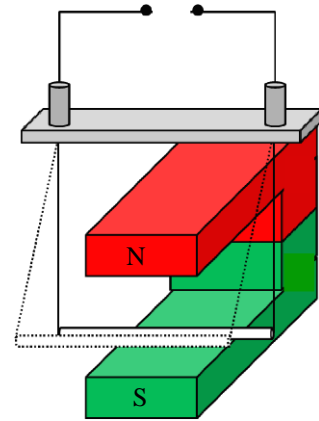


3.4. Aufgaben zur Induktion

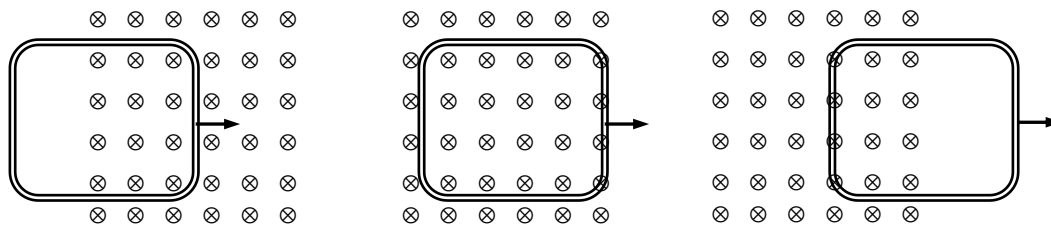
Aufgabe 1: Induktionsspannung in einem bewegten Leiter

- Kennzeichne die magnetische Flussdichte \vec{B} , die Geschwindigkeit \vec{v} und die Lorentzkraft \vec{F}_L sowie die resultierende Polung der Induktionsspannung am oberen Anschluss in der rechts abgebildeten Leiterschleife, wenn der Leiter nach **vorne** schaukelt.
- Berechne die Induktionsspannung für einen 2 cm langen Leiter, der mit 0,1 m/s durch ein 0,1 T starkes Magnetfeld bewegt wird.
- Nenne vier Maßnahmen, mit denen man die Spannung am Anschluss oben erhöhen kann.



Aufgabe 2: Lenzsche Regel (6)

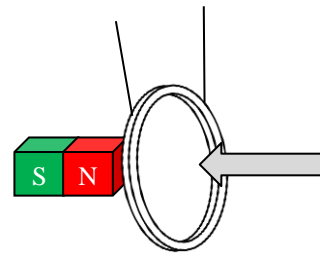
Eine Leiterschleife wird wie unten abgebildet senkrecht zu den Feldlinien in ein begrenztes Magnetfeld hinein und dann durch dieses hindurch bewegt. Kennzeichne jeweils die in Richtung des Leiters wirkende primäre Lorentzkraft \vec{F}_{L1} , die Richtung des Induktionsstromes \vec{I} und die durch den Induktionsstrom hervorgerufene sekundäre Lorentzkraft \vec{F}_{L2} .



Aufgabe 3: Lenzsche Regel

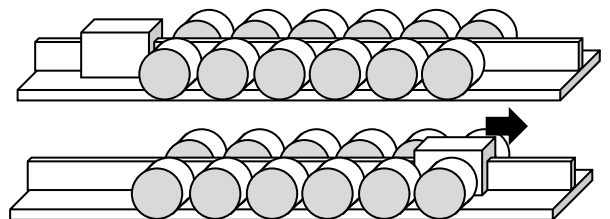
Die Pendelschwingung eines an zwei Fäden aufgehängten Aluminiumringes wird durch einen Magneten gedämpft.

- Erkläre dieses Phänomen durch Kennzeichnung der magnetischen Feldlinien \vec{B} , des Induktionsstromes \vec{I} und der durch den Induktionsstrom hervorgerufenen Lorentzkraft \vec{F}_L .
- Wie ändert sich das Verhalten des Ringes, wenn man ihn an einer Stelle durchtrennt?



Aufgabe 4: Lenzsche Regel

Die Abbildung rechts zeigt eine einfache Form eines Linearmotors, wie sie in Katapulten oder Stellmotoren (Servos) für z.B. Weichen, Außenspiegel oder Ruder eingesetzt werden. Der Schlitten bewegt sich auf einer Schiene zwischen zwei Reihen aus Elektromagneten. Seine Lage und seine Geschwindigkeit werden durch An- bzw. Ausschalten der einzelnen Magnete geregelt.

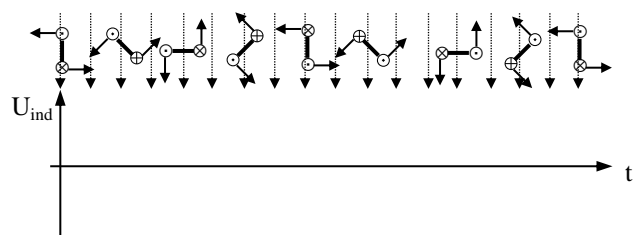


Das erste Spulenpaar links wird angeschaltet.

- Was passiert, wenn der Schlitten aus Aluminium ist? Begründe.
- Was passiert, wenn der Schlitten aus Eisen ist? Begründe.
- Der Schlitten sei nun (wie üblich) aus Eisen. An welcher Position bleibt der Schlitten stehen, wenn man das erste Spulenpaar angeschaltet lässt?
- Der Schlitten soll als Katapult dienen und auf maximale Geschwindigkeit beschleunigt werden. Wie muss man die Spulenpaare ansteuern?
- Der Schlitten soll als Servo dienen und **langsam** bis zum ganz rechten Spulenpaar fahren und dann stehen bleiben. Was muss gegenüber d) in der Steuerung geändert werden?

Aufgabe 5: Wechselstrom

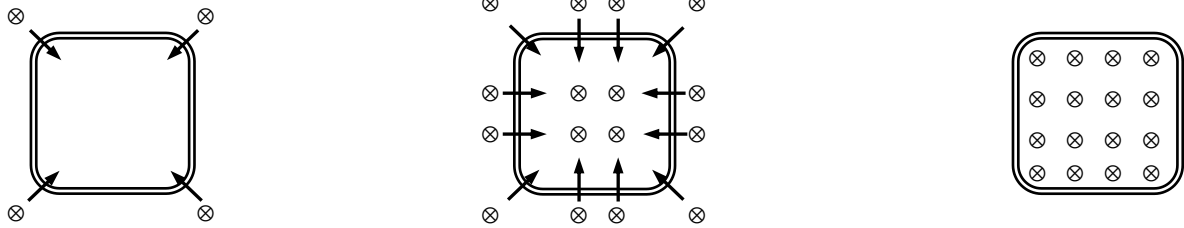
- Skizziere den Verlauf der Induktionsspannung U_{ind} passend zur Stellung der Leiterschleife in das Diagramm.
- Berechne die Winkelgeschwindigkeit ω einer Leiterschleife, die sich 50 mal in der Sekunde um sich selber dreht.
- Wie groß ist die maximale Induktionsspannung U_{ind} , die eine Spule mit der Querschnittsfläche $A = 20 \text{ cm}^2$ und 100 Windungen in einem Magnetfeld mit $B = 0,1 \text{ T}$ bei einer Drehfrequenz von 50 Hz erzeugt?



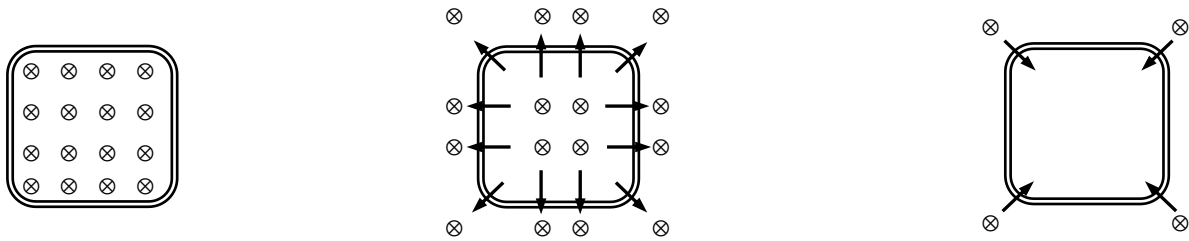
Aufgabe 6: Induktion bei veränderlichem Magnetfeld

Kennzeichne jeweils die Stromrichtung \vec{I} und das durch den Induktionsstrom hervorgerufene Magnetfeld \vec{B} . Erkläre anhand dieser Darstellung das Prinzip des **Transformators** und des **Touchscreens**:

- a) Beim **Anwachsen** eines magnetischen Feldes entstehen im Außenbereich des Feldes neue schwache und stark gekrümmte Feldlinien, welche dann immer stärker und geradliniger werden und sich dadurch **nach innen aufbiegen**.



- b) Beim **Schrumpfen** des Feldes biegen sich die Feldlinien **nach außen weg**:



Aufgabe 7: Transformator

Für Experimente zum Transformator stehen drei Spulen mit $n_1 = 300$, $n_2 = 600$ und $n_3 = 1200$ mit passendem Eisenkern und eine Wechselstromquelle mit $U = 6\text{ V}$ zur Verfügung.

- Wozu benötigt man den Eisenkern?
- Was passiert, wenn man den Eisenkern weglässt?
- Welche Sekundärspannungen können erzeugt werden?

Aufgabe 8: Transformator

Ein Hochstromtransformator besteht aus einer Primärspule mit $n_1 = 600$ Wicklungen und einer Sekundärspule mit $n_2 = 6$ sehr dicken Kupferwicklungen, welche mit einem Nagel kurzgeschlossen werden. Wenn die Primärseite an die mit einer 10 A-Sicherung versehene Netzspannung von 220 V angeschlossen wird, soll durch den Nagel ein Strom von ca. 200 A fließen, so dass dieser schließlich durchschmilzt.

- Prüfe durch Rechnung, ob die Sicherung der Primärseite den Betrieb aushält.
- Was passiert, wenn man anstelle des Nagels die Hand zwischen die Buchsen der Sekundärseite hält?

Aufgabe 9: Transformator

Ein Hochspannungstransformator besteht aus einer Primärspule mit $n_1 = 600$ Wicklungen und einer Sekundärspule mit $n_2 = 12\,000$ Wicklungen, an die zwei auf Isolierfüßen stehende „Hörerelektroden“ angeschlossen sind, die an ihrer engsten Stelle einen Abstand von 1 mm aufweisen. Wird die Primärseite an die Netzspannung von 220 V angeschlossen, so springt zwischen den Elektroden ein Funke über, der die Luft zwischen den Elektroden ionisiert. Es entsteht ein Lichtbogen, der aufwärts wandert und dann abreißt.

- Welche Spannung liegt zwischen den beiden Elektroden?
- Welche Stromstärke liegt im Lichtbogen vor, wenn im Primärkreis 6 A fließen und der Wirkungsgrad des Transformators $\eta = 92\%$ beträgt??

Aufgabe 10: Selbstinduktion

Eine Spule mit der Induktivität $L = 630\text{ H}$ wird von einem Strom der Stärke $I = 0,1\text{ A}$ durchflossen. Welche mittlere Selbstinduktionsspannung entsteht beim Ausschalten in der Zeitspanne $\Delta t = 0,01\text{ s}$?

Aufgabe 11: Selbstinduktion

Wie lange mindestens muss der Ausschaltvorgang dauern, damit die Selbstinduktionsspannung einer von 20 mA durchflossenen Spule mit $L = 4,46\text{ H}$ nicht über 500 V ansteigt?

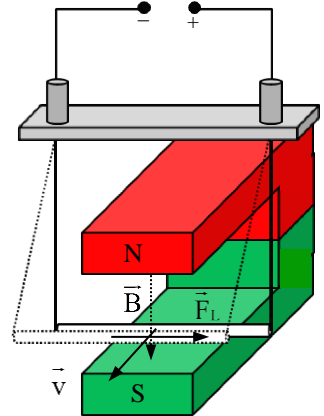
Aufgabe 12: Selbstinduktion

Berechne die Induktivität einer 45 cm langen und 6 cm breiten zylindrischen Spule mit 4000 Windungen.

3.4. Lösungen zu den Aufgaben zur Induktion

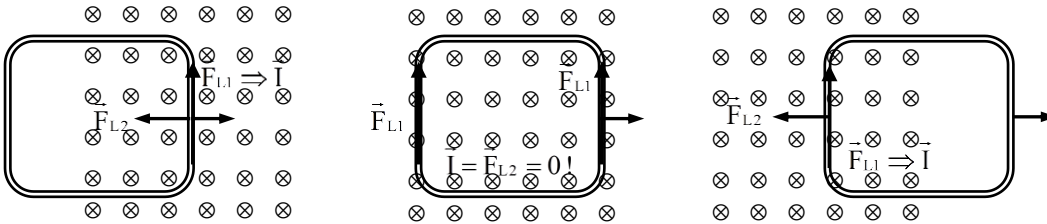
Aufgabe 1: Induktionsspannung in einem bewegten Leiter

- siehe rechts: Polung von außen betrachtet: Die Schleife ist eine Stromquelle!
- $U_{\text{ind}} = 0,2 \text{ mV}$
- Erhöhung der Geschwindigkeit v
Verstärkung des Magnetfeldes B
Verlängerung der Leiterschleife in einem breiteren Magneten (!)
Verwendung mehrerer paralleler Leiterschleifen



Aufgabe 2: Lenzsche Regel

Die Lorentzkraft des induzierten Stromes wirkt der Bewegung entgegen (**Lenzsche Regel**)



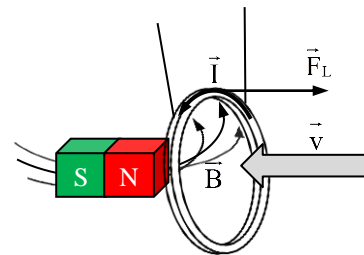
Beim **Eintritt** in das Magnetfeld bewirkt die Lorentzkraft \vec{F}_{L1} in der **rechten Hälfte** der Leiterschleife einen **Kreisstrom \vec{I} gegen den Uhrzeigersinn**, der selbst wieder als Ursache für eine Lorentzkraft \vec{F}_{L2} ist, die entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung und damit bremsend wirkt.

Beim **Durchtritt** durch das Magnetfeld wirkt die Lorentzkraft \vec{F}_{L1} in **beiden Hälften** der Leiterschleife und bewirkt einen **Stau** der Ladungsträger in der oberen Hälfte aber keinen Strom und damit auch keine zweite Lorentzkraft. Im Inneren des Magnetfeldes besteht keine Bremswirkung!

Beim **Austritt** aus dem Magnetfeld bewirkt die Lorentzkraft \vec{F}_{L1} in der **linken Hälfte** der Leiterschleife einen **Kreisstrom \vec{I} im Uhrzeigersinn**, der selbst wieder als Ursache für eine Lorentzkraft \vec{F}_{L2} ist, die entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung und damit bremsend wirkt.

Aufgabe 3: Lenzsche Regel

- Siehe rechts
- Bei einem durchtrennten Ring kann ein Kreisstrom nicht mehr fließen und die Dämpfung entfällt.

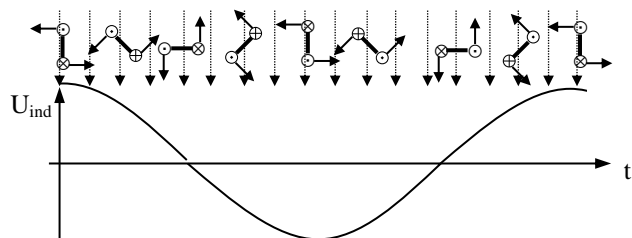


Aufgabe 4: Lenzsche Regel

- Im Aluminiumschlitten wird nach der Lenzschen Regel ein Kreisstrom induziert, dessen Magnetfeld dem äußeren Magnetfeld entgegengesetzt ist und den Schlitten nach links aus diesem heraus drückt.
- Im Eisenschlitten richten sich die bereits vorhandenen Kreisströme in den Weisschen Bezirken gleichsinnig zum äußeren Magnetfeld aus und der Schlitten nach rechts in dieses hinein zieht. Der zusätzlich nach der Lenzschen Regel induzierte gegenläufige Kreisstrom ist viel schwächer und bremst die Bewegung nur unmerklich.
- Die Spulen müssen immer dann angeschaltet werden, wenn der Schlitten von links kommt und müssen ausgeschaltet werden, sobald sich der Wagen zwischen den Spulen befindet.
- Wenn die Spulenpaare immer etwas zu spät ausgeschaltet werden, wird der Schlitten beim Verlassen des Magnetfeldes jeweils etwas abgebremst. Das letzte Spulenpaar bleibt angeschaltet.

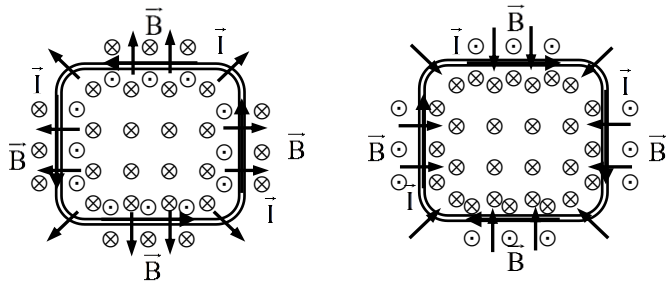
Aufgabe 5: Wechselstrom

- Siehe rechts
- $\omega = 2\pi f = 100\pi \text{ s}^{-1}$.
- $U_{\text{indMax}} = n \cdot \omega \cdot A \cdot B \approx 6,28 \text{ V}$



Aufgabe 6: Induktion bei veränderlichem Magnetfeld

- a) Das induzierte Magnetfeld wirkt dem Anschwellen des ursprünglichen Magnetfeldes nach der **Lenzschen Regel** entgegen und schwächt es im Inneren der Leiterschleife. (linkes Bild)
- b) Das induzierte Magnetfeld wirkt dem Abschwellen des ursprünglichen Magnetfeldes nach der **Lenzschen Regel** entgegen und stärkt es im Inneren der Leiterschleife. (rechtes Bild)



Der **Transformator** erzeugt der Wechselstrom in der Primärspule ein magnetisches Wechselfeld, welches in der Sekundärspule wie rechts gezeigt eine Induktionsspannung bzw. einen Strom induziert.

Der **Touchscreen** ist von Tausenden kleiner Drahtschleifen durchsetzt, in denen das Magnetfeld der sich nähernden Hand eine Induktionsspannung und damit ein Signal induziert.

Aufgabe 7: Transformator

- a) Man benötigt den Eisenkern zur Bündelung und Übertragung des magnetischen Flusses von einer Spule auf die andere.
- b) Ohne Eisenkern durchdringen die Feldlinien nur einen Teil der Wicklungen. Die Stromstärke und die Spannung in der Sekundärspule sind dann viel kleiner.
- c) Mögliche Kombinationen : siehe rechts:

Primär		Sekundär	
U ₁	n ₁	n ₂	U ₂
6 V	300	600	12 V
6 V	300	1200	24 V
6 V	600	300	3 V
6 V	600	1200	12 V
6 V	1200	300	1,5 V
6 V	1200	600	3 V

Aufgabe 8: Transformator

- a) Bei verlustfreiem Betrieb gilt $I_1 \cdot n_1 \approx I_2 \cdot n_2 = 2 \text{ A}$. Die Sicherung sollte standhalten.
- b) Im unbelasteten Zustand ist die Sekundärspannung $U_2 = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 2,2 \text{ V}$. Der Widerstand der Hand bzw. der Haut ist so groß, dass kein schädlicher Strom fließen kann. Der Strom fließt außerdem nur durch die Hand und nicht über das Herz.

Aufgabe 9: Transformator

- a) Sekundärspannung $U_2 = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 4,4 \text{ kV}$
- b) Sekundärstrom $I_2 \approx \eta \cdot I_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} = 0,276 \text{ A}$

Aufgabe 10: Selbstinduktion

$$|U_{\text{ind}}| = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 6300 \text{ V}$$

Aufgabe 11: Selbstinduktion

$$\Delta t \geq \frac{L \cdot \Delta I}{|U_{\text{ind}}|} = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Aufgabe 12: Selbstinduktion

$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot \frac{A}{s} = 0,126 \text{ H.}$$