

Hinweis

Das vorliegende Protokoll wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde dieses Protokoll von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:

<https://www.physics-and-stuff.com/>

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit des vorliegenden Protokolls! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

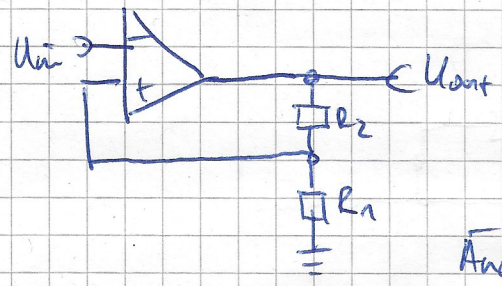
Dieses Werk von [Marvin Zanke](#) ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#).

07.09.2011 Versuch 6: Operationsverstärker

In dem zweiten Teil des Doppelversuchs zum Operationsverstärker geht es um Anwendungen von diesem. Dazu zählen z.B. der Sägezahngenerator, der Exponentierer und der Spannung-Frequenz-Wandler, welche in diesem Versuch alle zusammenschaltet werden, um den Frequenzgang einer Testschaltung halblogarithmisch auf dem Oszillographen darzustellen. Zu den Testschaltungen gehören der Tief- und Hochpass, der Sperrfilter und Resonanzverstärker, sowie der Bandpass.

Theorie

Invertierender Schmitt-Trigger



Teil des Ausgangssignals zurückgeführt auf nicht-invertierenden Eingang.
Änderungen in Ausgangsspannung verstärkt.

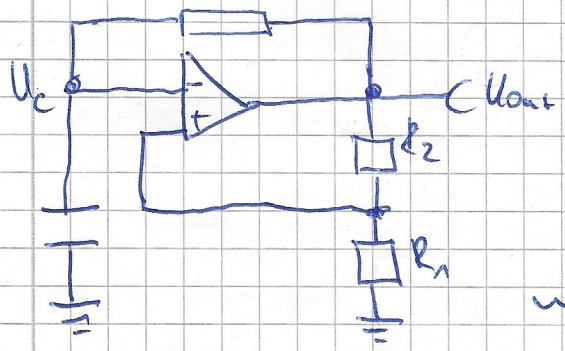
Ausgang an pos. oder neg. Aussteuergränze

$$\Delta U = U_{in+} - U_{in-} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (U_{max} - U_{min}) \text{ Schalthysterese}$$

Sinus signal \rightarrow Rechtecksignal

max. Schaltfrequenz durch max. Stew-rate begrenzt (max. Ampt.gesch. ΔV)
 \rightarrow Komparatoren statt ΔV

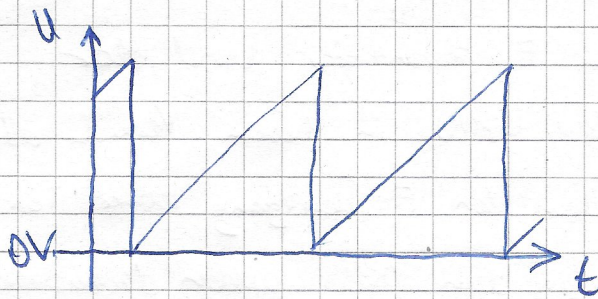
Astabiler Multivibrator



Ausgangssignal $\pm U_{max}$ benutzt zum Auf-/Entladen eines Kondensators
Kondensator entladen \rightarrow lädt sich über R_2 auf (pos.)
bis diese Schaltgrenze \rightarrow Schmitt-Trigger auf U_{in-}
 \rightarrow Kondensator negativ geladen \rightarrow weitere Schaltgrenze
usw.

Sägezahn-generator

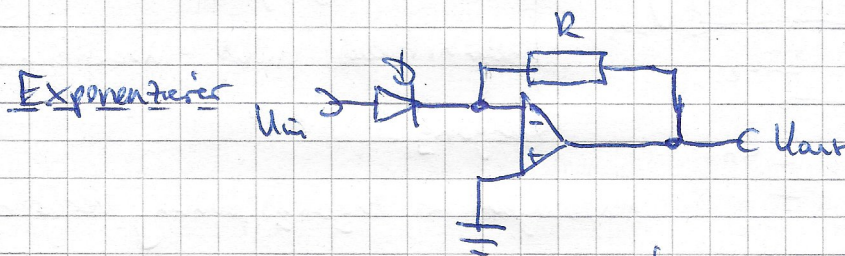
Soll Sägezahnförmiges Signal erzeugen. Spannung steigt linear von 0V auf U_{max} an, fällt schnell auf 0V (asiebler HV)



Ausgangsspannung der Schaltung ist Spannung am Kondensator

0V springt von U_{max} nach U_{min} \rightarrow Spannung am Kondensator beginnt zu sinken: $U_c = U_{min} + (U_{max} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - U_{min}) e^{-\frac{t}{R_2 C}}$
und $\frac{1}{f} = 2R_2 C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$

Je kleiner Ausgangsamplitude, desto linearer das Ausgangssignal
Asymmetrisches Signal indem z.B. Entladung schneller als Aufladung.



$$U_{out} = -R I_0 e^{\alpha U_{in}}$$

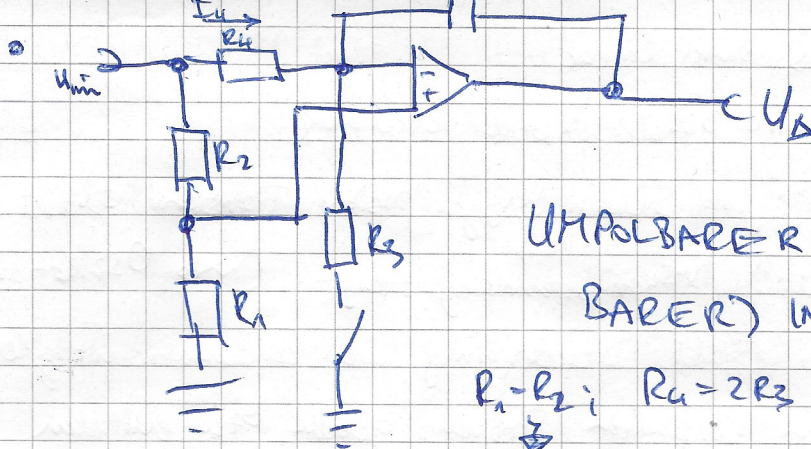
Spannungs-Frequenz-Wandler

Erzeugung eines Dreiecksignals U_D mit konstanter Amplitude, Frequenz proportional zu Eingangsspannung $U_{in} = 0, \dots, 10V$.

\rightarrow Kondensator mit konstantem Strom linear auf-/entladen.
(Strom prop. Eingangsspannung)

\rightarrow Umwandlung Dreiecksignal in Sinussignal

Nochmal detaillierter:



UNIPOLARER (INVERTIERBARER) INTEGRATOR

$$R_1 = R_2; R_4 = 2R_3$$

$$U_+ = U_{in}/2; U_+ = U_-$$

$$\rightarrow I_4 = \frac{U_{in}}{2R_4}$$

erzeugt auf- oder absteigende Flanke

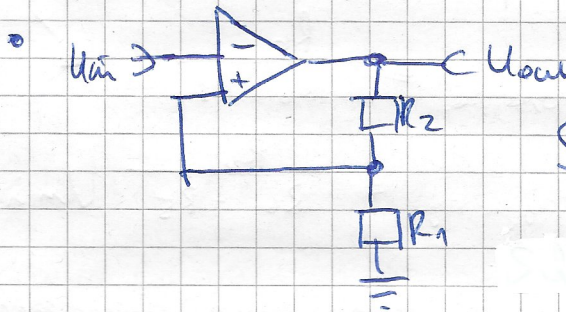
→ Schalter geschlossen: Strom durch R_3

$$I_3 = \frac{0 - U_-}{R_3} = -\frac{U_{in}}{2R_3}$$

$$I_3 + I_4 = \frac{U_{in}}{2R_4} - \frac{U_{in}}{2R_3} = -\frac{U_{in}}{2R_4} = -I_4$$

→ offener Schalter: Strom durch $C \rightarrow \frac{dU_A}{dt} = -\frac{U_{in}}{2CR_4}$

→ Ausgangsspannung mit gleicher Geschwindigkeit



SCHMITT-TRIGGER

→ schaltet zwischen auf- und absteigender Flanke um

→ über Ausgangsspannung U_A des Integrators gesteuert

→ Transistor (Schalter) entweder gesperrt oder durchgeschaltet

(durch Schmitt-Trigger) → Integrator schaltet um

(Basisspannung gegeben durch inv. Schmitt-Trigger;

durch Flanke des Integrators gesteuert).

→ Kondensator ungeladen und Schalter geschlossen positive Spannung U_{in}

→ Ausgangsspannung U_A erreicht obere Schaltschwelle

→ Ausgang negativ und Transistor sperrt

→ U_0 sinkt linear

→ untere Schaltschwelle erreicht

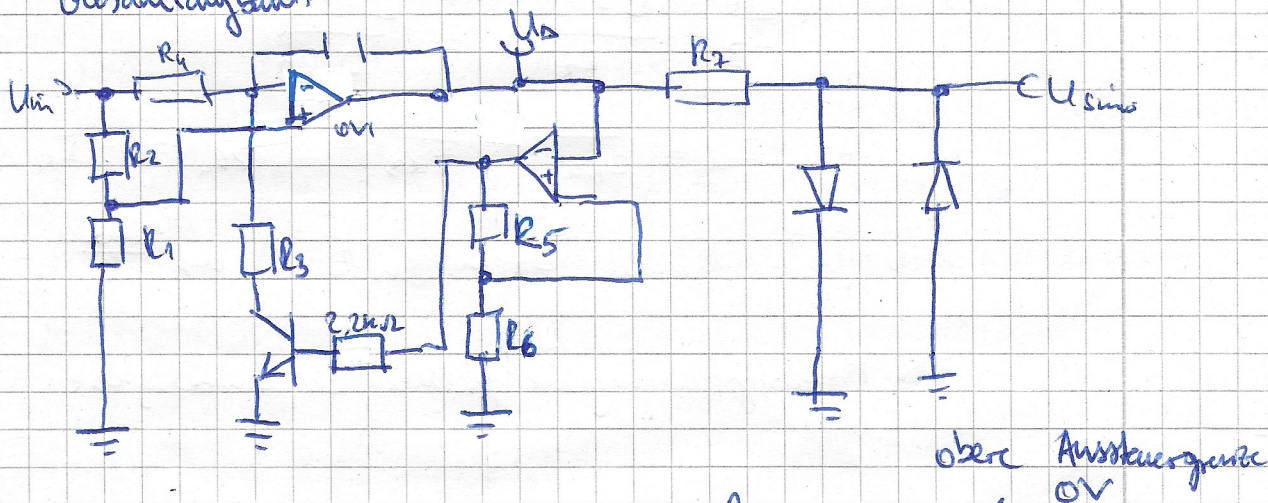
→ Ausgang schneidet Trigger positiv, Transistor schaltet durch und Ausgangsspannung steigt. (→ Oszillation)

U_0 ist exakt Dreieckförmig, weil Kondensator mit gleich großen konstanten Stromen geladen bzw. entladen

Ladestrom ~ Eingangsspannung → Anstiegs-geschw. (Frequenz)

lineare Funktion von U_{in}

Gesamtaufbau:



Schaltschwelle: $U_{trigger, pos.} = \frac{R_6}{R_6 + R_5} U_{max}$

$U_{trigger, neg.} = \frac{R_6}{R_6 + R_5} U_{min}$

Später R_5 = Potentiometer (Einstellung Trigger-Spannungen)

→ länger/kürzer geladen und dadurch Amplitude + Frequenz anders)

- die beiden Dioden wandeln Dreieckssignal näherungsweise in Sinussignal um (sonst Oberwellen) (zu Trapezstet-abgeschnitten)
- gegensätzlich gepolt; zwischen Ausgang und Masse

Versuchsaufbau und Durchführung

Bedanken für Spannungsfrequenzwandler: 2 OV's + Transistor vom Schaltbrett. OV-Bretter werden ans Netzteil angeschlossen. Wir bauen dann den unpolaren Integrator mit $R_1 = R_2 = 47k\Omega$, $R_3 = 600k\Omega$, $R_4 = 220k\Omega$ und $C = 0,1\mu F$ auf.

Mit DC von 3V schaut man sich die Ausgangsspannung an und beobachtet das Verhalten dieser, falls R_3 mit Masse verbunden wird bzw. offen gelassen wird. Anstiegsgeschwindigkeit variabel?

Man fügt außerdem den Transistor in die Schaltung ein, welcher mit positivem Bias und positiver Spannung an der Basis durchgeschaltet wird.

Als nächstes baut man den Schmitt-Trigger auf und verbindet Integrator und Trigger sowie Transistor. Die Schaltung müsste dann schwingfähig sein und die Frequenz variabel mit der Eingangsspannung.

Mit R_7 werden die beiden Dioden als Begrenzungsschaltungen eingebaut und R_5 wird durch einen Potentiometer ersetzt. Hier wird wieder das Ausgangssignal beobachtet. Man misst den Frequenzgang aus (Eingangsspannung messen, Periode ablesen).

Die Schaltungen aller Gruppen werden als letztes zusammengesetzt, wobei der Ausgang des Sägezahngenerators mit dem Eingang des Exponentierers verbunden wird. Der Ausgang des Exponentierers wird mit dem Eingang des spannungsgesteuerten Sinusgenerators verbunden. Zwischen Generator und Oszillograph kommt dann jeweils die zu untersuchende Schaltung.

Man misst einen Hoch- (Tiefpass aus (einfach) und kaskadierte Tiefpässe, sowie einen Bandpass und Sperrfilter. Außerdem wird die Frequenzantwort

Erregung: DC 3V

Wenn R_3 offen gelassen \rightarrow Ausgangssignal negativ mit 15V;

Wirkel: invertierend

Wenn R_3 an Masse \rightarrow Ausgangssignal 13V positiv

Anstiegsgeschwindigkeit steigt mit größerem U_{in}

Bei bestimmter Spannung schaltet Transistor durch oder sperrt

Bild 10.19

x-Skala: 20 μ s, y-Skala: 1V

mit $R_3 = 1k\Omega$, $R_4 = 2,2k\Omega$, $C = 10nF$

$\updownarrow R_2$ immer

Bild 10.23

x-Skala: 5 $\frac{ms}{cm}$, y-Skala: 0,1 $\frac{V}{cm}$

$R_3 = 100k\Omega$, $R_4 = 220k\Omega$, $C = 0,1\mu F$

mit Dioden

$R_4 = 3,44k\Omega$
 $R_5 = 29,2k\Omega$

Eingangsspannung U_{in}	Periode T
1,722 V	17,5 ms
3,46 V	50 μ s
7,0 V	26 μ s
14,07 V	16 μ s
45,86 V	15 μ s

Bild 12.29

Tiefpass 2. Ordnung

12.32

Hochpass 1. Ordnung

12.40

Spezifiler

12.45

Resonanzverstärker

Joko Krieger

Auswertung 1

Teil 1 Wir hatten den Spannungs-Frequenzwandler als Aufbau, mit welchem wir uns ausführlicher beschäftigt haben.

Nachdem man das OV-Brett ans Netz angeschlossen hat und das andere Brett über dieses mit Strom versorgt, baut man den unipolaren Integrator wie im Aufbau beschrieben auf.

Mit einer Gleichspannung von $U=3V$ aus dem regelbaren Netzgerät schaut man sich die Ausgangsspannung an, bei Änderung von R_3 - einmal R_3 auf Masse legen und einmal offen lassen.

Wenn R_3 offen bleibt, so ist das Ausgangssignal negativ mit $-15V$.

Die Schaltung wirkt also invertierend. Wenn man R_3 an Masse anschließt, erhält man ein positives Ausgangssignal von $U=15V$.

Erhöht man U_{in} , so erhöht sich auch die Antriebsgeschwindigkeit, die Zeitspanne die das Signal braucht, um die jeweils andere Spannung zu erreichen wird also kleiner.

Schaltet man nun den Transistor in die Schaltung dazu, so sperrt dieser oder schaltet durch, je nach der angelegten Spannung. Beim Durchschalten liegt R_3 auf Masse und beim sperren liegt der Widerstand offen abgeschlossen.

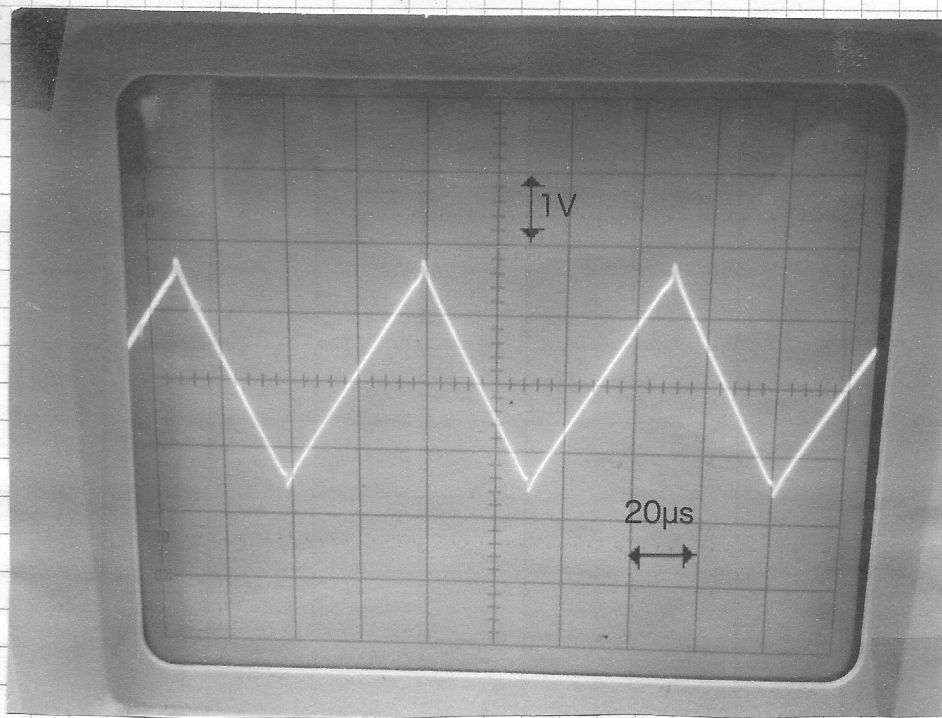
Baut man nun noch den Schmitt-Trigger auf Brett 2 auf und schaltet diesen dazu, so erhält man eine schwingende Schaltung, dessen Frequenz mit der Eingangsspannung geregelt werden kann.

Tauscht man $R_3 = 100k\Omega$, $R_4 = 220k\Omega$, $C = 0,1\mu F$ aus mit $R_3 = 1k\Omega$, $R_4 = 2,2k\Omega$, $C = 10nF$ ($R_7 = 470\Omega$ gilt

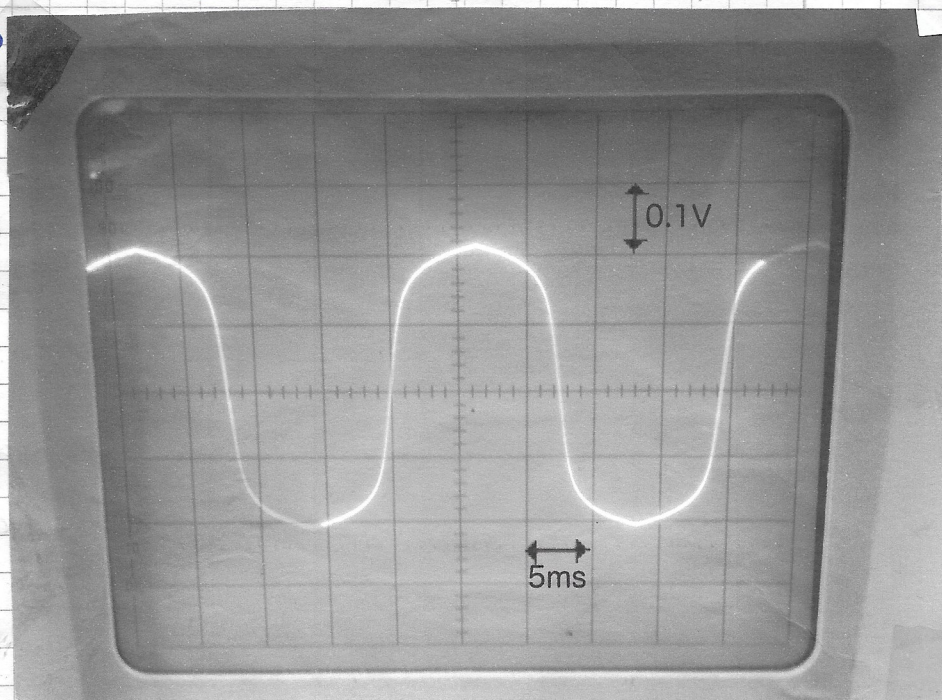
immer) so erhält man höhere Frequenzen.

Auf dem Oszilloskop erhält man für diese Werte dann folgendes Dreieckssignal (leicht asymmetrisch)

Why does the script say that R_7 is first needed if we include the 2 diodes?



Als letztes schaltet man die beiden Dioden als Begrenzungsschaltung dazu um das Signal in eine Art Trapezform zu bringen. Dazu ersetzt man R_4, R_5 auch durch ein Potentiometer (0... 47kΩ) und tauscht die Widerstände wieder zu: $R_3 = 100kΩ$, $C = 0,1µf$. Mit dem Potentiometer kann man das Signal (hohe und tiefe Frequenzen) symmetrischer machen und die Frequenz verändern. Die Amplitude kann man ebenfalls benutzen, um das Signal möglichst sinusförmig zu machen. Für die Feinjustierung $R_4 = 3,4kΩ$, $R_5 = 29,2kΩ$ haben wir folgendes Oszillogramm beobachtet:



Wir haben leider vergessen für $U_i = 0 \dots 10V$ zu schauen, welchen Frequenzbereich wir einstellen können, allerdings kann man die Messung der nächsten Aufgabe benutzen um diesen abzuschätzen zu $[0 \dots 50.000] Hz$.

Man sollte man den Frequenzgang noch einmal etwas genauer messen. Dazu nimmt man die Eingangsspannung parallel mit dem Voltmeter ab und liest die Periode T am Graphen ab. Dabei haben wir mit der kleinstmöglichen Eingangsspannung angefangen und diese wie verlangt - jedes Mal verdoppelt. Man erhält so folgende Tabelle:

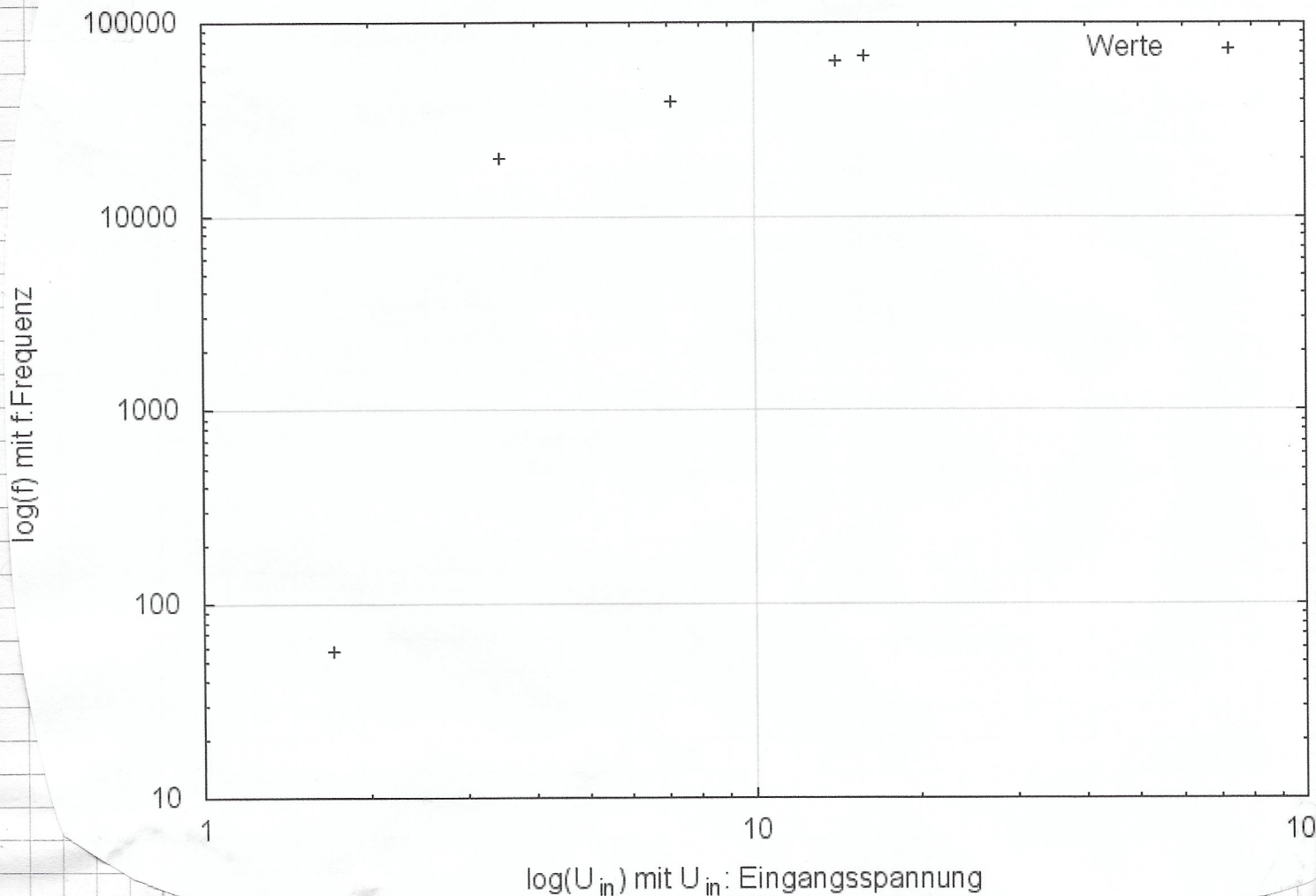
Eingangsspannung U_{in} in V	Periode T in s	Frequenz f in Hz
1.72E+00	1.75E-02	5.71E+01
3.46E+00	5.00E-05	2.00E+04
7.07E+00	2.60E-05	3.85E+04
1.41E+01	1.60E-05	6.25E+04
1.59E+01	1.50E-05	6.67E+04

Trägt man nun die Frequenz f in Hz gegen die Eingangsspannung U_{in} in V auf, so erwartet man eine Gerade, da die Eingangsspannung den Kondensator linear lädt. Wir tragen unser Diagramm allerdings doppellogarithmisch auf, sodass wir hier auch einen Logarithmus erhalten.

Dabei sieht man dann auch nochmal, dass die Schaltung für die Frequenz über 4 Dekaden genutzt werden kann.

Die Spannung ist sowieso durch $U = 0 \dots 15V$ begrenzt und bleibt demnach innerhalb von 2 Dekaden.

Doppellogarithmisch Frequenz gegen Eingangsspannung



Teil 2

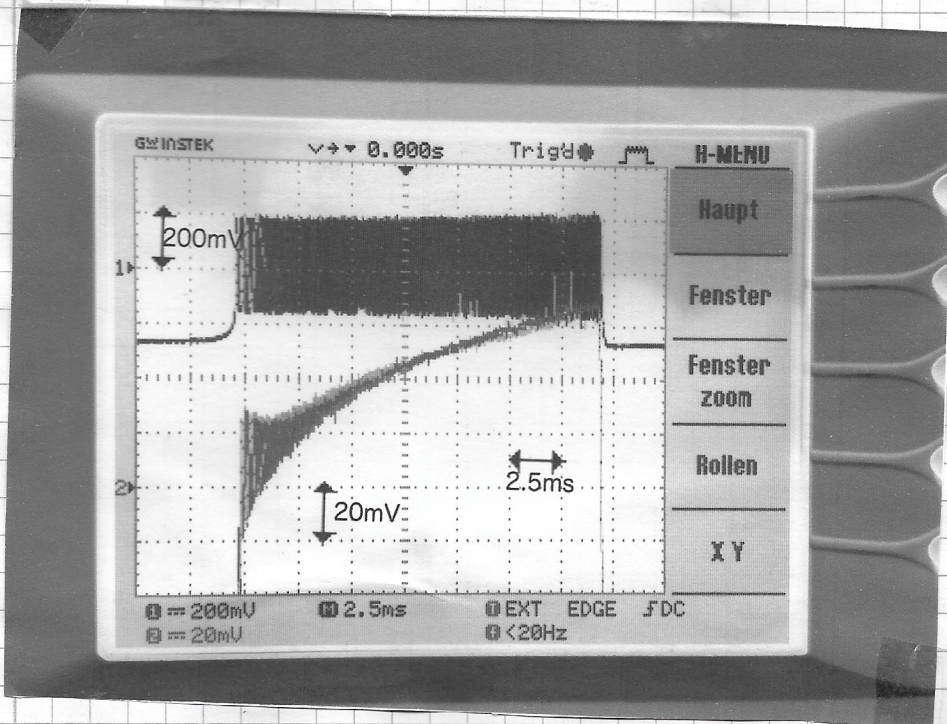
Im zweiten Teil des Versuchs sollen die Schaltungen 1-3 der Gruppen dann zusammengesetzt werden. Das heißt auf dem Sägezahngenerator folgt der Exponentierer, gefolgt von dem Spannungs-Frequenz-Wandler. Die zu testende Schaltung und der Oszillograph folgen danach.

Für den Tiefpass (Hochpass) erwartet man natürlich hohe Intensitäten für kleine (große) Frequenzen und fast verschwindende

Bandpass
 ↳ Resonanz-
 Verstärker?

Signale für hohe (kleine) Frequenzen. Der Sperrfilter sollte einen bestimmten Frequenzbereich blockieren, d.h. dass das Ausgangssignal dort kleine Intensitäten aufweist, während der Resonanzverstärker (angew. zum Bandpass, allerdings reaktive!) eine bestimmte Frequenz (Frequenzbereich) passieren lassen soll.

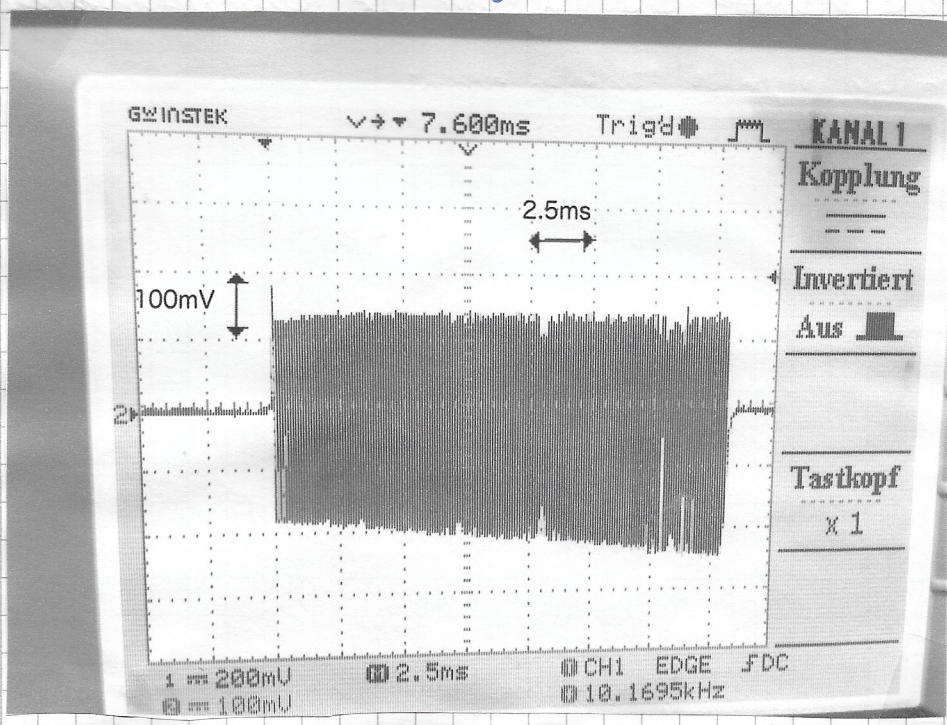
Mit dem wie im Skript beschriebenen Aufbau der Menschaltung misst man nun zuerst den Tiefpass (3. Ordnung) durch mit $R=1k\Omega$, $C=47nF$ und erhält:



Das obere Signal (obere Skala: 200mV) ist das Eingangssignal und das untere (untere Skala) ist das Ausgangssignal

Wiederwartet werden tiefe Frequenzen durchgelassen, während hohe blockiert werden.

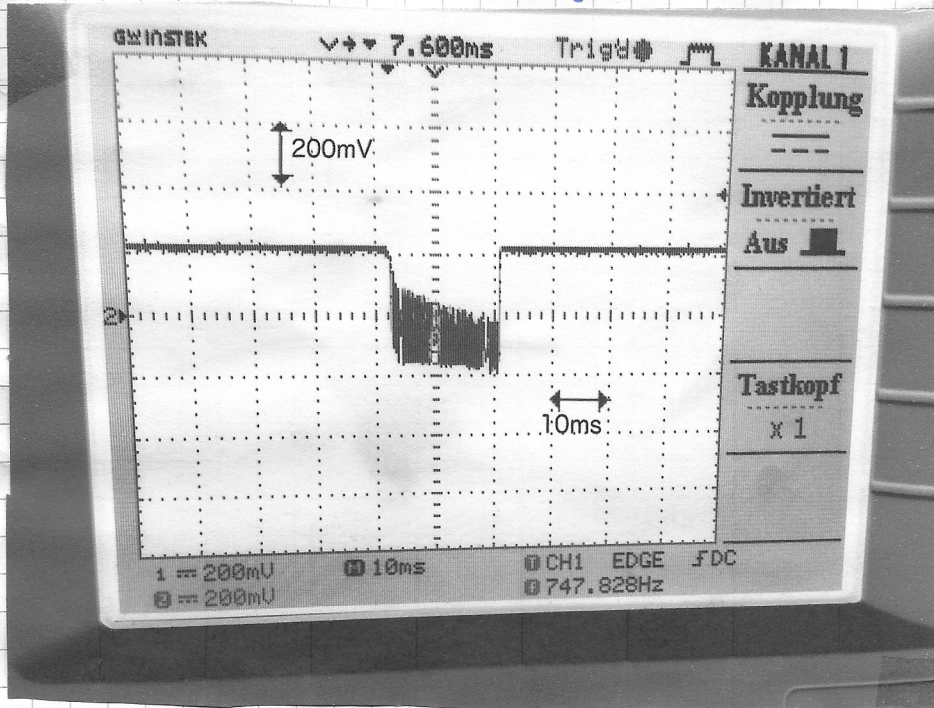
Für den Hochpass ^{1. Ordnung} mit gleichem R und C erhalten wir:



Hier sieht man leider nicht so schön, dass hohe Frequenzen passieren und kleine blockiert werden. Vielleicht haben wir etwas falsch angeschlossen oder der Hochpass war

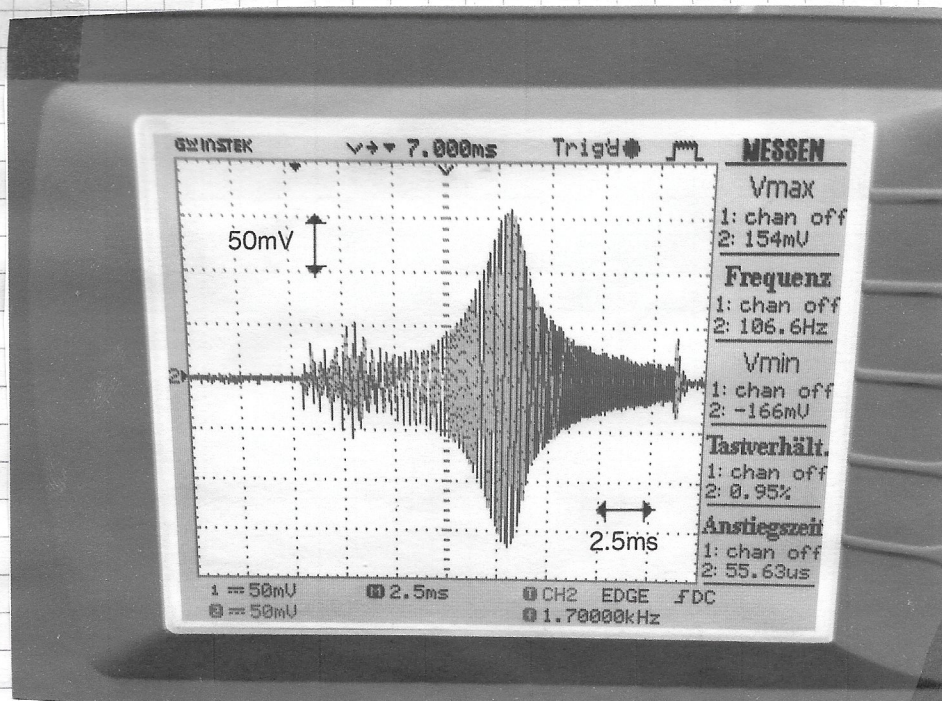
falsch gekoppelt. Eine leichte Tendenz zu größeren Intensitäten für größere Frequenzen ist aber zu erkennen.

Für den Sperrfilter haben wir gesehen:



Auch hier sieht man deutlich, dass ein gewisser Frequenzbereich blockiert wird (Achtung: Nulllinie beachten!).

Unsere letzte gekoppelte Schaltung war der Resonanzverstärker, für welchen wir folgendes gesehen haben:



2
17

Auch hier sieht man schön, dass eine gewisse Frequenz
ganzförmig verstärkt wird.

Fazit: Der Versuch hat leider zu sehr an der Oberfläche
geblieben. Ich habe das Gefühl, kein tieferes Verständnis
über die Funktionsweise der Schaltungen erworben zu haben -
insbesondere die vorgestellten Schaltungen der anderen Gruppen.
5 Minuten reichen einfach nicht um etwas zu verstehen, was
andere sich über Stunden angeeignet haben. Außerdem habe
ich auch das Gefühl, bei unserer Schaltung noch nicht alles
verstanden zu haben, viele Sachen werden einfach als Fakten
dargestellt, ohne im Skript zu erläutern, wieso dies so ist.
Sonst hat unser Aufbau allerdings funktioniert. Probleme
gab es dann wieder beim Zusammensetzen der Schaltungen.
Hier habe ich auch bis jetzt noch nicht verstanden, was
unsere Schaltung überhaupt machen soll.
Das Verknüpfen der Teilschaltungen verlief bis auf den
Hochpass nach den Erwartungen. Dieser lieferte allerdings
ein merkwürdiges Ergebnis.

Checked
13.09.2016
Joko Hüner