

## Aufbautransformator



**Ausführung** Im Plastikkoffer mit Inneneinteilung  
**Abmessungen** 512 x 360 x 115 mm

### Inhalt

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 U-Kern mit Joch                | 2 Polschuhe             |
| 1 Spule 5 Wdg. (Punktschweißen)  | 1 Metallschmelzrinne    |
| 2 Spulen 220 V, 1100 Wdg.        | 1 Spule 110 V, 600 Wdg. |
| 1 Spule 1200 V, 6500 Wdg.        | 1 Spule 24 V, 130 Wdg.  |
| 1 Spule 12 V, 66 Wdg.            | 1 Spule 6 V, 33 Wdg.    |
| 1 Spule 2 x 6 Wdg. mit Glühbirne | 1 Spule 24 V, 130 Wdg.  |
| 1 Foucault'sches Pendel.         |                         |

ZERLEGBARER TRANSFORMATOR MIT ZUBEHÖR ZUR DEMONSTRATION DER  
ELEKTROMAGNETISCHEN INDUKTION

### Achtung

**Bitte beachten Sie, dass bei Spannungen über 30V eff. AC bzw. 60V DC Sicherheitsmessleitungen verwendet werden. Messungen über dieser Spannungen mit einem Oszilloskop sollten über Differentialastköpfe erfolgen. Alle Messgeräte sollen der Schutzklasse II entsprechen.**

### Einzelteile

- 1 - Kern
- 2 - Joch
- 3 - 4 Spulen
- 4 - Spule mit Glühbirne
- 5 - Schweißspule
- 6 - Metallschmelzrinne
- 7 - 2 Polschuhe
- 8 - 1 Halterung für die Untersuchung des Elektromagneten

### EINZELBESCHREIBUNGEN

#### 1 - KERN ( Abb. 1)

Der Kern setzt sich aus U-Bleichen zusammen. Die oberen Flächen der beiden Schenkel (38 x 38 mm) sind sorgfältig geschliffen und mit Zentrierstiften für das Joch oder die Polschuhe versehen, die auf den Kern gesetzt werden können. Diese Oberflächen müssen gegen mechanische Beschädigungen und Korrosion geschützt werden.



Abb. 1

#### 2 - JOCH ( Abb. 2)

Das Joch besteht aus I-Bleichen. Die Oberflächen (1) und (2) des Joches sind geschliffen und haben Löcher (3), in die die Stifte der beiden Schenkel des Kerns kommen. Diese Oberflächen müssen gegen mechanische Beschädigungen und Korrosion geschützt werden. Das Joch kann senkrecht oder waagrecht auf den Kern gesetzt werden.

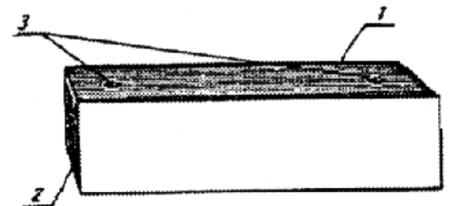


Abb. 2

#### 3 - SPULEN ( Abb. 3)

Die Spulen sind auf Isolationskörper aufgewickelt und mit Anschlussbuchsen ausgerüstet. Die Daten der Spulen sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

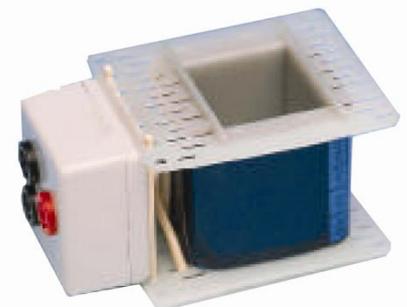


Abb. 3

Anzahl der Windungen	Draht - Ø	Spannung in V	Strom in A	Widerstand in Ohm	Induktivität in mH	Zahl der Spulen
33	2,2	6	10	0,04	0,045	1
66	1,8	12	6,4	0,1	0,16	1
130	1,5	24	4,5	0,25	0,6	1
600	0,65	110*	0,8	6	12	1
1100	0,5	220*	0,45	17	40	2
6500	0,2	1200*	0,06	655	1500	1

\* siehe Bemerkung auf Seite 1

#### 4 - SPULE MIT GLÜHBIRNE (Abb. 4)

Die Spule ist auf einem Isolierkörper aufgewickelt, der mit einem Handgriff versehen ist, auf dem eine Fassung mit einer Glühbirne befestigt ist.

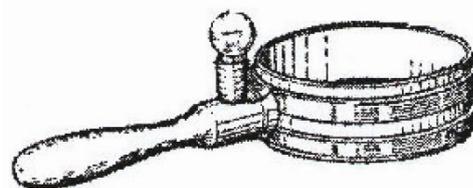


Abb. 4

#### 5 - SPULE FÜR PUNKTSCHWEIßEN (Abb. 5)

Die Schweißspule ist eine Spule aus sehr dickem Draht mit 5 Windungen. An den Enden der Spule befinden sich Elektroden für Versuche zum Punktschweißen, die in den Handgriffen befestigt sind.

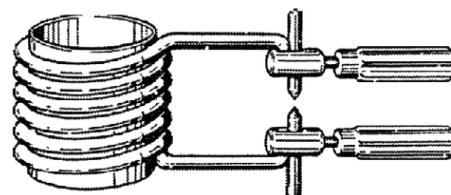


Abb. 5

#### 6 - SCHMELZRINNE (Abb. 6)

Rinne aus Metall mit Isoliergriff zum Schmelzen von Metallen.

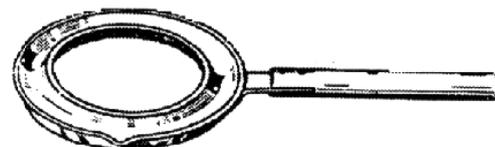


Abb. 6

#### 7 - POLSCHUHE (Abb. 7)

Die beiden Polschuhe mit einem Querschnitt von 38 x 38 mm dienen u. a. zur Untersuchung des Foucault'schen Pendels.

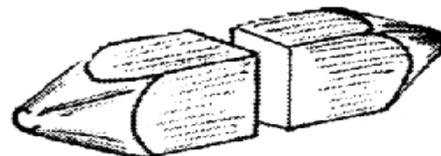


Abb. 7

## VERSUCHE

### 1. Grundlegende Überlegungen

Wird ein geschlossener elektrischer Stromkreis, der aus einem oder mehreren Leitern, hier aus Spulen, besteht, so in einem Magnetfeld bewegt, dass er die Feldlinien schneidet, fließt ein elektrischer Strom. Die elektrischen Ströme, die so erzeugt werden, heißen Induktionsströme. Die Erregung einer elektromotorischen Kraft durch Induktion nennt man elektromagnetische Induktion.

Die Größe dieser elektromotorischen Kraft hängt ab von der magnetischen Induktion, von der wirksamen Länge und der Anzahl der Leiter (Anzahl der Windungen der Spule), wie auch von der Geschwindigkeit der Bewegung der Leiter in Magnetfeld.

Sie ist proportional zum Sinus des Winkels zwischen der Bewegungsrichtung des Leiters und der Richtung der magnetischen Induktion. Die Richtung der EMK kann nach der Fleming'schen Regel (Rechte-Hand-Regel) bestimmt werden. Die Induktionsströme und die induzierten EMK folgen der Lenz'schen Regel. Die Größe der induzierten EMK wird bestimmt nach der Formel:

$$e = B \times l \times v \times \sin \alpha \times 10^{-8} \quad (\text{in V})$$

### 2. ERREGUNG EINES INDUKTIONSSTROMES MIT EINEM DAUERMAGNETEN

Mit der Spule mit 1200 Windungen und einem Nullgalvanometer baut man einen elektrischen Stromkreis auf.

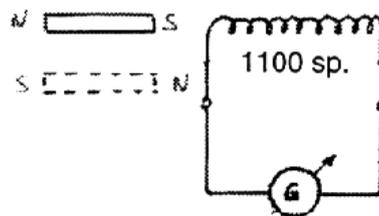


Abb. 8

Mit einer schnellen Bewegung schiebt man den Magneten in die Spule. Die Nadel des Galvanometers schlägt aus. Den Magneten nun mit schneller Bewegung wieder aus der Spule herausziehen. Die Nadel bewegt sich in die andere Richtung. Die Richtung des Induktionsstromes hängt also von der Bewegungsrichtung des Leiters im Magnetfeld ab. Man wiederhole den Versuch mit umgedrehtem Magneten (wie in Abb. 9 gestrichelt angezeigt). Die Nadel des Galvanometers wird nun in entgegengesetzter Richtung wie zuvor abgelenkt. Die Richtung des Induktionsstromes hängt also von der Richtung des Magnetfeldes ab. Nun wiederholt man den Versuch mit anderen Spulen, z.B. mit 600 und 200 Windungen. Dabei stellt man fest, dass die Induktionsströme mit abnehmender Windungszahl der Spule kleiner werden. Führt man den Magneten mit unterschiedlichen

Geschwindigkeiten in die Spule ein und aus, so stellt man fest, dass die Größe der Induktionsströme von der Geschwindigkeit der Bewegung des Leiters im Magnetfeld abhängt.

### 3. ERREGUNG EINES INDUKTIONSSTROMES MIT EINEM ELEKTROMAGNETEN

**Man benötigt:** 1 Batterie, 1 regelbarer Widerstand 20 - 30 Ohm

Die Schaltungen werden nach Abb. 9 aufgebaut. Die Spule des Elektromagneten (600 Windungen) und die Induktionsspule mit 1200 Windungen werden nebeneinander in einer Linie ausgerichtet. An den Klemmen der Spule mit den 1200 Windungen wird ein Galvanometer angeschlossen.

- 3.1 Der Stromkreis des Elektromagneten wird geschlossen und der Kern wird mit einer schnellen Bewegung in die Spule hineingeschoben. Das Galvanometer zeigt den Strom im Stromkreis der Induktionsspule an.

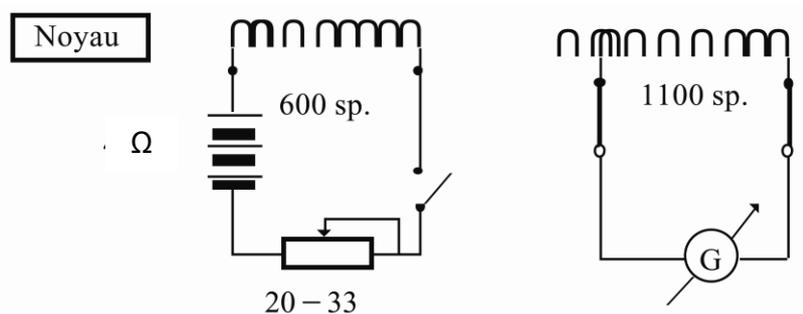


Abb. 9

Nun kann man die Stromstärke im Kreis des Elektromagneten mit dem regelbaren Widerstand verändern und den Versuch wiederholen.

- 3.2 Nun wird der Induktionsstrom durch Auftrennen des Stromkreises erregt. Der Versuch wird durchgeführt:

- a - ohne Kern
- b - mit dem Stahlkern durch beide Spulen durchgeschoben
- c - mit Anker anstelle des Stahlstücks

Mit dem Stahlkern ist der Induktionsstrom größer und nimmt mit wachsendem Kernquerschnitt zu.

- 3.3 Nun wird der Induktionsstrom durch Ändern der Stromstärke im Kreis des Elektromagneten erregt. Die Änderung dieses Stroms wird durch schnelles Verändern des regelbaren Widerstandes erreicht. Die Änderung des Widerstandes bewirkt eine Stromänderung im Kreis des Elektromagneten und gleichzeitig eine Änderung des

Magnetfeldes. Das Galvanometer zeigt den Strom an, der im Kreis der Induktionsspule fließt.

- 3.4 Der Versuch kann auch mit den Stahlkernen wiederholt werden.

#### **4 - ELEKTRISCHE STROMKREISE MIT INDUKTIVITÄT**

Man benötigt: 1 Spule 1200 Wdg., 3 Glühbirnen mit Fassung, 1 Schalter, 1 Batterie 4.5 V, 1 regelbarer Widerstand 10 - 30 Ohm

- 4.1 Schließt man einen elektrischen Stromkreis mit Induktivität an eine Wechselstromquelle an, so erreicht die Stromstärke nicht sofort ihren Wert nach dem Ohm'schen Gesetz, sondern erst nach einer gewissen (theoretisch unendlich langen) Zeit. Diese Verspätung des Stromanstieges im elektrischen Stromkreis mit Induktivität kann mit dem folgenden Versuch gezeigt werden.

Man baut die Schaltung nach Abb. 10 auf und schließt den Kreis. Die Glühbirnen leuchten nicht gleichzeitig auf: die Glühbirne, die in Reihe zur Spule geschaltet ist, leuchtet mit einer gewissen Verspätung auf. Diese Verspätung des Stromanstiegs im elektrischen Stromkreis mit Induktivität kommt durch die elektromotorische Gegenkraft.

- 4.2 Trennt man den elektrischen Stromkreis wieder auf, wird durch die EMK der Selbstinduktion eine Spannung induziert. Beim Auftrennen nimmt der magnetische Fluss in der Spule schnell ab und da die EMK der Induktion proportional zur Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Flusses ist, übersteigt die induzierte Spannung die Versorgungsspannung des Stromkreises. Das lässt sich leicht zeigen, indem man den Versuch mit der el. Schaltung nach Abb.11 durchführt. Schließt man den Stromkreis, so fließt der Strom durch Glühbirne und Spule. Der Kreis wird mit einer Spannung von 4.5 V versorgt, die Glühbirne ist jedoch für 12 V ausgelegt und so glüht sie nur ganz schwach. Beim Auftrennen des Kreises leuchtet die Glühbirne für einen kurzen Moment hell auf.

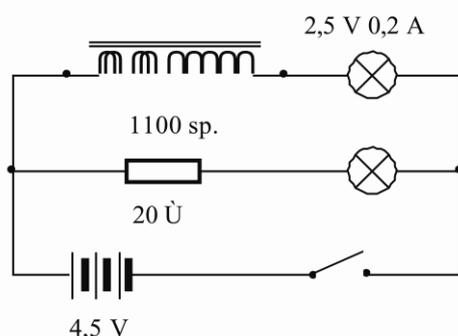


Abb. 10

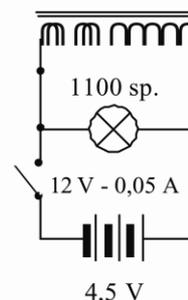


Abb. 11

## 5 - DER TRANSFORMATOR

Der Transformator ist ein Wechselstromgerät, dessen Funktionsweise auf der elektromagnetischen Induktion beruht. Die Einzelteile aus diesem Sortiment ermöglichen den Aufbau eines einphasigen Transformators mit folgenden Kennwerten:

Wirksame Querschnittsfläche des Kerns :	12 cm
Sekundärleistung:	90 VA
Primärleistung:	120 VA
Wirkungsgrad:	85 %

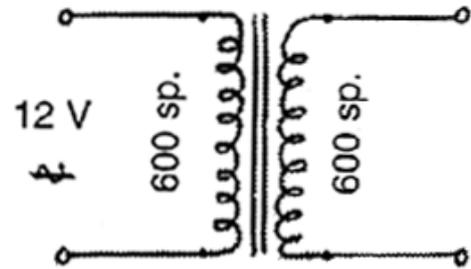


Abb. 12

Für die Primärwicklung benötigt man bei Anschluss an ein 220 V-Netz die Spule mit 1100 Windungen oder bei einem 110 V-Netz die Spule mit 600 Windungen. (Für diese Leistung vorgesehene Spule).

Für einige Versuche von kurzer Dauer kann die Spule mit 600 Windungen auch bei einer Netzspannung von 220 V verwendet werden. Dies ist möglich dank der schwachen magnetischen Induktion des Kerns. Für die Sekundärwicklung kann eine beliebige andere Spule aus dem Sortiment verwendet werden.

Das Übersetzungsverhältnis  $p$  kann nach folgender Formel berechnet werden:

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

$Z_1, Z_2$	Anzahl der Windungen der Primär- und der Sekundärwicklung
$V_1, V_2$	Primär- und Sekundärspannung
$I_1, I_2$	Stromstärken in den Wicklungen des Transformators

Es ist einfach, das Übersetzungsverhältnis aus den Windungszahlen zu berechnen. Wenn also  $p = 1$  ist, so bedeutet das, dass die Primär- und Sekundärspannungen gleich groß sind. Transformatoren mit einem solchen Übersetzungsverhältnis werden als Sicherheitstrafos in Werkstätten und Fabriken verwendet, um das Personal gegen tödliche elektrische Schläge zu schützen. Den Sicherheitstrafo kann man aufbauen, indem man die beiden Spulen mit 600 Windungen auf die Schenkel des Kerns steckt. An seiner Sekundärwicklung kann man z.B. einen LötKolben anschließen, um ihn in völliger Sicherheit zu benutzen. Dieser Trafo ist in Abb. 12 schematisch dargestellt.

## 6 - DAS SCHWEISSEN

Es sind 2 Streifen aus Stahlblech vorzubereiten. Man reinigt die zu schweißenden Stellen und legt die Streifen aufeinander zwischen die Elektroden der Spule mit 5 Windungen. Drückt man nun die Elektroden mit den Handgriffen aufeinander, so

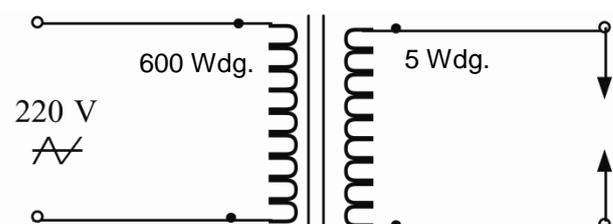


Abb. 13

werden die Bleche an den Kontaktstellen der Elektroden bis zum Schmelzpunkt erhitzt und erzeugen einen Schweißpunkt.

## 7 - METALLSCHMELZEN

Die elektrische Schaltung hierfür entspricht der Vorhergehenden, nur wird die Sekundärwicklung durch die Metallschmelzrinne ersetzt. Zwischen Rinne und Spule stellt man ein Stück Asbestkarton, um die Isolation der Spule gegen Beschädigungen zu schützen. In die Rinne legt man kleine Metallstücke mit niederem Schmelzpunkt. (z.B. eine Verbindung aus 30 % Zinn und Blei). Die Rinne stellt eine kurzgeschlossene Windung dar, in der ein sehr hoher Strom induziert wird. Der elektrische Widerstand berechnet sich nach folgender Formel:

$$R = \rho \cdot l / S \quad (\text{in Ohm})$$

An diesem Widerstand entsteht Wärme, proportional zum Quadrat der Stromstärke entsprechend der Formel:

$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot T \quad (\text{in cal})$$

Die Rinne erhitzt sich also bis zur Schmelztemperatur der verwendeten Verbindung. Das elektrische Punktschweißen und das Metallschmelzen sind Beispiele für die Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie.

## 8 - SPULE MIT GLÜHBIRNE

Mit der Glühbirnenspule lässt sich die Abhängigkeit zwischen der Größe des Induktionsstromes und der magnetischen Kopplung im Transformatorkreis zeigen. Man setzt den Anker senkrecht auf den einen Schenkel des Kerns, auf den anderen die Spule mit 1200 Wdg., die an das Netz angeschlossen wird. Dann setzt man die Spule mit der Glühbirne auf den mit dem Anker verlängerten Schenkel.

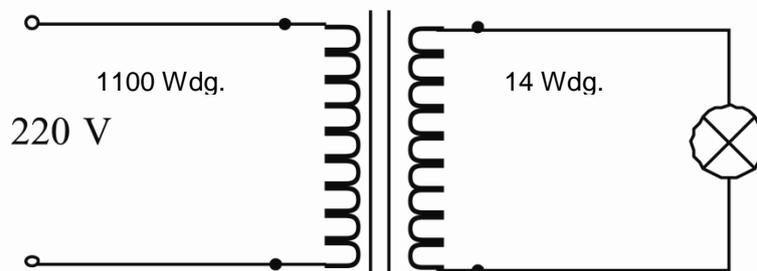
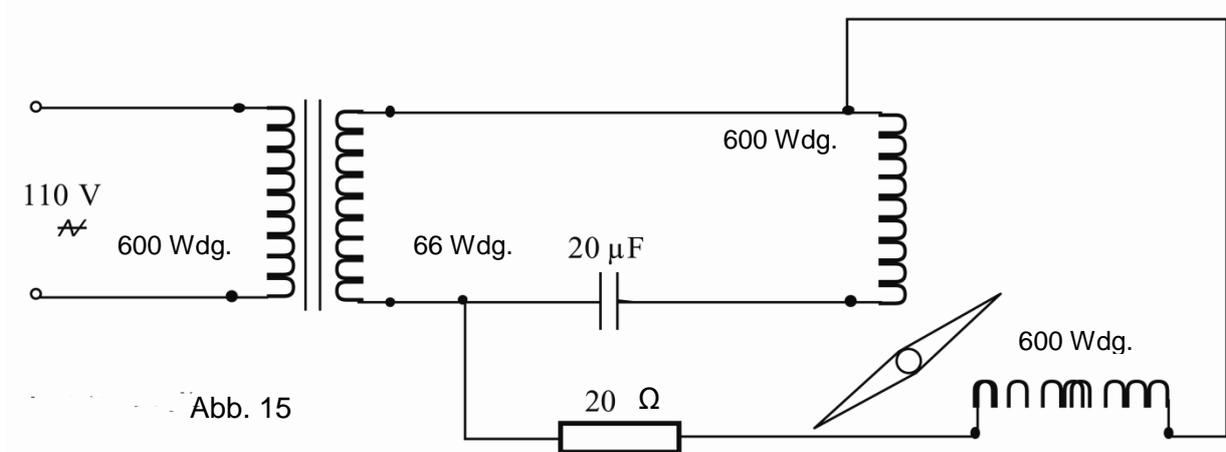


Abb.14

Je mehr man die Spule dem Fuß des Kernes nähert, desto heller leuchtet die Glühbirne. Ein nicht magnetisches Zwischenstück zwischen Kern und Anker bewirkt dasselbe. Vergrößert man dieses Zwischenstück, so wird das Licht der Glühbirne schwächer.

## 9 - MAGNETISCHES DREHFELD



### Man benötigt

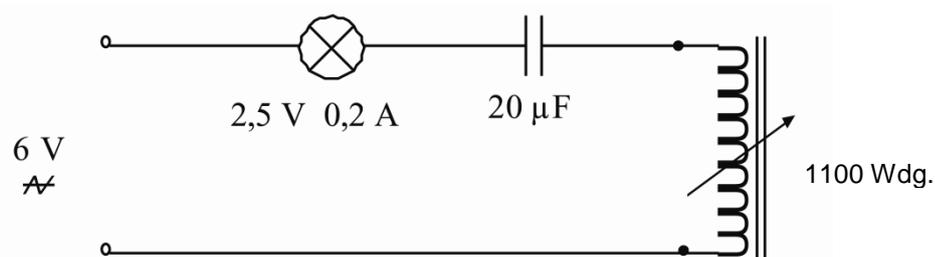
- eine Magnetnadel auf einer Drehspitze befestigt
- ein 20 µF-Kondensator oder eine Kondensatorbatterie
- einen regelbaren Widerstand 20 - 30 Ohm

Das magnetische Drehfeld entsteht, wenn 2 Spulen senkrecht zueinander aufgestellt sind und mit 90° phasenverschobenen Spannungen versorgt werden. Die Spannung im Kreis von Spule und Kondensator ist um 90° phasenverschoben bzgl. der Spannung im Kreis von Spule und Widerstand. Man schließt den Stromkreis an das Netz an und bringt die Nadel aus ihrer Gleichgewichtslage. Die Nadel dreht sich synchron mit dem Pulsieren der Versorgungsspannung. Die Drehrichtung der Nadel kann durch Vertauschen der Pole an einer der Spulen geändert werden.

## 10 - RESONANZSCHWINGKREISE

### 10.1 - REIHENSCHWINGKREIS

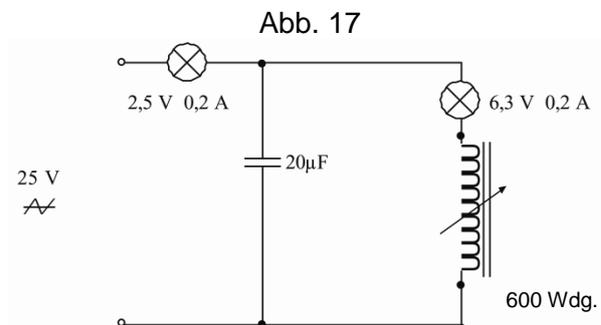
Die Induktivität des Kreises besteht aus dem Kern und der Spule mit den 1200 Windungen. Der Kondensator kann aus einer Kondensatorbatterie aufgebaut werden.



Der Stromkreis wird von einer Wechselstromquelle versorgt. Der Abgleich des Schwingkreises auf Resonanz erfolgt mit Hilfe des Ankers, den man auf den Stift des einen Schenkels setzt und sein freies Ende dreht, bis die Glühbirne leuchtet. Der Schwingkreis ist in Resonanz, wenn das Bewegen des Ankers in beiden Richtungen ein Erlöschen der Glühbirne bewirkt. Ist der Schwingkreis nicht in Resonanz, bleibt die Glühbirne dunkel, weil der Scheinwiderstand von Spule und Kondensator so groß ist, dass der im Stromkreis fließende Strom zu schwach ist, den Faden der Glühbirne genügend aufzuheizen. Im Resonanzfall nimmt der Blind-Widerstand des Kreises ab, der Strom im Kreis nimmt zu und die Glühbirne leuchtet. Das ist die Resonanz der Spannungen.

## 10.2 - PARALLELSCHWINGKREIS

Der Stromkreis wird von einer Wechselstromquelle versorgt. Der Abgleich des Stromkreises auf Resonanz erfolgt wie im vorhergegangenen Versuch. Wenn der Stromkreis sich nicht in Resonanz befindet, leuchtet die in Reihe geschaltete Glühbirne (1). Bei Resonanz erlischt die Glühbirne in Reihe und die Glühbirne (2) des Resonanzschwingkreises beginnt zu brennen. Die Glühbirne (1) brennt nicht, weil in diesem Moment der Versorgungsstrom sehr schwach ist. Der Strom hingegen im Parallelkreis ist sehr stark und somit brennt die Glühbirne (2). Das ist die Resonanz der Ströme.



## 11 - BERECHNUNG DER INDUKTIVITÄT DER SPULE

Hierzu baut man die Schaltung nach Abbildung 18 auf:

Die Spannung (Wechselspannung) ist so einzustellen, dass die Stromstärke den für die zu messende Spule zulässigen Wert nicht überschreitet. Der Wert des zulässigen Stromes  $I_{max}$  kann aus dem Durchmesser des Spulendrahtes berechnet werden.

$$I_{max} = 0.5 d^2 \quad (\text{in A})$$

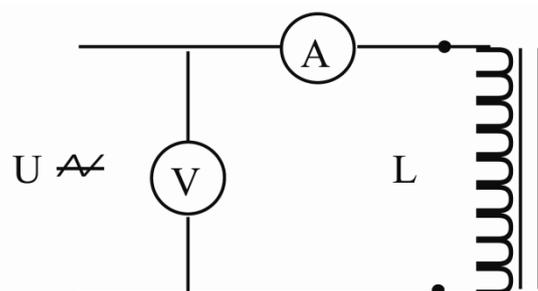


Abb. 18

Wenn man den ohmschen Widerstand der Spule vernachlässigt, was für Spulen mit dickem Draht und wenig Windungen möglich ist, kann die Induktivität nach der folgenden Formel berechnet werden:

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

Wird der Widerstand des Drahtes berücksichtigt, so berechnet sich die Induktivität nach der Formel:

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

Die Messungen von Strom und Spannung müssen mit Wechselstrommessgeräten durchgeführt werden, z.B. mit Universalgalvanometern. Bei einer Netzfrequenz von 50 Hz beträgt die Kreisfrequenz des Netzes:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ s}^{-1}.$$

Wenn Sie Änderungs- und/oder Verbesserungsvorschläge haben, so können Sie uns diese gerne mitteilen.