

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuchs	1
2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	1
3	Auswertung und qualitative Beobachtungen	3
3.1	Qualitative Beobachtung der Reaktion der Schaltungen auf Spannungssprünge . .	3
3.1.1	Hochpassfilter 1	3
3.1.2	Hochpassfilter 2	3
3.1.3	Tiefpassfilter 1	5
3.1.4	Tiefpassfilter 2	5
3.2	Messung des Frequenzgangs eines Hochpassfilters	7
4	Diskussion	12
4.1	Qualitative Beobachtung der Reaktion der Schaltungen auf Spannungssprünge . .	12
4.2	Messung des Frequenzgangs eines Hochpassfilters	12
4.3	Fehlerquellen	13
A	Anhang	14
B	Abbildungen	14
B.1	Rohdaten	16

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch sollten zunächst zwei Hoch- und zwei Tiefpassfilter erster Ordnung gelötet und danach qualitativ auf ihr Verhalten untersucht werden. Anschließend sollte für einen dieser Frequenzfilter der Frequenzgang gemessen werden. Zuletzt sollte noch ein Frequenzfilter höherer Ordnung gelötet und an diesem wie zuvor der Frequenzgang untersucht werden.

2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Zur Durchführung des Versuchs standen ein Funktionsgenerator, ein Oszilloskop, eine Lötstation, verschiedene Kabel, Platinen und verschiedene Kondensatoren, Spulen und Widerstände zur Verfügung.

Aus den Bauteilen wurden die Schaltungen in Abb. 1 zusammengelötet. Zunächst wurde der Hochpassfilter 1, dargestellt in Abb. 1a, zusammengelötet. Für die Schaltungen mit einem Kondensator (Abb. 1a und 1d) wurde aus den verfügbaren Bauteilen ein Widerstand von $R_1 = 1,8\Omega$ und ein Kondensator der Kapazität $C = 1\mu\text{F}$ gewählt, da hierbei die Grenzfrequenz in einem gut messbaren Bereich erwartet wurde. Für die Schaltungen mit einer Spule (Abb. 1b und 1c) und einem Widerstand wurde aus den selben Überlegungen ein Widerstand von $R_2 = 2,2\text{k}\Omega$ und eine Spule der Induktivität $L = 10\text{mH}$ gewählt. Dabei wurden aus Drahtstücken Haken zur besseren Befestigung der Krokodilklemmen an den Schaltungen dazugelötet. Anschließend wurde vom Funktionsgenerator der eine Ausgang mit einem Koaxialkabel direkt mit dem ersten Kanal des Oszilloskops verbunden, der andere Ausgang wurde mit dem jeweiligen Frequenzfilter verbunden und dann mit dem zweiten Kanal des Oszilloskops verbunden.

Daraufhin wurden Funktionsgenerator und Oszilloskop angeschaltet. Am Funktionsgenerator wurde eine Rechtecksspannung eingestellt. Der Funktionsgenerator wurde auf die Frequenz eingestellt, an der die Grenzfrequenz erwartet wurde. Danach wurde der auto-Knopf des Oszilloskops verwendet, um das Bild so einzustellen, dass das Signal gut sichtbar war. Die Frequenz des Funktionsgenerators wurde angepasst, bis der tatsächliche Bereich der Grenzfrequenz gefunden war. Für jede Schaltung wurde ein Bild des Signals jeweils deutlich über, deutlich unter und im Bereich der Grenzfrequenz aufgenommen und auf einem USB-Stick gespeichert. Am Oszilloskop wurde bei Aufnahme jedes Bildes die Frequenz abgelesen und notiert.

Für den zweiten Teil des Versuchs wurde die Schaltung mit dem Hochpassfilter 1 aus Abb. 1a ausgewählt, da bei dieser am Besten der erwartete Verlauf beobachtet werden konnte. Am Funktionsgenerator wurde eine sinusförmige Spannung ausgewählt. Das Oszilloskop wurde so eingestellt, dass für beide Kanäle (Funktionsgenerator und Frequenzfilter) die Peak-to-Peak-Spannung U_e des Funktionsgenerators und U_a der Schaltung sowie die Phasenverschiebung zwischen den beiden Kanälen angezeigt wurde.

Es wurde die Frequenz eingestellt, bei der die Phasenverschiebung ungefähr -45° betrug. Dann wurde nach und nach die Frequenz erhöht und jeweils die Frequenz, die Spannungen U_e und U_a und die Phasenverschiebung aufgeschrieben. Als eine Phasenverschiebung von ungefähr 0° erreicht war, wurde wieder die Frequenz mit einer Phasenverschiebung von 45° eingestellt und das Verfahren unter schrittweiser Erniedrigung der Frequenz bis zum Erreichen einer Phasenverschiebung von ungefähr -90° wiederholt.

Verschiedene Verzögerungen im Versuchsablauf hatten zur Folge, dass es zeitlich nicht möglich war, einen Frequenzfilter höherer Ordnung zu löten und den gerade beschriebenen Messvorgang für diesen zu wiederholen.

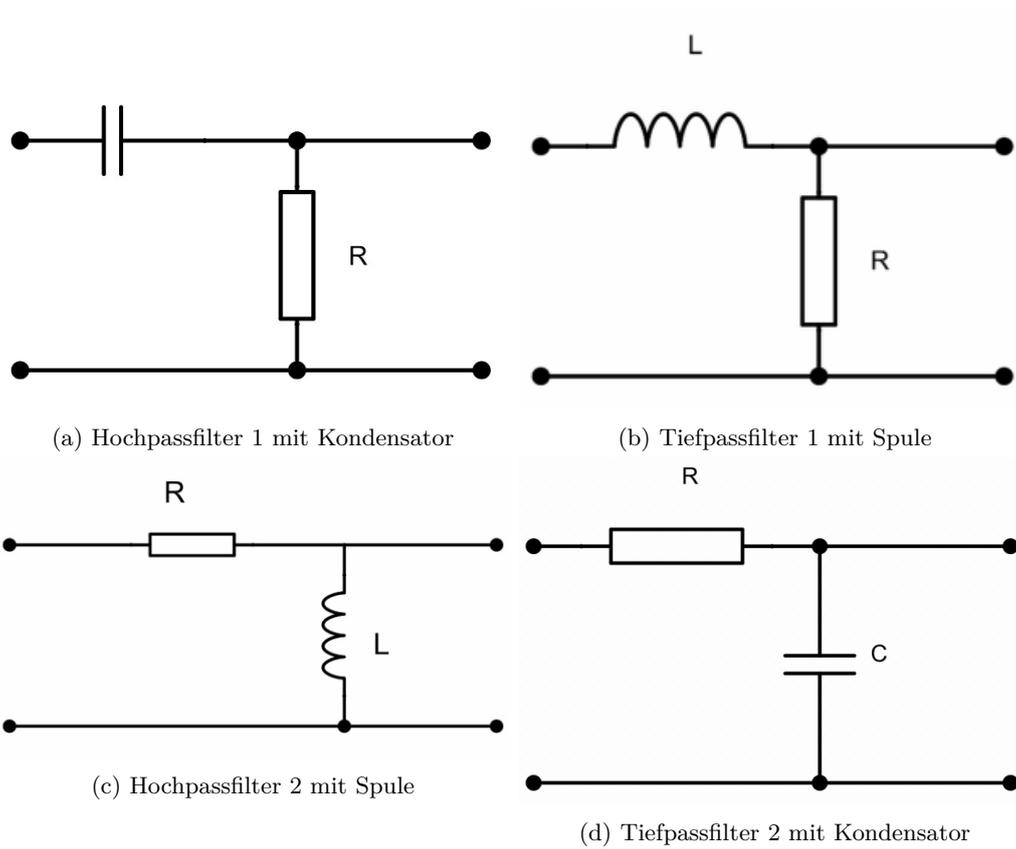


Abbildung 1: Pläne der zu lötenen Hoch- und Tiefpassfilter erster Ordnung

3 Auswertung und qualitative Beobachtungen

3.1 Qualitative Beobachtung der Reaktion der Schaltungen auf Spannungssprünge

Für alle vier Frequenzfilter wurden die Grenzfrequenzen berechnet und anschließend jeweils ein Bild mit einer deutlich geringeren Frequenz, einer im Bereich der Grenzfrequenz und einer Frequenz deutlich über der Grenzfrequenz aufgenommen.

Die Grenzfrequenz f_g für einen Frequenzfilter lässt sich mit

$$f_g = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (1)$$

berechnen, wobei sich die Zeitkonstante einer Schaltung mit Kondensator τ_C durch

$$\tau_C = R \cdot C \quad (2)$$

τ_C und die Zeitkonstante einer Schaltung mit Spule τ_L durch

$$\tau_L = \frac{L}{R} \quad (3)$$

berechnen lässt.

3.1.1 Hochpassfilter 1

Für den ersten Hochpassfilter mit der Schaltung aus Abb. 1a ergibt sich die Zeitkonstante mit Gleichung (2) durch $\tau_C = R \cdot C$.

Da wir einen Widerstand von $1,8\Omega$ und einen Kondensator mit einer Kapazität von $1\mu\text{F}$ verwendet haben, erhalten wir eine berechnete Grenzfrequenz von

$$f_g = 88,42\text{ kHz.}$$

Beim Aufnehmen der Bilder stellten wir jedoch fest, dass die gemessene Grenzfrequenz nicht der berechneten Grenzfrequenz entspricht. Stattdessen ergab sich die Grenzfrequenz im Bereich zwischen 8 kHz und 10 kHz . Die Bilder für Frequenzen über, unter und im Bereich dieser ermittelten Grenzfrequenzen sind in Abb. 2 dargestellt.

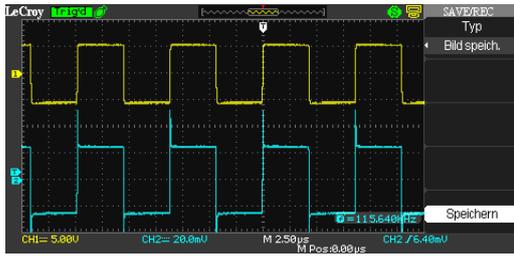
Hierbei zeigt sich deutlich die Charakteristik eines Hochpassfilters. Für geringe Frequenzen wird keine Spannung durch den Filter gelassen, für hohe Frequenzen sieht das Spannungsbild quasi identisch zu dem vor dem Filter aus. Von dieser Beobachtung weichen in beiden Fällen lediglich die Zeitpunkte der Sprungstellen der Rechtecksspannung ab. Dies liegt daran, dass das Rechteck aus einer Überlagerung vieler unterschiedlicher Frequenzen gebildet wird und es somit wenige Frequenzen gibt, die durchgelassen beziehungsweise unterdrückt werden. Diese bilden an den Wechsellpunkten die abweichenden Peaks. Im Bereich der Grenzfrequenz zeigt sich bereits deutlich die Rechtecksform des durchgelassenen Pulses, jedoch fällt die Spannung innerhalb eines Rechtecks noch leicht ab. Somit handelt es sich bei Schaltung eins deutlich um einen Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz im Bereich zwischen 8 kHz und 10 kHz .

3.1.2 Hochpassfilter 2

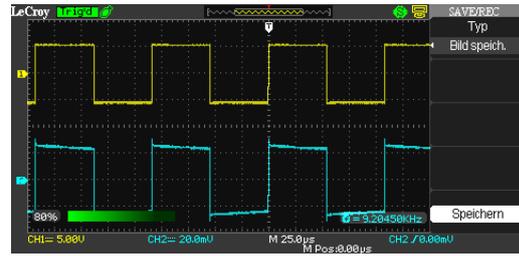
Für den zweiten Hochpassfilter mit der Schaltung aus Abb. 1c berechnet sich die Zeitkonstante mit Gleichung (3) durch $\tau_L = R/L$.

Da wir einen Widerstand von $2,2\text{ k}\Omega$ und eine Spule mit einer Induktivität 10 mH verwendet haben, ergibt sich eine berechnete Grenzfrequenz von

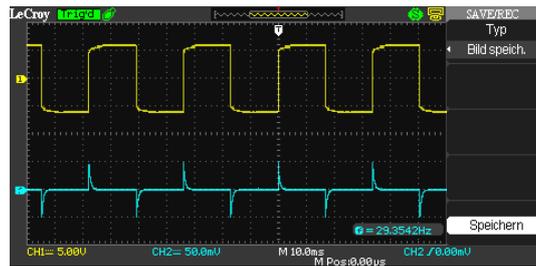
$$f_g = 35,02\text{ kHz.}$$



(a) Messung Hochpass 1 Hoch: 115 kHz

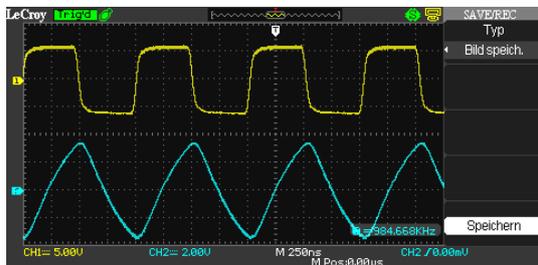


(b) Messung Hochpass 1 Mitte: 9,2 kHz

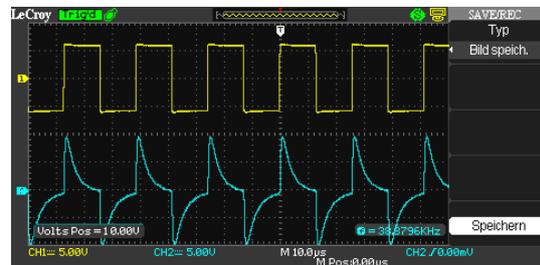


(c) Messung Hochpass 1 Mitte: 29,59 Hz

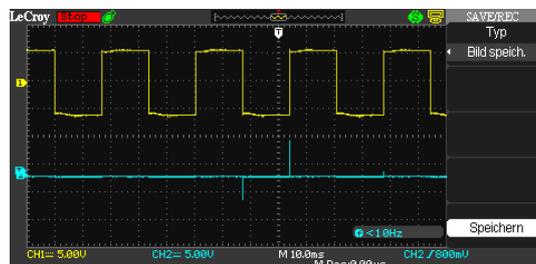
Abbildung 2: Bilder der Frequenz des ersten Hochpassfilters



(a) Messung Hochpass 2 Hoch: 986,2 kHz



(b) Messung Hochpass 2 Mitte: 38,23 kHz



(c) Messung Hochpass 2 Tief: 29,8 Hz

Abbildung 3: Bilder der Frequenz des zweiten Hochpassfilters

Die sich ergebenden charakteristischen Spannungsbilder vor und nach dem Hochpassfilter sind in Abb. 3 dargestellt.

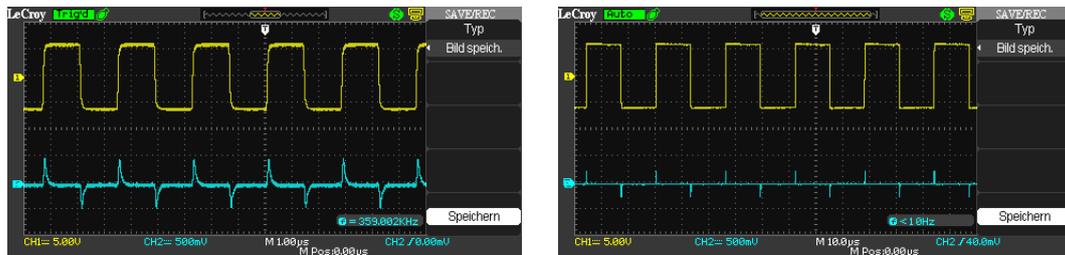
Klar sichtbar ist, dass der Hochpassfilter geringe Frequenzen sehr gut unterdrückt, da bei einer Frequenz von 29,8 Hz quasi keine Spannung nach dem Filter besteht. Hohe Frequenzen werden jedoch nicht unverändert durchgelassen. So sieht man in Abb. 3a eindeutig, dass bei einer Frequenz, die deutlich höher als die Grenzfrequenz liegt, aus der Rechteckform des Eingangspulses eine Dreiecksform des Ausgangspulses wird. Die Kurve des Ausgangspulses bei der Grenzfrequenz sieht an den Peaks dem Dreieckspuls bei sehr hohen Frequenzen bereits sehr ähnlich. An den Übergängen weicht sie jedoch noch deutlich ab.

3.1.3 Tiefpassfilter 1

Für den ersten Tiefpassfilter mit der Schaltung aus Abb. 1b erhält man die berechnete Zeitkonstante mithilfe von Gleichung (3) mit dem verbauten Widerstand von 2,2 k Ω und der verwendeten Spule mit einer Induktivität von 10 mH analog zum zweiten Hochpassfilter:

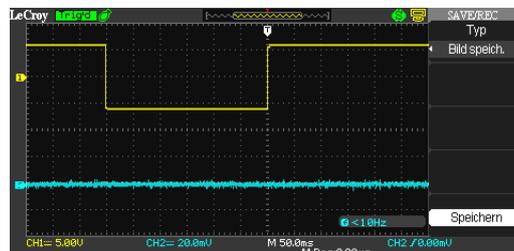
$$f_g = 35,02 \text{ kHz.}$$

Abb. 5 zeigt die gemessenen sichtbaren Spannungsbilder.



(a) Messung Tiefpass 1 Hoch: 359,2 kHz

(b) Messung Tiefpass 1 Mitte: 38,65 kHz



(c) Messung Tiefpass 1 Tief: 1,65 Hz

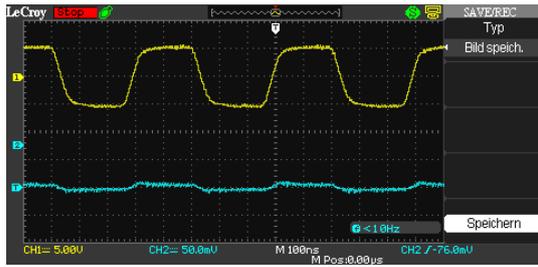
Abbildung 4: Bilder der Frequenz des ersten Tiefpassfilters

Hierbei ist auffällig, dass in allen drei Fällen quasi keine Ausgangsspannung existiert. Lediglich bei höheren Frequenzen existieren kleine Peaks an den Zeitpunkten der Wechsel der Eingangsspannung. Somit handelt es sich bei dieser Schaltung sowohl um einen Hochpass- als auch um einen Tiefpassfilter.

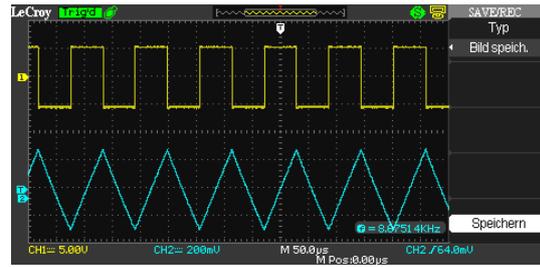
3.1.4 Tiefpassfilter 2

Die Grenzfrequenz des zweiten Tiefpassfilters mit der Schaltung aus Abb. 1d berechnet sich mithilfe von Gleichung (2) sowie der Kapazität des verwendeten Kondensators von 1 μF und des verbauten Widerstands von 1,8 Ω zu

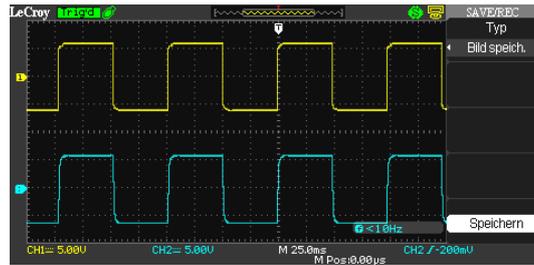
$$f_g = 88,42 \text{ kHz.}$$



(a) Messung Tiefpass 2 Hoch: 2,01 MHz



(b) Messung Tiefpass 2 Mitte: 8,67 kHz



(c) Messung Tiefpass 2 Tief: 10,21 Hz

Abbildung 5: Bilder der Frequenz des zweiten Tiefpassfilters

Die charakteristischen Bilder dieses Tiefpassfilter sind in Abb. 5 dargestellt.

Bei der Aufnahme der Bilder stellten wir wie bereits beim ersten Hochpassfilter erneut fest, dass die Grenzfrequenz circa um den Faktor 10 gegenüber der Berechneten geringer war und somit im Bereich zwischen 8 kHz und 10 kHz liegt. Es zeigt sich, dass für sehr geringe Frequenzen tatsächlich wie erwartet der Eingangspuls sichtlich unverändert bleibt. Ebenso stimmt die Erwartung, dass bei sehr hohen Frequenzen kein Signal mehr durch den Filter gelangt. Im Bereich der Grenzfrequenz wird aus dem eingehenden Rechteckspuls ein Dreieckspuls, womit in diesem Bereich die Anteile des Rechteckpulses mit hohen Frequenzen unterdrückt werden. Somit handelt es sich um einen funktionierenden Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz, die etwa um den Faktor 10 geringer ist als von uns berechnet.

3.2 Messung des Frequenzgangs eines Hochpassfilters

Für Schaltung Abb. 1a ergibt sich für die Eingangsspannung U_e vom Funktionsgenerator, die Ausgangsspannung nach dem Frequenzfilter U_a , den Widerstand R in der Schaltung und die Gesamtimpedanz Z_{ges} des Frequenzfilters ein Zusammenhang von

$$\frac{U_e}{Z_{\text{ges}}} = \frac{U_a}{R}. \quad (4)$$

Für alle Berechnungen wurde zusätzlich der Innenwiderstand des Funktionsgenerators, der mit $R_{\text{innen}} = 600 \Omega$ angegeben war, berücksichtigt, indem er auf den Widerstand von $R_1 = 1,8 \Omega$ addiert wurde.

Durch Einsetzen von

$$Z_{\text{ges}} = R + \frac{1}{i\omega C}$$

in Gleichung (4) ergibt sich mit $\omega = 2\pi f$

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R}{R + \frac{1}{i2\pi f C}} =: u(f). \quad (5)$$

Die Phasenverschiebung Φ zwischen U_a und U_e lässt sich durch

$$\tan(\Phi) = \frac{\Im\left(\frac{U_a}{U_e}\right)}{\Re\left(\frac{U_a}{U_e}\right)} \quad (6)$$

berechnen.

Die Grenzfrequenz f_g für einen Frequenzfilter lässt sich mit

$$f_g = \frac{1}{2\pi\tau}$$

berechnen, wobei die Zeitkonstanten durch Gleichungen (2) und (3) gegeben sind.

Die Eingangsspannung U_e , die Ausgangsspannung U_a , die Frequenz f und die Phasenverschiebung wurden jeweils am Oszilloskop abgelesen. Bei stark schwankenden Werten wurden dabei statistische Fehler geschätzt, für die Werte, bei denen keine Schwankung sichtbar war, wurden keine Unsicherheiten notiert.

Die verwendete Schaltung ist der Hochpassfilter mit Kondensator in Abb. 1a. Der verwendete Widerstand betrug $R = (1,82 \pm 0,18) \Omega$, die Kapazität des verwendeten Folienkondensators war im Versuchsaufbau [1] mit $C = 1 \mu\text{F}$ angegeben.

Aus den Messwerten für U_e und U_a wurde der Quotient U_a/U_e berechnet. Für die mit statistischen Unsicherheiten behafteten Werte ergibt sich dabei der Fehler aus der Gaußschen Fehlerfortplanzung mit

$$s_{U_a/U_e} = \sqrt{\left(\frac{s_{U_a}}{U_e}\right)^2 + \left(\frac{U_a}{U_e^2} s_{U_e}\right)^2}.$$

Mit $u(f)$ aus Gleichung (5) lässt sich außerdem der erwartete Verlauf von U_a/U_e berechnen.

Dabei ergibt sich mit Gaußscher Fehlerfortplanzung für $u(f)$ ein Fehler von

$$s_u = \frac{2\pi i f C}{(2\pi i f C R + 1)^2} s_R.$$

Für den Real- und Imaginärteil von $u(f)$ erhält man mit Gleichung (5)

$$\Re(u) = \frac{R^2}{R^2 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 C^2}} \quad \Im(u) = \frac{R}{2\pi i f C} \frac{1}{R^2 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 C^2}}. \quad (7)$$

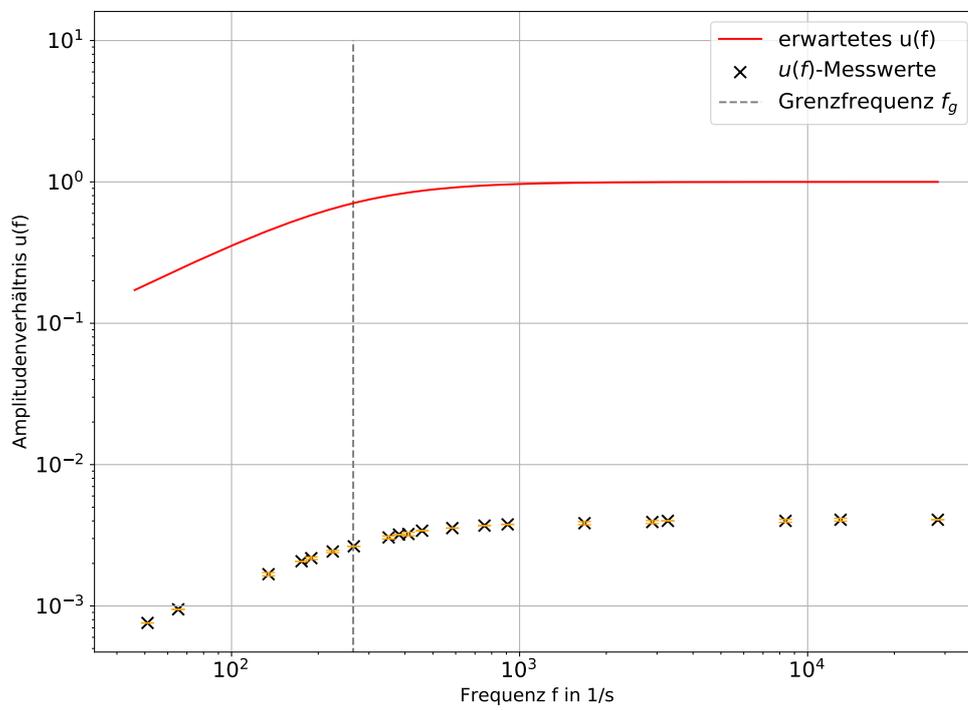


Abbildung 6: Bode-Diagramm für $u(f)$ mit logarithmischer Achsenteilung. Die aus den gemessenen Größen U_a und U_a berechneten Werte mitsamt ihrer Fehler sowie der erwartete theoretische Verlauf sind eingezeichnet.

Die von uns berechneten Werte für u sowie der erwartete Verlauf $u(f)$ sind in Abb. 6 dargestellt. Auch für Φ lässt sich durch Umstellen von Gleichung (6) mit

$$\Phi = \arctan \left(\frac{\Im \left(\frac{U_a}{U_e} \right)}{\Re \left(\frac{U_a}{U_e} \right)} \right) \quad (8)$$

der theoretisch erwartete Verlauf bestimmen.

Mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung und Gleichung (7) erhält man also für den Fehler der Phasenverschiebung

$$s_{\Phi} = \frac{s_R}{2\pi f C R \left(R^2 + \frac{1}{(2\pi f C)^2} \right)^2}$$

In Abb. 7 sind der erwartete Verlauf für Φ , sowie die gemessenen Werte für Φ dargestellt. Hierbei wurde der Fehler auf den theoretischen Verlauf von Φ nicht mit eingezeichnet, da er nicht sichtbar war.

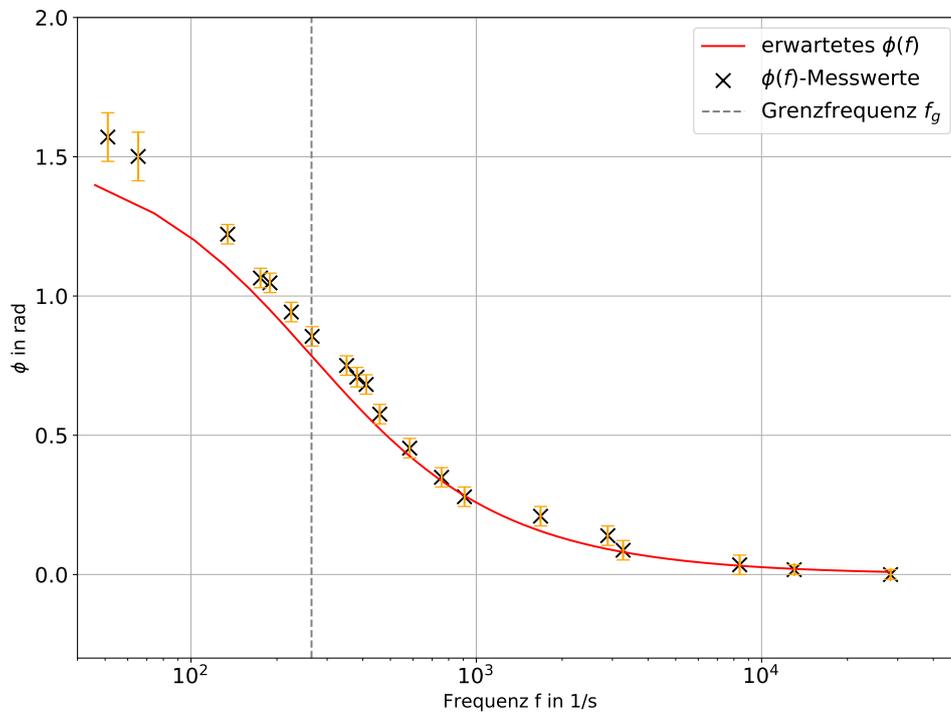


Abbildung 7: Bode-Diagramm für $\phi(f)$ mit logarithmischer Achsenteilung für f und linearer Achsenteilung für Φ . Die aus den gemessenen Größen für Φ mitsamt der statistischen Unsicherheiten sowie der erwartete theoretische Verlauf sind eingezeichnet.

Aus den gemessenen Werten lässt sich außerdem ein Nyquist-Diagramm durch Auftragung von $u(f)e^{i\Phi(f)}$ in der komplexen Ebene erstellen.

Auch hier wurden die Messwerte sowie die theoretisch erwartete Kurve eingezeichnet, das Diagramm ist in Abb. 8 zu sehen.

Da in Abb. 8 die gemessenen Größen sich offensichtlich in einer anderen Größenordnungen befinden und somit praktisch nicht erkennbar sind, wurde in Abb. 9 die gemessenen Werte ohne den theoretischen Verlauf eingezeichnet.

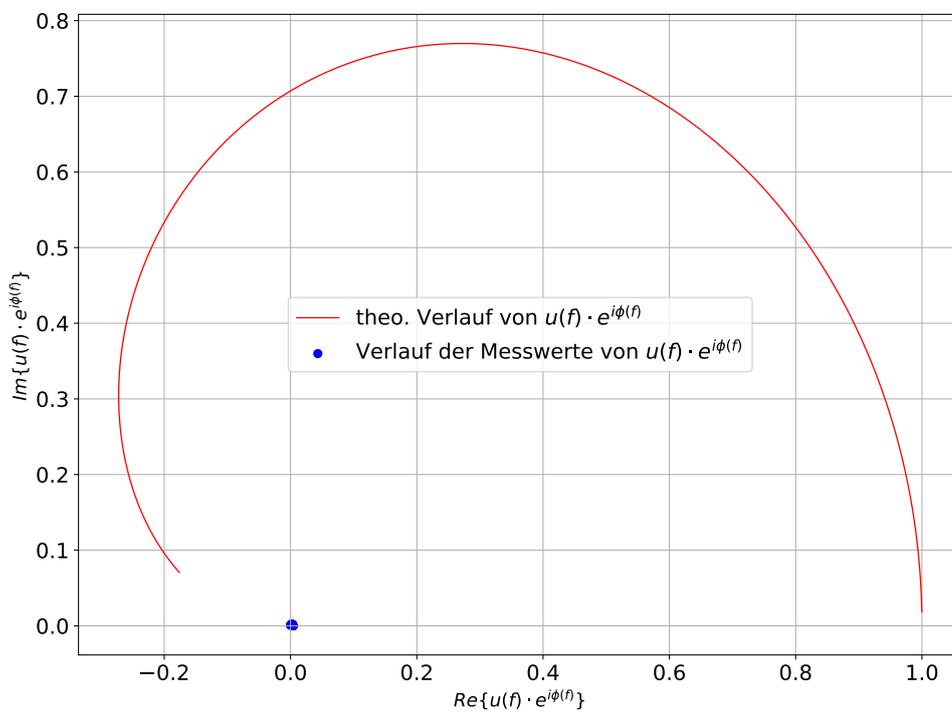


Abbildung 8: Nyquist-Diagramm. Die aus den gemessenen Größen U_a , U_a und Φ berechneten Werte sowie der erwartete theoretische Verlauf sind eingezeichnet.

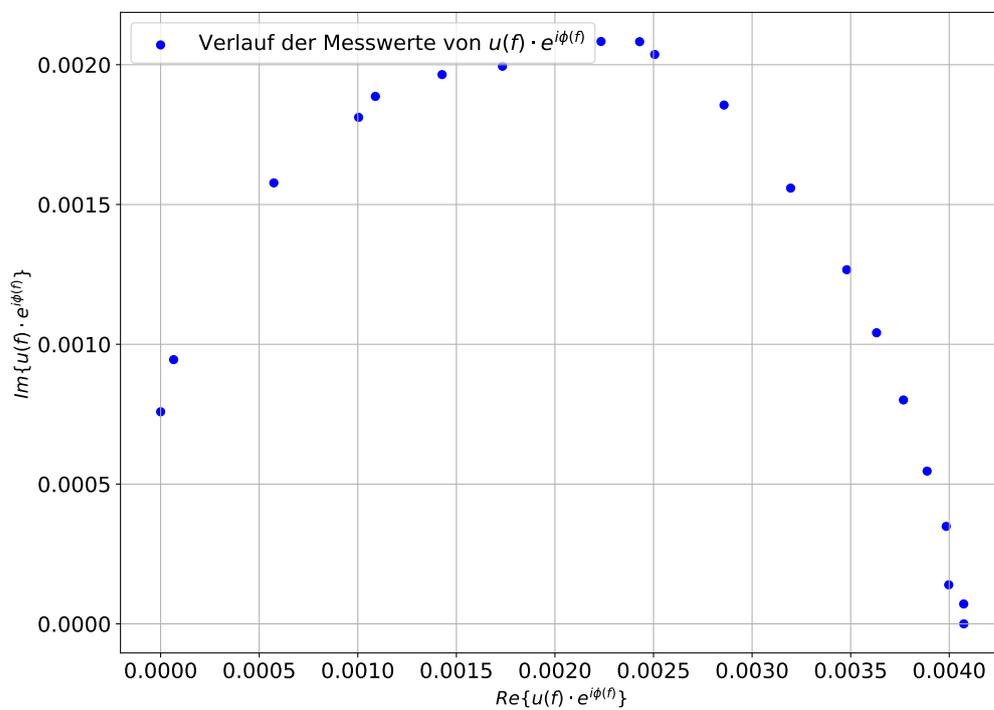


Abbildung 9: Nyquist-Diagramm: Aus den gemessenen Größen U_a , U_a und Φ wurde $u(f)e_{e\Phi(f)}$ berechnet und in der komplexen Ebene eingezeichnet.

4 Diskussion

4.1 Qualitative Beobachtung der Reaktion der Schaltungen auf Spannungssprünge

In Teil 1 wurden vier verschiedene Filter qualitativ auf ihr Verhalten untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die beiden Schaltungen, bei denen jeweils ein Widerstand und ein Kondensator verbaut wurde, funktionierende Hochpass- beziehungsweise Tiefpassfilter waren. Allerdings war bei beiden Schaltungen auffällig, dass die gemessene Grenzfrequenz etwa um den Faktor 10 geringer war als der aus der Rechnung bestimmte. Warum das der Fall ist, wissen wir nicht genau. Wahrscheinlich lag hier ein Fehler in der Bedienung des Oszilloskops vor, und die von uns notierten Frequenzen waren womöglich um einen solchen Faktor von den tatsächlichen Frequenzen verschoben.

Die beiden Schaltungen, bei denen jeweils eine Spule zusätzlich zum Widerstand verbaut waren erfüllten jedoch nicht die Erwartungen. Der Hochpassfilter zeigte zwar bei geringen Spannungen das erwartete Verhalten, bei hohen Frequenzen entspricht der Ausgangs- jedoch nicht dem Eingangspuls. Der Tiefpassfilter hingegen hatte das Problem, dass er sämtliche Frequenzen und somit insbesondere auch sehr niedrige Frequenzen unterdrückt.

Dies könnte darauf hindeuten, dass die verbaute Spule in ihren elektromagnetischen Eigenschaften nicht den Erwartungen entsprach.

Höchstwahrscheinlich sind uns allerdings beim Lötten der Frequenzfilter Fehler unterlaufen. Dafür spricht unter anderem auch die Tatsache, dass der Tiefpassfilter mit der Spule (Abb. 1c) fast alle Frequenzen geblockt hat.

4.2 Messung des Frequenzgangs eines Hochpassfilters

Zunächst wurde das Bodediagramm des Amplitudenverhältnisses u gegen die Frequenz f geplottet. Der erwartete Verlauf für den Widerstand R und die Kapazität C ergibt sich aus der Theorie mit Gleichung (5).

Unsere Messwerte lagen nicht auf dem theoretisch prognostizierten Verlauf. Zwar verhielten sich die Messwerte relativ ähnlich, doch stets ungefähr um drei Zehnerpotenzen des Amplitudenverhältnisses nach unten verschoben.

Dies liegt wahrscheinlich an einem Fehler in der Messung. Bei einem Hochpassfilter erwartet man für hohe Frequenzen ein Amplitudenverhältnis von ungefähr 1, dass also die Frequenzen nicht unterdrückt werden. Das ist beim theoretisch berechneten Verlauf der Fall, bei den gemessenen Werten allerdings nicht. Deswegen kann davon ausgegangen werden, dass die Rechnung korrekt ist und beim Messen ein grober Fehler passiert ist.

Da die Funktionsweise eines Oszilloskops vor diesem Versuch keinem von uns bekannt war, ist es möglich, dass es Einstellungen gab, von denen wir nichts wussten. Das könnte dazu geführt haben, dass eine der gemessenen Spannungen in einer falschen Größenordnung abgelesen wurde.

In Abb. 10 ist das Bodediagramm mit einem Korrekturfaktor von 250 auf die Ausgangsspannung dargestellt. Für diesen Korrekturfaktor passen die Messwerte sehr gut zum erwarteten Verlauf, jedoch erscheint der Korrekturfaktor einigermaßen wahllos. Hier müsste überprüft werden, ob das Oszilloskop eventuell Einstellungen hat, die einen solchen Faktor erlauben würden.

Anschließend wurde das Bodediagramm der Phasenverschiebung ϕ gegen die Frequenz f geplottet. Dabei wurde der theoretisch erwartete Verlauf mit Gleichung (8) berechnet. Das Bode-Diagramm ist in Abb. 7 zu sehen.

In diesem Diagramm liegen die Messwerte sehr nah am erwarteten Verlauf. Auch wenn der erwartete Verlauf nicht für alle Messwerte innerhalb der Fehlerbalken liegt, ist doch ein deutlicher Zusammenhang erkennbar. Dies bestätigt auch die Vermutung, dass bei der Messung der Spannungen etwas schief gegangen ist: Die Messungen der Phasenverschiebung sind offensichtlich nicht von dem aufgetretenen Fehler beeinflusst.

Anschließend wurde ein Nyquistdiagramm des Terms $u(f) \cdot e^{i\phi(f)}$ erstellt. Dabei wurde für den theoretischen Verlauf

$$\Re\{u(f) \cdot e^{i\Phi(f)}\}$$

auf die x-Achse und

$$\Im\{u(f) \cdot e^{i\Phi(f)}\}$$

auf die y-Achse aufgetragen. Für die Messwerte wurde das Produkt

$$u \cdot e^{i\Phi}$$

für jede gemessene Frequenz berechnet und in das Diagramm als Punkt eingezeichnet.

Das entstandene Diagramm ist in Abb. 8 dargestellt. Hier fällt direkt auf, dass es auch hier zwischen erwartetem Verlauf und gemessenen Werten einen Unterschied von mehreren Größenordnungen gibt.

Bei Betrachtung des Nyquist-Diagramms in Abb. 9, in dem nur die Messwerte aufgetragen sind, wird deutlich, dass die grobe Form mit dem erwarteten Verlauf übereinstimmt. Auch hier bestätigt sich also die Vermutung, dass in der Messung der Spannungen ein Fehler verschiedener Größenordnungen vorliegt: Der Radius der erwarteten spiralförmigen Kurve ergibt sich aus dem Quotienten der Spannungen u . In den Diagrammen ist bei einem Fehler in der Berechnung von u um mehrere Größenordnungen ein Fehler im Radius von genau diesen Größenordnungen zu erwarten. Genau dieser Zusammenhang lässt sich hier beobachten.

Auch hier wurde wieder eine Betrachtung des Verlaufs mit einer Korrektur der Ausgangsspannung um den Faktor 250 betrachtet und die Auftragung (siehe Abb. 11) verbessert sich deutlich.

4.3 Fehlerquellen

Es gibt eine Menge Faktoren, die zu einem solchen Fehler in der Messung geführt haben könnten. Ein Faktor ist auf jeden Fall die Ungenauigkeit des Oszilloskops. Daraus resultiert ein unvermeidbarer Messfehler, der die Werte beeinflusst. Es liegt jedoch die Annahme nahe, dass die tatsächliche Fehlerquelle aus der Bedienung des Oszilloskops stammt. In diesem Versuch haben wir zum ersten mal ein Oszilloskop bedient und waren zu Beginn ein wenig überfordert mit der Bedienung. Durch Erklärungen des Tutors und Ausprobieren der einzelnen Funktionen des Oszilloskopes meinten wir die gewünschten Einstellungen gefunden zu haben. Eventuell ist uns hierbei aufgrund unserer Unerfahrenheit ein Fehler unterlaufen und das Oszilloskop war falsch eingestellt.

Außerdem hat das Ausprobieren und Vertraut-machen mit dem Oszilloskop sehr viel Zeit gekostet. Es war z.B. nicht so leicht herauszufinden, wie man verschiedene Messgrößen anzeigen lassen kann und wie man die Daten und Bilder exportieren kann. Das hat dazu geführt, dass letztendlich gar keine Messungen für einen Frequenzfilter höherer Ordnung gemacht werden konnte, und im zweiten Versuchsteil nicht in einem größeren Frequenzbereich gemessen werden konnte. Auch eine grobe Zwischenauswertung, die eventuell den Fehler aufgezeigt und zu nochmaligem Überprüfen der Messeinstellungen bzw. Wiederholung der Messung geführt haben könnte, war so nicht möglich, was auch die Auswertung des Versuchs erschwert hat.

Eine weitere Fehlerquelle sind die verwendeten Bauteile. Zum einen besitzen diese nach Herstellerangaben bereits eine Ungenauigkeit bezüglich ihrer elektromagnetischen Werte. Daraus resultiert eine Ungenauigkeit bei der Berechnung der Werte.

Möglicherweise ist uns auch beim Lötten der Schaltungen ein Fehler unterlaufen und die gemessenen Schaltungen entsprachen nicht denen, von denen wir ausgegangen sind. Dieser Fehler könnte auch dadurch entstanden sein, dass die elektrischen Verbindungen auf den Platinen nicht so wie von uns angenommen waren.

A Anhang

B Abbildungen

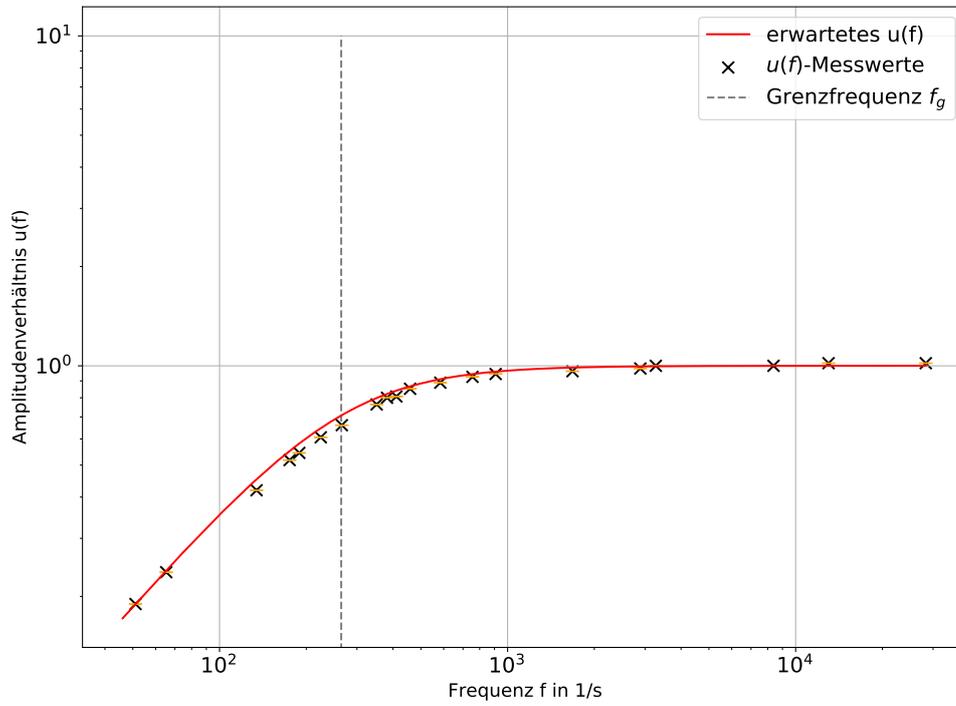


Abbildung 10: Bode-Diagramm für $u(f)$ bei Multiplikation von U_a mit einem Faktor von 250

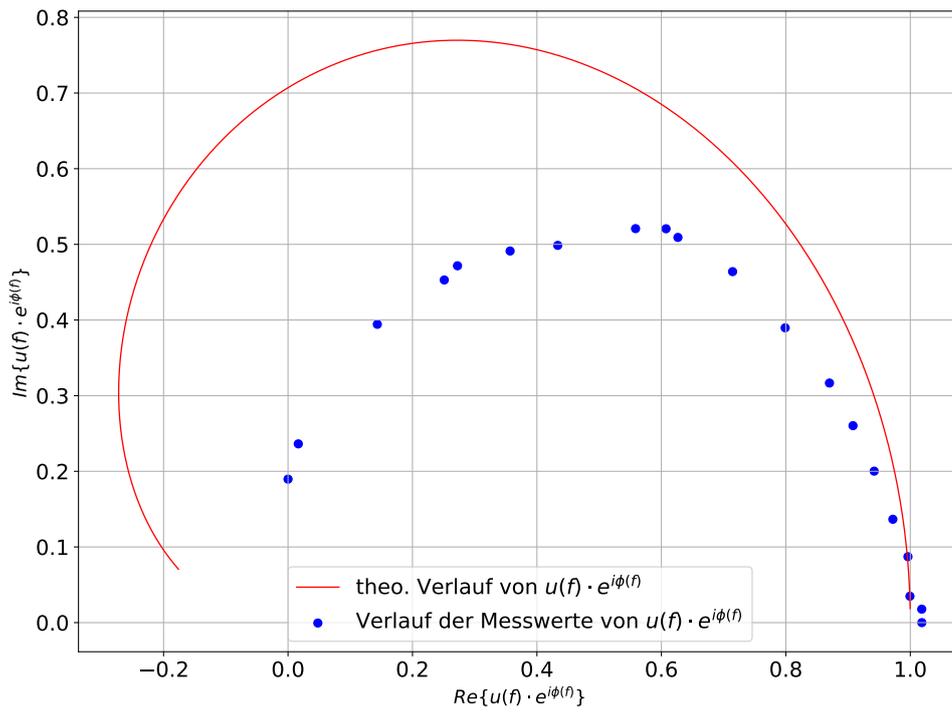


Abbildung 11: Nyquist-Diagramm bei Multiplikation von U_a mit einem Faktor von 250

B.1 Rohdaten

V52 ~~15.3.22~~ 15.3.22

Widerstände: $R_1 = 1,8 \Omega$ $R_2 = 7,2 \text{ k}\Omega$
 $C = 1 \mu\text{F}$

1 Messung 300 Hz Grenzfrequenz 8-10 kHz



VPP Ch1 $72,2 \text{ V} \pm 0,1$
VPP Ch2 $700 \text{ mV} \pm 2$
Phase $-162^\circ \pm 5$
Ch1-Ch2-FRP $15 \text{ nms} \pm 2$
Frequenz Ch1 $29,59 \text{ Hz} \pm 0,05$

Bild 2: $9,2 \text{ kHz}$
Bild 3: 175 kHz

HP2: Schaltung 2: $R = 2,2 \text{ k}\Omega$
 $L = 10 \text{ mH}$



Bild 1: $29,8 \text{ Hz}$
Bild 2: $36,23 \text{ kHz}$
Bild 3: $986,1 \text{ kHz}$

TP1: Schaltung 3: $R = 2,2 \text{ k}\Omega$
 $L = 10 \text{ mH}$



Bild 1: $1,65 \text{ kHz}$
Bild 2: $58,65 \text{ kHz}$
Bild 3: $359,2 \text{ kHz}$

TP2: Schaltung 4: $R = 2,2 \text{ k}\Omega$
 $C = 1 \mu\text{F}$



Bild 1: $10,27 \text{ kHz}$
Bild 2: $8,67 \text{ kHz}$
 $2,01 \text{ MHz}$

2) 1. Schaltung

f	U _e	U _n	φ
331,1 Hz	11,0 V	33,60 ± 0,2 mV	-(43 ± 2)°
381,6 Hz	11,0 V	33,2 mV	-(40,69 ± 1)°
411,1 Hz	10,3 ± 0,1 V	35,2 ± 1,0 mV	-(35,10 ± 2)°
458,7 Hz	10,3 ± 0,1 V	35,8 mV	-(33,90 ± 2)°
514,1 Hz	10,3 V	38,4 mV	-(26 ± 2)°
755,2 Hz	10,3 V	40,0 mV	-(20 ± 2)°
909,0 Hz	10,3 V	40,80 mV	-(16 ± 2)°
1,68 kHz	10,3 V	41,6 ± 1 mV	-(12 ± 2)°
2,83 kHz	10,3 V	42,40 ± 1 mV	-(8 ± 2)°
3,72 kHz	10,3 V	43,2 mV	-(5 ± 2)°
8,38 kHz	10,3 V	43,2 ± 1,0 mV	-(2 ± 2)°
13,01 kHz	10,3 V	44,0 ± 1,0 mV	-(1 ± 1)°
28,31 kHz	10,3 V	44,0 mV	(0 ± 1)°
263,8 Hz	11,2 V	23,6 mV	-(49 ± 2)°
224,6 Hz	11,2 V	27,2 ± 0,5 mV	-(54 ± 2)°
183,1 Hz	11,2 V	24,4 ± 0,5 mV	-(60 ± 2)°
175,7 Hz	11,2 V	23,2 mV	+(29 ± 2)°
134,4 Hz	11,2 V	18,8 ± 0,5 mV	-(40 ± 2)°
65,3 ± 1 Hz	11,4 V	10,8 mV	-(36 ± 5)°
51,05 Hz	11,6 V	8,8 mV	(270 ± 5)

15.03
RSC

Literatur

- [1] *Physiklabor für Anfänger*innen Teil 2, Aufbau Versuch 52*. Physikalisches Institut, Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2022, 15. März 2022. URL: <https://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/ap/52>.