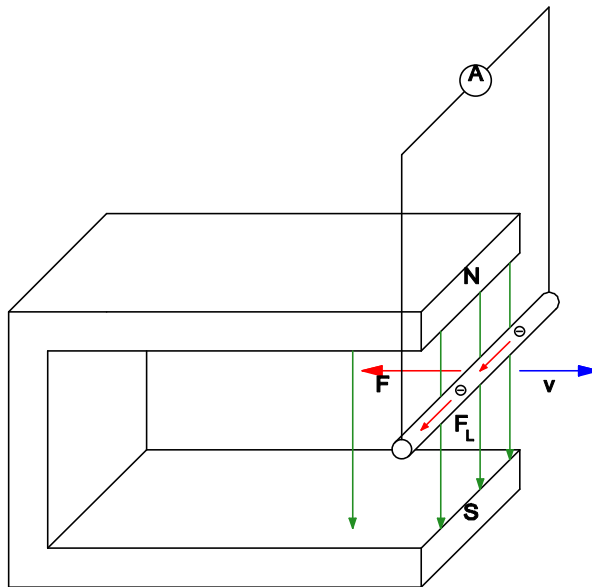


## 7. Die elektromagnetische Induktion

---

### A Die Induktion im bewegten Leiter



Bewegt man einen geraden Leiter senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfelds, dann bildet sich zwischen seinen Enden eine Spannung aus. Man sagt, eine Spannung wird **induziert**.

Keht man die Bewegungsrichtung des Leiters um, dann ändert sich die Polung der Spannung.

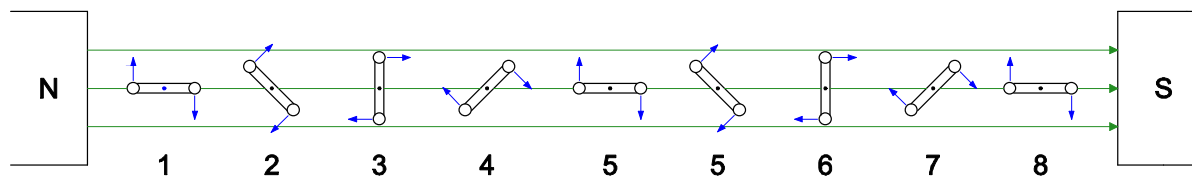
#### Erklärung:

- Auf die im Leiter vorhandenen Ladungen (Elektronen und Atomrümpfe) wirkt die Lorentzkraft  $F_L$ , wenn sie von Hand im Magnetfeld bewegt werden.
- Als Folge sammeln sich die Elektronen an einem Ende des Leiters. Am anderen Ende entsteht ein Überschuss an positiver Ladung. Es entsteht eine Induktionsspannung  $U_{\text{ind}}$ .
- Ist der Stromkreis außerhalb des Magnetfeldes geschlossen, dann fließt ein Induktionsstrom. Dieser fließt so lange, wie der Leiter bewegt wird.
- Fließt dieser Induktionsstrom, dann wirkt auf den jetzt stromdurchflossenen Leiter eine Kraft  $F$ , die ihn abbremst. Um den Induktionsstrom aufrecht zu erhalten, muss also ständig Arbeit aufgewendet werden.

Man sagt :

Der Induktionsstrom fließt so, dass er seiner Ursache (Bewegung mit der Geschwindigkeit  $v$ ) entgegenwirkt. Dieses Prinzip nennt man die **Lenzsche Regel**.

## Anwendung: *Der Generator*



Dreht man eine offene Spule im Magnetfeld, dann wird zwischen ihren Enden eine **Wechselspannung** induziert.

Erklärung:

In Position 1 bewegen sich beide Seiten der Leiterschleife senkrecht, allerdings entgegengesetzt zu Feldlinien des Magnetfeldes. Zwischen den Enden des Leiters herrscht Spannung.

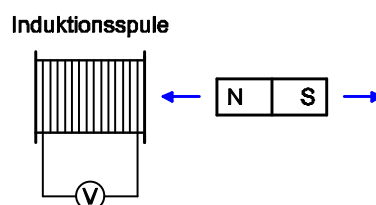
In Position 2 erfolgt die Bewegung nicht mehr senkrecht zu den Feldlinien. Die induzierte Spannung ist kleiner.

In Position 3 erfolgt die Bewegung parallel zu den Feldlinien. Es wird keine Spannung induziert.

In Position 4 wird Spannung induziert. Allerdings dreht sich ihre Polarität um.

Wird der Stromkreis geschlossen, wirkt auf die stromdurchflossene Leiterschleife ein Drehmoment, das der Drehung entgegenwirkt. Es muss zur Drehung der Leiterschleife Arbeit aufgewendet werden → Lenzsche Regel.

## **B Die Induktion im ruhenden Leiter - Dynamoprinzip**



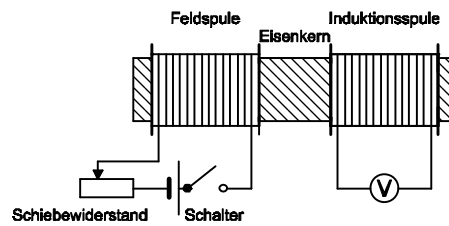
Nähert oder entfernt man einen Stabmagneten von einer (Induktions-)Spule, dann wird an ihren Enden eine Spannung induziert.

### **Induktionsprinzip:**

Ändert sich das Magnetfeld, das eine Spule durchsetzt, dann wird zwischen den Enden der Spule eine Spannung induziert. Ist der Leiterkreis geschlossen, dann fließt ein Induktionsstrom.

Der Induktionsstrom fließt so, dass das magnetische Feld der Induktionsspule einer Änderung ihres Magnetfeldes entgegenwirkt.

## C Das Transformatorprinzip



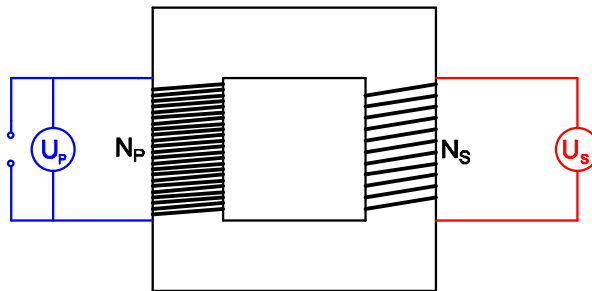
Stammt das Magnetfeld, das die Induktionsspule durchsetzt, von einer stromdurchflossenen Spule, dann kann dieses Feld durch Ändern bzw. durch Aus- und Abschalten des Feldstromes geändert werden, und damit wird zwischen den Enden der Induktionsspule eine Spannung induziert werden.

Der Eisenkern dient dazu, das Magnetfeld der Feldspule durch die Induktionsspule zu führen.

---

## 9. Der Transformator

---



$U_P$  . *Primärspannung*

$U_S$  . *Sekundärspannung*

$N_P$  . *Windungszahl* der Primärspule

$N_S$  . *Windungszahl* der Sekundärspule

Legt man eine Wechselspannung  $U_P$  an die Primärspule des Transformators, so ändert sich das von ihr erzeugte Magnetfeld ständig.

Da es die Sekundärspule durchsetzt; wird an deren Ende eine Wechselspannung derselben Frequenz induziert.

Beim unbelasteten Transformator verhält sich die induzierte Sekundärspannung zur Primärspannung wie die Windungszahl der Sekundärspule zur Windungszahl der Primärspule.

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

$N_S : N_P$  heißt *Übersetzungsverhältnis* des Transformators

Ist die Sekundärseite des Transformators nur schwach belastet, d. h. ist die auf der Sekundärseite benötigte Leistung klein, und arbeitet der Transformator verlustfrei, dann wird die im Primärkreis zugeführte Energie ganz auf den Sekundärkreis übertragen.

Damit ergibt sich:  $E_{zu} = E_{ab} \Leftrightarrow U_P \cdot I_P \cdot \Delta t = U_S \cdot I_S \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{I_P}{I_S} = \frac{U_S}{U_P}$

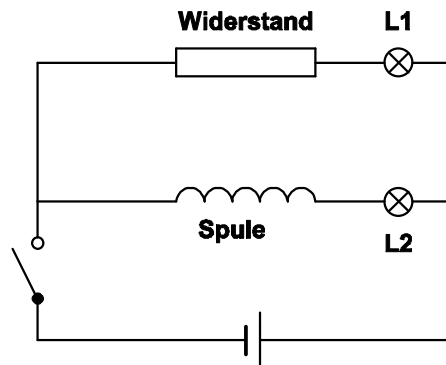
Wird dem schwach belasteten Transformator auf der Sekundärseite der Sekundärstrom  $I_S$  entnommen, dann fließt auf der Primärseite der Strom  $I_P$  so, dass

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{U_S}{U_P}$$

---

## 10. Selbstinduktion

---



Beim Schließen des Schalters leuchtet  $L_1$  sofort auf,  $L_2$  dagegen mit einer zeitlichen Verzögerung.

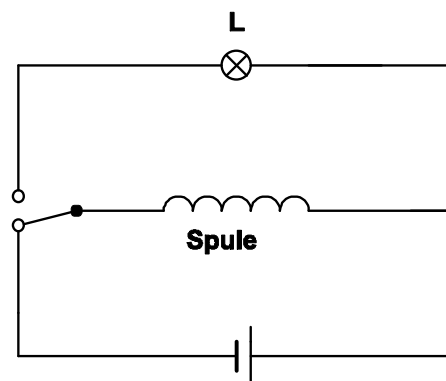
Begründung:

1. Wenn der Schalter geschlossen wird, fließt Strom durch die Spule und im Innern der Spule baut sich ein Magnetfeld auf. Es wird zwischen ihren Enden eine Spannung  $U_{\text{ind}}$  induziert.
2. Nach der Lenzschen Regel ist diese Spannung  $U_{\text{ind}}$  der Ursache und damit der angelegten Spannung  $U_0$  entgegengerichtet.

Der durch  $U_0 - U_{\text{ind}}$  verursachte Strom reicht nicht aus, um  $L_2$  zum Leuchten zu bringen.

3. Erst wenn sich das Magnetfeld nicht mehr ändert, wirkt keine induzierte Gegenspannung mehr und die Lampe leuchtet mit voller Helligkeit.

Man nennt diesen Effekt *Selbstinduktion*.



Wird der untere Stromkreis durch Umklappen des Schalters geöffnet und gleichzeitig der obere Stromkreis geschlossen, dann baut sich das Magnetfeld der Spule ab und es wird nach dem Induktionsprinzip eine Spannung induziert, die ausreicht die Glimmlampe kurzzeitig aufleuchten zu lassen.

## 11. Energietransport durch Hochspannungstechnik

---

Eine Glühlampe (230 V; 25 W) soll über eine Fernleitung betrieben werden.

Hin- und Rückleitung haben jeweils einen Widerstand  $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ .

1. Wir schließen die Fernleitung direkt an 230 V an.

Ergebnis: Die Lampe leuchtet nur schwach. Die erforderliche Leistung wird nicht übertragen.

Begründung:

$$\text{Erforderliche Stromstärke: } I_0 = \frac{P}{U} \quad I_0 = \frac{25 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,11 \text{ A}$$

$$\text{Widerstand der Lampe: } R_L = \frac{U}{I_0} = \frac{230 \text{ V}}{0,11 \text{ A}} = 2100 \Omega$$

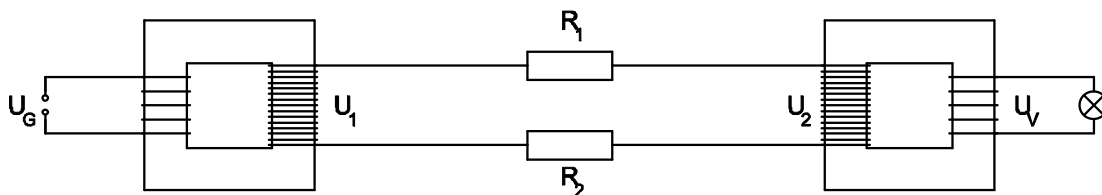
Tatsächliche Stromstärke:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_L} \quad I = \frac{230 \text{ V}}{1000 \Omega + 1000 \Omega + 2200 \Omega} = 0,056 \text{ A}$$

$$\text{Übertragene Leistung: } P = U \cdot I \quad P = 230 \text{ V} \cdot 0,056 \text{ A} = 12,9 \text{ W}$$

$$\text{Leistungsverlust: } \frac{\Delta P}{P} = \frac{(R_1 + R_2) \cdot I^2}{P} \quad \frac{\Delta P}{P} = \frac{2000 \Omega \cdot (0,055 \text{ A})^2}{25 \text{ W}} = 50 \%$$

2. Wir legen die Fernleitung zwischen zwei Transformatoren mit den Übersetzungsverhältnissen 500:10000 bzw. 10000:500



Ergebnis: Die Lampe leuchtet normal hell. Die erforderliche Leistung wird übertragen.

Begründung:

$$1. \text{ Hochtransformierte Spannung: } U_1 = \frac{10000}{500} U_G \quad U_1 = 20 \cdot 230 \text{ V} = 4,6 \text{ kV}$$

$$2. \text{ Stromstärke } I_L \text{ in der Leitung: } I_L = \frac{500}{10000} I_p \approx \frac{1}{20} I_0 \quad I_L = 0,0055 \text{ A}$$

3. Spannung am 2. Transformator:  $U_2 = U_1 - (R_1 + R_2) \cdot I_L$     $U_2 = 4589 \text{ V}$

4. Spannung an der Lampe:  $U_v = \frac{500}{10000} U_2$     $U = 229 \text{ V}$

5. Stromstärke in der Lampe:  $I = \frac{U_v}{R}$     $I = 0,11 \text{ A}$

6. Leistungsverlust:  $\frac{\Delta P}{P} = \frac{(R_1 + R_2) \cdot I_L^2}{P}$     $\frac{\Delta P}{P} = \frac{2000 \Omega \cdot (0,0055 \text{ A})^2}{25 \text{ W}} = 0,25 \%$

---