

## Elektromagnetische Schwingungen – fachliche Grundlagen, Anwendungen und Experimente (Teil II)

Dr. Rolf Winter, Potsdam

Bei der Diathermie lindert man Schmerzen (z. B. durch Verspannungen) mithilfe elektromagnetischer Schwingungen. Zahlreiche weitere Anwendungen zeigen, wie wichtig elektromagnetische Schwingungen für unseren Alltag sind.



Diathermie

© BTL Medizintechnik GmbH, Ulm

II/C

Dies ist Fortsetzung  
des im Februar 2015  
erschienenen Beitrags.

### Der Beitrag im Überblick

**Klasse:** 11/12

**Dauer:** 9 Stunden

**Ihr Plus:**

- ✓ viele Experimente
- ✓ Erklärung der Wirkungsweise eines Oszillators für elektromagnetische Schwingungen
- ✓ Beschreibung zahlreicher **Anwendungen**, z. B. Synthesizer, Mikrofone, intelligente Fernsteuerung, Quarzuhr und Mikrowellenherd

**Inhalt:**

- Resonanz von Schwingkreisen
- Schülerexperimente zur Aufnahme von Resonanzkurven
- Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen: automatische Zugbremsung, Verkehrssteuerung, automatische Identifizierung von Gegenständen, Mikrofone und Lautsprecher, Synthesizer
- Erzeugung und Anwendung höchstfrequenter elektromagnetischer Schwingungen im Mikrowellenherd

## M 1 Erzwungene Schwingungen und Resonanz

Eine Möglichkeit, elektromagnetische Schwingungen mit konstanter Amplitude zu erzeugen, beruht auf der periodischen Anregung des Schwingkreises. Dabei wird im Schwingkreis eine elektromagnetische Schwingung erzwungen. Die Amplituden der in dem Schwingkreis erzwungenen elektromagnetischen Schwingungen hängen vom Verhältnis der Frequenz der anregenden Schwingung  $f_{\text{err}}$  und der Eigenfrequenz des Schwingkreises  $f_0$  und der Dämpfung ab.

Ist die Erregerfrequenz sehr viel kleiner oder sehr viel größer als die Eigenfrequenz ( $f_{\text{err}} \ll f_0$  oder  $f_{\text{err}} \gg f_0$ ), hat die Amplitude der Schwingung im Schwingkreis nur geringe Werte. Nähert sich die Erregerfrequenz der Eigenfrequenz, wachsen die Amplituden im Schwingkreis an. Sie erreichen ein Maximum, wenn Erregerfrequenz und Eigenfrequenz ungefähr übereinstimmen ( $f_{\text{err}} \approx f_0$ ). Dieses Phänomen wird als **Resonanz** bezeichnet (siehe **M 2** und **M 3**).

### Resonanz

Die Abhängigkeit der Schwingungsamplituden von der Erregerfrequenz  $A: f_{\text{err}} \rightarrow A(f_{\text{err}})$  entspricht derjenigen bei erzwungenen mechanischen Schwingungen (siehe I/B Reihe 25: „**Eine Einführung in die Lehre der Schwingungen und Wellen**“ 26. EL, Aug. 2014). Bei geringer Dämpfung können die Amplituden sehr große Werte annehmen und gegebenenfalls das schwingende System zerstören (Resonanzkatastrophe). Da in einem elektrischen Schwingkreis die Dämpfung vom Ohm'schen Widerstand abhängt (siehe **M 6**, Teil I), kann es im Extremfall zur Zerstörung des Schwingkreises kommen. Abb. 1 zeigt die Resonanzkurven eines Schwingkreises in Abhängigkeit vom Ohm'schen Widerstand.

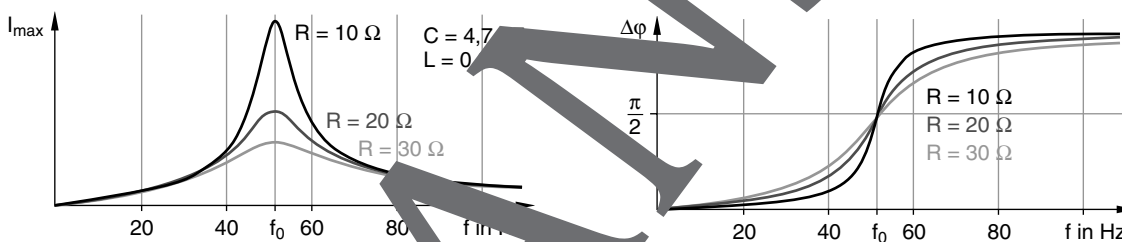


Abb. 1

Abb. 2

Aus dem Verlauf der Resonanzkurven kann man erkennen, dass mithilfe eines Schwingkreises aus einem Gemisch von Schwingungen unterschiedlicher Frequenz ein schmales Frequenzband „ausgesiebt“ werden kann. Wird der Schwingkreis mit einem Frequenzgemisch angeregt, erzeugen nur diejenigen Schwingungen große Amplituden, deren Frequenzen mit der Eigenfrequenz des Schwingkreises nahezu übereinstimmen.

Dieses Prinzip wird beispielsweise zur Abstimmung von Rundfunk- und Fernsehempfängern auf die Trägerfrequenz des Senders genutzt. Da auf der Erde eine Vielzahl von Sendern Radiowellenstrahler überlagern sich auch in der Antenne eines Rundfunk- oder Fernsehempfängers elektromagnetische Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen. Mit einem abstimmbaren Schwingkreis wird aus diesem Gemisch die Trägerfrequenz eines bestimmten Senders ausgewählt.

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, die Frequenz des Empfangsschwingkreises mit der Trägerfrequenz des gewünschten Senders in Resonanz zu bringen: Man verändert entweder die Kapazität des Kondensators oder die Induktivität der Spule. In älteren Empfangsgeräten wurde die Kapazitätsänderung mithilfe von Drehkondensatoren erreicht. Bei diesen Kondensatoren erfolgte die Kapazitätsänderung durch Änderung der kapazitiv wirksamen Fläche (Abb. 3). Bei moderneren Geräten verwendet man Kapazitätsdioden. Jeder pn-Übergang stellt einen Kondensator dar, da die beiden leitenden Bereiche durch einen Isolator (Sperrschicht) getrennt werden. Bei den Kapazitätsdioden kann man durch Änderung der angelegten Spannung die Kapazität der Sperrschicht im Verhältnis von 10 : 1 variieren.

Die Änderung der Induktivität der Schwingkreisspule beruht auf der Bewegung eines Ferritkerns im Inneren der Spule, wodurch die wirksame Größe des Ferritkerns verändert wird. Der an einem Faden befestigte Kern wird dabei mithilfe zweier Umlenkrollen in der Spule hin und her bewegt (Abb. 4).

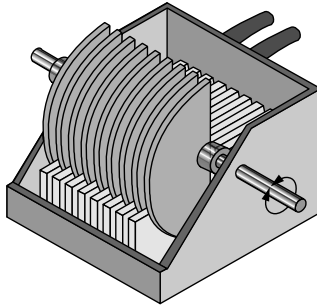


Abb. 3

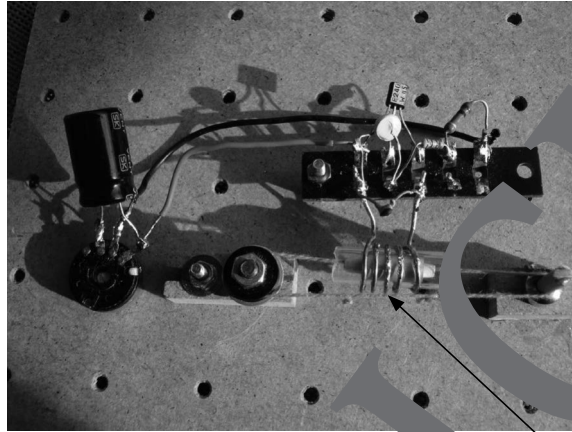


Abb. 4: UKW-Audion mit Variometer

Variometer

### Phasenbeziehungen

Bei erzwungenen Schwingungen tritt zwischen der anregenden Schwingung und der Schwingung im Schwingkreis eine Phasenverschiebung auf. Im Resonanzfall beträgt sie  $\pi/2$  (Abb. 2). In diesem Fall ist die von der anregenden Wechselspannungsquelle auf den Schwingkreis zur Aufrechterhaltung seiner Schwingung übertragene Energie minimal. Bei allen anderen Phasenbeziehungen muss mehr Energie zugeführt werden, um die Schwingung aufrechtzuerhalten (siehe **M 4**).

#### Merke

Wird ein Schwingkreis durch eine feste Wechselspannung periodisch angeregt, führt er eine erzwungene Schwingung aus. Stimmt die Erregerfrequenz mit der Eigenfrequenz des Schwingkreises überein, so liegt **Resonanz** vor und es folgt ein Minimum an Leistung, um die Schwingung aufrechtzuerhalten.



### Aufgaben

1. Vergleichen Sie die Phasenbeziehungen im Resonanzfall bei der erzwungenen mechanischen und der erzwungenen elektromagnetischen Schwingung.
2. Interpretieren Sie den Verlauf der Kurven in Abb. 2.

**Tip** Es handelt sich um die Phasenverschiebung der Spannungen  $\Delta\varphi$ .

Unterscheiden Sie folgende Fälle:

$$f_{\text{err}} < f_0$$

$$f_{\text{err}} = f_0$$

$$f_{\text{err}} > f_0$$

### Für Experten

Berechnen Sie die Abhängigkeit der Phasenverschiebung bei konstanter Erregerfrequenz ( $f_{\text{err}}$ ) vom Ohm'schen Widerstand  $R$ .

## M 2 Resonanz bei erzwungenen elektromagn. Schwingungen

### Aufgabe

Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Amplituden einer erzwungenen elektromagnetischen Schwingung von der Frequenz einer anregenden Wechselspannung.

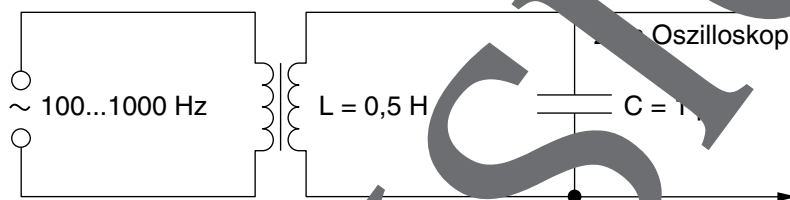
**Lehrerversuch** ⌚ Vorbereitung: 10 min Durchführung: 15 min

#### Materialien

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Funktionsgenerator           | <input type="checkbox"/> U- und I-Eisenkerngeblätt |
| <input type="checkbox"/> Kondensator, 1 $\mu\text{F}$ | <input type="checkbox"/> Oszilloskop               |
| <input type="checkbox"/> 2 Spulen, je 600 Windungen   |  |

II/C

#### Versuchsaufbau



#### Versuchsdurchführung

Bauen Sie das Experiment entsprechend dem Schaltbild auf. Der Schwingkreis wird induktiv an den Funktionsgenerator angekopplert und durch erzwungene Schwingungen angeregt. Seine Eigenfrequenz  $f_0$  beträgt etwa 226 Hz bei  $L = 0,5 \text{ H}$ .

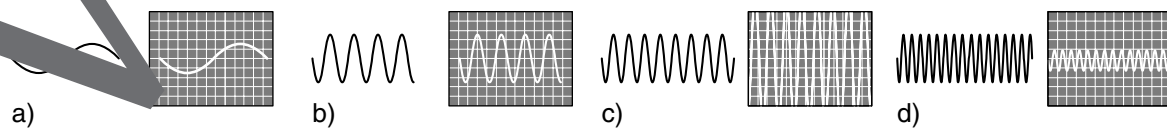
Beginnen Sie das Experiment mit einer Erregerfrequenz von  $f_{\text{err}} = 100 \text{ Hz}$  und einer Amplitude von etwa 3 V. Zur Messung der Amplitude der Schwingkreisspannung stellen Sie auf dem Oszilloskop den Eingangsspannungsfaktor auf 1 V/DIV ein. Danach vergrößern Sie allmählich die Erregerfrequenz mit dem Funktionsgenerator und beobachten die jeweiligen Schwingungsamplituden.

#### Tipps

- Im Resonanzfall können die Amplituden so groß werden, dass es notwendig wird, die Verstärkung des Oszilloskops zu verringern.
- Es empfiehlt sich, zur besseren Veranschaulichung ein Zweikanaloszilloskop einzusetzen.

#### Zur Selbstkontrolle – Ergebnis

Bei einer Erregerfrequenz von 100 Hz werden sehr kleine Schwingungsamplituden des Schwingkreises gemessen (Abb. a). Mit Erhöhung der Erregerfrequenz kann man eine Zunahme der Amplituden beobachten (Abb. b). Bei  $f_{\text{err}} = 226 \text{ Hz}$  erreichen die Amplituden ein Maximum (Abb. c). Erhöht man die Erregerfrequenz weiter, sinken die Amplituden wieder ab (Abb. d).



linkes Bild → Erregerschwingung,

rechtes Bild → Oszilloskopbildschirm

M 6 Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen

II/C

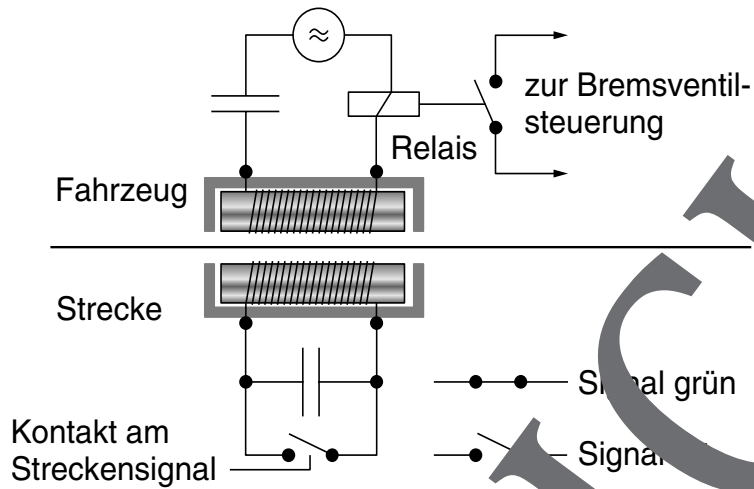


Abb. 1



© Rick Payette [CC-BY-SA-3.0], via flickr

Abb 2: S



Abb. 3: RFID, z. B. an Kleidung (runder Knopf, der den Diebstahl verhindern soll)

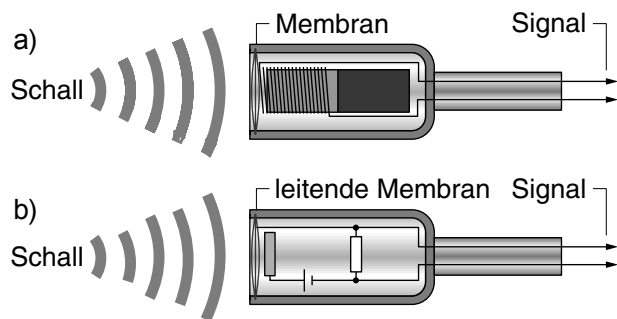


Abb. 4:  
a) dynamisches Mikrofon b) Kondensatormikrofon



## M 7 Elektromagn. Schwingungen in Mikrofon und Lautsprecher

Sinusförmige elektromagn. Schwingungen werden mit Oszillatoren erzeugt (siehe Teil I, Febr. 2015, M 7 und M 8). In der Praxis spielen aber auch nicht sinusförmige Schwingungen eine große Rolle. Zum Beispiel wären Popkonzerte ohne Mikrofone, Verstärker und Lautsprecher, deren physikalische Grundlagen elektromagnetische Schwingungen sind, undenkbar.

### Mikrofon

Ein Mikrofon enthält eine Membran, die vom auftreffenden Schall zu mechanischen Schwingungen angeregt wird. Diese Schwingungen müssen möglichst verzerrungsfrei in elektromagnetische Schwingungen umgewandelt werden. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten:



Mikrofon

1. **Dynamisches Mikrofon:** Die Membran ist fest mit einer Spule verbunden, die sich im Feld eines Permanentmagneten bewegt. Durch die Bewegung der Membran entsteht in der Spule eine Spannung (elektromagnetische Schwingung) (M 6, Abb. 3a). Wegen der relativ großen Masse von Membran und Schwingspule kann das System dem Schwingungsverlauf des Schalls aber nur begrenzt folgen.
2. **Kondensatormikrofon:** Bessere Ergebnisse erzielt man mit Kondensatormikrofonen, die im professionellen Bereich eingesetzt werden. Die Membran stellt hier eine Elektrode eines Kondensators dar, welcher von einer Spannungsquelle aufgeladen wird (M 6, Abb. 4b). Durch die Bewegung der Membran ändert sich der Abstand der beiden Kondensatorplatten und damit auch die Kapazität des Kondensators. Diese Kapazitätsschwankungen führen zu Spannungsänderungen.

### Lautsprecher

In einem Lautsprecher werden die elektromagnetischen Schwingungen wieder in mechanische Schwingungen umgewandelt. Eine Spule, an der die Membran befestigt ist, befindet sich im Feld eines Permanentmagneten. Fließt der Signalstrom durch die Spule, so wird diese je nach Stromrichtung vom Magneten angezogen oder abgestoßen. Für ein gutes Klangerlebnis benötigt man allerdings mehrere Lautsprecher mit unterschiedlich großen Membranen. Tiefe Töne erfordern eine Membran mit großer Fläche, für hohe Töne muss die Membran wegen der Trägheit klein sein. Deshalb wird das Signal mithilfe von Frequenzweichen in mehrere Frequenzbereiche aufgeteilt.



Lautsprecher



**Merke:** Ein Mikrofon wandelt akustische Schwingungen in elektromagnetische Schwingungen um. Ein Lautsprecher wandelt diese mithilfe der mechanischen Schwingungen einer Membran wieder in Schallschwingungen zurück.

### Aufgaben

1. Erläutern Sie die Funktion einer Frequenzweiche.

**Tipps:** Frequenzweichen bestehen aus einer Kombination von Spule und Kondensator. Sie stellen einen frequenzabhängigen Spannungsteiler dar. Verwenden Sie zur Erklärung die Begriffe induktiver Widerstand  $X_L = \omega \cdot L$  und kapazitiver Widerstand  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$  ( $\omega = 2\pi \cdot f$ ) sowie deren Frequenzabhängigkeit.

### Für Experten

Konzipieren Sie eine 2-Wege-Lautsprecherbox mit je einem Hoch- und Tieftonlautsprecher.

## M 8 Überlagerung elektromagnetischer Schwingungen

In der Praxis spielt die Überlagerung elektromagnetischer Schwingungen eine große Rolle. Elektronische Musik wäre ohne diese Überlagerung von Schwingungen nicht möglich. Werden zwei harmonische (sinusförmige) elektromagnetische Schwingungen, die die gleiche Frequenz haben, überlagert, entsteht wieder eine harmonische Schwingung derselben Frequenz. Sind die Frequenzen unterschiedlich, ergibt sich eine Schwingung entsprechend Abb. 1.

### Fourieranalyse

Der Mathematiker Fourier fand heraus, dass sich jede periodische Funktion als Summe elementarer Sinus- und Kosinusfunktionen darstellen lässt. Für eine Rechteckschwingung (Abb. 2 a) gilt z. B.:

$$y(t) = \frac{4}{\pi}(\sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega_0 t) + \frac{1}{7}\sin(7\omega_0 t) + \frac{1}{9}\sin(9\omega_0 t) \dots)$$

Die Verläufe der ersten fünf Einzelschwingungen zeigt Abb. 2 b. SchlieÙlich die Überlagerung dieser 5 Teilschwingungen wird die Rechteckschwingung in guter Näherung wiedergegeben (Abb. 2 c). Das zugehörige Frequenzspektrum, das die Amplituden der Einzelschwingungen darstellt, zeigt Abb. 2 d. Zu einer guten Ausformung, vor allem der Ecken werden aber noch viel mehr Teilschwingungen mit höheren Frequenzen benötigt.

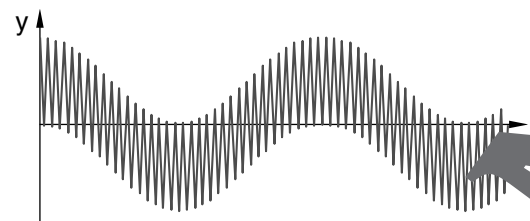


Abb. 1

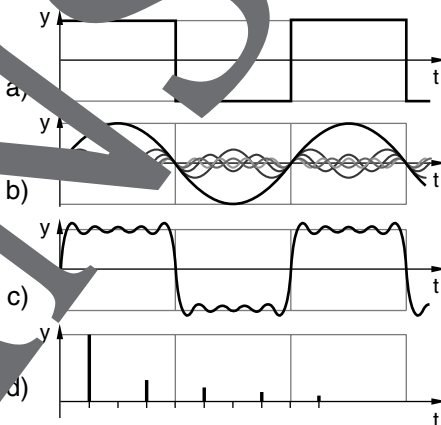


Abb. 2

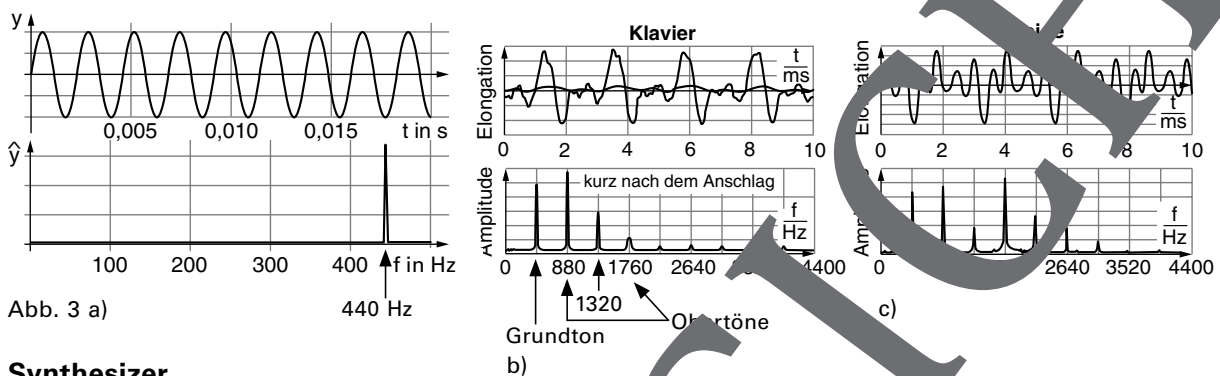
### Töne und Klänge

Werden akustische Ereignisse – z. B. die menschliche Sprache oder das Spielen eines Musikinstruments – mit Hilfe eines Mikrofons in elektrische Signale umgewandelt, kann man anhand des Schwingungsbildes **Töne** und **Klänge** unterscheiden. Ein Ton ist dadurch charakterisiert, dass seine Zeitfunktion eine reine Sinusfunktion mit einer einzigen Frequenz darstellt. Ein Beispiel ist die Schwingung einer angeschlagenen Stimmgabel. Klänge entstehen durch die Überlagerung von Tönen verschiedener Frequenzen, das Ergebnis ist dann aber keine Sinusfunktion mehr. Aus dem komplizierten Schwingungsbild, d. h. der Zeitfunktion des Klangs, ist es unmöglich, Gesetzmäßigkeiten abzulesen. Das gelingt erst, wenn der Klang hinsichtlich seines Frequenzspektrums analysiert wird. Mithilfe eines Computers und einer speziellen Software kann man das Amplituden-Frequenzspektrum ermitteln. Daraus ist zu erkennen, dass ein Klang einen Sonderfall der Überlagerung von Tönen darstellt, deren Frequenzverhältnis ganzzahlig ist. Man unterscheidet dabei zwischen dem Grundton (Grundfrequenz) und Obertönen (Oberfrequenzen). Der spezielle Klang eines Musikinstruments ergibt sich sowohl aus den verschiedenen Grund- und Obertönen als auch durch ihre unterschiedlichen Amplituden. Beispiele von Klanganalysen sind in Abb. 3 dargestellt.

Daraus ist zu erkennen:

Eine Stimmgabel liefert eine harmonische Schwingung mit *einer* Frequenz (Abb. 3a). Beim Klavier ergibt sich nach Anschlagen des Kammertones (440 Hz) eine Zeitfunktion, die durch die Überlagerung eines Grundtones und mindestens vier Obertönen zustande kommt (Abb. 3b).

Der Klang einer Geige ist reich an Obertönen. Einige dieser Obertöne sind mit relativ großen Amplituden am Gesamtklang beteiligt. Das liegt an der besonderen Form des Geigenkörpers und macht den Klang der Geige aus (Abb. 3c).



### Synthesizer

Für den Bau elektronischer Musikinstrumente ist die Kenntnis der Klangspektren der originalen Instrumente entscheidend. In einem Synthesizer werden unter anderem die Klänge von Musikinstrumenten künstlich produziert, indem deren charakteristische Grund- und Oberschwingungen elektronisch erzeugt und überlagert werden. Zur Klangerzeugung gibt es mehrere Möglichkeiten. Ein Verfahren besteht darin, mithilfe von Oszillatoren für jeden Ton einer Oktave Sinusschwingungen zu erzeugen. Zwischenöne werden durch Frequenzteilung gewonnen. Bei einem anderen Verfahren gewinnt man von Sägezahnsschwingungen aus. In deren Frequenzspektrum treten alle ganzzahligen Oberschwingungen einer Grundschwingung auf. Der gewünschte Klang wird erzielt, indem aus dem jeweiligen Spektrum die unerwünschten Frequenzanteile herausgemischt werden. Man kann aber auch Klänge programmieren.

Durch Überlagerung von Grund- und Oberschwingungen kann der Klang der meisten Musikinstrumente imitiert werden. Auch neuartige Klangeffekte lassen sich erzeugen.

### Merke

Für die Erzeugung elektronischer Musik in einem Synthesizer ist die Kenntnis der Klangspektren der Musikinstrumente unerlässlich. Man ermittelt sie mithilfe der Fourieranalyse. Im Synthesizer werden dann die entsprechenden Grund- und Oberschwingungen überlagert.



### Aufgaben

1. Erstellen Sie mit einem Programm aus dem Internet zur Klanganalyse (siehe Mediathek) die Frequenzspektren einer Stimmgabel und verschiedener Musikinstrumente. Welche Frequenz hat der Grundton? Welche Obertöne sind im Frequenzspektrum deutlich erkennbar?

### Tipps

- a) Wenn Sie ein Instrument spielen, bringen Sie es mit in den Unterricht und unterziehen Sie es einer Klanganalyse. Spannend ist auch die eigene Stimme.
  - b) Mit einem Smartphone können Sie auch Fourieranalysen durchführen. Dazu werden spezielle Apps zur Fourieranalyse angeboten (siehe Mediathek, II/C Reihe 5).
2. Versuchen Sie, mit einem Synthesizer-Programm durch gezielte Veränderung des Frequenzspektrums Klänge von unterschiedlichen Musikinstrumenten zu erzeugen.



## Erläuterungen und Lösungen

### M 1 Erzwungene Schwingungen und Resonanz

- Bei der erzwungenen mechanischen Schwingung läuft im Resonanzfall die Oszillatorschwingung der Schwingung des Erregers um eine Viertelperiode hinterher. Das Gleiche gilt auch für die erzwungenen elektromagnetischen Schwingungen. Im Resonanzfall läuft die Spannung am Kondensator der Stromstärke um eine Viertelperiode hinterher; es gilt:  $\Delta\varphi = \pi/2$ .
- Die Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  zwischen der anregenden Wechselspannung und der Spannung an Spule und Kondensator im Schwingkreis hängt bei einer erzwungenen elektromagnetischen Schwingung von der Differenz der Eigen- und der Erregerfrequenz sowie vom Ohm'schen Widerstand im Schwingkreis ab. Diese Abhängigkeit ist nicht linear. Man kann folgende Fälle unterscheiden:
  - $f_{\text{err}} < f_0 \rightarrow 0 < \Delta\varphi < \pi/2$
  - $f_{\text{err}} = f_0 \rightarrow \Delta\varphi = \pi/2$
  - $f_{\text{err}} > f_0 \rightarrow \pi/2 < \Delta\varphi < \pi$

### Für Experten

Bei einer konstanten Erregerfrequenz  $f_{\text{err}} \neq f_0$  wird die Phasenverschiebung mit steigendem Widerstand  $R$  kleiner ( $f_{\text{err}} > f_0$ ) bzw. größer ( $f_{\text{err}} < f_0$ ).

### M 3 Aufnahme der Resonanzkurven eines Reihenschwingkreises

#### Tipp

- Wenn Sie die Schüler in zwei Gruppen einteilen, können Sie die beiden Telexperimente parallel durchführen lassen. Dazu werden für jede Gruppe entsprechende Arbeitsblätter vorbereitet.
- Zum Telexperiment 1:

In dieser Teilgruppe sollten verschiedene Untergruppen neben der o. a. Messung das Experiment einmal in Schritten von 5 Hz bei 10 Hz beginnend bis 50 Hz und einmal bei 50 Hz beginnend bis 100 Hz durchführen.

#### Zum Telexperiment 2:

Da die Spulendicke von  $0,5 \mu\text{F}$  so groß ist, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die Resonanzfrequenz von 50 Hz übersprungen wird, sollten Sie zuerst den Schwingkreis bei einer Kapazität von  $5 \mu\text{F}$  durch Verschieben des I-Kerns auf 50 Hz abstimmen (maximaler Schwingkreisstrom). Die so eingestellte Induktivität  $L$  wird zur Bestimmung der Eigenfrequenz des Schwingkreises benötigt; sie kann mithilfe der Thomson'schen

Schwingungsgleichung

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

bestimmt werden.

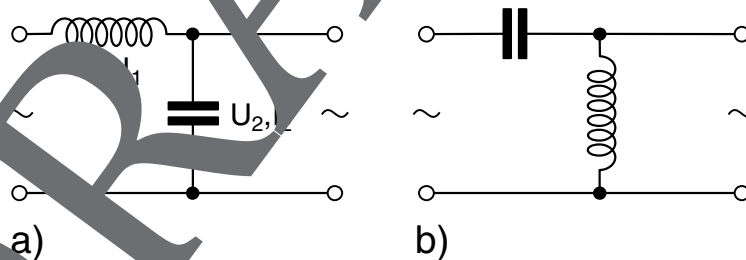


## M 5 Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen

- Ein **Relais** besteht aus einem Elektromagneten und einem an seinem ferromagnetischen Kern befindlichen beweglich gelagerten Anker. Bei Anlegen einer Spannung an die Magnetspule kommt es zur Kräfteinwirkung auf den Anker, wodurch dieser einen oder mehrere Kontakte schaltet. Der Anker wird durch Federkraft in die Ausgangslage zurückversetzt, sobald man die Spannung abschaltet.
- Die Änderungsrate  $\Delta f/\Delta t$  gibt an, wie stark sich die Eigenfrequenz des Schwingkreises zeitlich ändert, wenn ein Fahrzeug die Induktionsschleife passiert. Die Eigenfrequenz von der Induktivität der Induktionsschleife abhängt, wirkt sich auf die Größe des „Eisenkerns“, der sich über der Schleife bewegt, auf die Änderungsrate aus. Weil in einem Lkw mehr Eisen verbaut ist als in einem Pkw, ist bei gleicher Geschwindigkeit der Fahrzeuge die Änderungsrate bei einem Lkw größer als bei einem Pkw.
- RFID-Systeme im Bereich
  - Logistik: Bibliotheken verwenden RFID zur Medienverwaltung und Sicherung.
  - Kraftfahrzeug: Eine elektronische Wegfahrsperre besteht aus einem RFID-Transponder im Zündschlüssel und einem Lesegerät im Zündschloss.
  - Personalausweis: Seit dem 1. November 2010 enthalten alle Personalausweise einen RFID-Chip.
  - Müllentsorgung: In vielen Städten werden die Mülltonnen mit einem RFID-Chip ausgestattet. Damit erfasst der Entsorgungsbetrieb die Anzahl der Leerungen im Kalenderjahr und erstellt die Gebührenbescheide unter Berücksichtigung der Leerungsanzahl.
  - Zutrittskontrolle: Transponder am oder im Schlüssel dienen zur Zutrittskontrolle, wenn die Türen mit entsprechenden Lesegeräten und entsprechenden Schließzylindern mit Leseoption ausgestattet sind.

## M 7 Elektromagnetische Schwingungen in Mikrofon und Lautsprecher

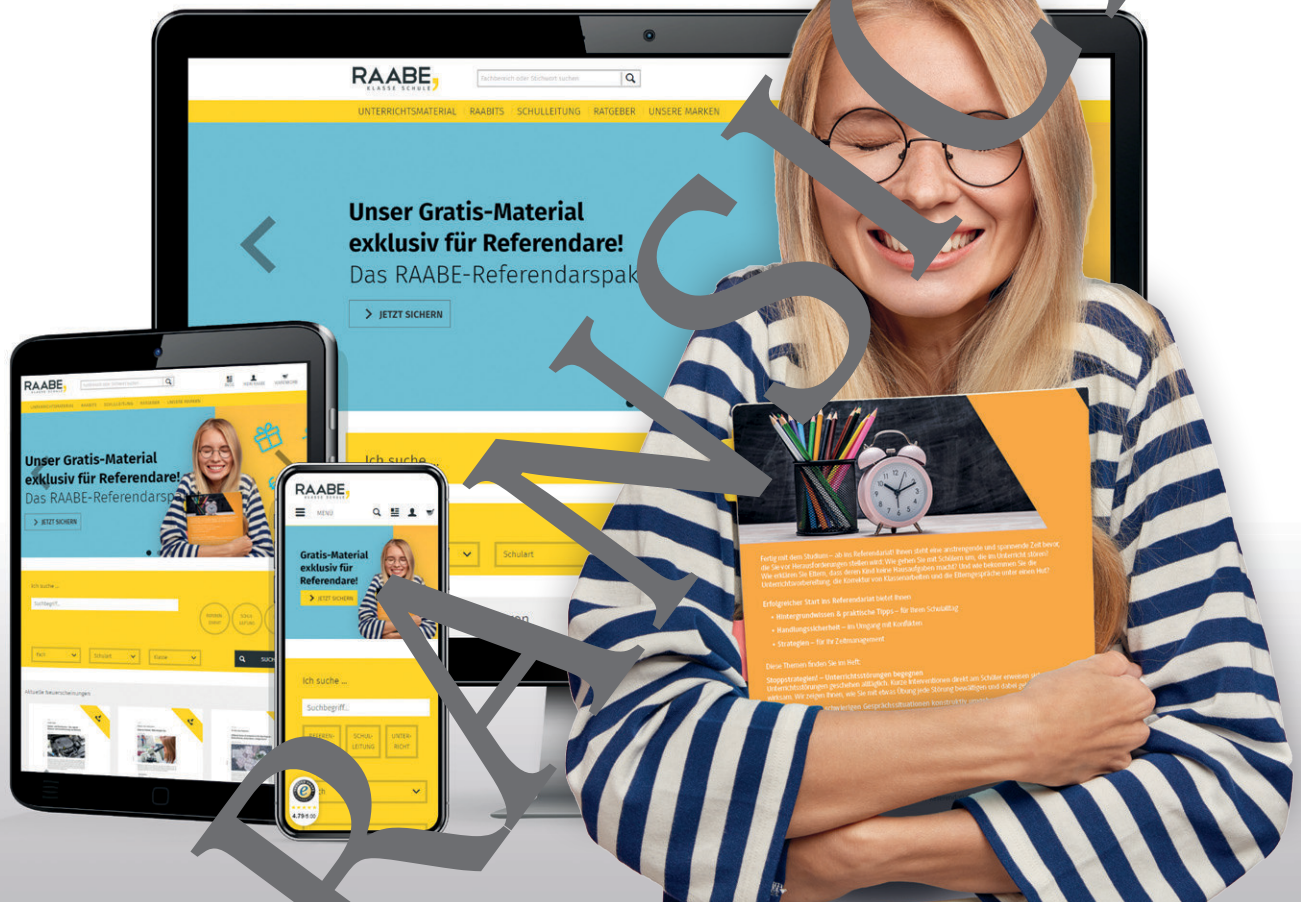
- Eine einfache Frequenzweiche besteht aus einer Spule und einem Kondensator. Man unterscheidet dabei zwischen Tiefpass (Abb. a) und Hochpass (Abb. b).



Gelangt ein Musiksignal an den Eingang eines Tiefpasses, stellt der induktive Widerstand der Spule für die niederfrequenten Schwingungsanteile nur einen kleinen Widerstand dar ( $X_L = \omega L$ ), der kapazitive Widerstand der Spule dagegen ist groß ( $X_C = 1/\omega C$ ). Das heißt, dass die am Kondensator anliegende Teilspannung bevorzugt aus den niederfrequenten Anteilen besteht. Diese Spannung dient als Ausgangsspannung für den Tieftonlautsprecher.

Beim Hochpass ist es umgekehrt. Hier wird die Teilspannung an der Spule als Ausgangsspannung genutzt. Bei hohen Frequenzen ist die Teilspannung am Kondensator klein gegenüber der Teilspannung an der Spule.

# Sie wollen mehr für Ihr Fach? Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



✓ **Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar

✓ **Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung

✓ **Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen  
mit bis zu 15% Rabatt

✓ **Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**