

densator wird leitend. Der nun fließende Strom zersetzt den Elektrolyten. Es entsteht ein Gas, das den Kondensator zum Platzen bringen kann.

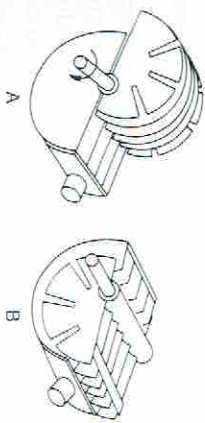


Bild 5-7: Drehkondensator
A: Platten herausgedreht, B: Platten eingedreht

Es gibt mechanisch veränderbare Kondensatoren, die aber aus Kostengründen mehr und mehr durch Kapazitätsdioden ersetzt werden. Im Bild 5-7 ist ein Drehkondensator dargestellt. Mit Hilfe einer Drehachse kann man den drehbaren Teil (Rotor) mehr oder weniger zwischen die Platten des feststehenden Teils (Stator) eindrehen und damit die Kapazität verändern.

Im Bild 5-8 sind die Schaltzeichen für Kondensatoren dargestellt. Veränderbare Kondensatoren erhalten wie veränderbare Widerstände einen Schrägstrich durch das Symbol. Ein Querstrich am Ende bedeutet, dass dieser Kondensator nur mit Hilfe eines Werkzeugs verändert werden kann (Trimmer). Ein Pfeil bedeutet Bedienbarkeit von außen. Gepolte Kondensatoren erhalten entweder ein Pluszeichen auf der entsprechenden Platte (d) oder werden einseitig dicker gezeichnet (e).

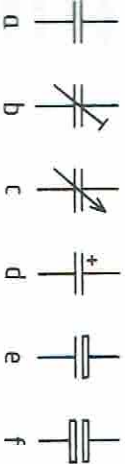


Bild 5-8: Schaltsymbole Kondensatoren:
a allgemein, b einstellbar (Trimmer), c veränderbar, d gepolt, e Elko gepolt, f Elko ungepolt

Kennzeichnung von Kondensatoren

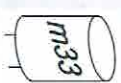
Früher hat man die Daten (Kapazität, Toleranz, maximale Spannung) auf den Kondensator aufgedruckt. Im Zuge der Miniaturisierung ist kein Platz mehr dafür, außer bei den noch immer großen Elektrolytkondensatoren (Bild 5-5). Deshalb verwendet man zur Kennzeichnung des Kapazitätswertes ein ähnliches System wie bei den SMD-Widerständen, nämlich die Größenkennzeichnung Milli (m), Mikro (μ), Nano (n) oder Piko (p) an die Stelle des Kommas zu setzen.

Beispiele

$m47 = 0,47 \text{ mF} = 470 \text{ }\mu\text{F}$
 $4\mu7 = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$
 $n47 = 0,47 \text{ nF} = 470 \text{ pF}$
 $4n7 = 4,7 \text{ nF}$
 $4p7 = 4,7 \text{ pF}$

Prüfungsfrage TC203

Welche Kapazität hat der folgend abgebildete Kondensator?



- A 3,3 μF
- B 33 μF
- C 330 μF
- D 33000 μF

Die Lösung finden Sie im Anhang 2.

Bearbeiten Sie die **Prüfungsfragen TC202, TC207, TC204 und TC205**.

Hinweis

Wenn Sie im Text nicht alle Auswahlantworten einer Aufgabe finden, sehen Sie bitte im Anhang 1 nach. Die Lösungen der nicht beantworteten Prüfungsfragen finden Sie im Anhang 2 dieses Buches.

Lektion 6: Spule, Transformator

In der vorigen Lektion haben Sie den Kondensator kennen gelernt. In dieser Lektion geht es um die Spule, die in ihrem Verhalten häufig mit dem eines Kondensators verglichen werden kann.

Übersicht:

- Induktivität
- Wechselstromwiderstand
- Bauelemente
- Transformator

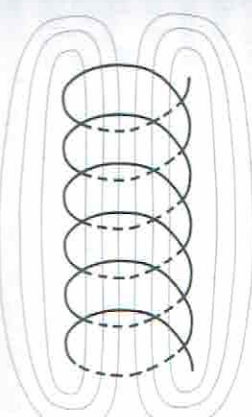


Bild 6-1: Spule mit Magnetfeld

Eine Spule besteht aus aufgewickeltem Draht. Wenn durch den Draht einer Spule Strom fließt, ist ein Magnetfeld vorhanden, das gespeicherte Energie darstellt. Das Magnetfeld ist nicht sichtbar. Wenn man mit einer Kompassnadel in die Nähe einer stromdurchflossenen Spule kommt und die Richtung der Nadel als Linie zeichnet, erhält man ein Bild ähnlich 6-1. Innerhalb der Spule verlaufen die Linien parallel. Man sagt, es handelt sich um ein homogenes Feld. Außerhalb schließen sich die Linien in Bögen.

Eine Spule besteht aus aufgewickeltem Draht. Wenn durch den Draht einer Spule Strom fließt, ist ein Magnetfeld vorhanden, das gespeicherte Energie darstellt. Das Magnetfeld ist nicht sichtbar. Wenn man mit einer Kompassnadel in die Nähe einer stromdurchflossenen Spule kommt und die Richtung der Nadel als Linie zeichnet, erhält man ein Bild ähnlich 6-1. Innerhalb der Spule verlaufen die Linien parallel. Man sagt, es handelt sich um ein homogenes Feld. Außerhalb schließen sich die Linien in Bögen.

Prüfungsfrage TB402

Wie nennt man das Feld im Innern einer langen Zylinderspule beim Fließen eines Gleichstroms?

- A Homogenes elektrisches Feld
- B Zentriertes magnetisches Feld
- C Konzentrisches magnetisches Feld
- D Homogenes magnetisches Feld

Sie finden die richtige Lösung wiederum im Anhang. Vergleichen Sie!

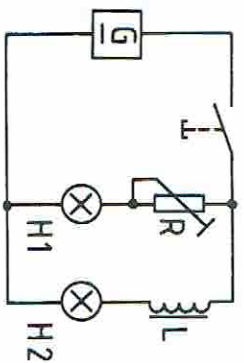


Bild 6-2: Demonstration der Selbstinduktion

Energieübertragung kann sehr schnell, aber niemals augenblicklich erfolgen. Sie dauert immer eine gewisse Zeit. Deshalb steigt der Strom in einer Spule nie augenblicklich an. Er baut sich immer nach und nach auf, während die Energie in das Magnetfeld übertragen wird. Dieses langsame Ansteigen soll durch einen Versuch nachgewiesen werden.

Schaltet man wie in Bild 6-2 zwei Glühlampen gleichzeitig an eine Spannungsquelle, wobei eine Glühlampe über einen Widerstand und die andere über eine Spule mit vielen Windungen und Eisenkern angeschlossen ist, so leuchtet die Lampe mit der Spule deutlich später auf, obwohl nachher beide Lampen gleich hell leuchten. Der Strom wird also verzögert.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfrage TC305!

Diese Verzögerung kommt dadurch zustande, dass zunächst in dem Draht der Spule eine Gegenspannung erzeugt wird, sobald sich der Strom durch die Spule ändert und das Magnetfeld aufgebaut wird. Diese Gegenspannung wird Selbstinduktionsspannung genannt.

Wenn man bei der Spule Bild 6-2 den Eisenkern herauslässt oder die Spule durch eine mit weniger Windungen ersetzt, wird die Verzögerung geringer. Diese Abhängig-



Bild 6-3: Zylinderspule

keit wird zusammengefasst in dem Selbstinduktionskoeffizienten, der Induktivität L .

Mathematisch lässt sich dies mit Hilfe von Formeln ausdrücken. Die Induktivität lässt sich aus ihren geometrischen Abmessungen und den Werkstoffeigenschaften des verwendeten Kerns berechnen.

$$L = \frac{\mu \cdot A}{l} N^2 \quad \text{Vergleich: } C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

Die Werkstoffeigenschaften des Kerns werden durch die Permeabilität μ gekennzeichnet, ähnlich wie die Dielektrizitätskonstante beim Kondensator. A ist die Querschnittsfläche der Spule. Beim Kondensator war dies die Plattenfläche. l ist die Länge der magnetischen Feldlinien. Beim Kondensator war dies der Plattenabstand – dort mit d bezeichnet. Hinzugekommen ist die quadratische Abhängigkeit von der Windungszahl.

Die Induktivität steigt mit dem Permeabilitätswert μ , mit der Querschnittsfläche A und sogar quadratisch mit der Windungszahl N , sinkt aber mit der Spulenlänge l . Die Einheit der Induktivität ist Henry (H). Typisch sind Luftspulen in Mikrohenry (μH) oder Spulen mit Ferrikernen in Millihenry (mH).

In der Praxis wird eine Spule so hergestellt, dass man den Draht Windung an Windung auf einen Wickelkörper wickelt, wie die Skizze im Bild 6-3 zeigt. Im Amateurfunk verwendet man auch selbst tragende Luftspulen aus dickem Draht (Bild 6-7).

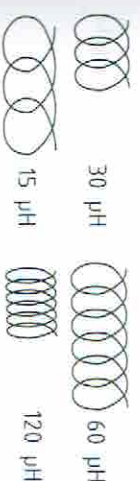


Bild 6-4: Veränderung der Geometrie einer Spule

Wenn man eine Spule (zum Beispiel 30 μH) auf die doppelte Länge auseinander zieht, "verdünnt" sich das Magnetfeld und die Induktivität halbiert sich (15 μH). Wenn man eine Spule auf die halbe Länge zusammen staucht, ist das Magnetfeld konzentrierter: Die Induktivität der Spule hat sich verdoppelt. Wenn man eine Spule auf die doppelte Windungszahl verlängert, verdoppelt sich die Induktivität ebenfalls (60 μH). Wenn man die nun doppelt so lange Spule anschließend wieder auf die ursprüngliche Länge zusammenstaucht, verdoppelt sich die Induktivität nochmals (120 μH). Man hat also die vierfache Induktivität der ursprünglichen Spule.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfragen TC301 und TC302.

Tipp: Doppelte Windungszahl: vierfache Induktivität.

Um die Induktivität zu vergrößern, werden Spulenkern (Bild 6-6c) aus Ferrit verwendet. Ferrit-Gewindekerne ermöglichen einstellbare Induktivitäten. Man kann diese Kerne unterschiedlich tief in die Spule hinein schrauben. Je nach dem, ob der Gewindekern sich hauptsächlich außerhalb der Spule befindet oder tief in sie hinein ragt, ist die Induktivität der Spule kleiner oder größer. **Achtung:** Ein Kupferkern wirkt wie eine Kurzschlusswindung und verringert die Induktivität.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfragen TC303 und TC304.

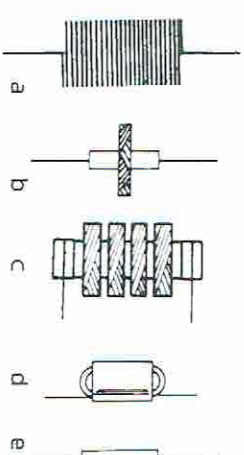


Bild 6-5: Spulen mit geringer Induktivität

Fertig gewickelte Spulen kleiner Induktivität sind im Handel erhältlich. Luftspulen (Bild 6-5 a und Bild 6-7) werden von Funkamateuren, die ihre Geräte selber bauen, selbst gewickelt. Die in einer Prüfungsfrage vorkommende Kreuzwickelspule ist in den Bildern 6-5 b und 6-5 c dargestellt.

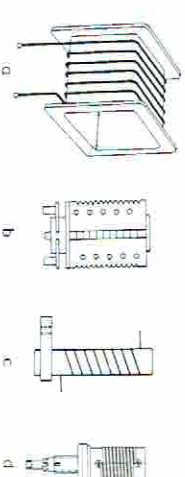


Bild 6-6: Wickelkörper für Spulen

Für die Selbstherstellung von Spulen gibt es Wickelkörper unterschiedlichster Bauformen, wovon einige im Bild 6-6 dargestellt sind. Für Senderstufen werden häufig Luftspulen aus dickem Draht verwendet. Eine drehbare Spule mit Abgriff (Schleifer) ermöglicht die Variation der Induktivität.



Bild 6-7: Luftspule mit variabler Induktivität

Reihen- und Parallelschaltung

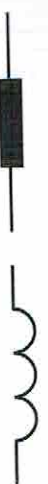


Bild 6-8: Die Schaltzeichen der Induktivität

Nach DIN sind zwei Schaltzeichen zulässig. Eine komplette Liste aller Schaltzeichen finden Sie unter Wikipedia im Internet [http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Schaltzeichen_\(Elektronik/Elektronik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Schaltzeichen_(Elektronik/Elektronik)).

Die Berechnung bei der Reihen- und bei der Parallelschaltung erfolgt wie beim Widerstand. Sind die Spulen in Reihe geschaltet, addieren sich die Induktivitäten der Spulen zur Gesamtinduktivität.

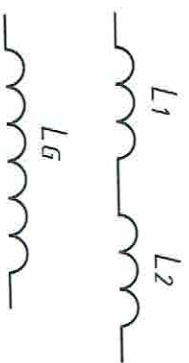


Bild 6-9: Reihenschaltung von Spulen

$$L_G = L_1 + L_2 + \dots$$

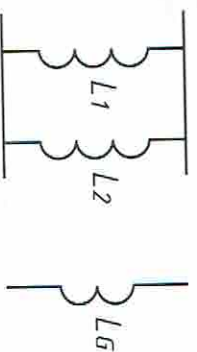


Bild 6-10: Parallelschaltung von Spulen

Entsprechend dem Widerstand lautet die Formel für die Parallelschaltung von Spulen

$$\frac{1}{L_G} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

Wechselstromwiderstand

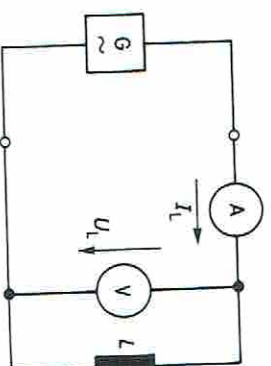


Bild 6-11: Spule an Wechselspannung

Schließt man eine Spule an Wechselspannung an (Bild 6-11), entspricht dies einer dauernden Änderung des Stromflusses, was eine ständige Entstehung einer Selbstinduktionsspannung und damit eine Verringerung des Stromflusses zur Folge hat. Dies wirkt sich also wie ein Widerstand aus. Man bezeichnet es, wie beim Kondensator, als Wechselstromwiderstand der Spule oder als induktiven Blindwiderstand X_L .

$$X_L = \frac{U_L}{I_L}$$

Die Berechnung aus Induktivität und Frequenz erfolgt gemäß folgender Formel.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$\text{Vergleich: } X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Der Wechselstromwiderstand ist umso größer, je größer die Induktivität der Spule ist und je rascher sich der Strom ändert, je höher also die Frequenz des Wechselstroms ist. Beim Kondensator war es genau umgekehrt.

Bearbeiten Sie die **Prüfungsfrage TC306**.

Übertrager – Transformator

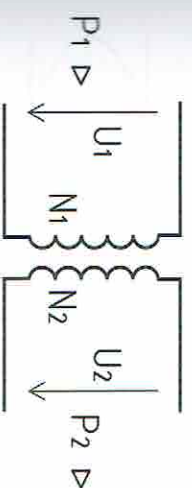


Bild 6-12: Übertrager, Transformator

Werden zwei elektrisch getrennte Spulen von einem gemeinsamen Magnetfeld durchdrungen, zum Beispiel wenn sie auf einen gemeinsamen Kern gewickelt sind, verhalten sich die Wechselspannungen in den Windungen wie deren Windungszahlen. Das Verhältnis der Windungszahlen N_1 zu N_2 nennt man Übersetzungsverhältnis \tilde{u} .

$$\tilde{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

Die Eingangswicklung eines Übertrages nennt man Primärseite (N_1 , U_1), die Ausgangswicklung Sekundärseite (N_2 , U_2). Einen verlustlosen Transformator nennt man Übertrager. Mit einem Übertrager lassen sich Spannungen, Ströme und auch ohmsche Widerstände übersetzen.

Prüfungsaufgabe TC402

Ein Trafo liegt an 45 Volt und gibt 180 Volt ab. Seine Primärwicklung hat 150 Windungen. Wie groß ist die Sekundärwindungszahl?

$$\text{Lösung: } \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\text{umgestellt: } N_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot N_1$$

$$N_2 = \frac{180 \text{ V}}{45 \text{ V}} \cdot 150 = 600$$

Die Sekundärwicklung hat 600 Windungen.

Prüfungsfrage TC401

Ein Trafo liegt an 230 Volt und gibt 11,5 Volt ab. Seine Primärwicklung hat 600 Windungen. Wie groß ist seine Sekundärwindungszahl?

- A 20 Windungen
- B 30 Windungen
- C 52 Windungen
- D 180 Windungen

Diese Aufgabe wird genau wie Aufgabe TC402 gelöst. Auch hier ist die Primärspannung und die Sekundärspannung sowie die Primärwindungszahl gegeben.

Prüfungsfrage TC403

Die Primärspule eines Übertragers hat die fünffache Anzahl von Windungen der Sekundärspule. Wie hoch ist die erwartete Sekundärspannung, wenn die Primärspule an eine 230-V-Stromversorgung angeschlossen wird?

- A 9,2 Volt
- B 23 Volt
- C 46 Volt
- D 1150 Volt

Tipp: Bei dieser Aufgabe muss nach U_2 umgestellt werden. Für die Primärwindungszahl kann man einfach den Wert 5 und für die Sekundärwindungszahl den Wert 1 einsetzen. Es kommt ja nur auf das Verhältnis an.

Beginnen Sie mit dem Ansatz

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Hinweis

Wenn Sie im Text nicht alle Auswahlantworten einer Aufgabe finden, sehen Sie bitte im Anhang 1 nach. Die Lösungen der nicht beantworteten Prüfungsfragen finden Sie im Anhang 2 dieses Buches.