływ prądu. W wyniku doświadczenia można stwierdzić, że zezwól obracany w stałym polu magnetycznym jest źródłem energii elektrycznej wytwarzanej w sposób ciągły. Wykorzystano to w budowie generatorów elektrycznych.

Z elementów znajdujących się w komplecie można złożyć najprostszą konstrukcyjnie prądnicę i zapoznać się z jej podstawowymi własnościami.

## Prądnica ze wzbudzeniem równoległym

Na rdzeń nakładamy cewkę 1100 zw. i stojan. W łożysku stojana umieszczamy twornik. Szczotki ustawiamy na komutatorze. Na osi twornika mocujemy małe koło pasowe. Wspornik z dużym kołem pasowym wsuwamy na kołek w rdzeniu i zaciskamy nakrętką skrzydełkową. Następnie nakładamy pas na koła.



Rys. 29.

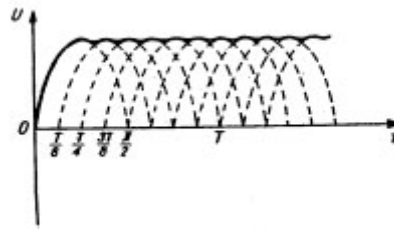
Prądnicę łączymy wg schematu przedstawionego na rys. 29. Prądnica może się wzbudzić tylko w tym przypadku, gdy w stojanie będzie istniało szczątkowe pole magnetyczne, a prąd płynący z twornika przez cewkę wzbudzającą ma taki kierunek, że pole magnetyczne cewki jest zgodne ze szczątkowym polem magnetycznym twornika. Przystępując do doświadczenia odłączamy obciążenie prądnicy (żarówkę), a opór ograniczający prąd wzbudzenia ustawiamy na minimum. Następnie nadajemy twornikowi duże obroty. Prądnica powinna się wzbudzić. Oznaką wzbudzenia będzie wyraźne hamowanie ruchu twornika. Gdyby wzbudzenie nie nastąpiło, należy zmienić kierunek obrotów twornika lub przełączyć bieguny cewki wzbudzającej. Może się również zdarzyć, że stojan jest całkowicie rozmagnesowany. W takim przypadku należy w stojanie wytworzyć szczątkowe pole magnetyczne za pomocą magnesów ferrytowych lub cewki wzbudzającej, odłączając od niej twornik i zasilając ją napięciem stałym np. płaską baterią 4,5 V. Po wzbudzeniu się prądnicy przyłączamy żarówkę i zwiększamy opór obciążenia, aby ustalić właściwy rozdział prądów- użytecznego i wzbudzenia.

W czasie wykonywania doświadczenia zauważyliśmy, że do czasu wzbudzenia się prądnicy twornik obracał się lekko, a praca była potrzebna tylko do pokonania tarcia w łożysku twornika i przekładni pasowej. Jest to praca biegu jałowego  $L_j$ . Gdy prądnica wzbudziła się, nastąpiło hamowanie ruchu twornika i aby podtrzymać ten ruch musieliśmy zwiększyć pracę, która zużywała się na magnesowanie stojana  $m$ . Wreszcie, gdy przyłączyliśmy obciążenie, hamowanie twornika wzmogło się i musieliśmy dodatkowo zwiększyć pracę. Została ona zużyta na żarzenie włókna żarówki  $L_o$ . Energia elektryczna  $E$  powodująca świecenie żarówki została wytworzona kosztem pracy włożonej do wymuszenia ruchu twornika. Ilościowo wytworzona energia elektryczna jest równa różnicy:

$$E = (L_o + L_m) - L_j(J).$$

Przy około 1000 obrotów na minutę z prądnicy można otrzymać napięcie około 6 V i natężenie prądu około 0,8 A, przy czym bez mała połowa wytwarzanego prądu potrzebna jest do magnesowania stojana. Tak duży prąd magnesowania wynika z niekorzystnego kształtu obwodu magnetycznego. Dlatego sprawność prądnicy jest niewielka. W prądnicach użytkowych prąd magnesujący stanowi około 10% prądu wytwarzanego przez prądnicę. Wykres napięcia wytwarzanego przez prądnicę  $U = f(t)$  jest przedstawiony na rys. 30.

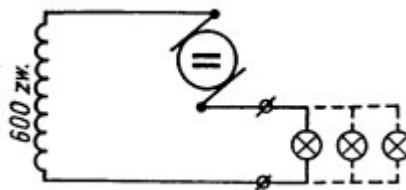
Tętnienia wytwarzanego napięcia wynoszą około 10%.



Rys. 30.

### Prądnicą szeregową – głównikową

Elementy należy zamontować tak jak w prądnicę równoległej, tylko cewka wzbudzająca powinna mieć 600 zw. i układ połączeń przedstawiony na rys. 31.

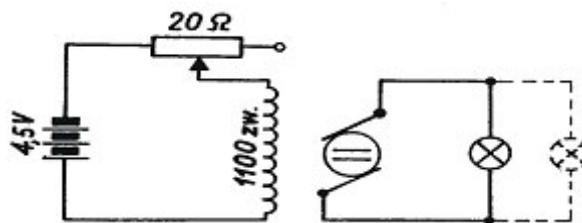


Rys. 31.

Prądnicą wzbudza się tylko z zamkniętym obwodem obciążenia. Pozostałe warunki wzbudzenia takie jak dla prądnicą bocznikowej. Doświadczenie rozpoczynamy obciążając prądnicą jedną żarówką, potem drugą. Zauważamy, że ze wzrostem obciążenia wzrasta generowane napięcie, gdyż zwiększa się prąd wzbudzenia.

### Prądnicą obcowzbudną prądu stałego

Elementy należy złożyć jak w prądnicą bocznikowej. Cewka wzbudzająca 1100 zw. jest zasilana przez opór  $20 \Omega$  np. z płaskiej baterii 4,5 V. Prąd wzbudzenia nie powinien przekraczać 0,5 A. Schemat połączeń elektrycznych jest przedstawiony na rys. 32.



Rys. 32.

Ponieważ magnesowanie stojana odbywa się kosztem energii czerpanej z baterii, wobec tego cała energia elektryczna wytwarzana przez twornik może być zużytkowana przez obciążenie.

### Prądnicą prądu przemiennego

Elementy należy zmontować i połączyć tak jak w prądnicą obcowzbudnej prądu stałego, tylko szczotki ustawiamy na pierścieniach kolektora. Prądnicą generuje napięcie o kształcie przedstawionym na rys. 33.



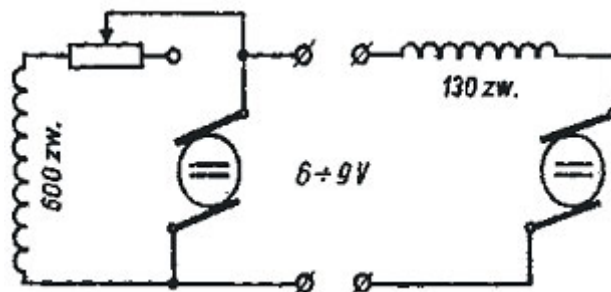
Rys. 33.

Kształt napięcia bardzo odbiega od sinusoidalnego, gdyż zbyt mało zewojów przypada na biegun magnetyczny. W prądnicach przemysłowych na biegun magnetyczny przypada kilkadziesiąt zewojów i dlatego kształt napięcia generowanego przez te prądnice jest bardzo zbliżony do sinusoidalnego.

### Silniki prądu stałego

Maszyny elektryczne prądu stałego są odwracalne, tzn. mogą wytwarzać energię elektryczną lub być jej odbiornikami. Jeśli w prądnicach bocznikowej i główkowej zamiast obciążenia przyłączamy źródło napięcia stałego, otrzymamy odpowiednio silniki elektryczne bocznikowy i szeregowy. Silniki należy zasilać napięciem stałym 6 – 9 V. Pobór prądu przez silniki wynosi około 1 A.

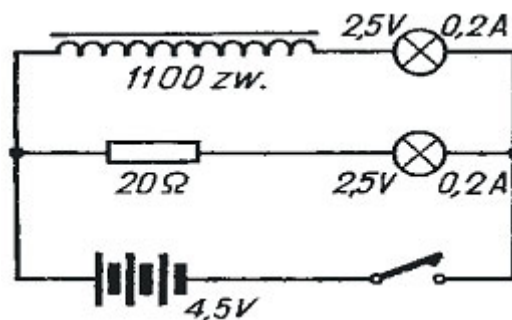
Schematy układów elektrycznych silników są przedstawione na rys. 34.



Rys. 34.

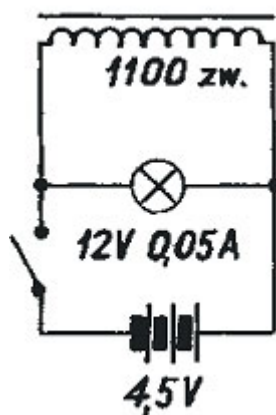
### Obwody elektryczne z cewką

- a) Gdy obwód elektryczny z cewką przyłączymy do źródła napięcia przemiennego, natężenie prądu nie od razu osiągnie wartość wynikającą z prawa Ohma, lecz dopiero po pewnym czasie praktycznie, a teoretycznie w nieskończoności. Opóźnione narastanie prądu w obwodzie elektrycznym z cewką można wykazać za pomocą następującego doświadczenia. Składamy układ elektryczny według schematu przedstawionego na rys. 35; zamykamy obwód. Żarówki zaświecą się niejednocześnie. Żarówka znajdująca się w obwodzie cewki zaświeci się z opóźnieniem. Przyczyną powodującą opóźnienie w narastaniu prądu w obwodzie z cewką jest siła przeciw elektromotoryczna.



Rys. 35.

- b) Przerwanie obwodu elektrycznego powoduje indukowanie się w cewce SEM samoindukcji. Po przerwaniu obwodu szybko zanika strumień magnetyczny obejmujący cewkę, a ponieważ SEM indukowana jest proporcjonalna do szybkości zmian strumienia magnetycznego, więc wielkość jej będzie większa aniżeli napięcie zasilające obwód. Można to wykazać wykonując doświadczenie z układem elektrycznym, którego schemat i układ elementów jest przedstawiony na rys. 36.



Rys. 36.

Gdy zamkniemy obwód, prąd będzie płynął przez żarówkę i przez cewkę. Ponieważ obwód jest zasilany napięciem 4,5 V, a żarówka jest 12 V, więc jej włókno po zamknięciu obwodu będzie się ledwo żarzyło. Gdy przerwiemy obwód, żarówka na moment jasno rozbłyśnie.

## Transformator

Transformator jest maszyną prądu przemiennego, której działanie jest oparte na zjawisku indukcji elektromagnetycznej. Z elementów znajdujących się w komplecie można złożyć transformator jednofazowy typu rdzeniowego o następujących danych.

Czynny poprzeczny przekrój rdzenia	12 cm <sup>2</sup>
Moc wtórna	100 VA
Moc pierwotna	120 VA
Sprawność	~0,85

Uzwojeniem pierwotnym przy zasilaniu z sieci 230 V jest cewka 1100 zw., a przy zasilaniu 110 V cewka 600 zwojów. W niektórych doświadczeniach trwających krótko można na uzwojenie pierwotne użyć cewki 600 zw. przy napięciu sieci 230 V. Jest to możliwe ze



względu na obniżoną indukcję magnetyczną w rdzeniu. Uzwojeniem wtórnym może być każda cewka znajdująca się w komplecie.

Przekładnię  $p$  transformatora można obliczyć ze wzoru:

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

$Z_1$  i  $Z_2$  – liczby zwojów pierwotnych i wtórnych.

$U_1$  i  $U_2$  – napięcie pierwotne i wtórne.

$I_1$  i  $I_2$  – natężenie prądów w uzwojeniach transformatora.

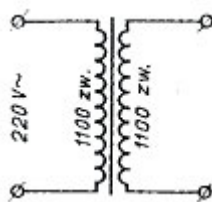
Przekładnię zwojową można obliczyć odczytując liczby zwojów z tabliczek znamionowych cewek, np. :

$$p = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1100}{1100} = 1$$

Przekładnia 1 oznacza, że wtórnie napięcie transformatora jest równe napięciu pierwotnemu.

Transformatory o takiej przekładni mają zastosowanie jako transformatory bezpieczeństwa, stosowane w zakładach pracy i warsztatach naprawczych w celu zabezpieczenia pracowników przed porażeniem napięciem sieci energetycznej.

Transformator bezpieczeństwa można złożyć nakładając na kolumny rdzenia dwie cewki 1100 zw. Z jego wtórnego uzwojenia można zasilac np. lutownicę 100 W i bezpiecznie się nią posługiwać. Schemat takiego transformatora jest przedstawiony na rys. 37.



Rys. 37.

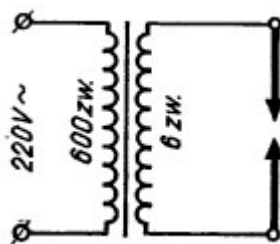
### Doświadczenia z pierścieniami

Nakładamy na jedną kolumnę rdzenia cewkę 600 zw., a na drugą pierścień przecięty. Kolumny zwieramy zworą. Włączamy pierwotne uzwojenie do sieci; nie widać żadnego mechanicznego oddziaływania na pierścień przecięty.

Pomiar wykonany czułym miernikiem napięcia przemiennego, np. galwanometrem uniwersalnym na zakresie 3 V, wykaże napięcie  $\sim 0,2$  V na końcach przeciętego pierścienia. We wtórnym uzwojeniu transformatora indukuje się siła elektromotoryczna na skutek indukcyjnego sprzężenia jego uzwojeń. Transformator odłączamy od sieci i zworę ustawiamy pionowo na kolumnie z cewką. Na zworę nakładamy pierścień i na moment włączamy transformator do sieci. Pierścień zostanie wyrzucony ze zwory. Gdy pierścień przytrzymamy na zworze, zacznie się on mocno nagrzewać. Wyjaśnienie tego zjawiska jest następujące. W zamkniętym obwodzie wtórnym transformatora płynie prąd indukcyjny przeciwny w każdej chwili prądowi wzbudzającemu. Wytwarza on pole magnetyczne przeciwne głównemu strumieniowi magnetycznemu i pierścień zostaje wyrzucony ze zwory.

Do doświadczenia przygotowujemy dwa paski blachy stalowej o grubości 0,2 – 0,5 mm. W miejscach przeznaczonych do połączenia oczyszczamy je, składamy jedna na drugą i umieszczamy między elektrodami cewki o 5 zwojach. Ściskamy elektrody za pomocą

uchwytów. W miejscu styku elektrody blachy nagrzeją się do temperatury topnienia, tworząc spaw punktowy.



Rys. 38. Spawanie.

## Topnienie metali

Układ elektryczny taki jak w poprzednim doświadczeniu, tylko zamiast cewki do spawania, nakładamy na kolumnę rdzenia rynienkę do topienia metali. Między rynienką i cewką wkładamy tekturę azbestową, aby zabezpieczyć celonową osłonę cewki przed uszkodzeniem. Do rynienki wkładamy kawałki łatwo topliwego metalu (np. 30% stop cyny i ołowiu). Rynienka stanowi zwarty zwoj, w którym indukuje się prąd o dużym natężeniu. Ponieważ rynienka ma opór elektryczny określony wzorem:

$$R = \rho \frac{l}{S} (\Omega),$$

więc na tym oporze wydziela się duża ilość ciepła proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu zgodnie ze wzorem:

$$Q = I^2 R t.$$

W wyniku tego rynienka nagrzewa się do temperatury topnienia użytego stopu metali.

Elektryczne spawanie i topienie metali jest przykładem zamiany energii elektrycznej na cieplną.

## Wahadło Waltenhofena

Nabiegunniki zwracamy w stronę wahadła końcami płaskimi. Na pręcie wahadła mocujemy płytkę pełną. Wprawiamy wahadło w ruch. Amplituda wahań gaśnie powoli. Ponownie wprawiamy wahadło w ruch i włączamy napięcie. Ruch wahadła ustaje bardzo szybko. Powtarzamy doświadczenie z płytką poprzecinaną. Ruch wahadła jest hamowany, ale trwa dłużej. Powtarzamy doświadczenie ustawiając nabiegunniki w stronę wahadła końcami stożkowymi. Ruch wahadła jest hamowany w mniejszym stopniu. Przyczyną hamującą ruch wahadła jest pole magnetyczne prądów wirowych indukujących się w płytce wahadła. Prądy te płyną w płaszczyźnie płytki, a więc pole magnetyczne wytwarzane przez nie jest do niej prostopadłe. Ruch wahadła hamują linie sił pola, które chcą się zamknąć najkrótszą drogą o najmniejszym oporze magnetycznym, a ta przebiega przez nabiegunniki i rdzeń. W przypadku zastosowania płytki ponacinanej obwody prądów wirowych są dłuższe. Opór tych obwodów jest większy, prądy wirowe mniejsze, a wobec tego mniej jest hamowany ruch wahadła.

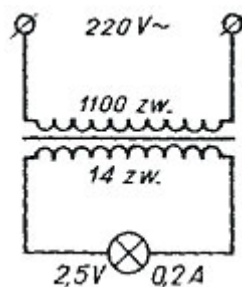
Między stożkowymi końcami nabiegunników jest mniejszy strumień magnetyczny, aniżeli między końcami płaskimi, więc i indukowane prądy wirowe są mniejsze, co jest powodem znacznie mniejszego hamowania ruchu wahadła.

Prądy wirowe przepływając w materiale nagrzewają go. Jest to szczególnie szkodliwe w rdzeniach transformatorów, dławików itp. Aby temu zapobiec choć w pewnym stopniu, rdzenie wykonuje się z cienkich blach żelazo-krzemowych. Warstwowa struktura rdzenia ogranicza wielkość prądów wirowych skośnych, a domieszka krzemu zwiększa opór wzdłużny

blach. Ciepło wydzielane przez prądy wirowe znalazło zastosowanie w grzejnictwie indukcyjnym wielkiej częstotliwości.

### Cewka z żarówką

Za pomocą cewki z żarówką 2,5 V 0,2 A można wykazać zależność między wielkością prądu indukcyjnego a sprzężeniem obwodów transformatora. Ustawiamy zworę pionowo na jednej kolumnie rdzenia, a na drugą nakładamy cewkę 1100 zw. i przyłączamy ją do sieci.



Rys. 39.

Następnie na kolumnę rdzenia ze zworą nakładamy cewkę z żarówką. W miarę przesuwania cewki w kierunku podstawy rdzenia żarówka świeci coraz jaśniej. Podobny wpływ ma szczelina niemagnetyczna między rdzeniem i zworą. W miarę zwiększania szczeliny jasność żarówki maleje.

### Cewka wysokiego napięcia (6500 zw.)

Transformator z cewkami pierwotną 1100 zw. i wtórną 6500 zw. wytwarza na uzwojeniu wtórnym napięcie 1200 V. Gdy zastosujemy cewkę pierwotną 600 zw., to po stronie wtórnej na zaciskach cewki 6500 zw. otrzymamy napięcie 2400 V. Napięciem tym można zasilić ozonizator. Można również pokazać iskrowe wyładowania elektryczne. W słupkach Holtza mocujemy dwa ostrza metalowe i łączymy je z zaciskami cewki 6500 zwojów. Odległość między ostrzami powinna wynosić 0,5 – 1 cm. Gdy wyładowania nastąpią, oddalamy ostrza aż do wygaszenia łuku. Iskrowym wyładowaniom towarzyszy wytwarzanie ozonu.

**Uwaga.** Doświadczenia z transformatorem składanym, gdy jest on zasilany z sieci energetycznej, może wykonywać tylko nauczyciel znający przepisy BHP. Doświadczenia z cewką wysokiego napięcia należy wykonywać ostrożnie, by wyładowanie nie nastąpiło do ciała (ręki), gdyż może to spowodować oparzenie.

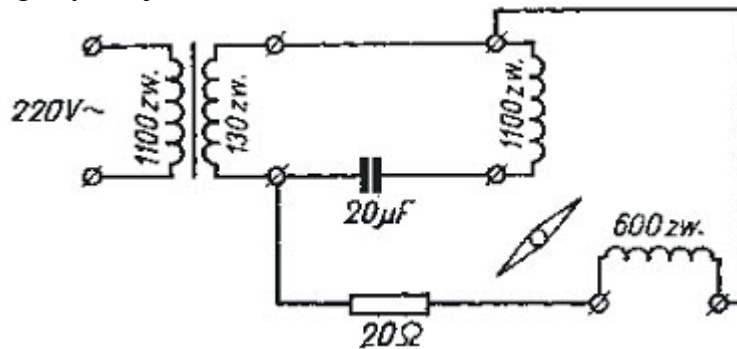
W komplecie znajduje się prostownik selenowy. Umożliwia on zasilanie obwodów elektrycznych napięciem wyprostowanym. Transformator z prostownikiem można wykorzystać do ładowania baterii akumulatorów. Do długotrwałej pracy transformatora na uzwojenie pierwotne należy stosować wyłącznie cewkę 1100 zwojów.

Przykładowo podajemy opisy kilku doświadczeń, które można wykonać przy współdziałaniu elementów spoza kompletu.

### Wirujące pole magnetyczne

Schemat elektryczny układu przedstawia rys. 40. Elementami spoza kompletu są: igła magnetyczna na podstawce oraz kondensator około 20  $\mu$ F. Może to być bateria kondensatorów z przyrządu do demonstracji wirującego pola magnetycznego. Wirujące pole magnetyczne powstanie wówczas, jeśli dwie cewki ustawione prostopadle względem siebie będziemy zasilali napięciami przesuniętymi w fazie 90°. Napięcie w obwodzie cewki i kondensatora

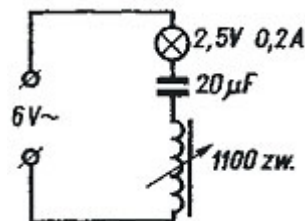
opóźnia się o  $90^\circ$  względem napięcia w obwodzie cewki i opornika. Gdy włączymy układ do sieci i wytrącimy igłę ze stanu równowagi, zacznie ona wirować synchronicznie z pulsacją napięcia zasilającego. Zmiana biegunów zasilania jednej z cewek spowoduje zmianę kierunku wirowania igły magnetycznej.



Rys. 40.

### Obwody rezonansowe

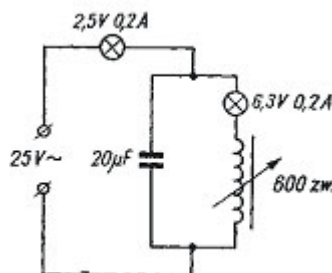
- a) Szeregowy. Schemat elektryczny układu przedstawia rys. 41. Indukcyjnością obwodu jest rdzeń z cewką 1100 zwojów. Pojemność obwodu może stanowić bateria kondensatorów z przyrządu do demonstracji wirującego pola magnetycznego. Obwód zasilany napięciem przemiennym np. z zasilacza prądu stałego i zmiennego. Obwód dostrajamy do rezonansu zwrą, nakładając ją na kołek w jednej kolumnie rdzenia. Drugi koniec zwory zsuwamy z kolumny tak, aby żarówka zaczęła świecić. Obwód jest w rezonansie, gdy zsuwanie zwory z rdzenia i nasuwanie jej na rdzeń powoduje wygaszenie żarówki.



Rys. 41.

Gdy obwód nie jest w rezonansie, żarówka się nie świeci, bo opory pozorne pojemnościowy i indukcyjny są tak duże, że prąd płynący w obwodzie jest za mały, by ją rozżarzyć. W rezonansie spadki napięcia na składowych biernych oporów pojemnościowego i indukcyjnego znoszą się, prąd w obwodzie wzrasta i żarówka się zaświeci. Jest to rezonans napięcia.

- b) Równoległy. Schemat elektryczny jest przedstawiony na rys. 42.



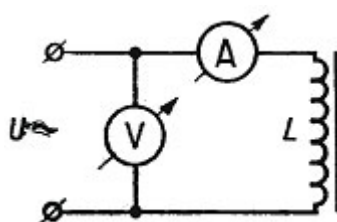
Rys. 42.

Układ zasilamy napięciem z zasilacza prądu stałego i zmiennego. Obwód dostrajamy do rezonansu tak jak w doświadczeniu poprzednim. Gdy obwód nie jest w rezonansie, świeci się żarówka połączona szeregowo z obwodem. W rezonansie żarówka szeregowo gaśnie, a zaświeci się żarówka włączona w obwód rezonansowy. Przy rezonansie prąd dopływający do obwodu jest mały, nie rozżarza włókna żarówki szeregowo, natomiast w obwodzie płynie prąd duży. Żarówka włączona do obwodu rezonansowego jasno się świeci. Jest to rezonans prądów.

### Obliczanie indukcyjności cewek

Na tabliczkach znamionowych i w instrukcji nie zostały podane indukcyjności cewek ze względu na możliwość występowania dużych różnic między nimi. Proponujemy, aby we własnym zakresie wyznaczyć ich indukcyjność metodą techniczną.

Układ pomiarowy jest przedstawiony na rys. 43.



Rys. 43.

Układ można zasilić zasilaczem prądu stałego i zmiennego. Napięcie ustalamy takie, aby natężenie prądu nie przekraczało dopuszczalnej wartości dla danej cewki. Wielkość dopuszczalnego prądu  $I_{\max}$  obliczamy w zależności od średnicy drutu nawojowego  $d$ , która jest podana na tabliczkach znamionowych cewek oraz w założeniu, że gęstość prądu będzie wynosiła  $2,5 \text{ A/mm}^2$ .

$$I_{\max} = 0,5d^2, \quad (\text{A}).$$

Gdy pominiemy rzeczywisty opór, co można uczynić przy pomiarze cewek o małej liczbie zwojów nawiniętych drutem o dużej średnicy, ich indukcyjność obliczamy ze wzoru:

$$L = \frac{U}{I \cdot \omega}, \quad (\text{H}).$$

Gdy uwzględnimy opór rzeczywisty drutu nawojowego, indukcyjność cewek obliczamy ze wzoru:

$$L = \frac{\sqrt{U^2 - I^2 \cdot R^2}}{I \cdot \omega}, \quad (\text{H}).$$

Pomiarów prądu i napięcia dokonujemy miernikami prądu przemiennego, np. galwanometrami uniwersalnymi. Pulsacja  $\omega$  dla częstotliwości 50 Hz wynosi:

$$\omega = 2\pi f = 314, \quad \left(\frac{1}{\text{s}}\right).$$

Opracowano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego  
pod kierunkiem *Tadeusza M.Molendy* na podstawie:

**Transformator składany z kompletem przyrządów do indukcji elektromagnetycznej.**

Nr kat. V 5 – 128

Produkowano:

BIOFIZ

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU POMOCY NAUKOWYCH I ZAOPATRZENIA SZKÓŁ WARSZAWA

Fabryka Pomocy Naukowych w Nysie

Zestaw dopuszczony przez Ministerstwo Oświaty pismem nr PO4-1683/57 z dnia 12.09.1953 roku do  
użytku szkolnego.

Instrukcję napisał: brak danych, rysunki wykonał: brak danych.

---

**Źródło:** ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego