

Versuch: P1-32

Elektronenstrahl-Oszilloskop

- Auswertung -

Versuchsdurchführung: Montag, 14.11.2005

Inhaltsverzeichnis

1 Erzeugung eines stehenden Bildes	2
1.1 Synchronisation	2
1.2 Interne Triggerung	2
1.3 externe Triggerung	3
2 Zweikanalbetrieb	3
2.1 Si-Dioden-Gleichrichter	3
2.2 RC-Differenzierglied	4
2.3 RC-Integrierglied	6
2.4 RC-Phasenverschieber	8
3 Addieren und Subtrahieren von Signalen	9
4 X-Y-Darstellungen	10
4.1 Lissajous-Figuren	10
4.2 Kennlinien	10
4.2.1 Zener-Diode (Z-Diode)	10
4.2.2 Kondensator	11
4.2.3 Reihenschaltung aus Kondensator und Widerstand	12
4.3 Resonanzverhalten eines Parallelschwingkreises	13
5 Frequenzmodulierte Schwingung	13
6 Speichereinheit des Oszilloskops	14

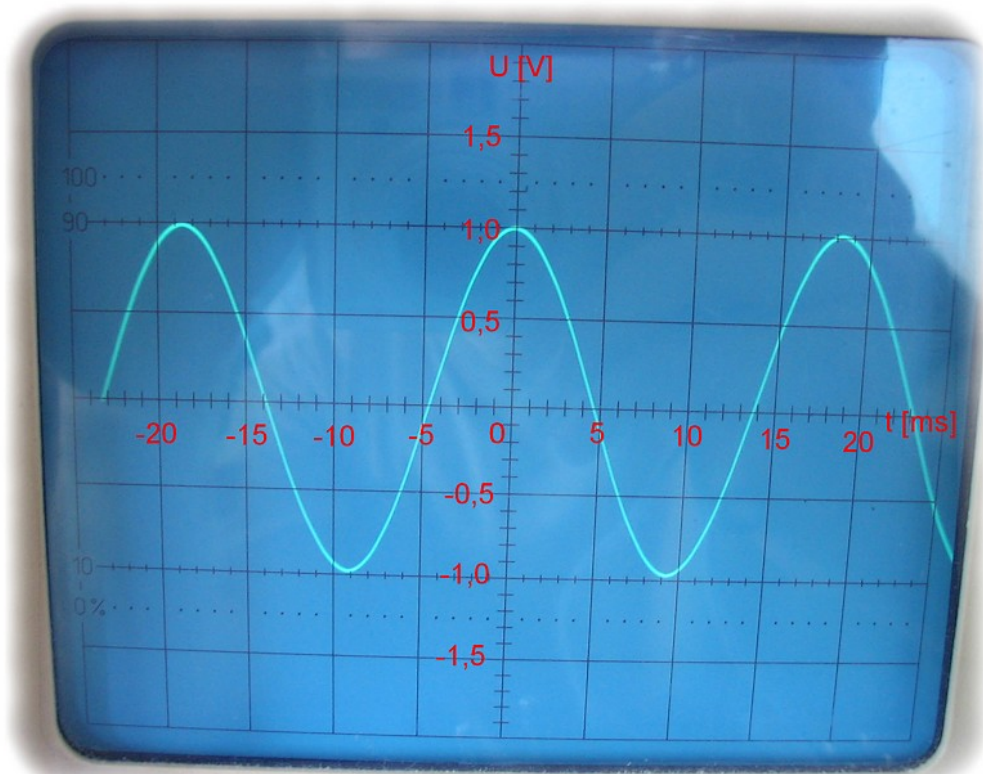
1 Erzeugung eines stehenden Bildes

1.1 Synchronisation

Wir legten an das Oszilloskop eine Sinusspannung an und konnten ein nahezu stehendes Bild einstellen. Hierzu justierten wir erst grob mit *Time/Div*, später dann am Feinregler. Es gelang ein stehendes Bild auf den Schirm zu bringen, jedoch gestaltete sich aufgrund des engen Bereichs, in dem ein stehendes Bild erreichbar ist, die Einstellung als sehr schwierig.

1.2 Interne Triggerung

Das interne triggern mittels Automatik funktionierte sehr gut. Das triggern mittels *Norm* und Verstellung am *Level*-Regler war hingegen schwieriger, denn nur für einen bestimmten Bereich von *Level* erhielten wir ein Signal. Wir stellten fest, dass dieser Bereich, in dem sich ein Bild ergibt, für kleinere Amplituden deutlich kleiner wird.



Nachdem wir intern getriggert hatten, maßen wir bei der stehenden Kurve noch folgende Werte:

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y-Skalierung	V/cm	0,5	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	5	abgelesen
y-Abstand: Maximum-Minimum	cm	4	gemessen
x-Abstand: Maximum-Maximum	cm	3,7	gemessen
Amplitude	V	1	berechnet
Periodendauer	ms	18,5	berechnet
Frequenz	Hz	54,1	berechnet

Weiterhin galt es, die Abfallszeiten der Spannung zu messen. Dies wurde folgendermaßen bewerkstelligt: Um störende Einflüsse herauszufiltern, wird nicht von der Maximalhöhe der Amplitude, gemessen, sondern von 10% zu 90% des Maximalniveaus. Somit ergaben sich folgende Messungen (der horizontale Abstand zwischen der 10% und 90%-Marke ist die Abfallszeit):

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
y-Skalierung	V/cm	0,5	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	5	abgelesen
Amplitude	cm	2	gemessen
90% Niveau d. Amplitude	cm	1,8	berechnet
10% Niveau d. Amplitude	cm	-1,8	berechnet
horizontaler Abstand beider Niveaus	cm	1,4	gemessen
Abfallzeit	ms	7	berechnet

1.3 externe Triggerung

Die externe Triggerung führten wir so aus, das wir ein externes Triggersignal an die *Trig.Inp*-Buchse anlegten. Dieses Signal stammt von einem zweiten Generator, wodurch nun die Triggerung gezielt bestimmt werden konnte. Die externe Triggerung wurde erfolgreich durchgeführt. Durch Drücken von *Holdoff* wurde das Flimmern des Oszilloskops verstärkt.

2 Zweikanalbetrieb

2.1 Si-Dioden-Gleichrichter

Zuerst ist festzuhalten, dass die Schaltskizze der Vorbereitung fehlerhaft ist: der Kondensator muss parallel und nicht in Reihe geschaltet sein, damit kein Kurzschluss entsteht. Wir messen die Eingangs- und Ausgangsspannung am Gleichrichter, ein Lastwiderstand von $1k\Omega$ ist eingebaut. Der Gleichrichter lässt nur einen Strom in eine Richtung passieren. Es ergaben sich folgende Messwerte ohne Kondensator:

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	0,005	abgelesen
Spannung y1	cm	3,6	gemessen
Spannung y1	Volt	3,6	errechnet
Spannung y2	cm	1,5	gemessen
Spannung y2	Volt	1,5	errechnet
Periodendauer	cm	2,8	gemessen
Frequenz	Hz	71428,6	errechnet

Das Resultat (s.Bild) war mehr oder weniger eine Gleichspannung.
Für die nächste Messung ergab sich bereits:

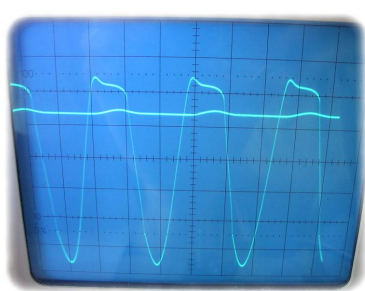
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	0,2	abgelesen
Spannung y1	cm	3,4	gemessen
Spannung y1	Volt	3,4	errechnet
Spannung y2	cm	2,7	gemessen
Spannung y2	Volt	2,7	errechnet
Periodendauer	cm	3,7	gemessen
Frequenz	Hz	1351,4	errechnet

Hier ist nun (s.Bild) eine deutliche Abflachung der Kurve nach rechts erkennbar.
Eine noch geringere Frequenz ergab:

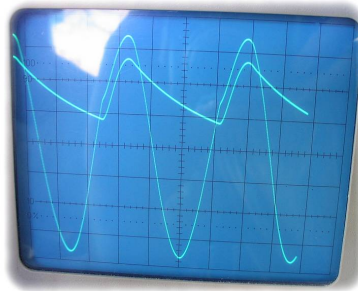
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	5	abgelesen
Spannung y1	cm	3,6	gemessen
Spannung y1	Volt	3,6	errechnet
Spannung y2	cm	2,8	gemessen
Spannung y2	Volt	2,8	errechnet
Periodendauer	cm	3,5	gemessen
Frequenz	Hz	57,1	errechnet

Diese Einstellung führte nun zu dem beabsichtigten und gesuchten Bild (s.Vorbereitung), an dem sehr schön zu erkennen ist, dass der Gleichrichter den Strom nur in eine Richtung passieren lässt und somit die Spannungskurve am Gleichrichter keinen Wert unter 0 annimmt.

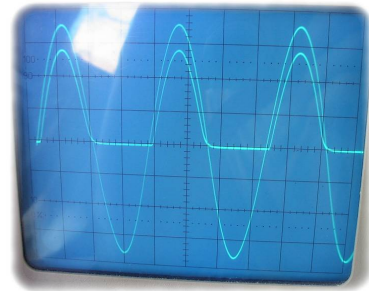
Es wurde erfolgreich das erwartete Bild eingestellt.



$f = 71428 \text{ Hz}$



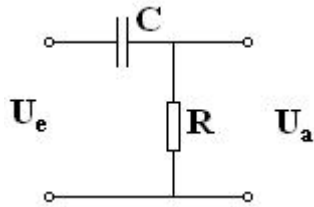
$f = 1351 \text{ Hz}$



$f = 57 \text{ Hz}$

2.2 RC-Differenzierglied

Hierbei ist zuerst zu klären, warum dieser RC-Kreis *Differenzierglied* heißt: die Schaltung ist simpel:



Es gilt: $U_a = I \cdot R = \frac{dQ}{dt} \cdot R$. Wegen $Q = U_e \cdot C$ gilt:

$$U_a = \frac{dU_e}{dt} \cdot R \cdot C.$$

Nun sollte der Name geklärt sein, denn wir benötigen für die Ausgangsspannung die zeitliche Ableitung der Eingangsspannung. Es ist noch zu erwähnen, dass dieser Aufbau auch *Hochpass* genannt wird, da höhere Frequenzen bevorzugt ungedämpft durchlässt, während geringere Frequenzen ein Dämpfung erhalten (s.Messwerte).

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	0,002	abgelesen
Spannung y1	cm	2,2	gemessen
Spannung y1	Volt	2,2	errechnet
Spannung y2	cm	2,2	gemessen
Spannung y2	Volt	2,2	errechnet
Periodendauer	cm	5,1	gemessen
Periodendauer	ms	0,0102	errechnet
Frequenz	Hz	98039,2	errechnet

Wir benutzten einen $1k\Omega$ Widerstand und einen $0,47\mu F$ Kondensator. Somit ergibt sich für $R \cdot C = 0,47ms$. Das heißt bei der ersten Messungen, dass wir uns in einem Bereich $T \ll RC$ befinden, was auch mit dem experimentellen Befund der Kurve übereinstimmt (s.Bild). Die sehr hohen Frequenzen laufen offensichtlich ungedämpft, das Signal ist kaum verändert, es ist annähernd identisch mit der angelegten Dreiecksspannung.

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	0,1	abgelesen
Spannung y1	cm	2,3	gemessen
Spannung y1	Volt	2,3	errechnet
Spannung y2	cm	2,2	gemessen
Spannung y2	Volt	2,2	errechnet
Periodendauer	cm	5,7	gemessen
Periodendauer	ms	0,57	errechnet
Frequenz	Hz	1754,4	errechnet

Nun sehen wir, dass wir uns im Bereich von $T \approx RC$ befinden. Es wird der exponentielle Charakter von Auf- und Entladen des Kondensators deutlich - die Kurven sind schon deutlich gebogen. Mittlere Frequenzen werden offensichtlich schon teilweise gedämpft.

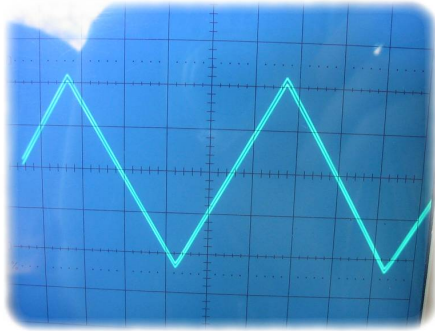
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	0,2	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	2	abgelesen
Spannung y1	cm	2,4	gemessen
Spannung y1	Volt	2,4	errechnet
Spannung y2	cm	2,4	gemessen
Spannung y2	Volt	0,48	errechnet
Periodendauer	cm	4,8	gemessen
Periodendauer	ms	9,6	errechnet
Frequenz	Hz	104,2	errechnet

Es ist klar, dass wir uns jetzt im $T \gg RC$ -Bereich befinden, die Frequenzen sind recht klein. Das Bild sieht dementsprechend aus: die Ausgangsspannung ist sehr unterschiedlich zur angelegten Dreiecksspannung und wenn man mit geübtem Auge schaut, so erkennt man, dass die Ausgangsspannung gerade die Ableitung der Dreiecksspannung ist. Dies wird am besten in der folgenden Messung deutlich:

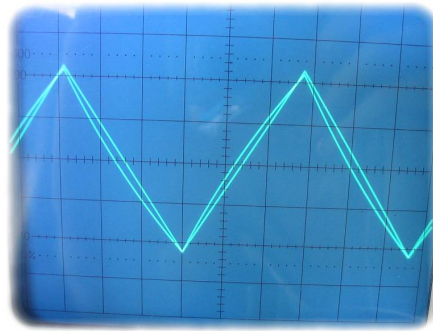
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	1	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	0,1	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	5	abgelesen
Spannung y1	cm	2,5	gemessen
Spannung y1	Volt	2,5	errechnet
Spannung y2	cm	1,4	gemessen
Spannung y2	Volt	0,14	errechnet
Periodendauer	cm	6,5	gemessen
Periodendauer	ms	32,5	errechnet
Frequenz	Hz	30,8	errechnet

Hier lässt sich noch besser erkennen, warum wir in der einen Kurve die Ableitung über die andere zu sehen glauben: die Steigung der Dreiecksspannung ist lange Zeit konstant, dann dreht sie abrupt und ist konstant in die umgekehrte Richtung. Somit wechselt die Ableitung (und wie man sieht die Ausgangssignalfunktion) zwischen konstanten Werten verschiedener Vorzeichen, verbunden durch abrupten Abfall oder Zunahme.

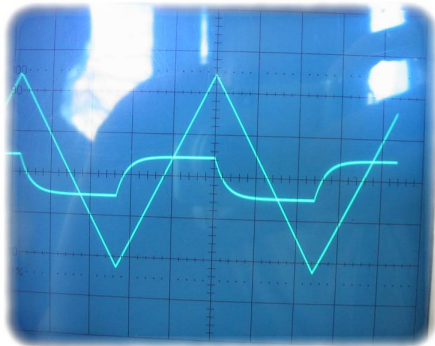
Es wurden also die vermuteten Effekte experimentell bestätigt.



$T \ll RC$



$T \approx RC$



$T \gg RC$



$T \gg RC$

2.3 RC-Integrierglied

Das *RC-Integrierglied* erhält seinen Namen analog zum Differenzierglied: in der obigen Schaltung sind lediglich der Kondensator und der Widerstand vertauscht.

Für die Ausgangsspannung gilt nun: $U_a = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int I dt = \frac{1}{C} \cdot \int \frac{U_R}{R} dt = \frac{1}{C} \cdot \int \frac{U_e - U_a}{R} dt = \frac{1}{RC} \cdot \int U_e - U_a dt$

Hier muss nun integriert werden, deshalb der Name *Integrierglied*. Die Schaltung wird auch *Tiefpass* genannt, da von ihr bevorzugt kleinere Frequenzen durchgelassen werden (s.Messwerte).

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	2	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	2	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	5	abgelesen
Spannung y1	cm	2	gemessen
Spannung y1	Volt	4	errechnet
Spannung y2	cm	2	gemessen
Spannung y2	Volt	4	errechnet
Periodendauer	cm	3,8	gemessen
Periodendauer	ms	19	errechnet
Frequenz	Hz	52,6	errechnet

Bei dieser Messung wurde (s.Bild) eine Rechteckspannung verwendet. Wir benutzten einen $1k\Omega$ Widerstand und einen $0,47\mu F$ Kondensator. Somit ergibt sich wieder für $R \cdot C = 0,47ms$. Es war also

$T \gg RC$ und die beiden Graphen der Spannungen waren nahezu identisch. Die relativ kleine Frequenz $f = 52,6\text{Hz}$ wurde also recht gut durchgelassen. Nun veränderten wir die Periodendauer:

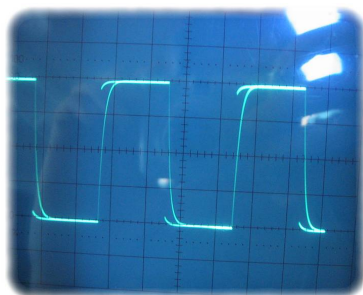
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	2	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	0,5	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	0,2	abgelesen
Spannung y1	cm	2	gemessen
Spannung y1	Volt	4	errechnet
Spannung y2	cm	2	gemessen
Spannung y2	Volt	1	errechnet
Periodendauer	cm	2,6	gemessen
Periodendauer	ms	0,52	errechnet
Frequenz	Hz	1923,1	errechnet

Diese Messung fand nun in einem Bereich $T \approx RC$ statt und man bemerkt, dass das exponentielle Verhalten der Kondensatorspannung Einfluss hat, was man an den abflachenden Kurven sieht. Die Frequenz ist deutlich höher und es werden findet bereits eine Dämpfung statt.

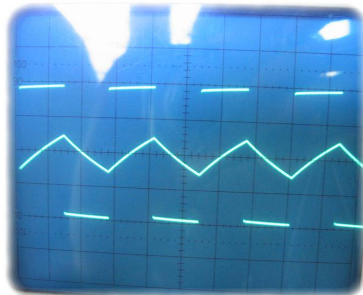
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Sinusspannung			
y1-Skalierung	V/cm	2	abgelesen
y2-Skalierung	V/cm	0,05	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	0,02	abgelesen
Spannung y1	cm	1,8	gemessen
Spannung y1	Volt	3,6	errechnet
Spannung y2	cm	1,4	gemessen
Spannung y2	Volt	0,07	errechnet
Periodendauer	cm	1,9	gemessen
Periodendauer	ms	0,038	errechnet
Frequenz	Hz	26315,8	errechnet

Hier wurde nun der hoch-frequente Extremfall von $T \ll RC$ getestet. Schaut man genau hin, so erkennt man, dass die eine Kurve (dreieckförmige) das Integral über die Rechteckspannung ist, denn der Flächeninhalt unter einem Rechteck mit fester Höhe h und zunehmender Breite x nimmt linear mit x zu.

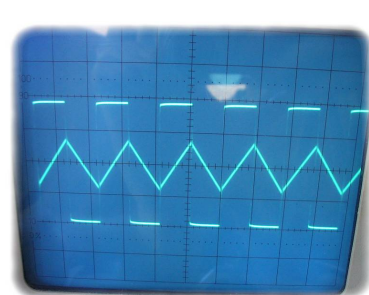
Es wurden also die erwarteten Relationen gemessen.



$T \gg RC$



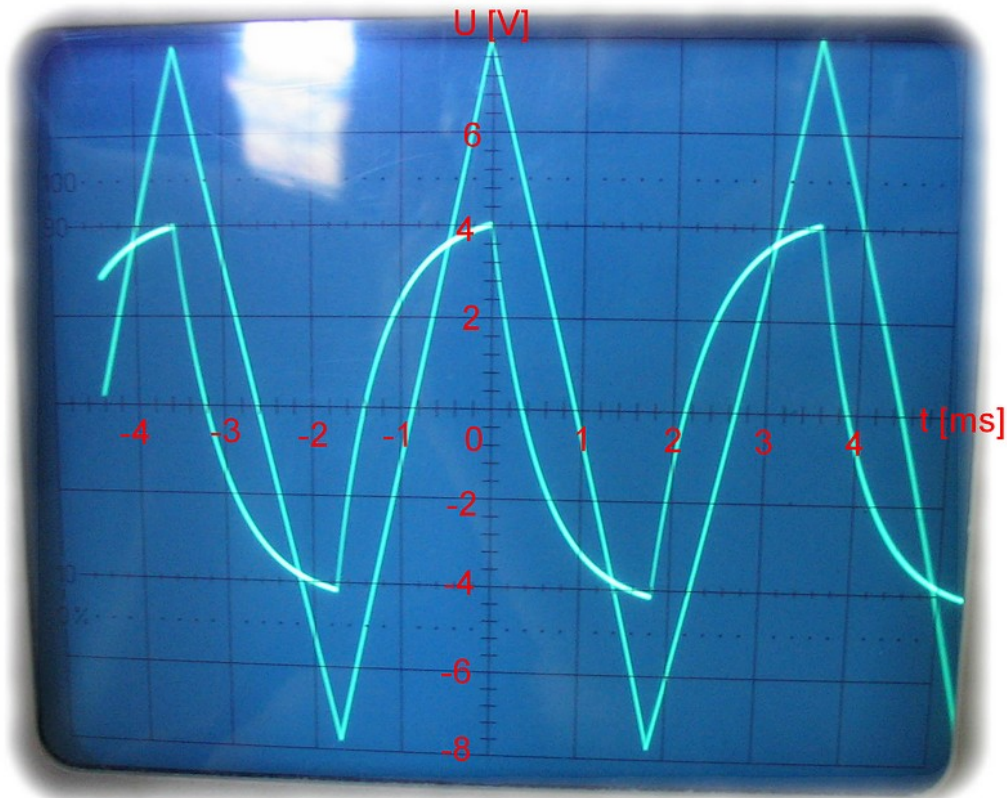
$T \approx RC$



$T \ll RC$

2.4 RC-Phasenverschieber

Der Aufbau ist erneut eine RC -Reihenschaltung (mit $R = 1k\Omega$, $C = 0,47\mu F$), es wird eine Sinusspannung als Eingangssignal angelegt, als Ausgangssignal dient die Spannung am Widerstand. Die Frequenz soll dabei so eingestellt sein, dass $\hat{U}_0 = 2\hat{U}_R$. Wir stellten die Spannung auf 8V ein, denn dies war die maximale Größe (weniger Messfehler!), die noch als Bild innerhalb der Skala des Oszilloskops darstellbar war und stellen die zweite Spannung auf die Hälfte, also 4V ein.



Es ergaben sich folgende Messwerte:

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
y1-Skalierung	Volt/cm	2	abgelesen
y2-Skalierung	Volt/cm	2	abgelesen
x-Skalierung	ms/cm	1	abgelesen
Spannung y1	cm	4	gemessen
Spannung y1	Volt	8	berechnet
Spannung y2	cm	2	gemessen
Spannung y2	Volt	4	berechnet
Periodendauer	cm	3,6	gemessen
Periodendauer	ms	3,6	berechnet
Frequenz	Hertz	277,8	berechnet

Es gilt wieder $T \gg RC$. Wichtig ist hier nun die Phasenverschiebung und die Frequenz. In der Vorbereitung wurden bereits theoretische Werte hergeleitet: $f = 195Hz$ und $\varphi = 60^\circ$. Wir sehen bereits, dass die Frequenz nicht ganz so gut getroffen wurde - es ergibt sich immerhin eine Abweichung von 42% vom theoretischen Wert. Dafür gibt die Phasenverschiebung Anlass zur Freude: Um die Phasenverschiebung herauszukriegen, misst man den Abstand zweier Nullstellen, wobei je eine Nullstelle von der einen und die andere von der anderen Spannungskurve herrührt. Dieser (horizontale) Abstand wird mit dem Wert am *Time/Div*-Regler multipliziert. Teilt man durch die Periodendauer, so ergibt das den Winkel in Bogenmaß. Diesen kann man dann durch Multiplikation mit $180^\circ/\pi$ in Grad angeben:

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
x-Skalierung	ms/cm	1	abgelesen
Abstand Nullstellen	cm	0,6	gemessen
Abstand Nullstellen	ms	0,6	berechnet
Phasenverschiebung	Bogenmaß	1,05	berechnet
Phasenverschiebung	Grad	60	berechnet

Also der Winkel korrekt gemessen worden, die Durchführung war somit erfolgreich.

3 Addieren und Subtrahieren von Signalen

Beim Addieren und Subtrahieren von Signalen wurden zwei Eingangssignale (*Dual-Modus!*) mittels *Add* oder *Invert* überlagert. Beim Verändern von Amplitude und Frequenz der Signale fanden sich auch experimentell die schon erwarteten Zusammenhänge:

- $f_1 \neq f_2$: Je unterschiedlicher die beiden Frequenzen sind, umso unperiodischer wird das Bild aussehen
- $f_1 \approx f_2$: die Höhe der Maxima schwankt periodisch. Dies trägt die Bezeichnung *Schwebung* mit $f_{Schwebung} = |f_1 - f_2|$
- $f_1 = f_2$: mit $\tan \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$ und $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$ ergibt sich:

$$A \sin(\omega t + \varphi) = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega t + \varphi_2).$$

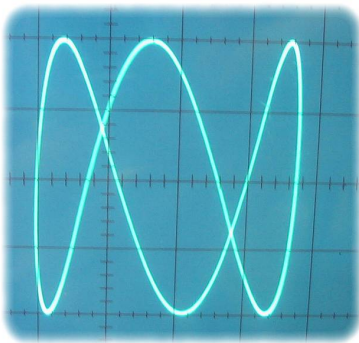
Sind die beiden Signale in Phase ($\varphi_1 = \varphi_2$), so folgt $A = A_1 + A_2$; sind sie in Gegenphase ($\varphi_1 = \varphi_2 + \frac{\pi}{2}$), gilt $A = A_1 - A_2$ (sog. *konstruktive*, bzw. *destruktive* Interferenz). Haben die Signale außerdem noch die gleiche Amplitude ($A_1 = A_2$), so erhalten wir für $A = 2A_1$, bzw. $A = 0$ bei Gegenphase.

Schwebung und konstruktiv überlagerte Welle (es ergab sich bei gleicher Frequenz eine Welle doppelter Amplitude, bei gleicher Amplitude der Einzelwellen) ließen sich leicht herstellen, teilweise war feinjüstierung an den Frequenz- und Amplitudenrädern etwas schwierig. Bei stark unterschiedlichen Frequenzen war kein harmonisches Bild erkennbar.

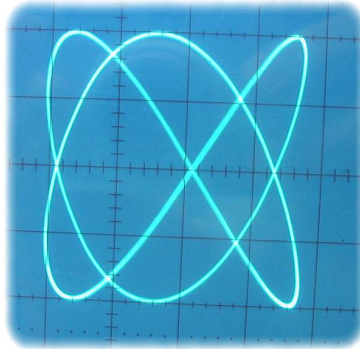
4 X-Y-Darstellungen

4.1 Lissajous-Figuren

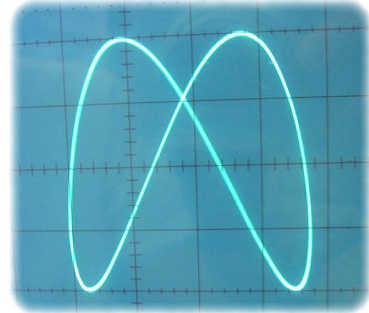
Durch Drücken der Taste „x-y“ legten wir die Eingangsspannung von Kanal II auf die Ablenkung des Oszilloskopstrahls in x-Richtung. Der Verlauf der Spannung an Kanal I wird also über der Spannung an Kanal II aufgetragen. Wir legten an beide Kanäle eine Sinusspannung gleicher Amplitude, aber variabler Frequenz. Während wir die eine Frequenz auf konstant $f_1 = 100$ Hz beließen, variierten wir die zweite Frequenz f_2 so lange, bis wir folgende geschlossene Kurven erhielten:



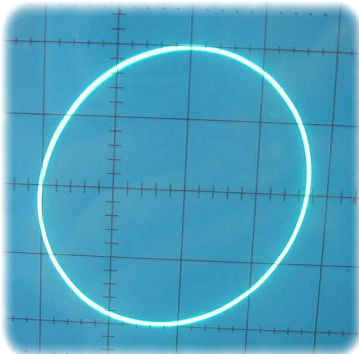
$f_2 = 35$ Hz



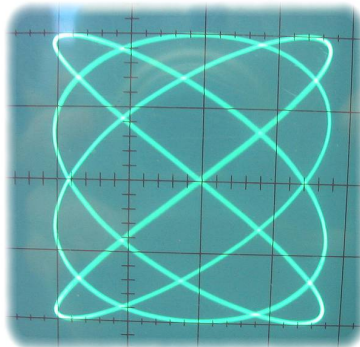
$f_2 = 70$ Hz



$f_2 = 50$ Hz



$f_2 = 100$ Hz



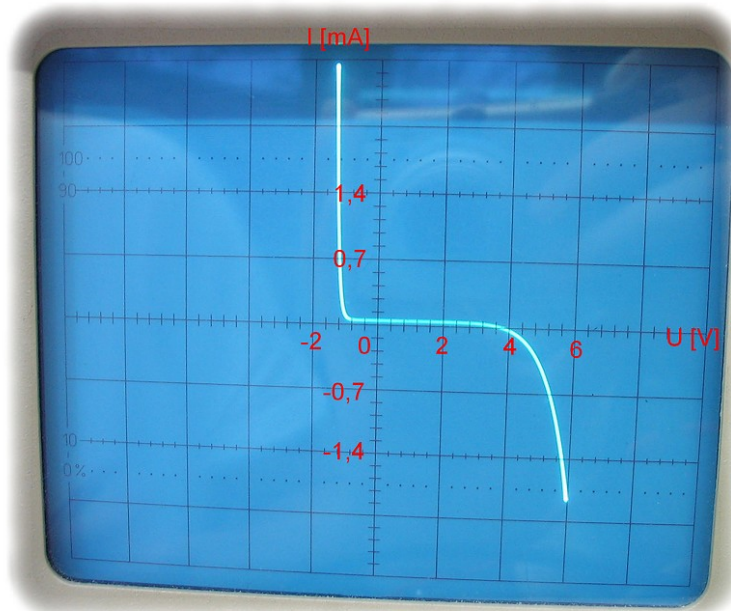
$f_2 = 140$ Hz

Wie erwartet ergab sich für $f_1 = f_2$ ein Kreis!

4.2 Kennlinien

4.2.1 Zener-Diode (Z-Diode)

Die Kennlinie eines Bauteils ist der Strom aufgetragen über der Spannung. Da das Oszilloskop aber nur Spannungen messen kann, benutzten wir einen Lastwiderstand von $R = 6,8$ k Ω . Die Skalierung der y-Achse betrug 5 Volt / cm, die der x-Achse 2 Volt / cm. Mit der Formel $I = \frac{U}{R}$ ergibt sich für die Skalierung der y-Achse mit 0,7 mA / cm!



Dies spiegelt den charakteristischen Verlauf einer Zener-Diode wieder: in Durchlassrichtung (im Bild links) leitet die Z-Diode schon für sehr kleine Spannungen, bei ca. 1 Volt. In Sperrichtung (rechts) wird eine hohe Spannung (die sog. Durchschlagsspannung) benötigt, um einen Strom fließen zu lassen. Aus dem Oszillographenbild lässt sich ablesen, dass die Durchschlagsspannung bei ca. 5,5 V liegen muss. Physikalischer Hintergrund:

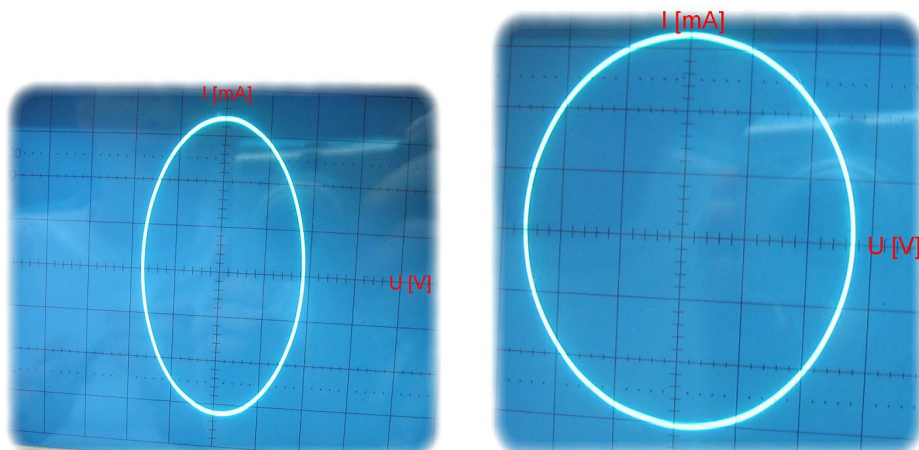
Das elektrische Feld, bewirkt durch die angelegte Spannung, löst Valenzelektronen aus. Dies führt dazu, dass der Sperrbereich nicht mehr frei von beweglichen Ladungsträgern ist. Diese freien Elektronen werden bei der Zener-Diode ab 5,5V so stark beschleunigt, dass durch Stöße mit anderen Atomen weitere Valenzelektronen herausgelöst werden, was die Stromstärke erheblich ansteigen lässt (ähnlich einer Kettenreaktion).

4.2.2 Kondensator

Rein rechnerisch beträgt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung bei einem idealen Kondensator ($R = 0$):

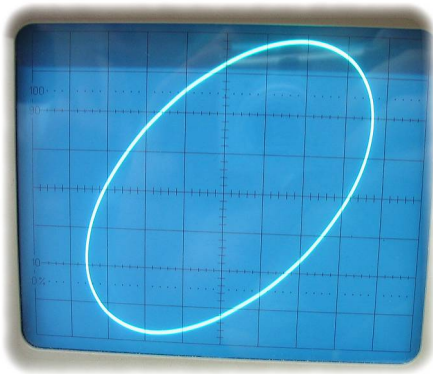
$$\varphi = \arctan\left(\frac{1}{\omega CR}\right) = \arctan\left(\frac{1}{\omega C \cdot 0}\right) = \arctan(\infty) = \frac{\pi}{2}$$

Die Kennlinie müsste demnach je nach Frequenz einen Kreis oder eine Ellipse (mit nicht gedrehten Hauptachsen) ergeben. Der Kondensator erwies sich als ziemlich „ideal“, die Auswirkung des eigentlich nicht zu vermeidenden Lastwiderstandes ist nicht zu erkennen:

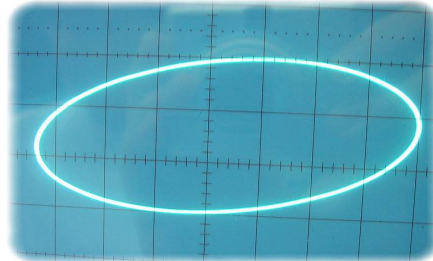


4.2.3 Reihenschaltung aus Kondensator und Widerstand

Mit dem Einbau eines zusätzlichen Lastwiderstandes ist die Phasenverschiebung $\varphi \neq \frac{\pi}{2}$, auf dem Oszillographen erscheint eine schräge Ellipse:



Frequenz I



Frequenz II

Die Bestimmung der Phasenverschiebung nahmen wir allerdings in der t-y-Darstellung vor. Um die Messfehler gering zu halten, wählten wir sowohl für die Messung der Phasenverschiebung als auch zur Messung der Periode eine möglichst große Skalierung, was etwas kompliziertere Umrechnungen mit den Skalierungsfaktoren erfordert.

- Messung mit Frequenz I:

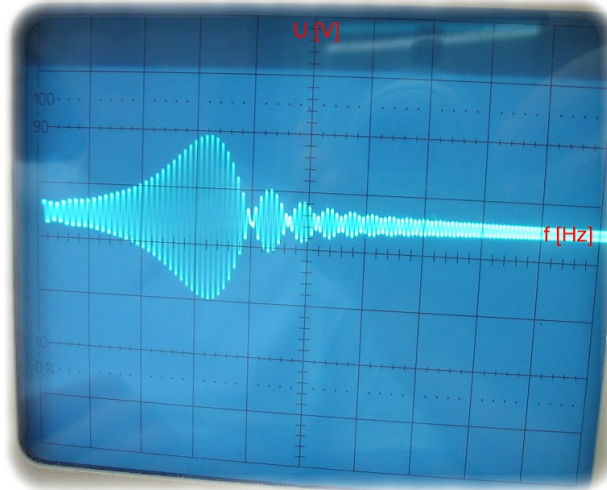
Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Phasenverschiebung	cm	2	Messwert
Skalierung Zeitachse	ms/cm	1	Einstellung Oszilloskop
Phasenverschiebung	ms	2	Phasenverschiebung * Skalierung Zeitachse
Periode	cm	6	Messwert
Skalierung Zeitachse	ms/cm	2	Einstellung Oszilloskop
Periode	ms	12	Periode * Skalierung Zeitachse
Frequenz	Hertz	83,3	1/Periode
Phasenverschiebung	Grad	60,0	Phasenverschiebung/Periode*360

- Messung mit Frequenz II:

Größe	Einheit	Wert	Herkunft
Phasenverschiebung	cm	1,8	Messwert
Skalierung Zeitachse	ms/cm	0,5	Einstellung Oszilloskop
Phasenverschiebung	ms	0,9	Phasenverschiebung * Skalierung Zeitachse
Periode	cm	4,4	Messwert
Skalierung Zeitachse	ms/cm	1	Einstellung Oszilloskop
Periode	ms	4,4	Periode * Skalierung Zeitachse
Frequenz	Hertz	227,3	1/Periode
Phasenverschiebung	Grad	73,6	Phasenverschiebung/Periode*360

4.3 Resonanzverhalten eines Parallelschwingkreises

Unter einem Schwingkreis versteht man eine Parallelschaltung aus Kondensator und Spule. Regt man einen solchen Schwingkreis mit einer äußeren Frequenz f an, so zeigt sich, dass für eine bestimmte Frequenz eine maximale Spannungsamplitude erreicht wird - diese Frequenz heißt Resonanzfrequenz. Deshalb wäre es wünschenswert, auf der x-Achse des Oszilloskops statt der Zeit die Frequenz aufzutragen, was mit der Methode des Wobbelns realisiert wurde: die Sägezahnspannung des Oszilloskops benutzen wir zur periodischen Frequenzvariation des Wechselstromgenerators. Ergebnis ist die folgende Resonanzkurve:

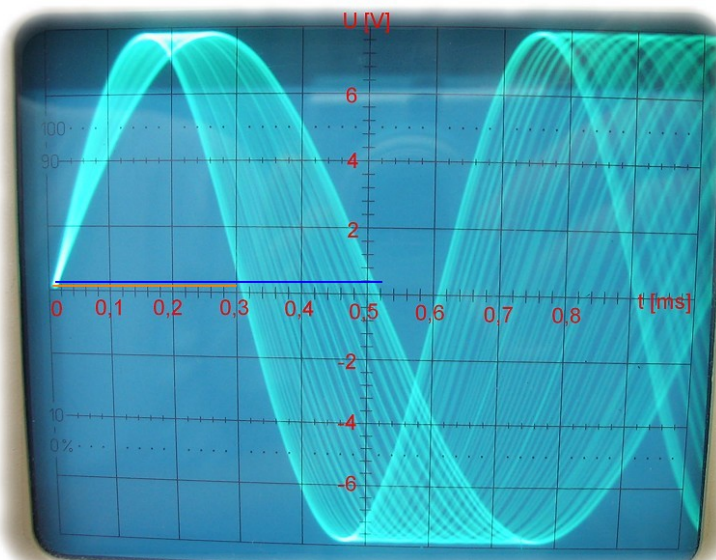


5 Frequenzmodulierte Schwingung

Die frequenzmodulierte Schwingung erzeugten wir dadurch, dass wir den Ausgang des ersten Sinusgenerators an den Eingang des zweiten Generators legten, und so technisch eine Modulation der Schwingung herstellten. Wie in der Vorbereitung gezeigt, berechnet sich der Frequenzhub $\Delta\omega$ wie folgt:

$$\Delta\omega = \pi \left(\frac{1}{T_{min}} - \frac{1}{T_{max}} \right)$$

Wir benötigen also die maximale und die minimale Periodendauer. Um diese zu messen, stellten wir mit Hilfe des Triggers stehende Wellen dar, bei denen beide Zeitintervalle ablesbar sind. Das sah auf dem Oszilloskop folgendermaßen aus (die richtige Skalierung ist anhand der Einstellungen am Gerät eingetragen):



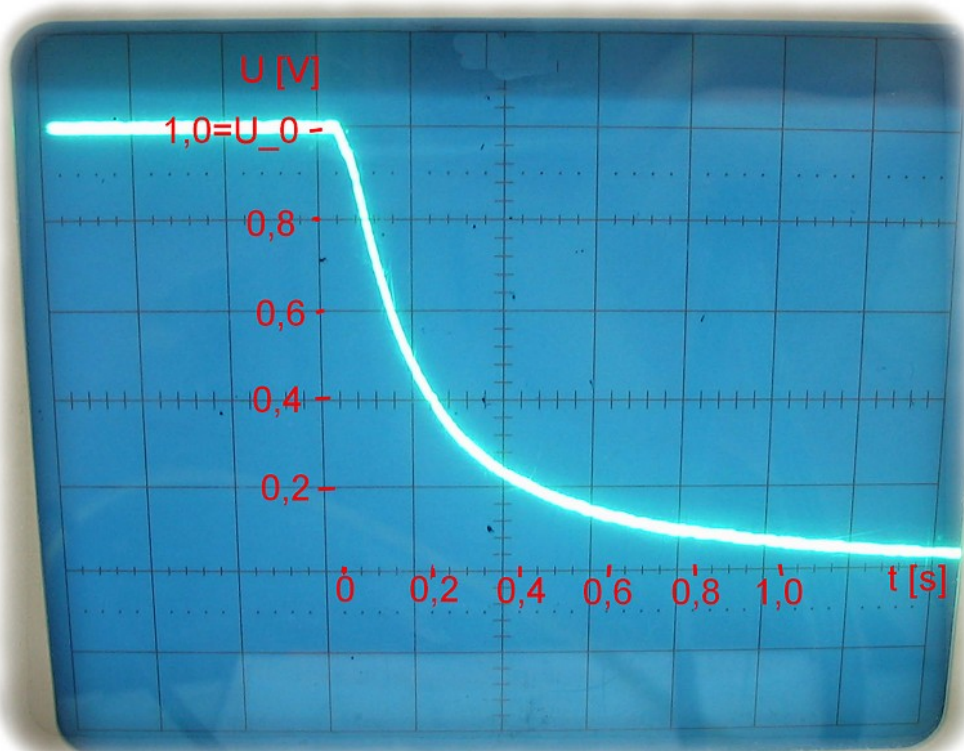
Wir lesen ab:

- T_{min} (orangefarbener Strich): 0,31 ms
- T_{max} (blauer Strich): 0,52 ms

Nach obiger Formel beträgt der Frequenzhub $\Delta\omega = 4093s^{-1}$

6 Speichereinheit des Oszilloskops

Zunächst einmal stellen wir den Wechselstromgenerator auf Rechteckspannung und eine sehr niedrige Frequenz, um eine Gleichspannung zu bekommen, da keine Gleichspannungsquellen zur Verfügung standen. Mittels der Speichereinheit des Oszilloskops zeichneten wir folgenden Spannungsverlauf für den Entladevorgang eines Kondensators $C = 0,47 \mu F$ auf (Skalierung wieder gemäß den Einstellungen am Oszilloskop, Koordinatensystem angepasst):



In der Vorbereitung haben wir gezeigt: aus der Funktion für die Spannung

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

ergibt sich nach dem Widerstand R aufgelöst

$$R = \frac{-t}{C \ln\left(\frac{U(t)}{U_0}\right)}$$

Lesen wir also einige Wertepaare $(U(t), t)$ aus dem Foto ab und errechnen wir damit den gesuchten Eingangswiderstand R des Oszilloskops nach obiger Formel.

t in s	U(t) in V	R in Ω
0,06	0,8	572.096
0,12	0,6	499.817
0,2	0,4	464.407
0,36	0,24	536.717

Leider liegt beträgt der Mittelwert $R = 518.259 \Omega$ nur die Hälfte der zu erwartenden $1.000.000 \Omega$, was allerdings aufgrund der Messungenauigkeit (besonders beim Ablesen aus dem Oszilloskopbild) nicht verwunderlich ist.