

Aufgabensammlung Ersatznetzwerke

Aufgabe 1: Kenngrößen einer Ersatzquelle

Das elektrische Netzwerk in **Abb. 1** besteht aus zwei Spannungsquellen U_{q1} und U_{q2} und wird mit einem variablen Widerstand R_5 belastet. Der Leitwert G_5 der Last kann im Bereich $G_5 = 1/R_5 = 0$ bis $G_5 = 5\Omega^{-1}$ variiert werden.

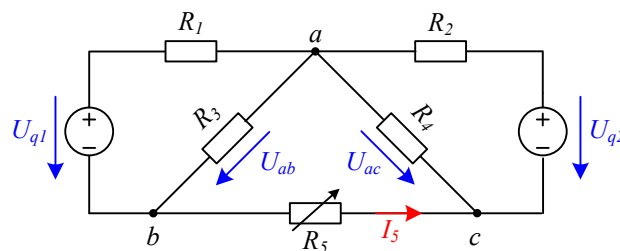


Abb. 1: Elektrisches Netzwerk mit zwei Spannungsquellen und variablem Widerstand R_5 .

Bestimme den Verlauf des Stromes I_5 in Abhängigkeit vom Leitwert G_5 für die Werte $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 30\Omega$, $R_4 = 40\Omega$, $U_{q1} = 24V$ und $U_{q2} = 20V$.

Aufgabe 2: Umwandlung eines aktiven Zweipols

Die Schaltung in **Abb. 2** zeigt zwei Spannungsquellen G_1 und G_2 , welche über den Widerstand R miteinander gekoppelt sind. An den Klemmen a - b wird eine äussere Last R_a angeschlossen, wobei eine maximale Leistung an R_a abgegeben werden soll.

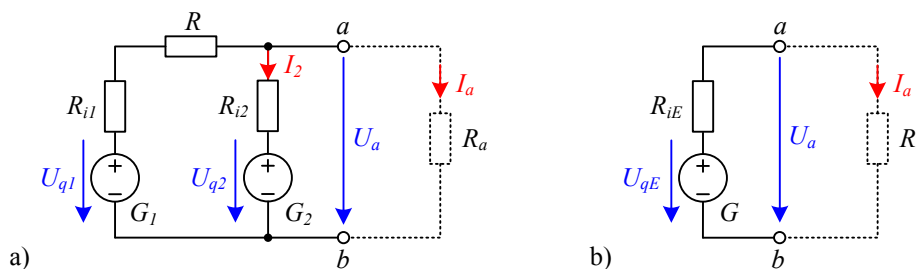


Abb. 2: Umwandlung eines aktiven Zweipols (a) mit zwei über Widerstände zusammengeschalteten Spannungsquellen G_1 und G_2 zu einer Ersatzspannungsquelle (b).

Wie gross muss der äussere Widerstand R_a gewählt werden, damit die maximale Leistung $P_{a,max}$ dem Widerstand R_a zugeführt wird? Wie gross ist diese Leistung $P_{a,max}$ und welche maximalen Leistungen könnten die beiden Spannungsquellen G_1 und G_2 jeweils einzeln liefern (ohne Koppelwiderstand R)?

Aufgabe 3: Messbrücke

Die Messbrücke in **Abb. 3** enthält vier Widerstände $R = 350\Omega$, von denen drei temperaturunabhängig sind und einer aus Kupfer mit dem Temperaturbeiwert $\alpha = 0.004\text{K}^{-1}$ besteht. Die Brücke wird mit der Gleichspannung $U_q = 6.3\text{V}$ gespeist. Im Mittelzweig der Brücke liegt das Voltmeter V mit dem Messwerkwiderstand $R_5 = 80\Omega$.

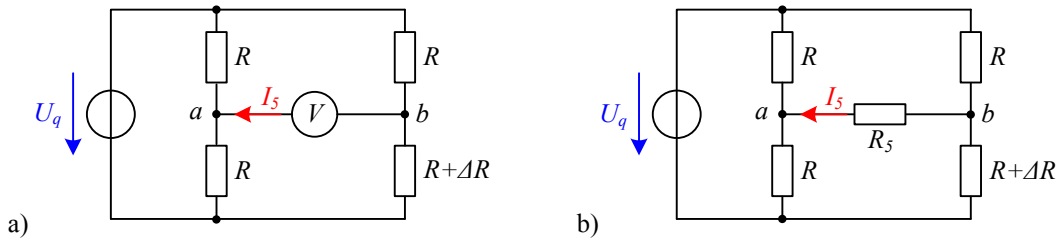


Abb. 3: Messbrücke mit Gleichspannungsquelle und einem Voltmeter mit Innenwiderstand R_5 .

Wie gross ist der Strom I_5 im Mittelzweig bei der Temperatur $T_v = 32.7^\circ\text{C}$, wenn bei $T_0 = 20^\circ\text{C}$ abgeglichen wurde?

Aufgabe 4: Kompensationsschaltung

In **Abb. 4** ist eine Kompensationsschaltung abgebildet, mit welcher sich Quellenspannungen (hier U_{q2}) von z.B. Thermoelementen oder Photoelementen leistungslos messen lassen. Dabei muss die messbare Spannung am Voltmeter V über den variablen Widerstand R_{VW} so eingestellt werden, dass der Strom I_2 im Amperemeter A zu Null wird. Das Voltmeter V weist einen Innenwiderstand R_{MV} von 200Ω auf. Als Spannungsquelle dient eine Akkuzelle mit einer Spannung U_{q1} von 2.3V und einem Quellenwiderstand R_{i1} von 0.1Ω .

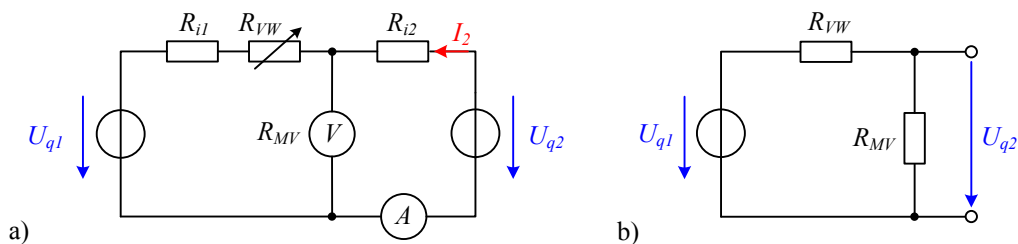


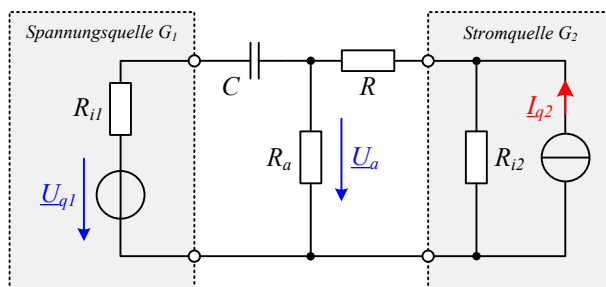
Abb. 4: Kompensationsschaltung (a) mit Ersatzschaltung (b).

- In welchem Bereich muss R_{VW} einstellbar sein, damit ein Spannungsbereich für U_{q2} von 20mV bis 30mV gemessen werden kann?
- Welche Ströme treten für $U_{q2} = 20\text{mV}$ und $U_{q2} = 30\text{mV}$ auf?
- Welche Leistung wird im Vorwiderstand R_{VW} in beiden Fällen umgesetzt?

Aufgabe 5: Superpositionsprinzip (Überlagerungsgesetz)

Ein Verbraucherwiderstand $R_a = 25\Omega$ ist nach der in **Abb. 5** dargestellten Schaltung über die Kapazität $C = 0.1\mu\text{F}$ an eine Sinusspannungsquelle G_1 und über den Wirkwiderstand $R = 150\Omega$ an eine Sinusstromquelle G_2 angeschlossen, wobei deren Quellenstrom I_{q2} eine Phasenverschiebung von 13° aufweist.

Welche Spannung U_a liegt am Verbraucherwiderstand R_a ?



$$G_1: \begin{aligned} U_{q1} &= 120\text{V} \\ R_{i1} &= 2\Omega \\ f &= 50\text{kHz} \end{aligned}$$

$$G_2: \begin{aligned} I_{q2} &= 3.7\text{A} \angle 13^\circ \\ R_{i2} &= 1\text{k}\Omega \\ f &= 50\text{kHz} \end{aligned}$$

Abb. 5: Gleichzeitige Speisung mit Spannungs- und Stromquelle.

Aufgabe 6: Einstellen von Strömen

6.1 Schiebewiderstand

Der Schiebewiderstand nach **Abb. 6 a)** mit Gesamtwiderstand $R_g = R_1 + R_2 = 570\Omega$ kann zum Einstellen eines Stromes durch einen Verbraucher verwendet werden. Bei einer gegebenen Eingangsspannung U von 210V soll der Strom $I = 1.5\text{A}$ fließen. Der Widerstand R_a wird in dieser Teilaufgabe vernachlässigt.

- Bei welchen Werten von R_1 und R_2 muss der Abgriff stehen?
- Zeichne die Kennlinie des Gesamtwiderstandes als Funktion vom Teilverhältnis g auf.
- Bei welcher Schleiferstellung wird maximale Leistung in R_a umgesetzt?

6.2 Vorwiderstand

Zur Einstellung von Strömen können auch Stromteiler mit Vorwiderstand R_{VW} anhand **Abb. 6 b)** verwendet werden. Gegeben sind $R_g = R_1 + R_2 = 25\Omega$, $R_{VW} = 10\Omega$ und $R_a = 5\Omega$. Die Klemmenspannung ist $U = 220\text{V}$.

- Berechne und zeichne die Kennlinie des Stromes I_a in Abhängigkeit vom Teilverhältnis g .
- Bei welcher Schleiferstellung g wird die maximale Leistung P_a in R_a umgesetzt und wie gross ist diese?

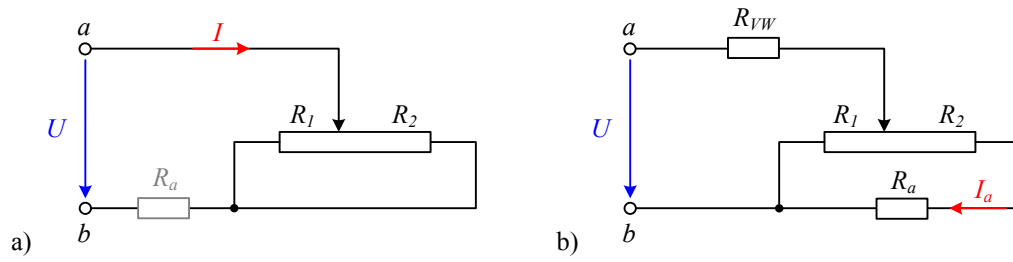


Abb. 6: Schiebewiderstand (a) und Vorwiderstand (b) zum Einstellen des Stromes.

Aufgabensammlung Sinusstromnetzwerke

Aufgabe 1: Wirk- und Blindwiderstand einer Drossel

Die Drossel Z nach **Abb. 1** wird an eine sinusförmige Spannungsquelle U mit $U_{eff} = 230V$ angeschlossen und nimmt dabei den Strom $I = 2A$ und die Wirkleistung $P = 150W$ auf.

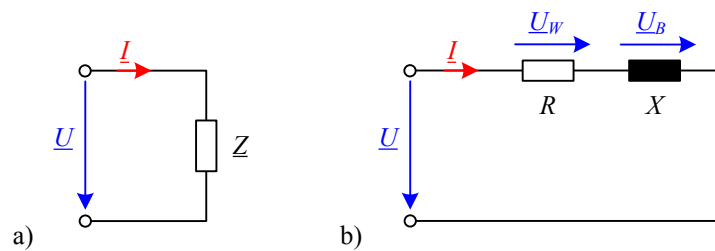


Abb. 1: Drossel Z (a) mit Reihen-Ersatzschaltung (b) bestehend aus R und X .

Zeichne qualitativ das Zeigerdiagramm der Reihen-Ersatzschaltung und bestimme die Teilwiderstände R und X .

Aufgabe 2: Wirk- und Blindwiderstand einer Kapazität

Die Ersatzelemente R_C und C_C einer realen Kapazität Z_C sollen mit einem Voltmeter bestimmt werden. Um einerseits den Strom I stärker zu begrenzen, und andererseits I mit dem Voltmeter überhaupt bestimmen zu können, wird zwischen der treibenden Spannungsquelle U und der Kapazität Z_C ein Widerstand $R_1 = 20\Omega$ in Serie geschaltet. Angeschlossen an der Spannungsquelle $U = 70V$ ($f = 50Hz$) werden $U_1 = 40V$ und $U_{Z_C} = 50V$ gemessen.

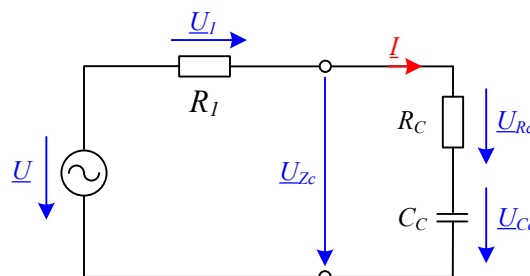


Abb. 2: Kapazität Z_C mit Reihenersatzschaltung und Vorschaltwiderstand R_1 .

Zeichne das Zeigerdiagramm mit allen Teilspannungen. Wie gross sind die Ersatzelemente R_C und C_C der Kapazität Z_C ?

Aufgabe 3: Verbraucher an realem Netz und realem Generator

Ein Verbraucher besteht aus der Reihenschaltung eines Wirkwiderstandes $R_V = 35\Omega$ und einer Induktivität $L_V = 190\text{mH}$ und ist für die Nennspannung $U_V = 10\text{kV}$ bei der Netzfrequenz von $f = 50\text{Hz}$ ($\omega = 314,2\text{s}^{-1}$) ausgelegt. Er ist nach **Abb. 3** über eine Leitung an den Generator G angeschlossen. Die Leitung wird als Reihenschaltung des Wirkwiderstandes $R_L = 8\Omega$ und der Induktivität $L_L = 22,1\text{mH}$ modelliert. Die Innenimpedanz des Generators enthält den Wirkwiderstand $R_G = 3,5\Omega$ und die Induktivität $L_G = 45\text{mH}$.

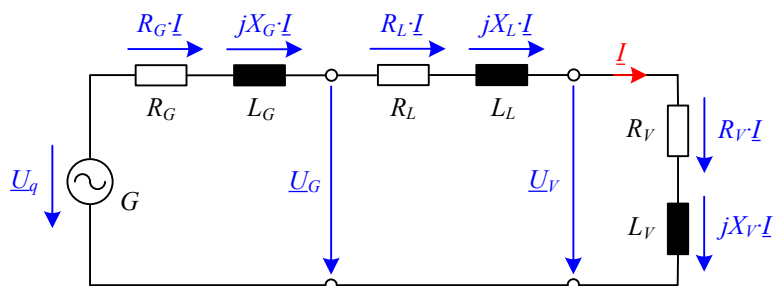


Abb. 3: Verbraucher an realem Netz und realem Generator.

Welche Quellenspannung U_q muss der Generator G erzeugen, und welche Klemmenspannung U_G tritt auf?

Aufgabe 4: Reihenschaltung von Wirk- und Blindwiderständen

Die Schaltung in **Abb. 3** nimmt an der Sinusspannung $U = 30\text{V}$ bei Anschluss an den Klemmen a und b den Strom $I' = 15\text{mA}$, bei Anschluss an den Klemmen b und c den Strom $I'' = 8,3\text{mA}$ und bei Anschluss an den Klemmen a und c den Strom $I = 6\text{mA}$ und die Wirkleistung $P = 108\text{mW}$ auf.

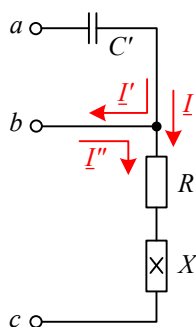


Abb. 3: Reihenschaltung von Wirk- und Blindwiderständen.

Stellt der Blindwiderstand X eine Induktivität oder eine Kapazität dar? Wie gross sind der Widerstand R und der Blindwiderstand X ?

Aufgabe 5: Konstanter Verbraucherstrom im Serienschwingkreis

Gegeben ist die Schaltung nach **Abb. 5** mit $\underline{U}_q = 10 \cdot e^{j0^\circ} \text{V}$ und $f = 50 \text{Hz}$. Durch eine geeignete Dimensionierung von R_1 , L und C soll in der Last ein Strom $I_a = 1 \text{A}$ fließen, welcher unabhängig vom Wert des veränderbaren Widerstandes R_a sein soll.

- Finde einen mathematischen Ausdruck für I_a in Abhängigkeit von R_a , R_1 , L , C und ω .
- Welche Bedingungen müssen gelten, damit I_a unabhängig vom Wert R_a ist? Berechne mit diesen Bedingungen Zahlenwerte für R_1 , L und C .
- Zeichne für die Werte $R_a = 2 \Omega$ und $R_a = 5 \Omega$ und mit den Ergebnissen von Teilaufgaben a) und b) ein maßstabsgetreues Zeigerdiagramm der Schaltung (mit \underline{U}_q , \underline{U}_L , \underline{U}_C und I , I_a und I_C).

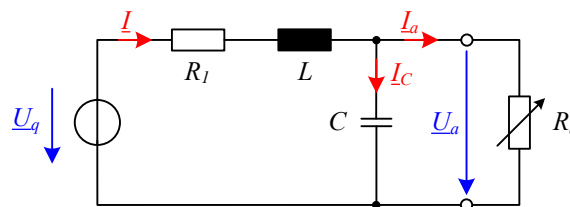


Abb. 5: Schaltung zur Erzeugung eines vom Verbraucherwiderstand R_a unabhängigen Stromes.

Aufgabe 6: Leistungsanpassung

Die Parallelschaltung in **Abb. 1** wird durch die zwei Sinusstromquellen mit den komplexen Quellenströmen $I_{q1} = 3 \text{A}$ und $I_{q2} = j4 \text{A}$ sowie den komplexen inneren Leitwerten $Y_{i1} = 5 \text{mS} \angle 30^\circ$ und $Y_{i2} = 10 \text{mS} \angle -60^\circ$ gespeist.

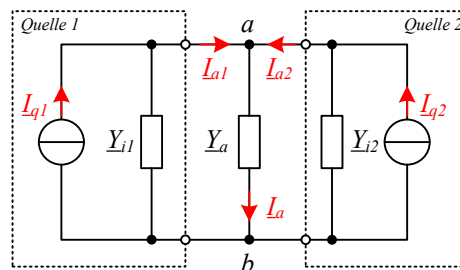


Abb. 1: Zweifache Sinusstromeinspeisung.

Bestimme

- die verfügbaren (d.h. dem Verbraucher maximal abgebbaren) Leistungen der beiden Stromquellen einzeln,
- den komplexen Verbraucherleitwert Y_a für die Leistungsanpassung für das gesamte Netzwerk,
- die hierbei umgesetzte Verbraucherwirkleistung $P_{a,max}$,
- die hierbei auftretenden Klemmenströme I_{a1} und I_{a2}
- und den jeweiligen Anteil der Quellen an der Wirkleistungserzeugung (P_{a1} und P_{a2}).

Temperaturüberwachung

Zur Überwachung der Temperatur der Statorwicklung einer Drehfeldmaschine wird ein temperaturabhängiger Widerstand verwendet. Die Auswerteschaltung ist in **Abb. 1** dargestellt. Überschreitet die Wicklungstemperatur den eingestellten Schwellwert, dann schaltet der als Diskriminator beschaltete OP_2 ein ($u_a = U_B$). Erst wenn die Temperatur der Wicklung auf die eingestellte Abschaltsschwelle abgesunken ist, schaltet der Komparator OP_2 wieder aus ($u_a = 0$).

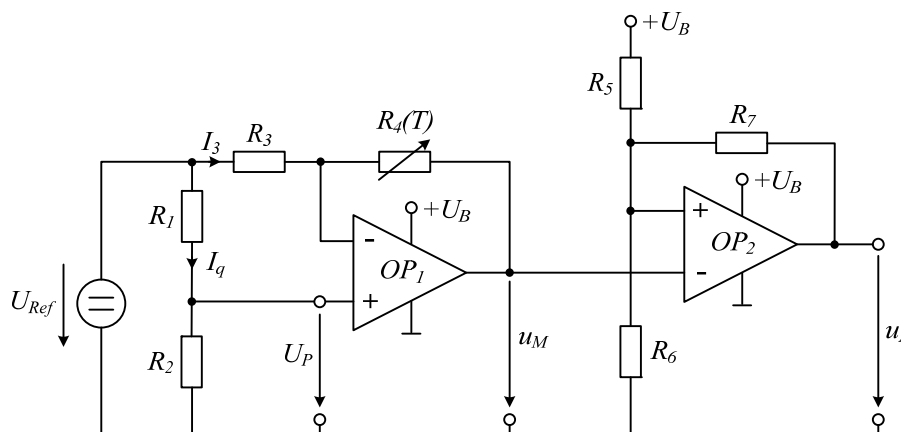


Abb. 1: Schaltung zur Temperaturüberwachung.

Gegeben:

Betriebsspannung:	$U_B = 10V$
Referenzspannung:	$U_{Ref} = 10V$
Querstrom durch den Spannungsteiler:	$I_q = 1mA$
Vergleichsspannung:	$U_P = 6.25V$
Umschaltsschwelle:	$U_{M1} = 1V$
Strom durch R_3 :	$I_3 = 3.125mA$
Widerstandswerte:	$R_5 = 12k\Omega$
	$R_6 = 1.5k\Omega$
	$R_{4(25^\circ C)} = 1k\Omega$
Temperaturkoeffizient von R_4 :	$T_K = 7.95 \cdot 10^{-3} K^{-1}$

Hinweis: Bei allen Berechnungen kann angenommen werden, dass sich die Operationsverstärker ideal verhalten, d.h. die (innere) Verstärkung sei unendlich und die Eingangsströme seien gleich null. Die Betriebsspannung der Operationsverstärker beträgt $U_B = +10V$, d.h. die Ausgangsspannung der Operationsverstärker ist begrenzt auf den Bereich $0V \dots 10V$.

- 1) Berechne den Wert des Widerstandes R_7 damit die Einschaltsschwelle $U_{M1} = 1V$ beträgt. Bei welchem Spannungswert U_{M2} liegt die Ausschaltsschwelle und wie gross ist demnach die Hystere-

sespannung U_H ($U_H = U_{M2} - U_{M1}$). Skizziere den Verlauf der Ausgangsspannung u_A in Abhängigkeit von u_M (Hysteresekennlinie) und gib zusätzlich die Richtung des Durchlaufes an.

- 2) Dimensioniere die Widerstände R_1 und R_2 so, dass die Spannung am positiven Eingang von OP_1 $U_p = 6.25V$ bei einem Querstrom von $I_q = 1mA$ beträgt.
- 3) Berechne den Wert des Widerstandes R_3 so, dass durch ihn ein konstanter Strom von $I_3 = 3.125mA$ fließt.
- 4) Berechne die Abhängigkeit $u_M = u_M(R_4)$ und stelle diesen Zusammenhang in einer Skizze dar. Wie gross ist die Ausgangsspannung von OP_1 bei $R_4 = 0\Omega$? Für welchen Widerstandswert von R_4 wird $u_M = 0V$?
- 5) Für welche Temperaturwerte T_{M1} bzw. T_{M2} werden die Schaltschwellen U_{M1} bzw. U_{M2} erreicht, wenn gilt: $R_4 = R_{4(25^\circ C)} \cdot (1 + T_K \cdot \Delta T)$? (Beachte: $\Delta T = T - 25^\circ C$!)

Spannungs-Frequenz Umsetzer

Die Aufgabe des Spannungs–Frequenz Umsetzers (U/f-Konverters) nach **Abb. 1** ist es, die Eingangsspannung u_E in eine Ausgangsspannung u_{A1} umzusetzen, deren Frequenz proportional zu der Amplitude der Eingangsspannung u_E ist. Die zur Eingangsspannung proportionale Frequenz kann z.B. als Zwischengröße für einen Analog-Digital-Wandler eingesetzt werden.

Der Umschalter S_1 arbeitet folgendermassen: Wenn die Spannung u_{A1} vom Zustand $u_{A1} < 0$ zum Zustand $u_{A1} > 0$ wechselt, schaltet der Umschalter S_1 von $-u_E$ auf $+u_E$. Wechselt hingegen die Spannung u_{A2} vom Zustand $u_{A2} < 0$ zum Zustand $u_{A2} > 0$, so schaltet der Umschalter S_1 von $+u_E$ auf $-u_E$. Dabei kann es aus schaltungstechnischen Gründen nie auftreten, dass beide Spannungen u_{A1} und u_{A2} gleichzeitig positiv sind.

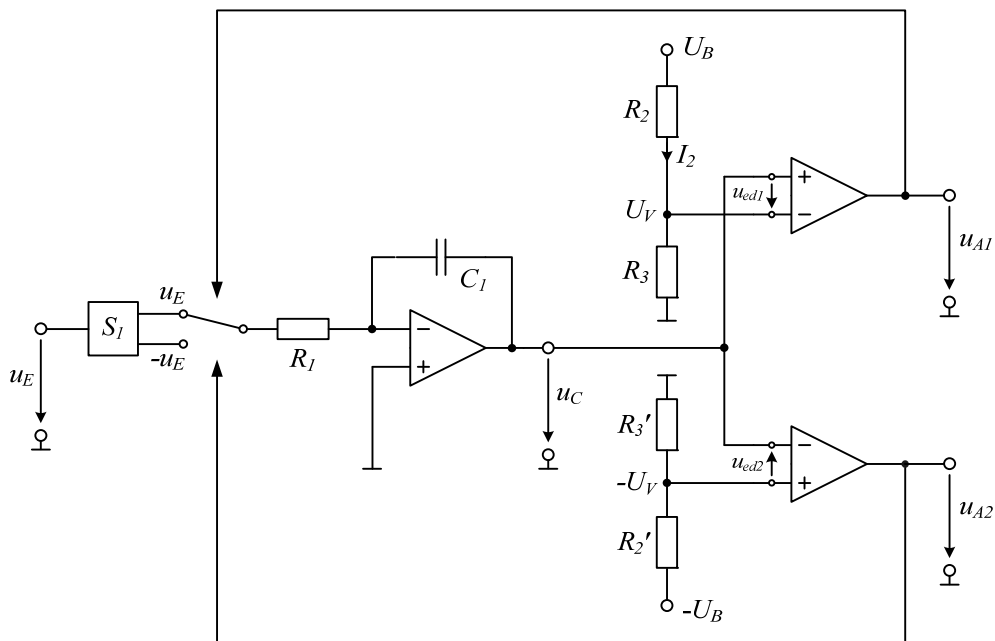


Abb. 1: Spannungs-Frequenz Umsetzer.

Betriebsspannung:	U_B	=	10V
Vergleichsspannung:	U_V	=	5V
Strom durch Spannungsteiler:	I_2	=	5mA

Hinweis: Bei allen Berechnungen kann angenommen werden, dass sich die Operationsverstärker ideal verhalten, d.h. die (innere) Verstärkung sei unendlich und die Eingangsströme seien gleich null. Die Betriebsspannungen der Operationsverstärker betragen +10V und -10V d.h. die **Ausgangsspannung der Operationsverstärker ist begrenzt auf $\pm 10V$** .

- 1) Dimensioniere R_2 und R_3 so, dass über den Spannungsteiler ein Strom von $I_2 = 5\text{mA}$ fließt und dass $U_V = 5\text{V}$ ist. (R_2' und R_3' haben die gleichen Werte wie R_2 bzw. R_3).
- 2) Stelle die Kennlinien $u_{A1} = f(u_C)$ und $u_{A2} = f(u_C)$ grafisch dar.
- 3) Zeichne für eine konstante Eingangsspannung $u_E = 2\text{V}$ und $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $C_1 = 1\mu\text{F}$ den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung u_C des Integrators in **Abb. 2** ein. Beachte, dass der Umschalter S_1 in Abhängigkeit von u_C bzw. u_{A1}/u_{A2} umgeschaltet wird. Dabei sei zum Zeitpunkt $t = 0$ die Ausgangsspannung des Integrators $u_C = 0$ und der Umschalter S_1 verbinde die Spannung $+u_E$ mit dem Widerstand R_1 .
- 4) Berechne die Periodendauer T_C der Spannung u_C in Abhängigkeit von R_1 , C_1 , U_V und u_E . Die Eingangsspannung u_E sei dabei konstant. Wie hoch ist die Frequenz der Ausgangsspannung u_{A1} , wenn die Eingangsspannung $u_E = 0$ ist?
- 5) Die Frequenz der Spannung u_C soll für die maximale Eingangsspannung von $U_{E\text{max}} = 10\text{V}$ gleich 10kHz sein. Überdies soll der maximale Lade- bzw. Entladestrom $I_{C1\text{max}}$ im Kondensator C_1 gleich 1mA betragen. Dimensioniere R_1 und C_1 so, dass oben die genannten Bedingungen erfüllt werden.
- 6) Gib eine Schaltung an, mit welcher aus der Spannung u_E die Spannung $-u_E$ gebildet werden kann.

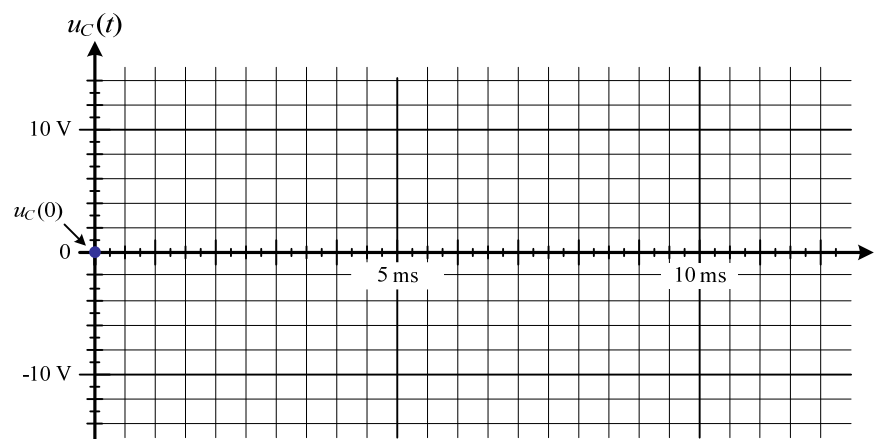


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Ausgangsspannung u_C des Integrators.

Sample-Hold Glied

Die Ausgangsspannung u_A eines Sample-Hold-Gliedes (Abtast-Halte-Gliedes) nach **Abb. 1** soll im Modus „Sample“ idealerweise der Eingangsspannung u_E exakt folgen. Im Modus „Hold“ hingegen soll der Spannungswert der Eingangsspannung zum Umschalt Augenblick (Moduswechsel) konstant am Ausgang zur Verfügung gestellt werden. Das Umschalten zwischen dem Sample- und dem Hold-Modus erfolgt durch den Schalter S_1 (S_1 geschlossen: Sample-Modus / S_1 offen: Hold-Modus).

Bei geschlossenem Schalter S_1 folgt u_{C1} und damit auch die Ausgangsspannung u_A des Spannungsfollowers idealerweise der Eingangsspannung u_E . Wird der Schalter S_1 geöffnet, so bleibt die Spannung u_{C1} am Kondensator C_1 konstant.

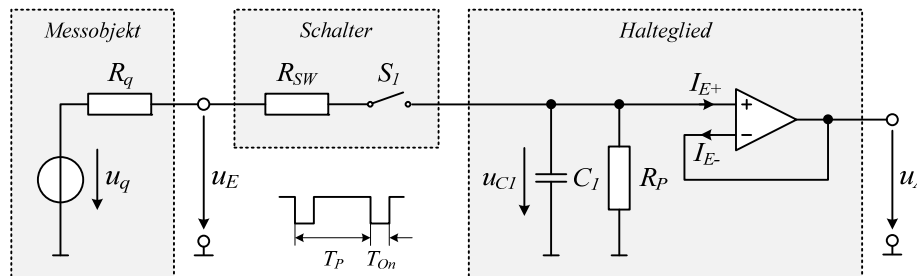


Abb. 1: Sample-Hold Glied.

Gegeben:

Zu messende Spannung:	$u_q = -10V \dots +10V$
Innenwiderstand des Messobjekts:	$R_q = 50\Omega$
Widerstand des Schalters:	$R_{SW} = 15\Omega \dots 25\Omega$
Parasitärer Eingangsstrom des OPs:	$I_{E+} = I_{E-} = 30nA$
Periode der Messung:	$T_P = 20\mu s$
Abtast-Zeit:	$T_{On} = 700ns$

Hinweis: Bei allen Berechnungen kann angenommen werden, dass die (innere) Verstärkung des Operationsverstärkers ideal gleich unendlich ist. Die Eingangsströme in den nicht-invertierenden bzw. in den invertierenden Eingang seien gleich I_{E+} bzw. I_{E-} . Die Betriebsspannung der Operationsverstärker betrage +15V und -15V d.h. die **Ausgangsspannung der Operationsverstärker ist begrenzt auf $\pm 15V$** .

- 1) R_P sei unendlich gross und kann damit vernachlässigt werden. Weiterhin sei der Schalter S_1 geöffnet, d.h. das Sample-Hold Glied befindet sich im Hold-Modus. Dimensioniere den Kondensator C_1 so, dass er während der Haltezeit $T_{Hold} = T_P - T_{On}$ durch den Eingangsstrom des Operationsverstärkers I_{E+} um weniger als $\Delta u_{C1} = 1mV$ entladen wird.
- 2) Nun sei $R_P = 1M\Omega$ und $C_1 = 1nF$. Das Sample-Hold Glied befinde sich wiederum im Hold-Modus. Der Kondensator C_1 wird nun während der Haltezeit T_{Hold} durch I_{E+} und R_P entladen. Bei welcher

Eingangsspannung u_E tritt während T_{Hold} die maximale Spannungsänderung $\Delta u_{C_1, max}$ der Spannung über dem Kondensator auf und wie gross ist $\Delta u_{C_1, max}$?

- 3) Bestimme den zulässigen Bereich der Periode T_p , so, dass sich die Spannung über den Kondensator C_1 durch I_{E+} im Hold-Modus um weniger als $\Delta u_{C_1} = 1\text{mV}$ ändert. R_p kann dabei vernachlässigt werden ($R_p \rightarrow \infty$) und $C_1 = 1\text{nF}$. Die Sample-Zeit T_{On} sei dabei konstant gleich 700ns .
- 4) Wie gross ist die maximale Abweichung der Ausgangsspannung u_A , welche durch I_{E+} bei geschlossenem Schalter an R_q und R_{SW} verursacht wird. Der Widerstand R_p kann dabei wiederum vernachlässigt werden ($R_p \rightarrow \infty$). Bei den Berechnungen kann angenommen werden, dass der Aufladevorgang von C_1 bereits abgeschlossen ist ($T_{On} \rightarrow \infty$).
- 5) Nun sei der Operationsverstärker ideal, d.h. $I_{E+} = 0$. Wie gross ist die maximale Abweichung in der Ausgangsspannung u_A , welche sich durch die Aufladung von C_1 über R_q und R_{SW} während der Sample-Zeit T_{On} ergibt? Der Widerstand R_p kann bei den Berechnungen vernachlässigt werden.

Anmerkung: Die Spannung u_q kann sich innerhalb der Haltezeit über den vollen Bereich ändern, also von $u_q = -10\text{V}$ bis $u_q = 10\text{V}$.

Stromversorgung eines Mikroprozessors

Durch die in **Abb. 1** gezeigte Schaltung soll eine gegebene Gleichspannung von $U_1 = 12\text{V}$ in die Versorgungsspannung u_2 eines Mikroprozessors (dargestellt durch einen Lastwiderstand $R = 0.5\Omega$) umgeformt werden. Die Eingangsspannung wird dabei durch periodisches Öffnen und Schliessen (Periode T_P) des elektronischen Schalters S in eine pulsformige Spannung u_P mit der Einschaltzeit T_i umgeformt. Um am Ausgang eine Gleichspannung zu erhalten, ist ein Filter vorgesehen. Alle Elemente sind ideal und verlustfrei.

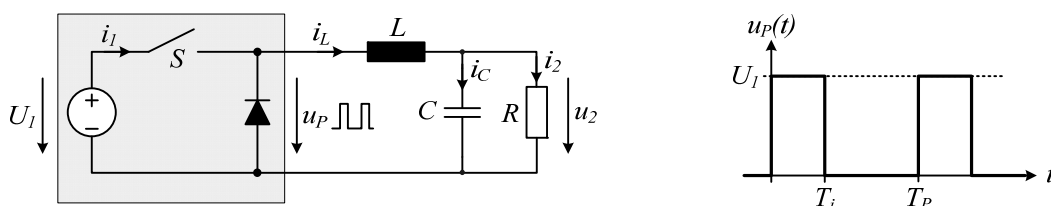


Abb. 1: Schaltung einer Mikroprozessor-Stromversorgung / Verlauf der pulsformigen Spannung $u_P(t)$.

Gegeben:

Eingangsspannung:	$U_1 = 12\text{V}$
Induktivitätswert:	$L = 10\mu\text{H}$
Kapazitätswert:	$C = 1\mu\text{F}$
Lastwiderstand:	$R = 0.75\Omega$
Schaltfrequenz:	$1/T_P = 500\text{kHz}$

- 1) Berechne die Übertragungsfunktion $G(j\omega) = \underline{U}_2(j\omega) / \underline{U}_P(j\omega)$. Wie gross wird $G(j\omega)$ für $\omega \rightarrow 0$ und für $\omega \rightarrow \infty$? Welche Filterart beschreibt $G(j\omega)$?
- 2) Die relative Einschaltzeit $D = T_i/T_P$ betrage $D = 0.275$. Wie hoch ist der Gleichanteil der Spannung u_P ? Wie hoch ist der Gleichanteil U_2 der Ausgangsspannung? Welche maximale Ausgangsspannung kann durch Erhöhung der relativen Einschaltzeit $D = T_i/T_P$ erreicht werden?
- 3) Die relative Einschaltzeit $D = T_i/T_P$ betrage wiederum $D = 0.275$. Skizziere in **Abb. 2** den Zeitverlauf des Stromes i_L durch die Induktivität L und gebe den auftretenden Spitzenwert I_{Lmax} an. Die Kapazität C kann hierbei als sehr gross vorausgesetzt, d.h. die Ausgangsspannung als konstant angenommen werden.
- 4) Bei welcher relativen Einschaltzeit $D = T_i/T_P$ ergibt sich die maximale schaltfrequente Schwankung Δi_L des Stromes in der Induktivität L ? Mit welchen Massnahmen kann Δi_L reduziert werden?
- 5) Zeichne wiederum für $D = 0.275$ den zeitlichen Verlauf des Eingangsstromes $i_1(t)$ in **Abb. 3** ein. Wie gross ist der Mittelwert I_1 des Eingangsstromes?

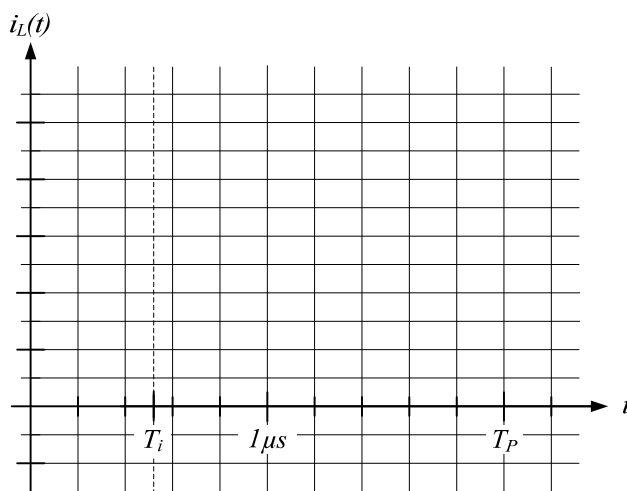


Abb. 2: Verlauf von $i_L(t)$.

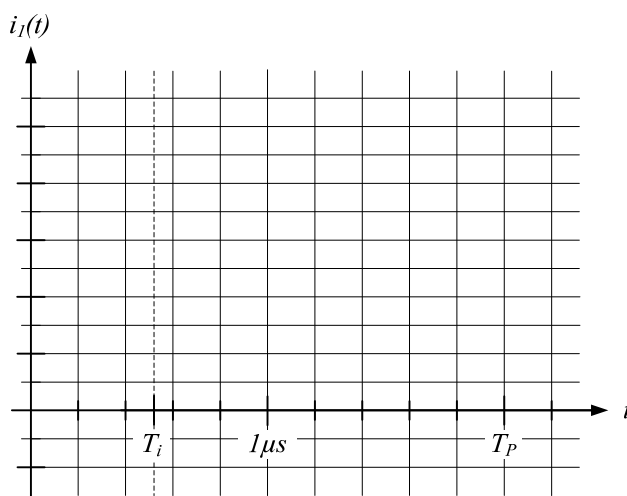


Abb. 3: Verlauf von $i_I(t)$.

Linearantrieb

In **Abb. 1** ist ein Linearantrieb abgebildet, bei welchem sich eine Spule entlang eines Schenkels bewegt. Die Bewegungen sind dabei proportional zum Strom I_S . Ähnliche Aufbauten findet man beispielsweise in Lautsprechern zu finden.

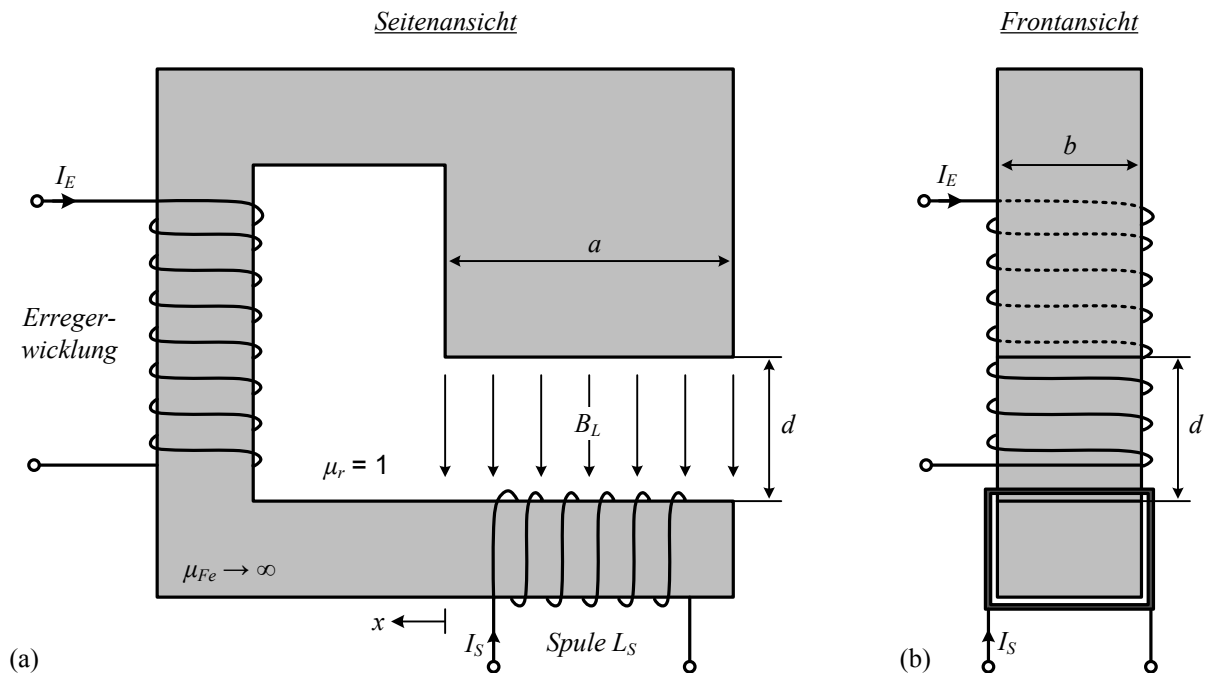


Abb. 1: Seitenansicht (a) und Frontansicht (b) des Linearantriebs.

Luftspalt:	d_1	=	5mm
Erregerstrom:	I_E	=	10A
Abmessungen des Eisenkreises:	a	=	35mm
	b	=	15mm
Leitfähigkeit von Kupfer:	σ	=	$5.8 \cdot 10^7 \text{ } \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$
Magnetische Feldkonstante:	μ_0	=	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$
Permeabilität des Eisenkreises:	μ_{Fe}	\rightarrow	∞

- 1) Skizziere in **Abb. 2** den Verlauf der Feldlinien und trage deren Richtung ein. Dabei kann angenommen werden, dass das magnetische Feld im Bereich des Luftspaltes senkrecht aus dem oberen Schenkel austritt, linienförmig zum unteren Schenkel verläuft und in diesen wieder senkrecht eintritt. Welche Windungszahl N_E der Erregerwicklung ist erforderlich, um im Luftspalt ein magnetisches Feld mit $B_L = 0.8\text{T}$ zu erzeugen?

- 2) Die Spannung zur Speisung der Erregerwicklung beträgt $U_E = 12\text{V}$. Welcher Drahtdurchmesser D_W ist vorzusehen, damit sich der gewünschte konstante Erregerstrom von $I_E = 10\text{A}$ einstellt? Die Länge einer Windung beträgt $l_W = 80\text{mm}$.
- 3) Wie hoch ist dann die Verlustleistung P_E in der Erregerwicklung?
- 4) Welche Induktivität L_E weist der Erregerkreis auf?
- 5) Welche Kraft F_x wird auf die Spule ausgeübt, wenn sich alle Leiter der Spule im Magnetfeld befinden? Die Windungszahl der Spule betrage $N_S = 200$ und der Spulenstrom $I_S = 4\text{ A}$.
- 6) Der Luftspalt wird durch einen Fabrikationsfehler auf $d_2 = 6\text{mm}$ aufgeweitet. Auf welchen Wert sinkt die Kraft F_x ? Auf welchen Wert müsste der Erregerstrom I_E erhöht werden, um dieselbe Kraft wie für einen Luftspalt der Grösse d_1 zu erreichen?
- 7) Die Spule bewege sich mit konstanter Geschwindigkeit $v_x = 2\text{ m/s}$. Alle Leiter der Spule liegen im Feld und der Luftspalt sei wieder d_1 gross. Welche Spannung U_S tritt dabei an den Klemmen der Spule auf?

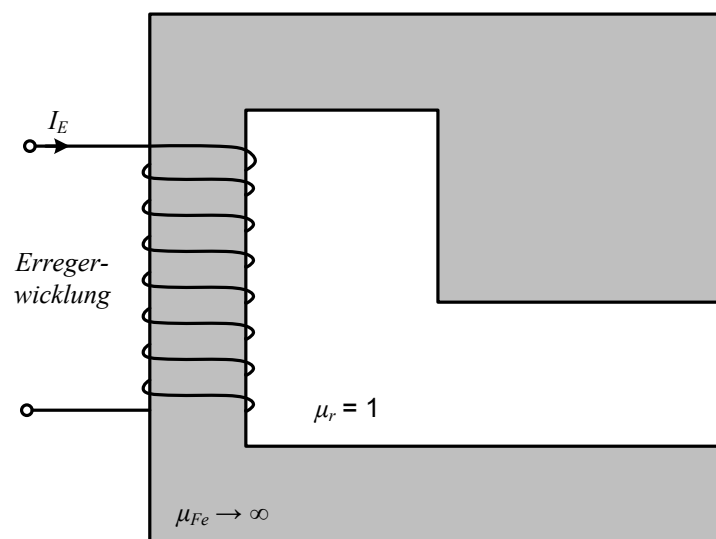


Abb. 2: Verlauf der Feldlinien im Linearantrieb.

Induktionsbremse einer Strassenbahn

Eine Strassenbahn fährt einen Hügel mit 5% Gefälle hinunter. Damit ihre Geschwindigkeit v nicht zu hoch wird, kann sie induktiv gebremst werden. Dabei wird der Rotor des Elektromotors über eine mechanische Kopplung mit der Antriebsachse verbunden und 30mal schneller als die Antriebsachse gedreht (siehe **Abb. 1**). Der Rotor, welcher sich in einem konstanten B -Feld mit der Winkelgeschwindigkeit ω dreht, wird durch eine rechteckige Induktionsschleife mit $N = 100$ Windungen simuliert (**Abb. 2**). Die in der Schleife induzierte Spannung $u_{ind}(t)$ wird über Schleifkontakte abgegriffen und im Lastwiderstand R_L in Wärme umgewandelt. Durch Variation von R_L ist es also möglich, verschiedene Bremsleistungen des Strassenbahntriebwagens einzustellen.

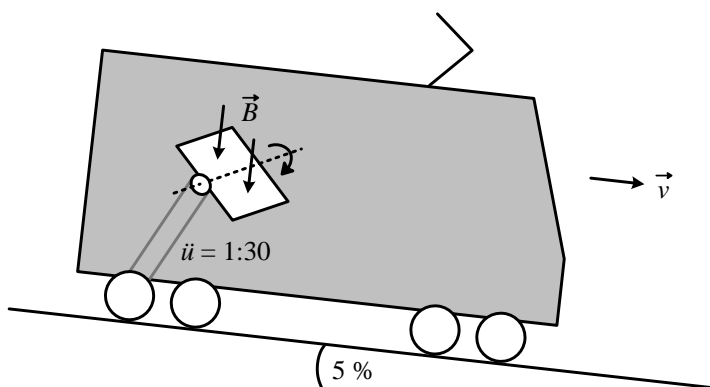


Abb. 1: Strassenbahntriebwagen mit Induktionsbremse.

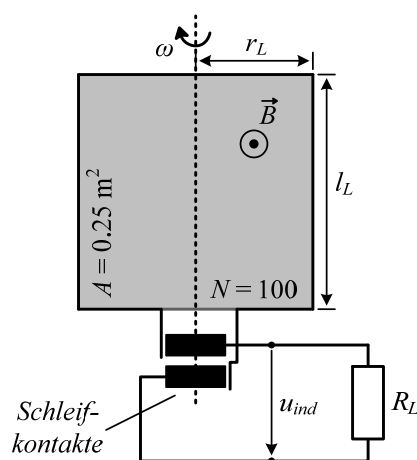


Abb. 2: Induktionsschleife.

Kennzahlen der Strassenbahn:

Masse:	$m = 20\text{t}$
Radius der Antriebsräder:	$r = 20\text{cm}$
Übersetzungsverhältnis Rad/Induktionsschleife:	$\ddot{u} = 1:30$

Parameter der Induktionsschleife:

Fläche der Induktionsschleife:	$A = 0.25\text{m}^2$
Anzahl Windungen:	$N = 100$
Flussdichte:	$B = 2\text{T}$

Die Aufgaben **1) – 3)** sind nur formal zu lösen!

- 1) Berechne $u_{ind}(t)$ als Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit v .
- 2) Wie gross ist die über eine Umdrehung der Schleife gemittelte Bremsleistung \overline{P}_B ?
- 3) Wie gross ist die mittlere Bremskraft \overline{F}_B ?
- 4) Für welchen Lastwiderstand R_L erreicht das Tram eine mittlere Geschwindigkeit von $v = 1\text{m/s}$?

Rütteltisch

Zum Test der mechanischen Beanspruchbarkeit und Vibrationsfestigkeit elektronischer Baugruppen und Systeme werden in der technischen Praxis elektrodynamische Rütteltische eingesetzt. Der innere Aufbau einer derartigen **zylinderförmigen** Vorrichtung ist in **Abb. 1** im Schnitt gezeigt. Hierbei wird durch eine feststehende Erregerspule N_E im Luftspalt δ eine magnetische Induktion B erzeugt, wodurch auf die von einem Strom I_S durchflossene Schwingspule N_S , deren Leiter im Luftspalt liegen, eine Kraft ausgeübt und die Masse des zu testenden Systems beschleunigt wird. Die Schwingspule ist gegenüber dem feststehenden Systemteil durch flexible Verbindungsteile (diese sind nicht abgebildet) so abgestützt, dass eine nur axiale Bewegung sichergestellt ist.

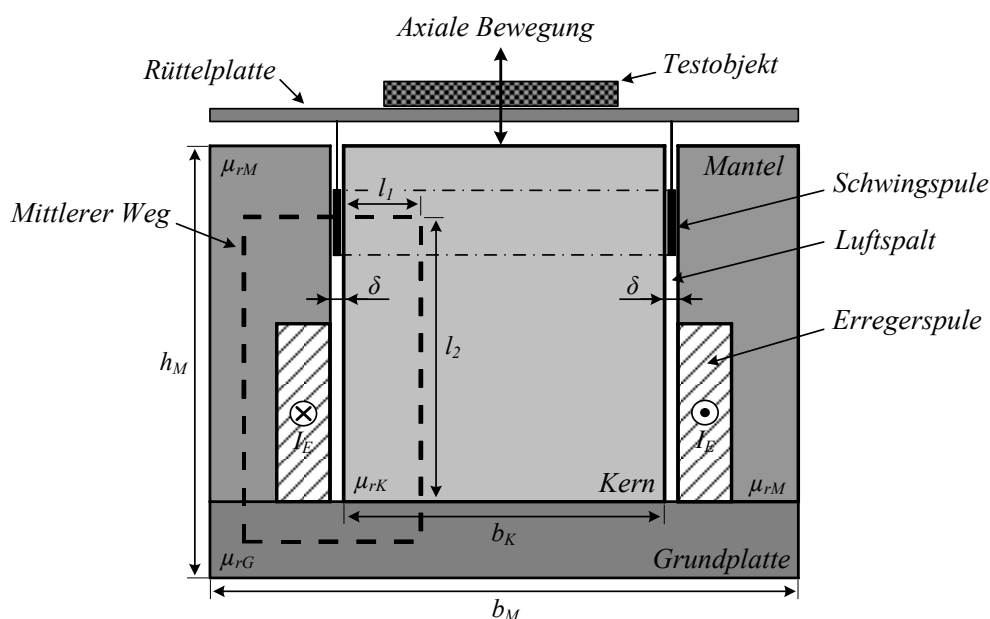


Abb. 1: Schnittansicht des Rütteltisches.

Kenndaten des Rütteltisches:

Höhe des Rütteltisches:	$h_M = 170\text{mm}$
Breite der Grundplatte:	$b_M = 220\text{mm}$
Breite des Kerns:	$b_K = 120\text{mm}$
Länge des Luftspalts:	$\delta = 3\text{mm}$
Länge des mittleren Wegs im Kern:	$l_1 = 30\text{mm}$
	$l_2 = 105\text{mm}$
Relative Permeabilität im Kern:	$\mu_{rK} = 1000$
Relative Permeabilität im Mantel:	$\mu_{rM} = \infty$
Relative Permeabilität in der Grundplatte:	$\mu_{rG} = \infty$
Magnetische Induktion im Luftspalt:	$B_\delta = 1.2\text{T}$

- 1) Skizziere in **Abb. 2** für die eingetragene Richtung des Erregerstroms I_E die Feldlinien der sich ausbildenden magnetischen Induktion B .
- 2) Im Luftspalt δ des Magnetkreises soll eine magnetische Induktion von $B_\delta = 1.2\text{T}$ eingestellt werden. Welche Erregungsdurchflutung $N_E \cdot I_E$ ist dafür vorzusehen? Für die Berechnungen können sämtliche Streufelder und das Magnetfeld der Schwingspule vernachlässigt werden. Die den einzelnen Wegelementen l_1 , l_2 und δ zugeordneten Flächen betragen $A_1 = 20'000\text{mm}^2$, $A_2 = 10'000\text{mm}^2$ und $A_\delta = 25'000\text{mm}^2$.
- 3) Welcher Strom I_S ist der Schwingspule mit $N_S = 100$ Windungen zuzuführen, damit eine Gesamtkraft von $F_S = 150\text{N}$ erzeugt wird? Im Luftspalt beträgt dabei die magnetische Induktion $B_\delta = 1.2\text{T}$ und der Radius der Schwingspule ist $r_s = 61.5\text{mm}$
Mit welchem Drahtquerschnitt A_S ist die Spule auszuführen, wenn die ohmschen Verluste P_V der Spule 50W nicht übersteigen sollen (Leitfähigkeit von Kupfer: $\sigma_{Cu} = 5.6 \cdot 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m}$)?

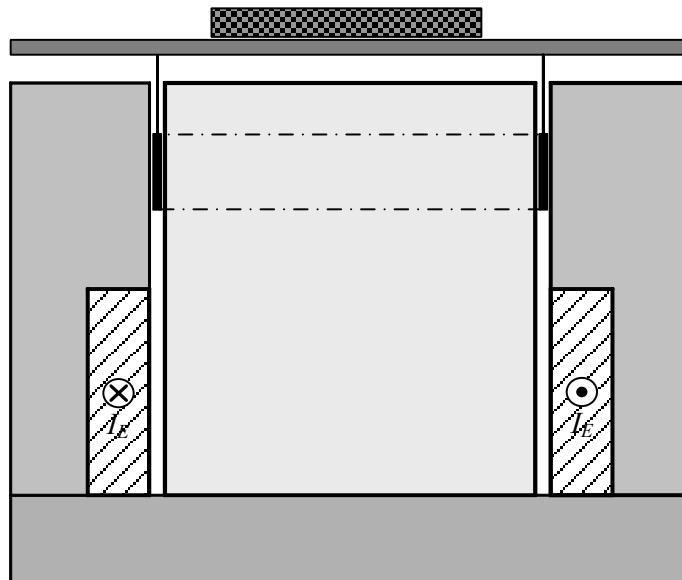


Abb. 2: Richtung der Feldlinien der magnetischen Induktion B (Aufgabe 1).