**570.**

**a)** Das Ion besitzt zu Beginn der Beschleunigung keine kinetische Energie, da es sich in Ruhe befindet. Am Ende der Beschleunigung hat es eine bestimmte Geschwindigkeit und damit eine kinetische Energie. Diese ist



Die zum Beschleunigen notwendige Arbeit verrichtet das elektrische Feld, das ja die Energie



besitzt.

Die beiden Energien können gleichgesetzt werden, da das Ion seine kinetische Energie komplett aus dem elektrischen Feld erhält.



Stellt man das nach der gesuchten Spannung um, erhält man



Die Masse und die Geschwindigkeit sind gegeben. Da das Ion einfach geladen ist, kann die Elementarladung e benutzt werden.



|  |  |
| --- | --- |
| **b)** Eine Kreisbahn entsteht, wenn auf das Teilchen kontinuierlich eine Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt. Das Teilchen wird dann auf eine Kreisbahn gezwungen und die Kraft wirkt zum Mittelpunkt des Kreises. Die Kraft heißt dann Radialkraft.  Fliegt das Ion senkrecht zu den magnetischen Feldlinien in das Magnetfeld, spürt es ständig die Lorentzkraft, die senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt. Damit entsteht eine Kreisbahn. |  |

Für die Berechnung der Flussdichte setzt man die Lorentzkraft (Ursache) gleich der Radialkraft (Radialkraft).



Da alles bekannt ist, kann die gesuchte Flussdichte berechnet werden:



**c)** Die Lorentzkraft wird durch die Ladung des Teilchens, dessen Geschwindigkeit und der Stärke des Magnetfeldes bestimmt. Die Masse spielt hier noch keine Rolle.

Kommt also ein Teilchen größerer Masse in das Magnetfeld, spürt es die gleiche Kraft wie sein leichter Kollege.

Da das massereiche Ion eine größere Trägheit hat, wird der Radius der Flugbahn größer.

**d)** Laut Aufgabenstellung sollen die Beträge der beiden Kräfte gleichgroß sein.

Die Kraft auf ein geladenes Teilchen im elektrischen Feld ist



E ist die elektrische Feldstärke und Q die Ladung des Ions, die ja hier jeweils eine Elementarladung e ist.

Im magnetischen Feld spürt das Ion die Kraft



Q ist wieder die Ladung, v die Geschwindigkeit des Ions und B die magnetische Flussdichte.

Beide Kräfte sollen gleich groß sein, können also gleich gesetzt werden:



v und B sind in der Aufgabenstellung gegeben und die Feldstärke kann berechnet werden:



**571.**

a) Die Kapazität eines Kondensators wird von seinen geometrischen Größen und dem Stoff zwischen den Platten bestimmt. Es gilt:



A ist der Flächeninhalt einer Platte und s der Abstand zwischen den Platten. Da sie Kreisform haben, gilt für den Flächeninhalt:



und eingesetzt:



Da alles gegeben ist, kann die Kapazität berechnet werden. Man beachte dabei, dass alle Maße in Meter umgerechnet werden müssen, sonst geht es schief.



**b)** Die Durchschlagfestigkeit ist definiert als



Ud ist die gesuchte Spannung, bis zu welcher der Kondensator betrieben werden darf. d ist der Plattenabstand und Ed die maximale Feldstärke, bevor es zu einem Durchschlag des Dielektrikums, also des Stoffs zwischen den Platten, kommt.

Die Feldstärke und der Plattenabstand sind bekannt und die Spannung kann berechnet werden:



**c)** Die Energie, die ein Kondensator speichern kann, berechnet sich mit



Die Kapazität und die maximale Spannung sind berechnet worden, so dass die Energie berechnet werden kann:



das ist eine sehr kleine Energiemenge, aber der Kondensator hat ja auch eine sehr kleine Kapazität.

**d)** Werden zwei Kondensatoren parallel geschaltet, addieren sich die Kapazitäten. Das ist auch verständlich, da sich dadurch die Plattenflächen addieren und der Abstand der Platten gleich bleibt.

Damit liegt jetzt eine Kapazität von 5,32 pF vor,

Diese werden auf



aufgeladen.

Gesucht ist die Ladung auf den Platten.

Es gilt



**e)** Die Aufgabenstellung ist nicht ganz klar. Da die typische Größe eines Kondensators die Kapazität ist, wird es hier um die Abhängigkeit der Kapazität von der Dicke gehen.

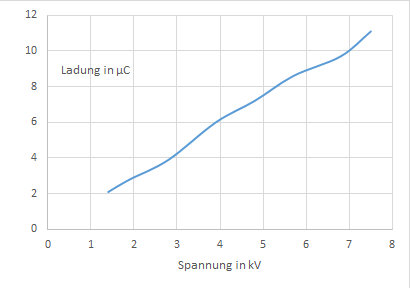
Da alle anderen Größen konstant sind, lassen sich für die gegebenen Abstände die Kapazitäten berechnen:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| d in mm | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| C in pF | 10,6 | 5,31 | 2,66 | 1,33 |

Es liegt eine umgekehrte Proportionalität vor.

**572.**

**a)**

****

Mit steigender Spannung gelangen immer mehr Ladungen auf den Kondensator. Unter Berücksichtigung von Messfehlern stellt das Diagramm eine Gerade dar, die bei Verlängerung nach unten durch den Koordinatenursprung geht.

Zwischen Spannung und Ladung besteht demnach ein direkter proportionaler Zusammenhang.

**b)** Die Kapazität eines Kondensators ist der Proportionalitätsfaktor zwischen der Ladung und der Spannung.

Es gilt:



Für alle anderen Messwerte wird die Kapazität genau so berechnet.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Spannung in kV | 1,4 | 1,9 | 2,8 | 3,9 | 4,8 | 5,7 | 6,8 | 7,5 |
| Ladung in µC | 2,1 | 2,8 | 3,9 | 6,0 | 7,2 | 8,6 | 9,7 | 11,1 |
| C in nF | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 |

Als Mittelwert für die Kapazität erhält man dann 1,5 nF.

**c)** In der eben benutzten Gleichung für die Kapazität eines Kondensators bleibt die Spannung konstant. Damit gilt jetzt:



Die Ladung auf dem Kondensator hängt also direkt von der Kapazität ab.

Die Kapazität eines Kondensators lässt sich aus seinen geometrischen Größen bestimmen. Es gilt:



Wenn der Plattenabstand d halbiert wird, verdoppelt sich die Kapazität.

Damit passen aber nun doppelt so viele Ladungen auf den Kondensator.

Die Gleichung sieht dann so aus:



Die Kapazität wird durch die geometrische Gleichung ersetzt:



**573.**

**a)** Die Kapazität eines Kondensators berechnet sich aus seinen Größen mit der Gleichung



Außer dem Plattenabstand d sind alle Größen gegeben. Der Abstand lässt sich aber über die Dicke eines Papierblattes angeben.

Wenn 500 Blatt Papier eine Dicke von 5,5 cm haben, dann hat ein Blatt eine Höhe oder Dicke von



Vor dem Berechnen der Kapazität muss die Fläche in Quadratmeter umgerechnet werden:



Nun kann die Kapazität bestimmt werden:



Die Ladungsmenge ergibt sich das der Kapazität und der anliegenden Spannung:



**b)** In der Gleichung für die Kapazität des Kondensators



ist die relative Permittivität r enthalten. Sie legt fest, um welchen Faktor ein Stoff zwischen den Platten die Kapazität verstärkt. Im konkreten Fall ist der Wert 2,0 groß. Wenn das Papier also herausgezogen wird, fehlt diese Verdoppelnde Komponente und die Kapazität sinkt auf 1,8 nF.

Da der Kondensator von der Spannungsquelle getrennt wurde, bleiben die Ladungen auf den Platten drauf. Das heißt, die Ladungsmenge Q ändert sich nicht.

Zwischen Kapazität, Ladung und Spannung gilt ja



oder nach der Spannung umgestellt:



Wie man sieht, wird die Spannung zwischen den Platten größer, wenn die Kapazität des Kondensators kleiner wird, es liegt eine umgekehrte Proportionalität vor.

Wir also die Kapazität halbiert, steigt die Spannung zwischen den Platten auf das Doppelte, auf 40 V.

|  |  |
| --- | --- |
| **c)** Zwischen den beiden Größen besteht eine indirekte Proportionalität.  Mit steigender Anzahl an Blättern (n) wird der Abstand der Platten immer größer. An der Gleichung für die Kapazität kann man sehen, dass mit steigendem d (Abstand) die Kapazität immer kleiner wird.  [Diagramm](e573.xlsx) |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **574.**  **a)** Im Diagramm kann maneine entsprechende Abhängigkeit schon erkennen.  Der Nachweis erfolgt natürlich rechnerisch. | [Diagrammquelle](e574.xlsx) |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U in V | 0 | 25 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| v in 105 m⋅s-1 | 0 | 0,69 | 0,98 | 1,38 | 1,69 | 1,96 |
|  |  | 0,138 | 0,139 | 0,138 | 0,138 | 0,139 |

**b)** Die geladenen Teilchen werden im elektrischen Feld beschleunigt und erhalten kinetische Energie. Diese Energie gewinnen sie aus der Energie des elektrischen Feldes. Damit lautet der Energieansatz:



Setzt man die bekannten Formeln ein, erhält man



Gesucht ist eine Gleichung für den Ausdruck



Also stellt man den Energieansatz um



Der Proportionalitätsfaktor berechnet sich also mit



**c)** Er Energieansatz wird nach der Masse umgestellt:



Damit wird nun für jedes Messwertpaar die Masse bestimmt:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U in V | 0 | 25 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| v in 105 m⋅s-1 | 0 | 0,69 | 0,98 | 1,38 | 1,69 | 1,96 |
| m in 10-27 kg |  | 1,68 | 1,67 | 1,68 | 1,66 | 1,67 |

Die Einheitenbetrachtung sieht so aus



Die Teilchen sind einfach geladen (1,6∙10-19 C, Elementarladung) und besitzen eine mittlere Masse von 1,67 ∙10-27 kg. Das entspricht etwa einer atomaren Masseneinheit. Die Teilchen sind wohl Protonen.

**575.**

**a)** Die Feder wird durch das Zurückziehen des Wagens gespannt. Beim Loslassen wird dadurch auf den Wagen eine Kraft, die aber nicht konstant ist. Die Kraft, die eine Feder aufbringt, ist ja proportional zur Ausdehnung.

Aus diesem Grund ist die Bewegung des Wagens keine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Auf die Geschwindigkeit kommt man durch eine Energiebetrachtung. Die gespannte Feder besitzt ja Federspannenergie. Diese Energie wird beim Entspannen komplett in Bewegungsenergie des Wagens umgewandelt. Es gilt also:



oder mit Formeln



Das kann nach der gesuchten Geschwindigkeit umgestellt und der Wert bestätigt werden:



**b)** Fährt der Wagen in das Magnetfeld hinein, wird nur im vorderen, senkrechten Teil der Leiterschleife eine Spannung induziert. Das hintere Teil bekommt noch nichts mit. Im oberen und unteren Teil spüren die Elektronen eine Lorentzkraft in die gleiche Richtung und es entsteht dadurch keine Spannung.

Die Spannung in einem Stück Draht, was sich in einem Magnetfeld bewegt, lässt sich mit



berechnen. Das ergibt:



c) Um die Funktionen zeichnen zu können, müssen die Abhängigkeiten der Induktionsspannung und des magnetischen Flusses von der Zeit untersucht werden, wenn die Flussdichte gleichmäßig abnimmt.

Die Induktionsspannung ist allgemein



Die Windungszahl ist 1 und die durchsetzte Fläche bleibt konstant. Damit erhält man



Da die Flussdichte gleichmäßig abnimmt, heißt das, der Quotient

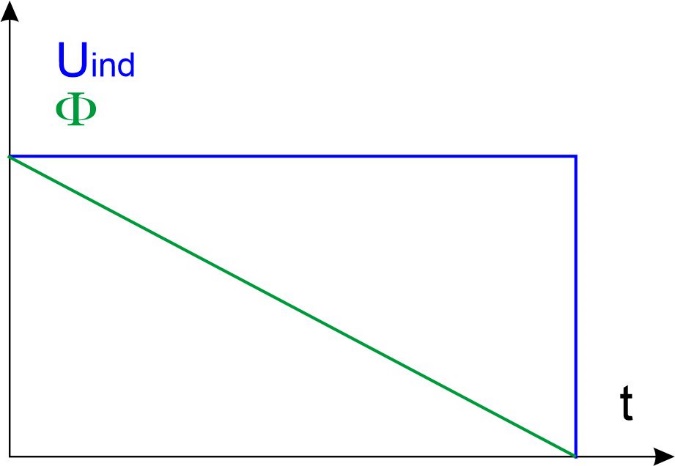


bleibt während der ganzen Zeit konstant. Die induzierte Spannung bleibt danach über den gesamten Zeitraum auch konstant auf einem Wert.

Der magnetische Fluss ist



A ist konstant und B nimmt gleichmäßig ab. Damit nimmt auch der magnetische Fluss gleichmäßig ab.



**576.**

**a)** Der Kondensator liegt in einem Wechselstromkreis und wird demnach ständig auf- und abgeladen. Damit fließt in den Leitungen ein Strom.

Die Stärke des Stroms wird durch die anliegende Spannung, die Frequenz und der Kapazität des Kondensators bestimmt.

Es gilt:



und



Setz man die beiden Gleichungen gleich, erhält man



Da nur die Kapazität unbekannt ist, kann diese berechnet werden:



Mit den gegebenen geometrischen Größen des Kondensators lässt sich daraus die relative Dielektrizitätskonstante des Materials im Kondensator bestimmen.



Die Fläche erhält man aus der Kantenlänge der Platten



Damit lässt sich die gesuchte Größe berechnen:



**b)** Wenn der Kondensator nur zur Hälfte mit dem Dielektrikum gefüllt ist, besteht er im Prinzip aus der Parallelschaltung von zwei Kondensatoren. Der obere ist der Kondensator mit der halben Plattenfläche ohne Dielektrikum und der untere der Kondensator mit der halben Plattenfläche mit Dielektrikum.

Für die Gesamtkapazität einer Parallelschaltung von zwei Kondensatoren gilt:



Die Kapazität des oberen Kondensators ist



Der untere Kondensator hat eine Kapazität, die auf Grund der Füllung um den Faktor 14,6Mal größer ist, also



Damit kann die Gesamtkapazität berechnet werden:



**c)** Wird der Kondensator aufgeladen, sind auf den Platten eine bestimmte Ladungsmenge gespeichert. Da der Kondensator zu dem Zuschalten des zweiten Kondensators von der Spannungsquelle getrennt wird, bleibt die Ladungsmenge erhalten, sie ändert sich nicht mehr.

Durch den zweiten Kondensator, der parallel zum ersten Kondensator geschaltet wird, verteilt sie sich auf bei beiden Kondensatoren.

Wenn die beiden Kondensatoren nicht die gleiche Kapazität haben, ist nach dem Zusammenschalten die größere Ladungsmenge auf dem großen Kondensator und die kleine Ladungsmenge auf dem kleinen Kondensator. In der Summe sind die beiden Ladungsmengen aber so groß wie nach dem Abtrennen von der Spannungsquelle.

Wie groß ist diese Ladungsmenge?

Für einen Kondensator gilt:



Damit erhält man



Diese Ladung befindet sich auf dem Kondensator und bleibt erhalten.

Nun werden die beiden Kondensatoren zusammengeschaltet und ein Teil der Ladungen fließen auf den neuen Kondensator.

Wieviel bleiben auf dem ersten Kondensator? Man kennt seine Kapazität und die neue Spannung zwischen den Platten. Damit erhält man die Ladung auf dem Kondensator C1.



Der Rest zur ursprünglichen Gesamtladung liegt nun auf dem Kondensator Cx. Das sind



Da man nun weiß, welche Ladung auf dem unbekannten Kondensator sind und welche Spannung an ihm anliegt, lässt sich daraus seine Kapazität berechnen:



**577.**

**a)** Die Schaltung wird in zwei Schritten berechnet. Zuerst berechnet man die Gesamtkapazität der beiden parallel geschalteten Kondensatoren. An der Schaltung würde sich nichts ändern, wenn man die beiden Kondensatoren durch einen Kondensator mit dieser Gesamtkapazität ersetzt.

Für Parallelschaltung für Kondensatoren gilt, dass die Gesamtkapazität die Summe der Einzelkapazität ist. Damit hat die Parallelschaltung eine Kapazität von 6 nF.

Damit ist der erste Kondensator von 4 nF in Reihe mit einem 6 nF geschaltet. Für die Reihenschaltung gilt:



Die Gesamtkapazität ist dann 2,4 nF.

Es wird nun die Parallelschaltung der beiden rechten Kondensatoren als ein Kondensator mit 6 nF betrachtet. Es liegt also eine Reihenschaltung von 4 nF und 6 nF vor.

Die Spannung teilt sich auf die beiden Kondensatoren auf. Die Summe der beiden Teilspannungen über den Kondensatoren ist genau so groß wie die Spannung der Spannungsquelle.



Die Ladungsmenge verteilt sich gleichmäßig auf die beiden Kondensatoren, es ist also auf jedem Kondensator die gleiche Ladung vorhanden.

Wäre es nicht so, würde es Ladungsunterschiede in der Verbindung der beiden Kondensatoren geben und die Ladungen gleichen sich aus.



Spannung, Ladung und Kapazität eines Kondensators hängen über



zusammen.

Als erstes wird die Gesamtladung berechnet, die in der Schaltung gespeichert wird. Sie ergibt sich aus der Gesamtkapazität und der Gesamtspannung:



Damit befinden sich auf dem Kondensator C1 diese 48 nC.

Die Spannung über dem Kondensator ist dann



Für die Spannung über dem zweiten Kondensator erhält man



Die Spannungen verhalten sich umgekehrt wie die Kapazitäten. Als Summe sind die beiden Teilspannungen so groß wie die Gesamtspannung.

Im Folgenden werden die beiden parallelen Kondensatoren wieder einzeln betrachtet und die Ladungen auf den Platten bestimmt.

Die Gesamtladung auf den beiden Kondensatoren beträgt 48 nC, die sich auf die beiden Kondensatoren aufteilt. Die Summe der beiden Ladungsmengen auf den Kondensatoren ist so groß wir die Gesamtladung.

An beiden Kondensatoren liegt die gleiche Spannung von 8 V an.

Damit können die Ladungen berechnet werden.



Für die Ladung am Kondensator C3 erhält man auf Grund der doppelten Kapazität die doppelte Ladungsmenge.

Insgesamt sind auf den beiden Kondensatoren 16 nC + 32nC = 48 nC drauf.

Es ist also



Nun noch die Energie.

Die Energie im Kondensator ist



Die Kapazität ist die oben berechnete Gesamtkapazität und die Spannung die gegebene Gesamtspannung.



**b)**

Durch das Öffnen des Schalters können keine Ladungen zu- oder abfließen. Die Ladungsmenge von 48 nC bleibt also erhalten.

Der Kondensator C2 erhöht durch das Einbringen des Dielektrikums seine Kapazität auf 12 nF.

Die Kapazität der Parallelschaltung beträgt dann 16 nF und die Gesamtkapazität der Schaltung 3,2 nF.

Da die Ladung konstant 48 nC beträgt, kann die Spannung über den Kondensatoren, also zwischen den Punkten A und B berechnet werden.



Durch das Einschieben des Dielektrikums wird die Spannung zwischen A und B kleiner. Sie lag ja vorher bei 20 V.

Es wird auch die im Kondensator gespeicherte Energie kleiner. Da Energie nicht verloren gehen kann, fragt man sich, wo sie hin ist?

Wir das Dielektrikum in das Feld gebracht, wird es auf Grund von Polarisation im Dielektrikum in das Feld hineingezogen. Dabei wird Arbeit verrichtet, die das Feld aufbringen muss. Es wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt.

Beim Herausziehen des Dielektrikums muss wieder Arbeit aufgebracht werden!

Die Ladung im Kondensator ergibt sich aus der Kapazität und der Spannung zwischen den Platten.



Die Kapazität ist 12 nF groß. Die Spannung ist noch unbekannt.

Man weiß aber aus der ersten Lösung, dass sich die Spannungen umgekehrt wie die Kapazitäten verhalten.

C1 ist 4 nF und C23 sind 16 nF groß.



Die Summe der beiden Spannungen beträgt 15 V, also



Damit erhält man



Stellt man das nach der Spannung über den C23 um, erhält man 3 V. Über dem anderen Kondensator liegen dann 12 V an.

Die beiden Kondensatoren C2 und C3 sind parallelgeschaltet, so dass über jedem Kondensator die gleiche Spannung von 3 V liegt.

Nun kann die gesuchte Ladung berechnet werden:



**c)**

Da der Kondensator komplett abgeklemmt wurde, bleiben die Ladungen auf ihm erhalten. Durch das Entfernen des Dielektrikums verkleinert sich die Kapazität wieder auf 2 nF.



**578.**

**a)** Die Frequenz gibt an, wie viele Schwingungen je Sekunde durchgeführt werden. Sie erhält man aus dem Kehrwert der Schwingungsdauer.

Die Schwingungsdauer lässt sich aus dem Diagramm mit 0,005 s ablesen. Damit berechnet man eine Frequenz von 200 Hz.

**b)**

Die Kurven zeigen die Momentanwerte von Strom und Spannung an. Der Wechselstromwiderstand ist der Quotient der Effektivwerte der beiden Größen. Effektivwerte berechnen sich aus dem Maximalwert der Größe geteilt durch die Wurzel aus 2.



Der gesuchte Wechselstromwiderstand berechnet sich mit



Er ist also nichts anderes als der Quotient der beiden Maximalwerte. Diese lassen sich aus dem Diagramm ablesen.



**c)**

**Graph 2:** Der Widerstand steigt proportional mit der Frequenz. Das ist bei der Spule der Fall. Der induktive Widerstand ist



Bei konstanter Induktivität ist der induktive Widerstand proportional zur Frequenz.

**Graph 3:** Der Widerstand wird mit steigender Frequenz immer kleiner. Das ist beim Kondensator der Fall.

Der kapazitive Widerstand ist



Bei konstanter Kapazität ist der kapazitive Widerstand umgekehrt proportional zur Frequenz.

**Graph 1:** Der Widerstand wird bis zu einer Frequenz immer kleiner und steigt dann wieder. Der Punkt mit dem kleinsten Widerstand liegt genau dort, wo der induktive und der kapazitive Widerstand gleich groß sind.

Das ist bei einer Schaltung aus Spule und Kondensator bei Resonanz der Fall.

Die Resonanzfrequenz liegt bei etwa 90 Hz.

Bei dieser Frequenz heben sich der kapazitive und der induktive Widerstand auf und der Widerstand der Schaltung wird nur durch den ohmschen Widerstand bestimmt. Der beträgt demnach 1000 Ohm.

**579.**

Da der Plattenkondensator von der Spannungsquelle getrennt wurde, bleibt die Menge der Ladungen konstant. Es können ja keine hinzufließen oder abfließen.

Es gilt also



Die Feldstärke in einem Plattenkondensator ist



Damit ist ein Zusammenhang zwischen der Feldstärke und dem Plattenabstand d zu sehen. Aber die Spannung zwischen den Platten ändert sich bei Änderung des Abstandes auch noch, denn es gilt



Wie schon festgestellt, bleibt die Ladung Q unverändert. Damit ist die Spannung umgekehrt proportional zur Kapazität: wird die Kapazität kleiner, wird die Spannung größer.



Nun ist aber die Kapazität des Kondensators auch noch vom Plattenabstand abhängig. Die Kapazität berechnet sich mit



da sich nur der Abstand ändert, gilt



Mit größer werdendem Abstand wird die Kapazität immer kleiner.

Setzt man das in die Proportionalität zwischen Spannung und Kapazität ein, erhält man



Damit lassen sich Aussagen zwischen Spannung und Abstand machen.

Was ist nun mit der Feldstärke?

Sie ist proportional zur Spannung und umgekehrt proportional zum Abstand. Wird der Abstand bei gleicher Spannung größer, wird die Feldstärke kleiner. Aber die Spannung wird ja mit größer werdendem Abstand größer.

Da in dem einen Fall eine direkte und in dem anderen Fall eine indirekte Proportionalität vorliegt, heben sich die Abhängigkeiten auf.

Die Feldstärke ändert sich nicht.

Und die Spannungen?

a) Abstand wird halbiert -> Spannung halbiert sich

b) Abstand wird verdoppelt -> Spannung verdoppelt sich

c) Abstand wird auf 10% verringert -> Spannung wird auf 10% verringert

d) Abstand wird um 30% vergrößert -> Spannung wird um 30% vergrößert

**580.**

**a)** Die Kapazität eines Plattenkondensators berechnet sich mit



Da sich zwischen den Kondensatorplatten Luft befindet, ist die relative Dielektrizitätskonstante 1.

Der Flächeninhalt einer Platte berechnet sich aus dem gegebenen Radius:



Damit kann die Kapazität des Kondensators berechnet werden:



|  |  |
| --- | --- |
| **b)**  Wird an die Platten eine Spannung angelegt, entsteht zwischen den Platten ein homogenes, elektrisches Feld.  Das geladene Kügelchen kommt mit dem Feld in Kontakt und spürt eine Kraft zu einer der beiden Platten hin.  Die Kraft auf das Kügelchen wird durch die Stärke des Feldes und die Ladung des Kügelchens festgelegt.  Die elektrische Feldstärke ist definiert als der Quotient der Kraft auf eine Probeladung und der Probeladung selber: |  |

q ist in diesem Fall die Ladung des Kügelchens und damit die gesuchte Größe.



Die Feldstärke für das homogene Feld in einem Plattenkondensator berechnet sich mit



U ist die Spannung und d die Plattenabstand. Beide Größen sind gegeben.

Die Kraft kann über die Auslenkung des Kügelchens bestimmt werden. Zwischen der Gewichtskraft, der elektrischen Kraft und dem Auslenkwinkel gilt die Beziehung



Der Winkel kann aus Länge des Fadens und der Auslenkung bestimmt werden:



Da der Winkel deutlich kleiner als 10° ist, kann man mit ruhigem Gewissen den Sinus und den Tangens des Winkels gleichsetzen.

Es ist also



Nun hat man alles beisammen und kann die gesuchte Ladung berechnen:



**c)** Wie oben gezeigt, hängt die Auslenkung des Kügelchens von der elektrischen Kraft ab. Es muss also untersucht werden, wie sie diese Kraft ändert, wenn der Abstand verdoppelt wird.

Die Kraft ist



und damit proportional zur Feldstärke.

Die Feldstärke ist



Wir wissen, dass der Abstand d verdoppelt wird. Was passiert dabei mit der Spannung zwischen den Platten.

Durch das Abtrennen der Spannungsquelle bleiben die Ladungen auf den Kondensatorplatten konstant. Es fließt ja nichts rauf und nichts runter.

Die Ladungsmenge auf den Kondensatorplatten ergibt sich aus der Kapazität und der Spannung zwischen den Platten:



Die Kapazität C erhält man aus den geometrischen Größen des Kondensators:



Wie man sieht, wird die Kapazität bei doppeltem Plattenabstand halbiert.



Damit wird aber die Spannung zwischen den Platten durch die Verdopplung des Abstandes ebenfalls verdoppelt.



Das heißt aber wieder, dass sich die Feldstärke gar nicht ändert:



und demnach bleibt die Auslenkung des Kügelchens auch unverändert.

**581.**

**a)** Zum Zeitpunkt 0 s ist der Kondensator noch ganz leer und der fließende Strom wird nur durch den Widerstand bestimmt. Es gilt

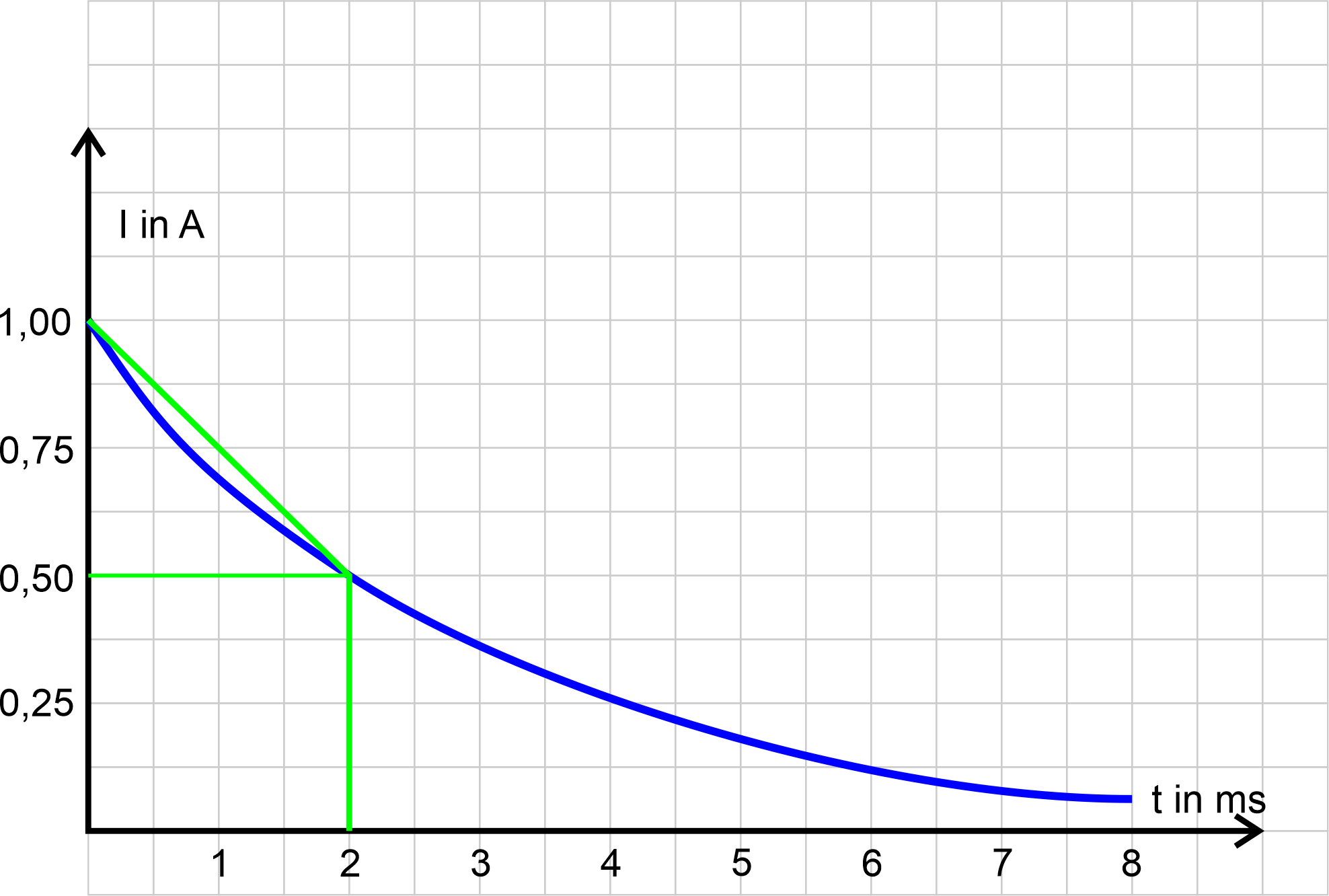


**b)** Der Strom ist nach 2 s auf die Hälfte seines ursprünglichen Wertes gesunken.

**c)** Zu diesem Zeitpunkt ist der Strom durch die Schaltung nur noch halb so groß wie am Anfang. Der Grund dafür liegt an der Spannung über dem Kondensator, die mit wachsender Zeit immer größer wird. Diese Spannung ist so gepolt, dass sie entgegen zur Spannung der Quelle wirkt.

Damit der Strom nur noch halb so stakt fließt, darf über dem Widerstand nur noch eine Spannung von 50 V anliegen. Das heißt, die Spannung teilt sich so auf, dass über dem Widerstand 50 V liegen und der Rest über dem Kondensator. Das sind dann aber ebenfalls 50 V.

**d)**



Die geflossenen Ladungen entsprechen den Flächen unter der I(t)-Kurve. Das sind ein Quadrat und ein Dreieck.

Das Quadrat hat einen Flächeninhalt von 1A ∙ ms = 1 mC.

Das Dreieck darüber hat den halben Flächeninhalt und entspricht damit 0,5 mC.

Insgesamt sind also in dieser Zeit 1,5 mC auf den Kondensator geflossen.

Da das der Wert für die halbe Kondensatorladung ist, passen bei dieser Spannung insgesamt 3,0 mC auf den Kondensator. Damit lässt sich die Kapazität bestimmen:



**582.**

**a)** Der fließende Strom wird durch die Spannung und den Widerstand festgelegt. Die Spannung ist bei diesem Versuch konstant. Das heißt, der Widerstand muss sich bei steigender Frequenz ändern.

Da der Strom mit steigender Frequenz immer kleiner wird, wird der Widerstand der Spule also immer größer.

Der Widerstand der Spule setzt sich aus dem ohmschen Widerstand und dem induktiven Widerstand zusammen. Der ohmsche Widerstand wird durch den Widerstand des Drahtes erzeugt und bleibt konstant. Die Eigenschaften des Drahtes ändern sich ja nicht.

Also muss sich der induktive Widerstand mit steigender Frequenz erhöhen.

Mit steigender Frequenz erfolgt die Änderung der Stromrichtung immer häufiger. Damit ändert sich aber auch die Polung des Magnetfeldes, das in der Spule erzeugt wird, immer schneller. Das hat zur Folge, dass in der Spule eine immer größere Induktionsspannung erzeugt wird. Die ist nach der Lenzschen Regel der Ursache der Induktion, also dem eigentlichen Strom, entgegengesetzt und bremst ihn.

Und genau das ist zu beobachten. Der Strom durch die Spule wird mit steigender Frequenz immer kleiner.

**b)** Die Induktivität der Spule ist eine Größe, die von der Bauweise der Spule bestimmt wird. Sie ist also, genau wie der ohmsche Widerstand, immer konstant.

Damit kann die Induktivität bei jeder beliebigen Frequenz bestimmt werden, man erhält immer den gleichen Wert.

Die Wahl fällt hier auf die Frequenz von 100 Hz. Bei dieser Frequenz fließt ein Strom von 28 mA, was man aus dem Diagramm abliest.

Damit lässt sich aus der gegebenen Spannung der Scheinwiderstand Z der Spule bestimmen:



Der ohmsche und der induktive Widerstand bilden zusammen den Scheinwiderstand. Beide werden aber nicht einfach addiert, sondern sind durch die Beziehung



miteinander verknüpft. Damit kann der induktive Widerstand der Spule und dann daraus die Induktivität bestimmt werden.



Für den induktiven Widerstand gilt



Außer der Induktivität L ist alles bekannt.



Da alles in Grundeinheiten eingesetzt wurde, erhält man als Einheit für die Induktivität Henry (H).

**c)** Ein maximaler Strom bedeutet einen minimalen Widerstand. Der Scheinwiderstand Z eine Reihenschaltung aus Spule und Kondensator mit Berücksichtigung des ohmschen Widerstandes der Spule berechnet sich mit



Mit steigender Frequenz wird der induktive Widerstand immer größer und der kapazitive Widerstand immer kleiner. Der ohmsche Widerstand bleibt unverändert.

Man sieht, dass der Scheinwiderstand der Reihenschaltung dann am kleinsten ist, wenn der Ausdruck in der Klammer gleich 0 ist. Dann heben sich die beiden frequenzabhängigen Widerstände auf und der Scheinwiderstand entspricht genau dem ohmschen Widerstand der Spule.

Damit lässt sich die Kapazität berechnen.

Der Ausdruck in der Klammer ist dann Null, wenn die beiden Widerstände gleich groß sind.



Der Kondensator hat eine Kapazität von 0,47µF oder 470 nF.

**d)** Bei einer Reihenschaltung ist der Strom an allen Stellen gleich. Das ist nicht nur im Gleichstromkreis so, sondern auch im Wechselstromkreis.

Über die Teilwiderstände erhält man dann die Teilspannungen.

Als erstes wird die Stromstärke berechnet. Da in diesem Fall die beiden frequenzabhängigen Widerstände gleich sind, wird der Gesamtwiderstand der Schaltung nur vom ohmschen Widerstand der Spule bestimmt.



Durch die Spule als auch durch den Kondensator fließen jeweils 32 mA. Damit kann man über deren Scheinwiderstände den jeweiligen Spannungsabfall über dem Bauelement berechnen.

Spule:



Kondensator:



**e)**

Die Stromstärke berechnet sich wieder aus der anliegenden Spannung und dem Scheinwiderstand der Schaltung.

Als einziges hat sich bei der Berechnung des Scheinwiderstandes die Größe des ohmschen Widerstandes geändert. Alles andere ist gleichgeblieben.

Das heißt, der kapazitive Widerstand ist immer noch genau so groß wie der induktive Widerstand und die beiden heben sich bei der Berechnung des Scheinwiderstandes auf. Der Strom wird immer noch nur vom ohmschen Widerstand bestimmt.



|  |  |
| --- | --- |
| **f)** Im eben betrachteten Fall waren der kapazitive und der induktive Widerstand gleich groß und haben sich aufgehoben.  Ändert man die Frequenz, ändern sich auch sofort diese beiden Widerstandswerte. Bei einer kleineren Frequenz als die 350 Hz ist der induktive Widerstand kleiner als der kapazitive Widerstand. Wird die Frequenz größer als die 350 Hz, ist es genau umgekehrt. |  |

In beiden Fällen ist die Differenz aus beiden Widerständen ungleich 0. Da die Differenz noch quadriert wird, ergibt sich immer ein zusätzlicher Widerstand, der zum ohmschen Widerstand addiert wird.

Es wird also in beiden Fällen der Frequenzveränderung der Scheinwiderstand der Schaltung größer und damit der Strom kleiner.