

Fragen zu Elektrizitätslehre

Verständnisfragen

1. Welche Größe der Elektrizitätslehre ist in abgeschlossenen Systemen erhalten?
2. Erklären Sie, welchen Regeln elektrische Felder folgen.
3. Erklären Sie anschaulich, warum die Kapazitäten parallel geschalteter Kondensatoren addiert und in Reihe geschalteter Kondensatoren mit ihrem Kehrwert addiert werden.
4. Warum haben magnetische Felder immer geschlossene Feldlinien?
5. Warum hat der Stromfluss in einer Spule einen asymptotischen Verlauf?
6. Warum ist die Gefahr von Herzrhythmusstörungen bei Stromunfällen mit Wechselstrom bei gleicher Spannung höher als mit Gleichstrom?

Rechenaufgaben

1. Bei jedem Schlag des Herzens ändert sich das Membranpotenzial der Herzmuskelzellen. Im Ruhezustand ist die Membranaußenseite positiv und die Membraninnenseite negativ geladen, bei Erregung kehrt sich diese Anordnung um. Die Erregung bewegt sich während des Kontraktionsvorganges vom oberen Ende des Herzens her zu seiner Spitze, so dass das Herz als elektrischer Dipol angesehen werden kann. Ein elektrischer Dipol besteht aus zwei ungleichnamigen Ladungen q in einem Abstand d , der Dipol ist von außen betrachtet also elektrisch neutral. Er berechnet sich über $\vec{p} = q \cdot \vec{d}$. Dieser elektrische Dipol wird bei einer EKG-Messung untersucht. Das elektrische Potenzial φ in einem Abstand r vom Zentrum des Dipols ist gegeben durch $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3}$. Das Herz hat eine Länge von etwa 15cm. Bei einer EKG-Messung werden drei oder mehr Ableitungselektroden auf dem Brustkorb oder den Gliedmaßen des Patienten angebracht. Aus der gemessenen Spannungsdifferenz an den verschiedenen Elektroden kann auf die Herzaktivität geschlossen werden. Nehmen Sie an, Sie führen ein EKG durch, bei dem drei Elektroden in jeweils 20cm Abstand zum Herzen auf dem Brustkorb des Patienten angebracht sind. Die Elektroden bilden ein gleichzeitiges Dreieck, in dessen Mittelpunkt der Herzmittelpunkt liegt. Die untere Spitze des Dreiecks liegt dabei vertikal unterhalb des Herzmittelpunktes, die obere Dreieckseite verläuft waagrecht.

- a) Fertigen Sie eine Skizze der Elektrodenanordnung an und berechnen Sie den Abstand der Elektroden zueinander. Die Elektroden werden entgegen des Uhrzeigersinns beginnend mit der unteren Dreieckspitze aufsteigend nummeriert.
- b) Bei einer EKG-Messung messen Sie in der R-Zacke eine Spannungsdifferenz von 2mV zwischen Elektrode 1 und 3 und eine Spannung von 1,3mV zwischen Elektrode 2 und 3. Bestimmen Sie die maximale Ladung q im Herzen sowie seine Neigung gegen die Senkrechte. Warum werden immer drei oder mehr Elektroden verwendet?

Hilfe zur Lösung:

Bei einem Gleichseitigen Dreieck mit gegebenen Mittelpunktsabständen werden zwischen den Mittelpunktsgraden gleiche Winkel eingeschlossen. Es gilt also $\alpha=120^\circ$. Hieraus folgt direkt, dass $\beta=30^\circ$, da im Dreieck gelten muss $\alpha+2\beta=180^\circ$. Mit einer Hilfslinie (oben) schafft man sich ein rechtwinkliges Dreieck, mit dem sich berechnen lässt.

2. Der menschliche Körper stellt einen Leiter mit einem spezifischen Widerstand von im Mittel etwa $\bar{\rho} = 3\Omega m$ dar. Dieser Widerstand setzt sich aus einem komplexen Zusammenspiel von kapazitiven Widerständen und elektrolytischen Leitern zusammen, die hier jedoch ignoriert werden sollen.
 - a) Bestimmen Sie den Hand-zu-Hand-Widerstand eines erwachsenen Menschen. Nehmen Sie hierzu an, dass der Abstand zwischen den Fingerspitzen der linken und rechten Hand 2,2m beträgt und die Arme einen mittleren Durchmesser von 8,6cm haben.
 - b) Ein Strom von bereits 15mA kann bei Menschen zu einer Blutdrucksteigerung und Kontraktion der Muskulatur führen, ab etwa 50mA kommt es zur Bewusstlosigkeit und bereits 80mA können zum Tod führen. Bestimmen Sie die für diese Reaktionen notwendigen Spannungen angelegt an den beiden Händen einer Person.
 - c) An beide Hände einer Person werden Elektroden mit einer Kontaktfläche von 200mm^2 angebracht, an die eine Spannung von 230V angelegt wird. Die Erwärmung kann berechnet werden mit $\Delta T = \frac{P}{\alpha A}$ wobei α der Wärmeübergangskoeffizient ist und in diesem Fall etwa $2000 \frac{W}{m^2 K}$ beträgt. Welcher Erwärmung ist die Haut ausgesetzt?
3. Defibrillatoren müssen über kurze Zeit vergleichsweise hohe Ströme an den menschlichen Körper abgeben. Hierzu ist ein Kondensator verbaut, der bei aufgelegten Elektroden seine Ladung sehr schnell abgeben kann. Hier wird angenommen dies sei ein einfacher Plattenkondensator. Der Körperwiderstand wird durch eine spezielle Beschaffenheit der Elektroden, die den Übergangswiderstand verkleinert, auf etwa 100Ω zwischen den Elektroden gesenkt. Fließen soll ein Strom von etwa 20A, um die Herzmuskelzellen vollständig zu depolarisieren und ein Kammerflimmern zu beenden.
 - a) Bestimmen Sie die für die obigen Werte notwendige Spannung an den Elektroden.

- b) Die Entladung des verbauten Kondensators erfolge in diesem Fall innerhalb von 32ms. Bestimmen Sie die sich ursprünglich auf dem Kondensator befindliche Ladung.
- c) Bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators. Welches Verhältnis von Kondensatorfläche A zu Kondensatorabstand d ist ohne Dielektrikum für diese Kapazität notwendig? Was müssen Sie tun um hohe Kapazitäten auch bei kleineren Kondensatoren zu erreichen?
- d) Bestimmen Sie die im geladenen Kondensator gespeicherte Energie und die Leistung des Defibrilators.
- e) Der Abstand der Platten betrage 0,2mm. Bestimmen Sie die Stärke des elektrischen Feldes.
4. Bei der Magnetresonanztomographie werden hochauflösende mehrdimensionale Bilder vom Inneren des Körpers mithilfe von starken Magnetfelder bis hin zu 7T erzeugt. MRT-Geräte für die normale Diagnostik arbeiten normalerweise mit Feldstärken zwischen 1,5T und 3,0T. Sie arbeiten an einem MRT-Gerät, dessen Hauptspule 2894 Windungen und eine Länge von 84cm hat.
- a) Mit dieser Spule solle ein Magnetfeld von 1,3T erzeugt werden. Welche Stromstärke ist dafür notwendig.
- b) Kupfer, welches häufig für Magnetspulen genutzt wird, hat einen spezifischen Widerstand von $1,721 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{mm^2}{m}$. Nehmen Sie an der Draht habe eine Länge von 10km und einen Durchmesser von 3mm. Bestimmen Sie die für den Magneten notwendige Leistung.
- c) Warum werden für Magnetresonanztomographen häufig supraleitende Spulenmaterialien mit verschwindendem spezifischen Widerstand genutzt?
5. Massenspektrometer finden in vielen medizintechnischen und biochemischen Bereichen Anwendung. Mit ihrer Hilfe können die Bestandteile eines Stoffgemischs mit großer Genauigkeit angegeben werden. Das Massenspektrometer bedient sich dabei der Lorentz-Kraft: Die zu analysierenden Stoffe werden in die Gasphase überführt und ionisiert. Anschließend werden sie in einem elektrischen Feld beschleunigt und gelangen dann in ein magnetisches Feld. Durch die Lorentz-Kraft werden Sie in diesem abgelenkt, die Größe der Ablenkung ist jedoch proportional zu der Masse des Teilchens. Am Austrittswinkel des Teilchens aus dem Magnetfeld lässt sich somit ablesen, welche Masse das Teilchen besitzt. Sie beschleunigen nun ein einfach positiv geladenes Teilchen in einem Magnetfeld der Stärke 9,8V. Anschließend gelangt es in ein Magnetfeld der Stärke 32mT. Die Länge dieses Magnetfeldes beträgt $l=10cm$.
- a) Bestimmen Sie die Gleichung für die Beschleunigung, der dieses Teilchen abhängig von seiner Masse ausgesetzt ist.
- b) Ein Teilchen ist hinter dem Magnetfeld um $s=5,6cm$ von seinem Weg abgelenkt worden. Welche Masse hat das Teilchen? Um welchen Stoff könnte es sich handeln?