

Wie gross ist das Elektrische Feld, auf  
Kopfhöhe 2m) unter einer  
Hochspannungsleitung?

höhe  $h = 10m$ , Leitungsdurchmesser  $d = 3cm$ ,  $U = 100kV$

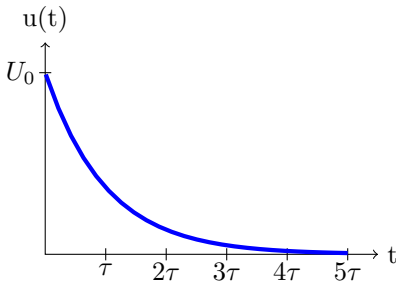
1. Ladung berechnen:

$$\begin{aligned}U &= \int_{d/2}^h E \cdot dl = \int_{d/2}^h \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r l} \cdot dl \\&= \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l} \cdot [\ln(r)]_{d/2}^h \\Q &= \frac{U \cdot 2\pi\epsilon_0 \cdot l}{\ln(2h/d)}\end{aligned}$$

2. In Formel von  $E$  einsetzen.

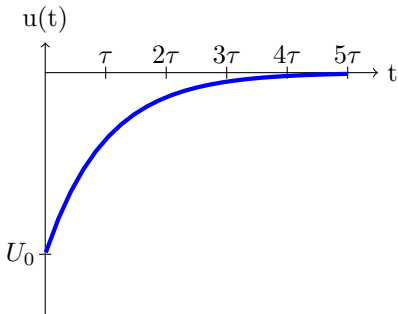
$$\begin{aligned}E &= \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 \cdot r \cdot l} = \frac{1}{\cancel{2\pi\epsilon_0} \cdot r \cdot \cancel{l}} \cdot \frac{U \cdot \cancel{2\pi\epsilon_0} \cdot \cancel{l}}{\ln(2h/d)} \\&= \frac{U}{\ln(2h/d) \cdot r} \Bigg|_{r=8m} = 1.92kV/m\end{aligned}$$

Wie heisst die Gleichung der folgender  
Entladefunktion?



$$u(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

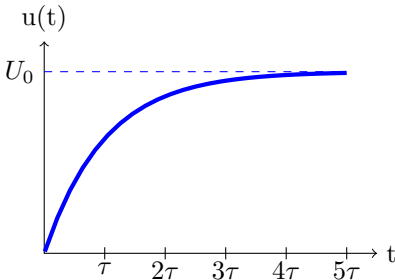
Wie heisst die Gleichung der folgender  
Entladefunktion?



$$u(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Wobei  $U_0$  negativ ist.

Wie heisst die Gleichung der folgender  
Ladefunktion?



$$u(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

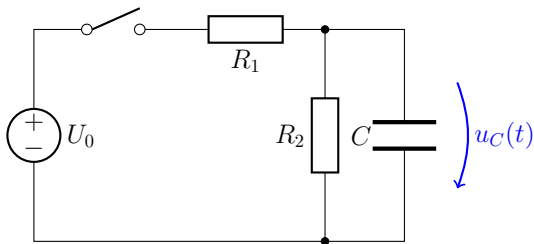


Wie lautet die Differenzialgleichung des Kondensators und was folgt daraus?

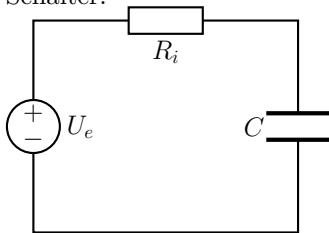
$$\frac{du_C}{dt} = \frac{i_C}{C}$$

- Strom durch einen Kondensator bedingt einer Spannungsänderung
- Bei einem grossen Kondensator ( $C \gg 0$ ) führen auch grosse Ströme nur zu relativ kleinen Spannungsänderungen.
- Eine grosse Spannungsänderung an einem Kondensator bedingt einem grossen Strom oder einer kleinen Kapazität

Wie kann die Spannung  $u_C(t)$  berechnet werden wenn zum Zeitpunkt  $t_0$  der Schalter geschlossen wird?



1. Ersatzspannungsquelle berechnen für den geschlossenen Schalter.



$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_e = U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2. Spannung  $u_C$  berechnen.

$$u_C(t) = U_e \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$$

Was ist ein Verschiebungsstrom?

- Kirchhof ist nicht mehr allgemein gültig. Denn es kann sich nun auch Ladung ansammeln.

$$\oint_{\text{Hülle}} \vec{J} \cdot d\vec{s} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \sum_n I_n = 0$$

Deshalb muss nun Kirchhof mit dem Verschiebungsstrom erweitert werden:

$$\oint_{\text{Hülle}} \vec{J} \cdot d\vec{s} + \frac{dQ_{\text{eingeschlossen}}}{dt}(t) = 0$$

- Der Verschiebungsstrom verursacht ebenfalls ein Magnetfeld!

Wie lautet das einfache  
Induktionsgesetz?

$$u_i(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t)$$



Was sind die Primär- und die  
Sekundäreffekte der Induktion?

**Primäreffekt:** Phänomen, dass ein elektrisches Feld( $\rightarrow$  Spannung) entsteht, wenn sich das Magnetfeld ändert.

**Sekundäreffekt:** Phänomen, welches eintritt wenn durch die induzierte Spannung ein Strom fließen kann. Dieser Strom verursacht ein Gegenfeld nach Lenz.

Der Primäreffekt tritt immer auf. Der Sekundäreffekt kann nur auftreten wenn ein Strom fließen kann.

Was ist elektromagnetische Induktion?

Eine induzierte Spannung durch eine zeitliche Änderung des Magnetfelds.

$$u_i(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t)$$

Ein Sekundäreffekt tritt dann ein, wenn der Stromkreis geschlossen wird. Der fließende Strom verursacht dann ein Gegenfeld.

Was ist Ruheinduktion?

Die zeitliche Änderung des Magnetfelds kommt von aussen.  
Die Geometrie in welcher eine Spannung induziert wird ruht.

Wie wird im oder vom Magnetfeld  
Arbeit verrichtet?

Grundsätzlich wird eine Arbeit verrichtet, wenn etwas gegen eine Kraft bewegt wird.

1. Magnetische Flussänderung bewirken Wirbel im elektrischen Feld.
2. Der Wirbel im elektrischen Feld kann einen Strom verursachen. Dieser wiederum verursacht Wirbel im Magnetfeld.
3. Die Magnetfelder überlagern sich, wirken einander entgegen.



Was ist totale Induktion?

Die totale Induktion oder Totalinduktion kann sowohl durch eine Bewegung innerhalb eines Magnetfelds, als auch durch zeitlich veränderliche Magnetfelder entstehen – je nach Sichtweise sind die Effekte schlicht ein und dieselben.

Grundsätzlich kann somit gesagt werden, dass die Totalinduktion durch die **Bewegungsinduktion** und die **Ruheinduktion** zusammengesetzt werden kann.

Was bedeutet Selbstinduktion und  
Gegeninduktion?

Unter Selbstinduktion versteht man die Induktionswirkung eines Stromes auf seinen eigene Geometrie. Im Gegensatz dazu steht die Gegeninduktivität. Sie wird verursacht durch eine Stromänderung einer anderen Spule.

Wie lautet das Ohmsche Gesetz von  
Induktivitäten?

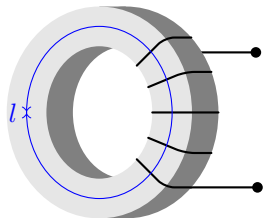
Der zeitlich veränderliche Strom  $i_L$  verursacht ein Magnetfeld und damit einen sich ebenfalls zeitlich ändernden magnetischen Fluss  $\Phi(t)$ . An den Anschlussklemmen entsteht somit die Spannung  $u_L(t) = \frac{d\Phi}{dt}(t)$ . Daraus folgt dann das Ohmsche Gesetz von Induktivitäten:

$$\frac{di_L}{dt}(t) = \frac{u_L(t)}{L}$$

Wie lautet der vollständige  
Durchflutungssatz?

$$\oint_{C=\partial A} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_A \left( \vec{J}_{\text{frei}} + \frac{d\vec{D}}{dt} \right) \cdot d\vec{s} \quad \overset{\circ}{V}_m(t) = \Theta(t) + \frac{d\Psi}{dt}(t)$$

Beispiel: Berechnung der Induktivität einer Ringkernspule



$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

$$B = \mu \cdot H$$

$$H \cdot l = N \cdot I \rightarrow H = \frac{N \cdot I}{l}$$

$$B = \mu \cdot H = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l}$$

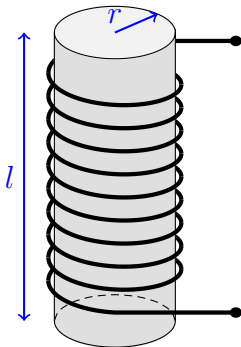
$$\Phi = B \cdot A = \frac{A \mu \cdot N \cdot I}{l}$$

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I} = \frac{A \mu \cdot N^2}{l}$$



Wie wird die Induktivität einer  
Zylinderspule berechnet?

Das Feld innerhalb einer Zylinderspule kann als Homogen betrachtet werden.



$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I}$$

$$\Phi = B \cdot A \rightarrow A = r^2 \cdot \pi$$

$$B = \mu \cdot H$$

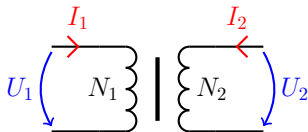
$$H \cdot l = N \cdot I \rightarrow H = \frac{N \cdot I}{l}$$

$$B = \mu \cdot H = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l}$$

$$\Phi = B \cdot A = \frac{A \mu \cdot N \cdot I}{l}$$

$$L = \frac{A \cdot \mu \cdot N^2}{l}$$

Wie modelliert man einen idealen  
Übertrager (Transformator)?



Ein Idealer Übertrager zeichnet sich dadurch aus, das insbesondere die Eingangsleistung gleich gross ist wie die Ausgangsleistung.  $P_{in} = P_{out}$

Zudem gelten Folgende Gleichungen:

$$I_1 = \frac{I_2}{\ddot{u}}$$

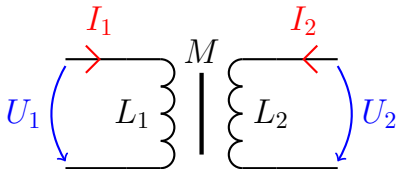
$$U_2 = \frac{U_1}{\ddot{u}}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \ddot{u} \quad \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 \cdot \ddot{u}}{\frac{I_2}{\ddot{u}}} = \ddot{u}^2 \cdot R_L$$

Wie lauteten die Transformatoren  
Gleichungen?

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_1 & M \\ M & L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} L_1 & M \\ M & L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$



Was unterscheidet ideale und reale  
Kopplung?

- Ideale Kopplung:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

- Reale Kopplung:

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

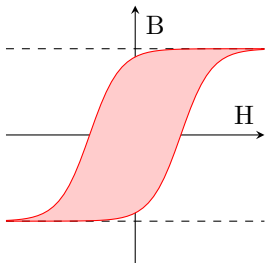
- Der Kopplungsfaktor  $k$  kommt von dem Streufeld. Je mehr Streufeld desto kleiner ist  $k$ .



Welche Verluste können  
Transformatoren aufweisen?

- Kupferverluste vor allem auf der Seite mit der höheren Anzahl an Windungen und kleineren Leiterquerschnitt.
- Magnetisierungsverluste. (Wegen der Hysterese) Es muss mehr Energie für das Aufbauen des Magnetfelds aufgewendet werden als beim Abbauen wieder frei wird.
- Wirbelströme.

Was sind Hysterese Verluste und wie  
sind diese zu Erklären?

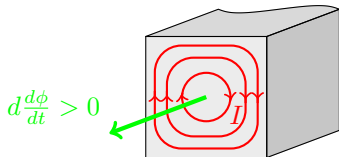


**Formel Energiedichte:**

$$w_m = \frac{1}{2} \cdot \vec{B} \cdot \vec{H}$$

Beim aufbauen des Magnetfelds muss, dank der Hysterese, mehr Energie aufgewendet werden, als beim abbauen wider frei gesetzt wird. Dieser Verlust ist proportional zur Fläche, welche durch die Hysteresekurve eingeschlossen wird. Dieser Verlust lässt sich über die Energiedichte berechnen.

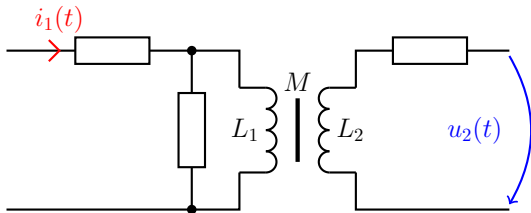
Wie Verursachen Wirbelströme im Transformator Verluste und wie kann man diese minimieren?



Ein sich änderndes Magnetfeld (in diesem Fall ist es zunehmend), Induziert ein Strom im Eisen. Dieser wiederum verursacht ein Magnetfeld welches der Änderung entgegenwirkt. (gemäss der Lenzschen Regel)

Deshalb wird in einem Transformator meistens ein geschichteter Eisenkern verwendet. Dieser lässt den Wirbelstrom nur in einer dünnen Scheibe fließen. Dadurch ist der Wirbelstrom kleiner und kann somit weniger stark dem Feld entgegen wirken.

Wie können die Hystereseverluste im Leerlaufbetrieb gemessen werden?



$$H(t) = \frac{N \cdot i_1(t)}{l} \quad \& \quad B(t) = \frac{\int u_2(t) dt}{A}$$

$H(t)$  lässt sich durch den Durchflutungssatz berechnen.

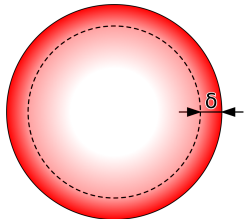
$B(t)$  lässt sich über die Induzierte Spannung berechnen.



Wie äussert sich der Skin-Effekt und von Welchen Parameter hängt er ab?

- Je höher die Frequenz, desto weniger Strom fließt im Inneren des Leiters. Und desto größer wird dadurch der Widerstand, da die effektive Querschnittsfläche kleiner wird
- Die Eindringtiefe (Skin-Tiefe) ist wie folgt definiert:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu}}$$



Was beschreibt das Poynting-Theorem?

Grundsätzlich handelt sich beim Poynting-Theorem um Energieerhaltung mit Leistungsübertragung.

$$\underbrace{-\frac{d}{dt} \int_V (w_e + w_m) dv}_{\text{Zeitliche Änderung der Energie}} = \underbrace{\int_V p dv}_{\text{Leistung}} + \underbrace{\int_{A=\partial V} \vec{S} \cdot d\vec{s}}_{\text{Leistungsübertragung}}$$

Die Zeitliche Änderung der Energie in einem Volumen, sei sie nun zugeführt oder abgeführt worden, muss gleich gross sein wie die Abgegebene Leistung (Wärme, bei zugeführte Leistung bspw. Solarzelle) plus der austretende oder eintretende Leistung des Volumens.

Was bezeichnet der Poynting Vektor?

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Der Poynting Vektor ist die Leistungsdichte einer Fläche und hat somit die Einheit  $[S] = \frac{W}{m^2}$ .

Der Vektor zeigt in die Richtung der Leistung.

Was besagt die spezielle  
Relativitätstheorie für die  
Elektrodynamik?

**Das elektrische und das magnetische Feld sind verschiedene Wirkungsweisen von demselben Phänomen**  
Alles kommt auf das Bezugssystem an. Wenn wir uns mit dem Strom mitbewegen sehen wir nur die elektrische Wirkung. Wenn wir uns nicht bewegen, sehen wir die magnetische Wirkung des Stroms.

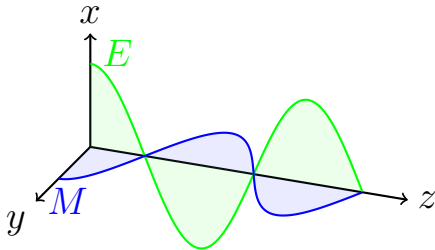
Wenn wir uns bewegen verhält sich die Zeit anders. Dies wirkt sich bspw. bei der Verkürzung von Längen aus.

Es gibt auch Effekte welche nicht durch die Bewegung beeinflusst werden. z.B. ist die Ladung immer gleich.



Was bedeutet die Polarisation von  
elektromagnetischen Wellen?

Die Polarisation ist die Richtung des Elektrischen Felds.  
Die Welle ist x-Polarisiert wenn der E-Feld Vektor in x Richtung zeigt.



Was ist die  
Ausbreitungsgeschwindigkeit von  
elektromagnetischen Wellen?

$$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}$$

Somit ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum:

$$v_{ph_{Vakuum}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = c$$

Was versteht man unter einer ebenen Welle?

Das magnetische Feld und das elektrische Feld stehen senkrecht zueinander und die Welle ist Harmonisch.

Wie lautet das komplexe Signal zur  
reellen Zeitfunktion

$$u(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \rightarrow \underline{u}(t)?$$

$$u(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \rightarrow \underline{u}(t)$$

1. *sin* in *cos* umwandeln:

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi - \pi/2)$$

2. Imaginärteil hinzufügen:

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi - \pi/2) + U_0 \cdot j \cdot \sin(\omega t + \varphi - \pi/2)$$

3. Euler:

$$\underline{u}(t) = \underbrace{U_0 \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{j\varphi}}_{\text{Phasor}} \cdot \underbrace{e^{-j\pi/2}}_{-j}$$



Welche Vorteile bringt uns die  
komplexe Wechselstromrechnung  
gegenüber der reellen  
Wechselstromrechnung?

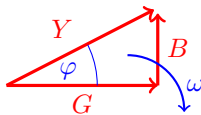
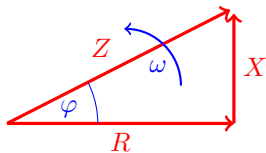
Lineare Netzwerke können durch Multiplikationen gelöst werden anstelle von einer DGL.

Was ist eine Admittanz?

- Komplexer Leitwert
- Kehrwert der Impedanz

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} \rightarrow \arg(Y) = -\arg(Z) \rightarrow |\underline{Y}| = \frac{1}{|\underline{Z}|}$$

- Wird benötigt zum berechnen von Parallelen Impedanzen

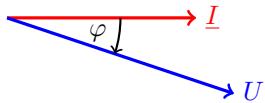


Was bezeichnet man als Reaktanz?

- Die Reaktanz ist der Imaginär Teil der Impedanz. Oder auch der Blindwiderstand.
- Das Formelzeichen der Reaktanz ist  $X$
- Für Kapazitäten ist die Reaktanz negativ
- Für Induktivitäten positiv

Wie ist die Phasenverschiebung  
definiert?

Die Referenz ist der Strom.



Wenn der Winkel negativ ist (wie im Beispiel) sagt man, dass die Spannung nacheilt, oder der Strom voreilt.



Wie lautet das Ohmsche Gesetz einer  
Kapazität?

- $\frac{du_C}{dt} = \frac{i_C}{C}$
- im Komplexen:  $\underline{U} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \underline{I}$

Was ist die Knotenpotentialmethode

- Systematische Lösungsmethode
- Jeder unabhängige Knoten bekommt eine Gleichung für das Potential
- $\mathbf{G} \cdot \vec{u} = \vec{i}$   
Leitwertmatrix  $\cdot$  Spannungsvektor = Stromvektor
- im Komplexen  $\underline{\mathbf{Y}} \cdot \underline{\vec{U}} = \underline{\vec{I}}$

Wieso macht ein imaginärer Strom  
überhaupt Sinn?

- Er Vereinfacht die Rechnung mit Wechselspannungen
- Ein rein imaginärer Strom hat eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$

Was ist eine elektrische Suszeptanz?

- Blindleitwert
- Der Imaginärteil der Admitanz
- Formelzeichen  $B$
- Positives  $B \Rightarrow$  Kapazitive Last
- **Achtung:** Die Suszeptanz ist nicht der Kehrwert der Reaktanz (Blindwiderstand)



Was bezeichnet man als  
Scheinleistung?

- Betrag einer Komplexen Leistung
- Produkt zwischen Spannung und Strom  
 $S = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P + jQ$

Warum sind Blindströme oftmals  
unbeliebt?

- Die Blindströme fließen durch die Leitungen und verursachen nur Verluste