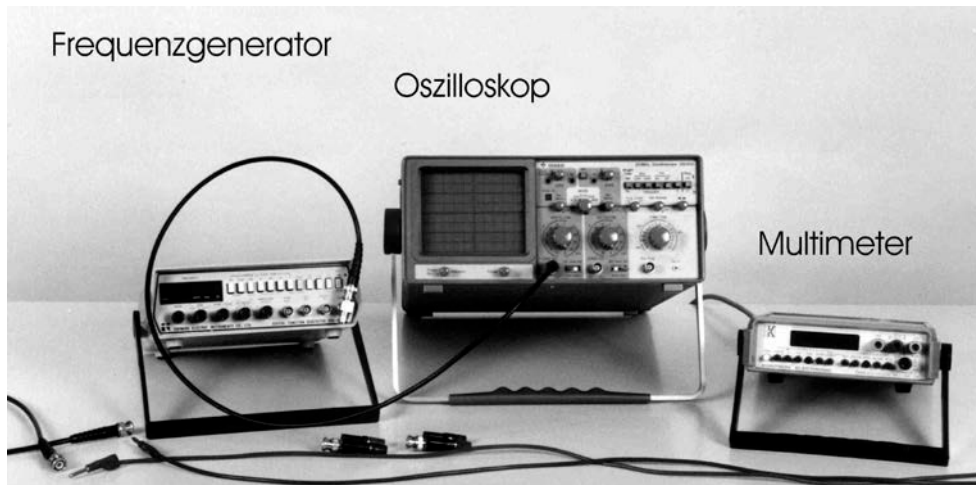


5 Elektrisches Feld



Messung von Wechselströmen

5.1 Grundlagen

5.1.1 Ionenbeweglichkeit

In metallischen Leitern wird der elektrische Strom von freien Elektronen transportiert. Der Mechanismus des Ladungstransports in Elektrolyten beruht dagegen ausschließlich auf dem Vorhandensein elektrisch geladener Atome oder Moleküle, den Ionen. Elektrolytische oder Ionenleiter sind vor allem Salze in festem, geschmolzenem oder gelöstem Zustand, ferner Säuren und Basen in wässriger Lösung sowie Stoffe, die erst durch Wechselwirkung mit dem Lösungsmittel Ionen bilden.

Die Leitfähigkeit hängt ab von

1. der Ionenbeweglichkeit μ ,
2. der Anzahl der verfügbaren Ionen,
3. der Temperatur des elektrolytischen Leiters.

Zu 1:

Die Leitfähigkeit ist proportional zur Ionenbeweglichkeit μ :

$$\mu = \frac{ze}{6\pi\eta r} \quad (1)$$

(Herleitung der Gleichung s.u.). Dabei ist ze die Ladung des Ions (z ist die Wertigkeit, e die Elementarladung), η ist die Viskosität des Elektrolyten, r ist ein Maß für die 'Größe' des Ions (hier kommt es nicht nur auf die räumliche Ausdehnung an, sondern es spielen auch noch andere Effekte wie z.B. die Hydratation eine Rolle).

Über die Viskosität hängt die Ionenbeweglichkeit von der Temperatur ab. Mit steigender Temperatur nimmt die Viskosität ab, bei Wasser hat sie zum Beispiel für Temperaturen von 10/20/30/40° C die Werte 1309/1006/800/657 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$. Daraus folgt eine Erhöhung der Leitfähigkeit des Elektrolyten bei steigender Temperatur.

Zu 2:

Je höher die Konzentration und je größer der Dissoziationsgrad des Elektrolyten sind, desto mehr Ladungsträger (Ionen) stehen für den Elektrizitätstransport zur Verfügung, desto größer ist also die Leitfähigkeit (Dissoziationsgrad: Zahl der in

Ionen dissoziierten Moleküle). Die Konzentration eines Elektrolyten und sein Dissoziationsgrad sind nicht unabhängig voneinander: Nach dem Ostwaldschen Verdünnungsgesetz nimmt der Dissoziationsgrad mit steigender Konzentration ab.

Zu 3:

Der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Temperatur ist komplexer Art: Zunächst nimmt die Viskosität des Lösungsmittels mit steigender Temperatur ab (vgl. 1.). Darüber hinaus nimmt bei vielen Elektrolyten der Dissoziationsgrad mit der Temperatur zu. Addieren sich beide Effekte, so resultiert eine starke Zunahme der Leitfähigkeit mit wachsender Temperatur. Es gibt aber eine Reihe von Elektrolyten, bei denen der Dissoziationsgrad mit steigender Temperatur abnimmt. Dabei kann der Fall eintreten, dass die Leitfähigkeit aufgrund der Viskositätsabnahme bei steigender Temperatur zunächst zunimmt, dann aber wegen des fallenden Dissoziationsgrades ein Maximum erreicht oder sogar wieder abnimmt

Herleitung von Gl. (1):

Befindet sich ein Ion mit der Ladung $Q = ze$ in einem elektrischen Feld mit der Feldstärke $E = U_0 / l$, so wirkt eine Kraft

$$F_E = QE = zeU_0 / l$$

auf das Ion. Hierbei ist U_0 die Spannung zwischen den Elektroden und l deren Abstand (wir setzen voraus, dass das elektrische Feld homogen ist, d.h. dass die Kraft F_E innerhalb des Raumes zwischen den Elektroden überall gleich groß und gleich gerichtet ist.).

Durch das Einwirken der Kraft F_E wird der ungeordneten Wärmebewegung der Ionen eine gerichtete Bewegung überlagert. Infolgedessen kommt es zu einer beschleunigten Bewegung der Ionen in Richtung auf die Elektroden.

Der Kraft F_E ist in flüssigen Medien die *Reibungskraft*

$$F_R = 6\pi\eta r v \quad (\text{Stokessches Gesetz})$$

entgegengerichtet. η ist die Viskosität des Lösungsmittels, r ist ein Maß für die "Größe" des Ions und v seine Geschwindigkeit. Die Reibungskraft nimmt also mit der Geschwindigkeit zu.

Unter geeigneten Bedingungen kann sich der stationäre Fall $F_E = F_R$ einstellen; die Bewegung erfolgt nicht mehr beschleunigt, die Geschwindigkeit ist konstant. Dann ist

$$6\pi\eta r v = QE = ze \frac{U_0}{l}$$

und also:

$$v = \frac{ze}{6\pi\eta r} \frac{U_0}{l}$$

Die Ionen legen in der Zeit Δt den Weg Δs zurück:

$$\Delta s = \frac{ze}{6\pi\eta r} \frac{U_0}{l} \Delta t \quad (2)$$

Die *Ionenbeweglichkeit* μ ist als das Verhältnis der Ionengeschwindigkeit v zur Feldstärke E definiert:

$$\mu = \frac{v}{E} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \frac{l}{U_0}$$

Hieraus folgt:
$$\Delta s = \mu \frac{U_0}{l} \Delta t \quad (3)$$

Aus dem Vergleich von Gl. (2) und (3) folgt:

$$\mu = \frac{ze}{6\pi\eta r}$$

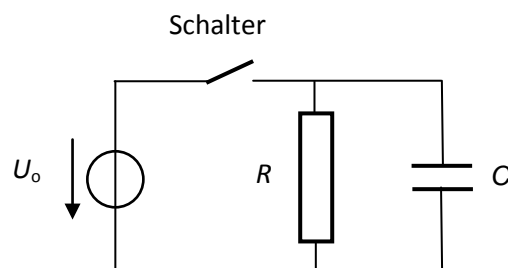
Die Ionenbeweglichkeit wächst also proportional zur Ladung ze und umgekehrt proportional zur Viskosität des Lösungsmittels und zur "Größe" des Ions.

5.1.2 Ladung und Entladung eines Kondensators

Ein Kondensator besteht im Prinzip aus zwei metallischen Körpern beliebiger Form (den sogenannten *Belegungen*), die einander isoliert gegenüber stehen. Bei den üblicherweise verwendeten Kondensatoren bestehen die Belegungen meist aus dünnen Metallfolien, die – durch eine Isolierschicht voneinander getrennt – aufgewickelt und mit Anschlüssen versehen werden.

Wird ein Kondensator an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, so entsteht auf der einen Belegung ein Elektronenüberschuss, also negative Ladung, auf der anderen Belegung bildet sich ein Elektronenmangel, also positive Ladung. Zwischen den so aufgeladenen Belegungen besteht ein elektrisches Feld.

Das Verhältnis der Ladung Q des Kondensators zu der Spannung U an seinen Anschlüssen wird als *Kapazität* bezeichnet. Kapazitäten werden mit dem Formelzeichen C bezeichnet und in der Einheit Farad (F) gemessen: $[C]=F$.



Sobald der Kondensator bei geschlossenem Schalter aufgeladen ist, fließt kein Ladestrom mehr, obwohl die Spannungsquelle noch angeschlossen ist. Wird die Spannungsquelle durch Öffnen des Schalters entfernt, so bleibt der Ladezustand erhalten; der Kondensator selbst stellt eine Spannungsquelle dar.

Wir betrachten einen Kondensator, der bis zur Spannung U_0 aufgeladen sei. Dann ist die im Kondensator gespeicherte elektrische Ladung

$$Q = C U_0.$$

Nun klemmen wir die Spannungsquelle ab und lassen den Kondensator sich über einen Widerstand R entladen. Dadurch verringert sich die Ladung auf dem Kondensator exponentiell mit der Zeit nach dem Gesetz¹

$$U_c^{Entl}(t) = U_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (4)$$

Für die Aufladung des Kondensators ergibt sich in ähnlicher Weise

¹ Zur Erinnerung: $e^z = \exp(z)$

$$U_c^{Auffl}(t) = U_\infty \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right] \quad (5)$$

Dabei ist U_∞ die Ladung, mit der der Kondensator für $t \rightarrow \infty$ aufgeladen wird.

Nach der sog. Halbwertszeit t_h sinkt die Spannung am Kondensator vom Anfangswert auf die Hälfte ab. G1. (5) liefert für diesen Fall

$$\frac{U_c^{Entl}(0)}{2} = U_0 \exp\left(-\frac{t_h}{RC}\right)$$

$$\frac{1}{2} = \exp\left(-\frac{t_h}{RC}\right) \quad \text{bzw.} \quad t_h = RC \ln 2 \approx 0,693 RC \quad (6)$$

Die letzten Gleichungen enthalten im Nenner des Exponenten das Produkt RC , dessen Maßeinheit die Dimension einer Zeit besitzt. RC ist die Zeit, in der die Spannung beim Entladen auf $e^{-1} = 0,368$ des Anfangswertes U_0 abgesunken bzw. beim Aufladen auf $1 - e^{-1} = 0,632$ des Endwertes U_∞ angestiegen ist. (Für die Zeiten $t = 2/3/4/5 RC$ steigt die Spannung auf $0,86 / 0,95 / 0,98 / 0,99 U_\infty$)

5.1.3 Zeitaufgelöste Darstellungen: das Oszilloskop

Die in den bisherigen Experimenten verwendeten Messgeräte für Spannungen und Ströme – sowohl Analog- als auch Digitalmessgeräte – haben alle als gemeinsames Merkmal eine gewisse „Langsamkeit“. Sie besteht darin, dass zwischen dem Einschalten und der endgültigen, stabilen Anzeige eine gewisse Zeit (bis in die Größenordnung von Sekunden) vergeht. Diese Trägheit bei der Einstellung macht sich beim Messen von zeitlich unveränderlichen oder sich nur langsam ändernden Spannungen und Strömen jedoch kaum störend bemerkbar.

Anders dagegen bei Strömen und Spannungen, die sich hinsichtlich ihrer Größe und Richtung (bzw. Polarität) sehr schnell ändern (Wechselströme bzw. –spannungen): Das Messgerät kann wegen seiner Trägheit den schnellen Änderungen der zu messenden Größe nicht folgen und zeigt einen *Mittelwert*, die sogenannte *effektive Stromstärke* bzw. *effektive Spannung* an. Wenn zum Beispiel eine Wechselspannung den Maximalwert (Scheitelwert) U_0 hat, dann ist der Effektivwert durch $U_{eff} = U_0 / \sqrt{2}$ gegeben.

Für die Registrierung schneller Änderungen von elektrischen Signalen und zur Darstellung der Zeitabhängigkeit von Spannungen und Strömen ist das Oszilloskop ein unentbehrliches Hilfsmittel (auch Oszillograph genannt oder kurz 'Oszi'). Im Oszilloskop werden freie (nicht an einen Leiter gebundene) Elektronen, die wegen ihrer äußerst kleinen Masse fast trägheitslos sind, zur Messung benutzt. Hinsichtlich der Geschwindigkeit der Änderungen der elektrischen Vorgänge gibt es daher kaum Einschränkungen.

Während bis vor einigen Jahren analoge, mit einer Elektronenstrahlröhre ausgestattete Oszilloskope üblich waren, setzen sich in neuerer Zeit Digitaloszilloskope immer mehr durch, weil sie sehr viel kompakter aufgebaut sind. Die Bedienung unterscheidet sich nicht, allerdings erlauben Digitaloszilloskope auch Rechenoperationen wie zum Beispiel die Berechnung von Frequenzspektren aus den primär gemessenen zeitlichen Signalen. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf analoge Oszilloskope, die wir auch im Praktikum verwenden.

Das Oszilloskop besteht im Wesentlichen aus vier Funktionselementen:

- Die Elektronenstrahlröhre einschließlich der zum Betrieb erforderlichen Spannungs- und Stromquellen
- Die X-Ablenkeinheit (vertikal)
- Die Y-Ablenkeinheit (horizontal)
- Die Triggereinheit

Die Elektronenstrahlröhre ist ein evakuiertes Glasgefäß mit mehreren von außen anschließbaren Elektroden, von denen die Kathode (K) und die Anode (A) die zunächst wichtigsten sind.

Das Metall der Kathode wird durch einen innenliegenden Glühdraht auf hohe Temperaturen aufgeheizt. Dabei wird den im Kathodenblech frei beweglichen Elektronen so viel thermische Energie zugeführt, dass einige von ihnen den Metallverband verlassen und in das umgebende Vakuum eintreten. Diese thermische *Elektronenemission* kommt jedoch zum Stillstand, wenn die Anziehungskräfte zwischen dem dann positiv geladenen Kathodenmaterial und der negativen Elektronenwolke zu groß werden.

H : Heizstromkreis

K : Kathode

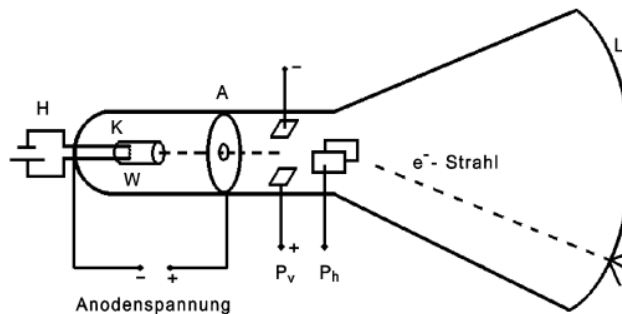
A : Anode

W : Wehnelt-Zylinder

L : Schirm mit ZnS-Schicht

P_v : Vertikalablenkplatte

P_h : Horizontalablenkplatte



Verbindet man nun die

Kathode K mit dem negativen und die Anode A mit dem positiven Pol einer Spannungsquelle der Spannung U (einige 1000 Volt), so entsteht zwischen K und A ein elektrisches Feld. Jedes Elektron wird in diesem Feld zur Anode hin beschleunigt. Da den Elektronen im Vakuum keine Reibungskraft entgegensteht, werden sie auf dem Weg zur Anode immer schneller. Ihre Geschwindigkeit beim Erreichen der Anode berechnet sich zu: $v = \sqrt{2eU/m_e}$ (e ist die elektrische Ladung des Elektrons, m_e seine Masse). Diese Geschwindigkeit ist um ein Vielfaches größer als die Geschwindigkeit der Ladungsträger in festen oder flüssigen Leitern.

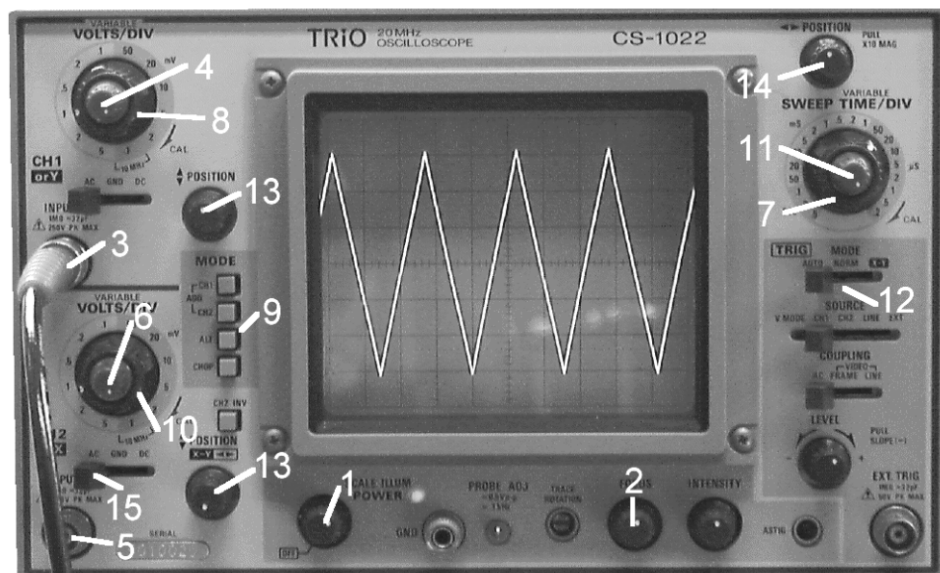
Ein Teil der Elektronen prallt nun gegen das Metall der Anode und fließt von dort zur Spannungsquelle ab. Ein weiterer Teil gelangt durch eine kreisrunde Öffnung in der Mitte des Anodenblechs in den Raum hinter der Anode; diese Elektronen fliegen mit konstanter Geschwindigkeit gegen die mit einer Leuchtschicht versehene Stirnwand der Glasröhre und erzeugen dort einen Leuchtfleck, dessen Größe der geometrischen Projektion der Anodenöffnung entspricht.

Der Raum zwischen K und A enthält noch den sogenannten *Wehnelt-Zylinder* W. Er hat den Zweck, möglichst viele Elektronen auf die Anodenöffnung hin zu richten (W), so dass ein hellerer Leuchtfleck entsteht. Durch die zwischen Kathode und Anode anliegende Spannung werden die aus der Glühkathode emittierten Elektronen zur Anode hin beschleunigt, passieren diese und bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit weiter zum Schirm L hin. Dabei durchlaufen sie die Felder zweier senkrecht zueinander angeordneter Plattenkondensatoren P_v und P_h. Sind die Kondensatoren spannungslos, so erzeugt der Elektronenstrahl in der Mitte des Schirms einen leuchtenden Punkt.

Eine Wechsellspannung an P_h bewirkt, dass der Strahl so abgelenkt wird, dass er horizontal über den Bildschirm streift. Da dies jedoch mit konstanter Geschwindigkeit von links nach rechts erfolgen muss, und die Rückbewegung des Leuchtpunkts von rechts nach links in möglichst kurzer Zeit erfolgen soll, ist diese Wechsellspannung nicht sinus-, sondern sägezahnförmig. Sie wird in einem integrierten Zeitablenkgenerator erzeugt; ihre Frequenz (und damit die Geschwindigkeit des Leuchtpunkts) lässt sich am Sweep Time-Schalter einstellen und ablesen.

Die zu messende Spannung gelangt über einen Eingangsverstärker an das Plattenpaar P_v . Sie lenkt den Elektronenstrahl in vertikaler Richtung ab. Der Verstärkungsfaktor lässt sich am Eingangsverstärker variieren und ablesen (z.B. 0.5 mV/cm).

Weitere Bedienelemente betreffen u.a. die Helligkeit, die Fokussierung und vor allem die Triggerung: Diese soll bewirken, dass die Zeitablenkung und die an P_v liegende Spannung zeitlich synchron verlaufen, so dass ein stehendes Bild entsteht.



- 1 Netzschalter und Helligkeitsregler
- 2 Bildschärferegler

Kanal 1		Kanal 2
3	Y-Eingangsbuchse	5
8	Eingangsverstärker, stufenweise Änderung	10
4	Eingangsverstärker, kontinuierliche Änderung	6
Bei quantitativen Messungen muss dieser Schalter in Stellung CAL (calibrated) stehen.		
13	Vertikalverschiebung des Bildes	13
15	AC-GND-DC-Schalter: In Stellung AC werden evtl. vorhandene Gleichspannungsanteile vom Eingangssignal abgetrennt. In Stellung GND wird die Eingangsbuchse abgeschaltet und der Verstärkereingang geerdet; man kann damit jederzeit feststellen, wo auf dem Schirm die Nulllinie liegt.	15

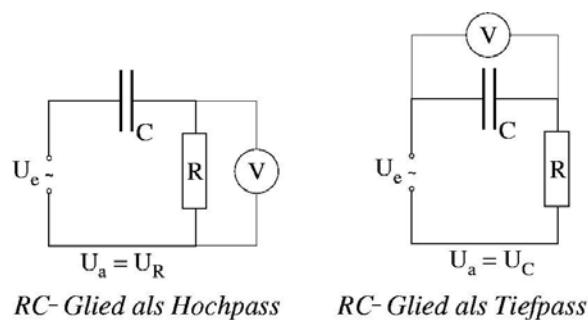
- 7 Zeitablenkschalter (stufenweise Verstellung)

- 11 Zeitablenkung (kontinuierliche Verstellung)
Bei quantitativen Untersuchungen muss dieser Schalter in Stellung CAL stehen.
 14 Horizontalverschiebung des Bildes
 9 Betriebsartenschalter
 12 Triggerteil, Triggerkopplungsarten

Die Abbildung zeigt die Frontansicht eines der im Praktikum verwendeten Oszilloskope. Die Anordnung und die Bedeutung der einzelnen Bedienelemente geht aus der Beschriftung und der Legende hervor. Es sei darauf hingewiesen, dass bei anderen Gerätetypen die Bedienelemente durchaus anders angeordnet und skaliert sein können.

5.1.4 Passverhalten eines RC-Glieds

Ein RC -Glied besteht aus einem ohmschen Widerstand R und einem Kondensator C , die hintereinander an eine Wechselspannungsquelle mit der Spannung U_e angeschlossen werden.



Solche RC -Glieder sind durch ein besonderes Passverhalten gekennzeichnet: aus einem Gemisch von Wechselspannungen verschiedener Frequenzen am Eingang U_e werden vom "Hochpass" nur Spannungen hoher Frequenz zum Ausgang U_a durchgelassen, Spannungen kleiner Frequenz (insbesondere Gleichspannungen mit der Frequenz Null) werden blockiert. Umgekehrt werden beim "Tiefpass" Spannungen kleiner Frequenz durchgelassen und Spannungen hoher Frequenz kurzgeschlossen. RC -Glieder ermöglichen es z. B., unerwünschte Frequenzen aus einem Frequenzgemisch von einer Messschaltung (Schreiber, Oszilloskop etc.) fernzuhalten.

In der von U_e , C und R gebildeten Masche gilt

$$U_e - U_R = U_C \quad \text{und} \quad U_R = RI \quad (7)$$

Für die weitere Diskussion nehmen wir an, dass die Spannung U_e eine mit der Schwingungsdauer T periodisch alternierende Gleichspannung ist (also $U_e = U_0$ für $0 < t < T/2$, $U_e = -U_0$ für $T/2 < t < T$ plus periodische Fortsetzung). In der Zeitspanne $0 < t < T/2$ ist U_C durch Gl. (5) gegeben; damit erhält man aus Gl. (7):

$$U_C = U_e - RI = U_e \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \right]$$

und

$$U_R = RI = U_e \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \quad (8)$$

Es sei t_0 die Zeit bis zur vollständigen Aufladung des Kondensators (in guter Näherung etwa in der Größenordnung von $4 RC$, und $T/2$ die Dauer einer Halbwelle der Spannung U_e (halbe Periodendauer). Bei *großer* Frequenz (kleine Schwingungsdauer) der Eingangsspannung U_e gilt $0 < t < T/2 \ll t_0$. Der exponentielle Faktor in Gl. (8) bleibt in diesem Zeitintervall annähernd 1; damit gilt $RI \approx U_e$ und $U_C \approx 0$. Mit anderen Worten: Spannungen großer Frequenz können nur über R gemessen werden (*Hochpass*).

Bei *kleiner* Frequenz der Spannung U_e gilt umgekehrt, dass sich U_C sehr schnell dem Endwert U_e annähert, während U_R sehr schnell auf den Wert Null fällt; in Formeln $RI = U_R \approx 0$ und damit $U_C \approx U_e$. Mit anderen Worten: Spannungen kleiner Frequenz können nur über dem Kondensator gemessen werden (*Tiefpass*).

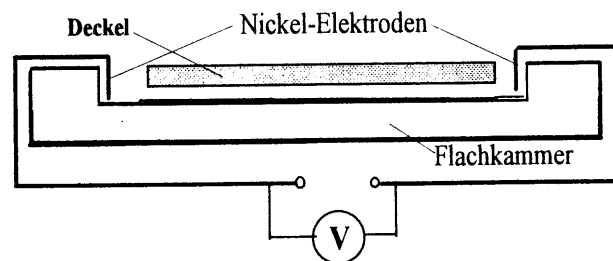
Die hier für eine spezielle Form der Eingangsspannung U_e hergeleiteten Ergebnisse gelten sinngemäß auch für beliebige Wechselspannungen.

5.2 Aufgaben

5.2.1 Beweglichkeit von MnO_4^- -Ionen

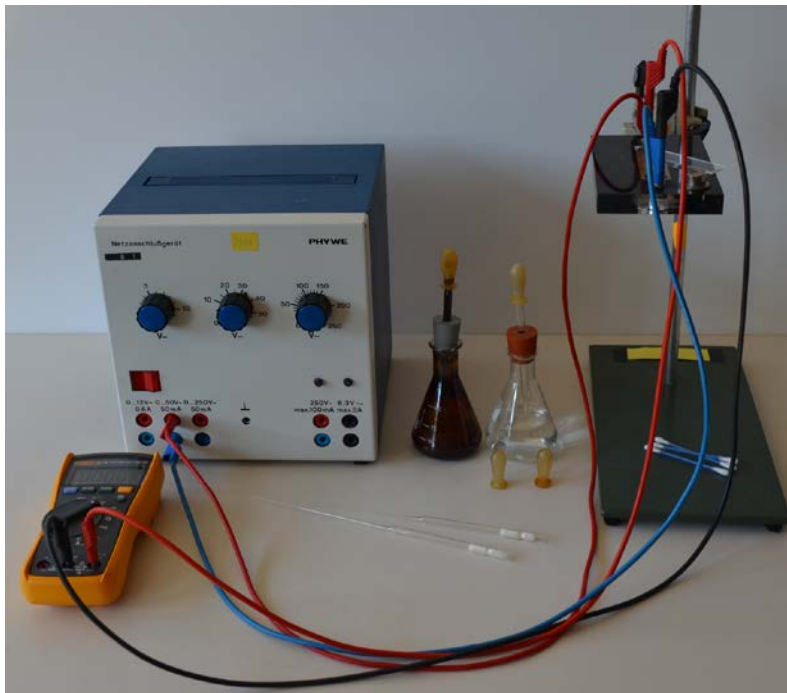
Geräte: Netzgerät 30-50 V Gleichspannung, Flachkammer für Ionenwanderung, Stativ mit Drehgelenk, Voltmeter, KNO_3 -Lösung (0,01m), $KMnO_4$ -Lösung (0,06 m), Uhr mit Sekundenanzeige, Tropfpipetten, Voltmeter.

Zur Beobachtung der Ionenwanderung benutzen wir eine 6 cm lange Kapillare mit rechteckigem Querschnitt. Diese besteht aus einer in eine Kunststoffplatte eingefrästen Rinne mit aufgelegtem Glasdeckel.



Zuerst wird die Schaltung hergestellt und anschließend die Kammer exakt horizontal ausgerichtet. Schließlich wird das schon vorher auf 50 V eingeregelterte Netzgerät eingeschaltet.

Das größte Problem bei diesem Experiment ist das saubere Füllen der Kapillare: Die Vertiefung an der Anodenseite wird nach Herstellung der Schaltung, jedoch vor dem Einschalten, mit KNO_3 -Lösung (Kaliumnitrat) gefüllt (Tropfpipette). Die Lösung soll sich infolge der Kapillarkräfte zur Kathodenseite bewegen. Wenn die Kapillare blasenfrei mit der Lösung gefüllt ist (evtl. muss tropfenweise nachgefüllt werden), wird an der Kathodenseite die $KMnO_4$ -Lösung (Kaliumpermanganat) eingebracht. Wenn dabei die violette Lösung in den Kapillarraum eindringt, ist der Füllstand zu hoch; durch Zugabe von KNO_3 -Lösung an der Anodenseite oder durch Absaugen von $KMnO_4$ -Lösung an der Kathodenseite kann der Füllstand ausgeglichen werden.



Messaufbau zur Ionenbeweglichkeit.

Aufgabe:

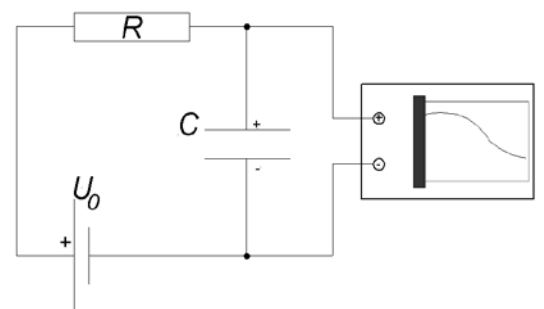
Nach Einschalten der Spannung soll der von den MnO_4^- -Ionen (Permanganat-Anionen) zurückgelegte Weg in Abhängigkeit von der Zeit gemessen werden (Diagramm s gegen t). Aus der Steigung des Graphen ist die Ionenbeweglichkeit μ zu berechnen. Der Versuchsparameter Feldstärke muss während der Messung konstant gehalten werden.

5.2.2 Laden und Entladen eines Kondensators

Geräte: Netzgerät 15 V, x-t-Schreiber, Widerstand $10\text{ k}\Omega$, Kondensator $2500\text{ }\mu\text{F}$

Ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen und anschließend wieder entladen. Es soll die Spannung am Kondensator sowohl für den Aufladevorgang, als auch für den Entladevorgang mit Hilfe eines Schreibers in Abhängigkeit von der Zeit aufgenommen werden.

Zur Kalibrierung des Schreibers werden die Eingangsbuchsen polrichtig mit den entsprechenden Buchsen des (*ausgeschalteten*) Netzgerätes verbunden. Mit dem Nullsteller wird der Schreibstift so verschoben, dass er exakt auf der linken Linie des Papiers aufliegt. Einstellung des Messbereichs: 10 Volt; Papiervorschub: 6 cm/min. Das Messgerät wird nun schaltet und so eingeregelt, dass der Schreibstift auf der



ßersten rechten Linie des Papiers aufliegt.

Vor dem eigentlichen Schaltungsaufbau wird der Kondensator durch ein Kabel kurzgeschlossen, damit evtl. vorhandene Restladungen abfließen können.

Vor dem Einschalten auf richtige Polung achten. Der Kondensator wird bei falscher Polung zerstört.

Nach Einschalten des Netzgerätes und des Papiervorschubs wird der Spannungsverlauf am Kondensator aufgezeichnet. Nach erfolgter Aufladung wird Stecker *A* aus dem Netzgerät entfernt und mit *B* verbunden. Die Ladung des Kondensators fließt über den Widerstand (und den Schreiber) ab.

Auswertung:

1. Die Entladekurve wird halblogarithmisch aufgetragen (also $\ln U$ gegen t). Aus der Steigung ist die Zeitkonstante RC zu berechnen.
2. Auf welchen Bruchteil der Anfangsspannung U_0 ist die Spannung nach der Zeit RC abgesunken ?
3. Wie groß ist die Halbwertszeit bei der Entladung ?

Die in 1., 2. und 3. experimentell bestimmten Werte sollen mit den theoretisch (aus den aufgedruckten R - und C - Werten) errechneten Daten verglichen werden. Welche möglichen Fehlerquellen existieren?

Der Eingangswiderstand des Schreibers beträgt $1 \text{ M}\Omega$.

5.2.3 Zeitaufgelöste Darstellung von Wechselströmen

Geräte: Oszilloskop, Funktionsgenerator (FG), Digitalvoltmeter

Machen Sie sich zunächst mit den einzelnen Bedienungselementen und Funktionen des Oszilloskops vertraut.

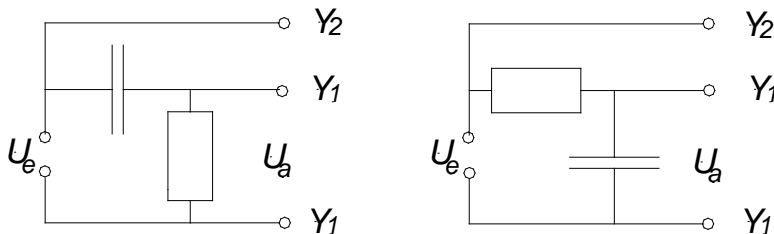
Der FG wird mit Hilfe eines BNC-Kabels an einen der beiden Y-Eingänge angeschlossen. Durch Einregeln der Zeitablenkung und der Spannungsverstärkung lässt sich erreichen, dass ein stehendes Bild entsteht.

Aufgabe:

- a) Stellen Sie verschiedene Frequenzen am Funktionsgenerator ein und messen Sie die Frequenz auf dem Schirm. Vergleichen Sie die Messwerte mit der Frequenzeinstellung am Funktionsgenerator.
- b) Der Funktionsgenerator wird auf Rechteckspannung umgeschaltet, eine große Frequenz wird eingestellt. Auf dem Schirm soll nur eine positive Flanke des Rechteckimpulses erscheinen. Wie groß ist die Anstiegszeit der Flanke bei dieser Frequenz?
- c) Die Ausgangsspannung des Funktionsgenerator (Sinusbetrieb) wird direkt mit einem Voltmeter gemessen. Das Signal wird gleichzeitig auf den Y-Kanal des Oszilloskops gegeben und gemessen. Zu berechnen ist das Verhältnis der am Oszilloskop gemessenen Spannung zu der mit dem Voltmeter gemessenen Spannung für verschiedene Frequenzen U_{Osz} / U_{Voltm} .

5.2.4 Passverhalten eines RC-Gliedes

Geräte: 2-Kanal-Oszilloskop, FG, Schaltplatte mit $R=2,2\text{ k}\Omega$, $C=10\text{ nF}$



Aufgabe:

Der "Durchlass", d.h. der Quotient U_a/U_e , soll für jede der beiden Schaltungen in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen werden.

Durchführung:

Die vom Funktionsgenerator gelieferte Spannung U_e wird auf einem der beiden Y-Kanäle, die Spannung U_a auf dem zweiten Y-Kanal gemessen. Die Frequenz wird in Intervallen 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , in entscheidenden Bereichen auch dazwischen, am Funktionsgenerator variiert. Beachten Sie die Erdung der Geräte.

Auswertung:

Die Messwerte U_a/U_e werden (für beide Schaltungen) in einem Diagramm gegen die Frequenz (diese logarithmisch) aufgetragen. Für welche Frequenz zeigen beide Schaltungen den gleichen Durchlass ("Grenzfrequenz" des RC-Gliedes)? Wie groß ist das Verhältnis U_a/U_e für diese Grenzfrequenz?