

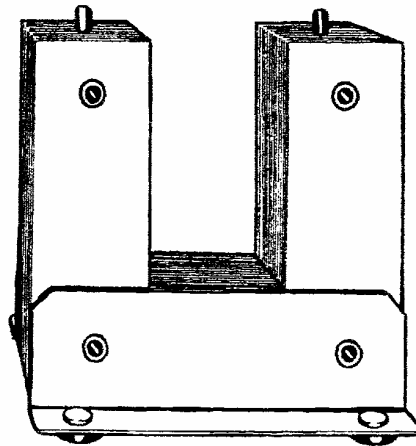
## TRANSFORMATOR ROZBIERALNY

Transformator rozbieralny służy do wielu doświadczeń w byłej szkole podstawowej-obecnie gimnazjum i byłej szkole średniej-obecnie ponadgimnazjalnej. Objasnia się również jego budowę i zasadę działania.

Skład kompletu:

1. rdzeń,
2. zwora,
3. siedem cewek,
4. cewka z żarówką,
5. wahadło Waltenhofena z nabiegunnikami,
6. pierścień aluminiowy pełny,
7. pierścień aluminiowy przecięty,
8. cewka do spawania,
9. rynienka do topienia metali.

Komplet jest umieszczony w drewnianym pudełku z przegródkami.

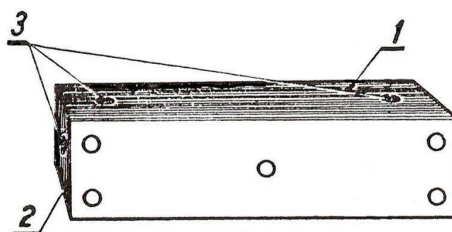


rys.1

### Opisy części kompletu:

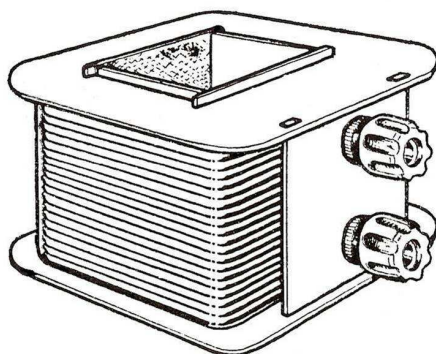
1. Rdzeń (rys.1) jest złożony z kształtek „U”. Górne powierzchnie pionowych kolumn rdzenia są dokładnie oszlifowane i zaopatrzone w kołki ustalające położenie zwory i nabiegunników nakładanych na rdzeń. Powierzchnie te należy chronić przed uszkodzeniami mechanicznymi i korozją.

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 uzwajania.



rys.3

Charakterystyka cewek jest podana w tabelce.

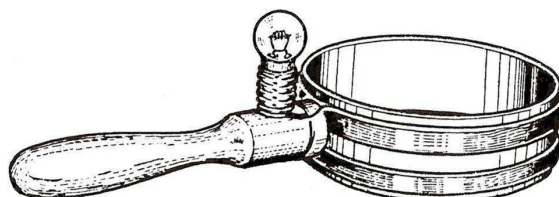
| Liczba zwojów | Liczba cewek | Średnica drutu nawojowego mm | Napięcie V | Natężenie prądu A | Opór Ω |
|---------------|--------------|------------------------------|------------|-------------------|--------|
| 33            | 1            | 2,2                          | 6          | 10,0       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

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:

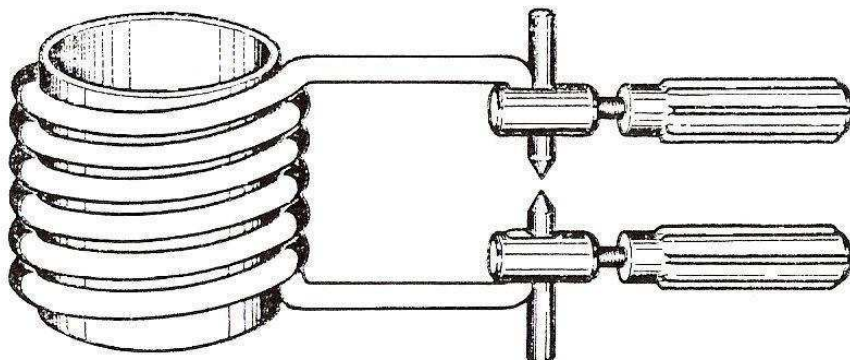
$$J = 2,5 \text{ A/mm}^2$$

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



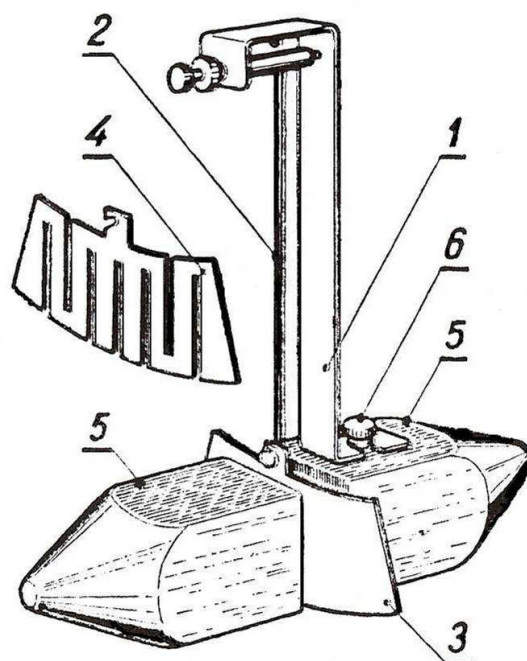
rys.4

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 jest włożona rura pertinaksowa zabezpieczająca przed zwarcieniem zwojów przez rdzeń transformatora.



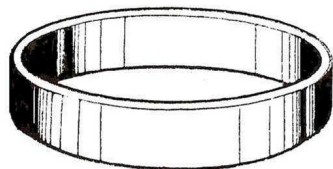
rys.5

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 zaopatrzonym w śrubę zaciskową (6). Nabiegunniki mają jeden koniec stożkowy, a drugi płaski.



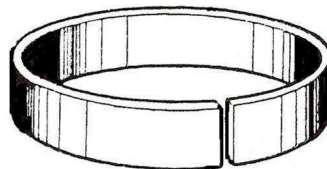
rys.6

7. Pierścień aluminiowy pełny (rys. 7).



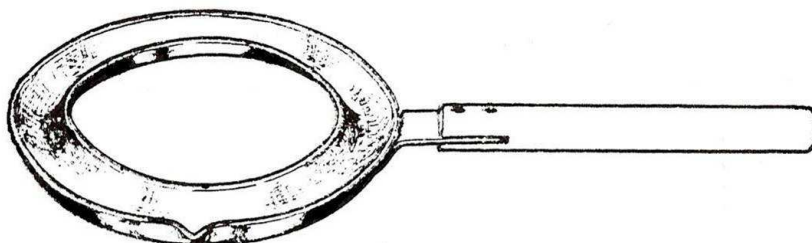
rys.7

8. Pierścień aluminiowy przecięty (rys. 8).



rys.8

9. Rynienka do topienia metali (rys.9)



rys.9

## 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 220 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 220 V. Jest to możliwe ze względu na obniżoną indukcję magnetycznej w rdzeniu. Uzwojeniem wtórnym może być każda cewka znajdująca się w komplecie. Przekładnię  $p$  transformatora można obliczyć ze wzoru:

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

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

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

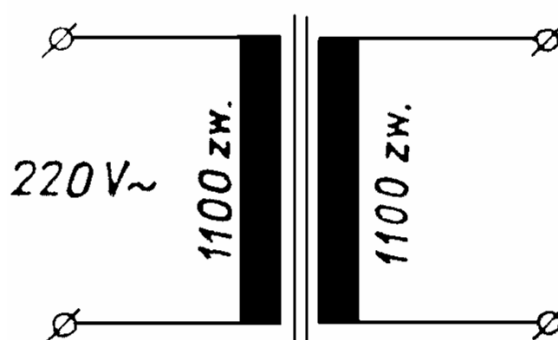
$I_1$  i  $I_2$  - natężenia prądów w uzwojeniach transformatora.

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 wtórne 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 zasilać np. lutownicę 100 W i bezpiecznie się nią posługiwać. Schemat takiego transformatora jest przedstawiony na rys. 10.

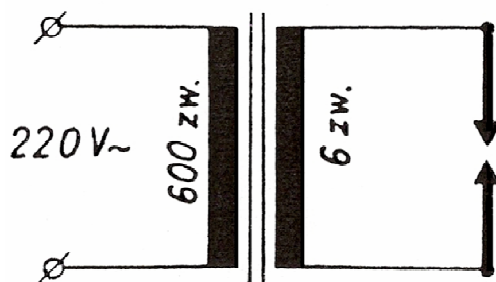


rys.10

### Doświadczenie 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 ~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.

## Spawanie (rys. 11)



rys.11

Do doświadczenia przygotowujemy dwa paski blachy stalowej o grubości  $0,2 \pm 0,5$  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 elektrod blachy nagrzeją się do temperatury topnienia, że stopią się tworząc spaw punktowy.

## Topienie metali

Układ elektryczny taki jak w poprzednim doświadczeniu, tylko zamiast cewki do spawania, nakładamy na kolumnę rdzenia rynienkę do topienia metali. Między cewką i rynienką wkładamy tekturę azbestową, która zabezpieczy celonową osłonę cewki przed uszkodzeniem. Do rynienki wkładamy kawałki łatwotopliwego 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 ciepłą.

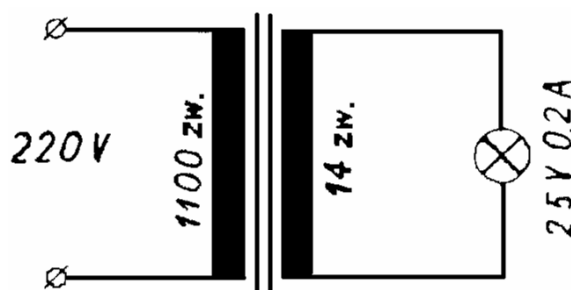
## Wahadło Waltenhofena

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

prostopadle. Ruch wahadła hamują linie sił tego 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 przepływające 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 (rys. 12)



rys.12

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. 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.)

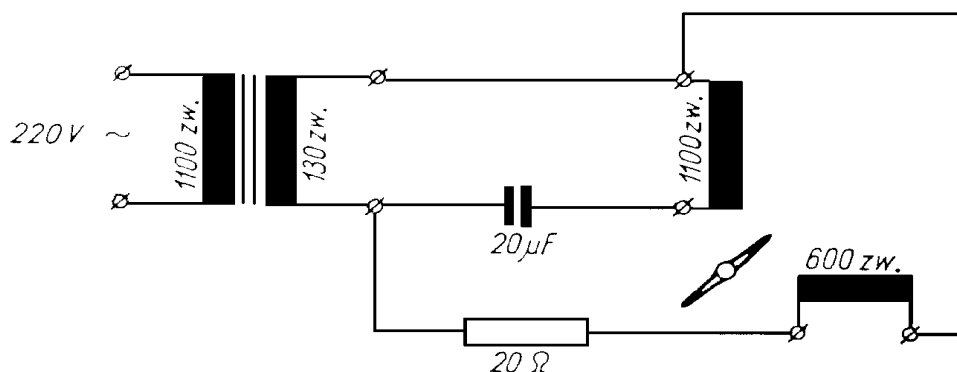
Transformator z cewkami pierwotną 1100 zw. i wtórną 6500 zw. wytwarza na uzwojeniu wtórnym napięcie 1200 V. Gdy zastosujemy cewkę pierwotną 600 zw., to po stronie wtórnej na zaciskach cewki 6500 zw. otrzymamy napięcie 2400 V. Napięciem tym można zasilać ozonizator. Można również pokazać iskrowe wyładowania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

Uwaga: Doświadczenia z transformatorem rozbiernym, 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. Do długotrwałej pracy transformatora na uzwojenie pierwotne należy stosować wyłącznie cewkę 1100 zwojów.

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

## Wirujące pole magnetyczne

Schemat elektryczny układu przedstawia rys. 13.



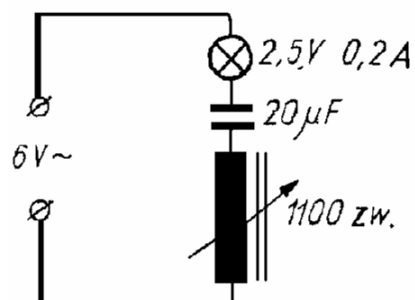
rys.13

Elementami spoza kompletu jest igła magnetyczna na podstawie oraz kondensator około  $20 \mu\text{F}$ . Może to być bateria kondensatorów z przyrządu do demonstracji wirującego pola magnetycznego. Wirujące pole magnetyczne powstanie wówczas, jeśli dwie cewki ustawione prostopadłe względem siebie będziemy zasilali napięciami przesuniętymi w fazie o  $90^\circ$ . 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.

## Obwody rezonansowe

a. Szeregowy. Schemat elektryczny układu przedstawia rys. 14.

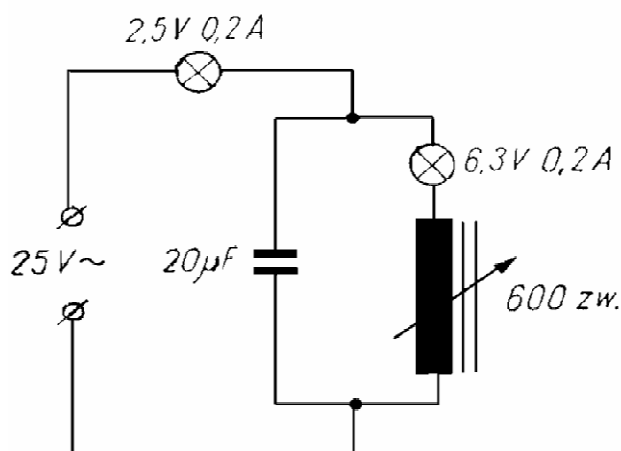
Indukcyjnością obwodu jest rdzeń z cewką 1100 zwojów. Pojemność obwodu może stanowić bateria kondensatorów z przyrządu do demonstracji wirującego pola magnetycznego. Obwód zasilamy napięciem przemiennym np. z zasilacza prądu stałego i zmiennego. Obwód dostrajamy do rezonansu zwróć nakładając ją na kolek 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 wygaszanie żarówki. Gdy obwód nie jest w rezonansie, żarówka 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 napięć na składowych biernych oporów pojemnościowego i indukcyjnego znoszą się, prąd w obwodzie wzrasta i żarówka się zaświeci. Jest to rezonans napięć.



rys.14



b. Równoległy. Schemat elektryczny jest przedstawiony na rys. 15.



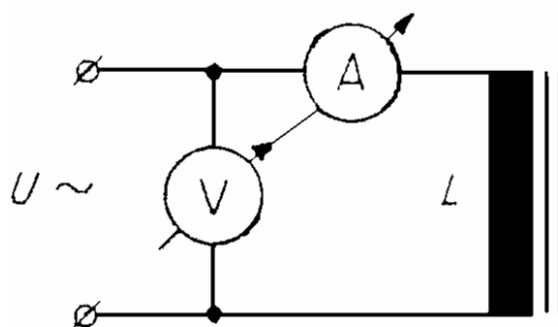
rys.15

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 szeregowej, 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 indukcyjności metodą techniczną.

Układ pomiarowy jest przedstawiony na rys. 16.



rys.16

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

$$J_{mx} = 0,5 d^2 (A)$$

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

$$L = \frac{U}{I \cdot \omega} (H)$$

Gdy uwzględnimy opór rzeczywisty drutu nawojowego indukcyjność cewek obliczymy ze wzoru:

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

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

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

---

## BIOFIZ

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU POMOCY NAUKOWYCH I ZAOPATRZENIA SZKÓŁ WARSZAWA

Transformator rozbieralny wraz z instrukcją został zatwierdzony przez Ministerstwo Oświaty pismem nr GM 1-5776/53 1683/57 z dnia 12.10.1953 roku do użytku szkolnego

Nr katalogowy: V 5-129

Produkowano: Fabryka Pomocy Naukowych w Nysie

---

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