|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Projektdokumentation**  Über  Stereo Röhrenverstärker | | |  |
|  | | | |
| Klasse | Teammitglieder | Unterschrift | |
| 4AHELS  2018/19 | Patrik Staudenmayer |  | |
| Datum der Stunde / Abgabedatum | Teammitglied | Unterschrift | |
| 27.09.2018  11.10.2018 | Christian Schrefl |  | |
| Lehrer | Gegenstand |  | |
|  | Werkstätte |  | |
| Note |  |  | |
|  |  |  | |
| Thema  Röhrenverstärker | | | |
| Verwendete Geräte / Software   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | Nummer | Geräte / Software | Firma | Typ | Inventar Nummer | | 1 | Altium |  |  |  | | 2 | Oszilloskope |  |  |  | | 3 | Trenn & Regeltrafo |  |  |  | | 4 | Funktionsgenerator |  |  |  | | | | |
| Gespeichert: Projektdoku\_Röhrenverstärker.docx | | | |
| Cover Sheet E2014 v3 | | | |

Inhaltsverzeichnis

[1 Projektbeschreibung 2](#_Toc9342733)

[1.1 Ausgangslage 2](#_Toc9342734)

[1.2 Projektteam (Arbeitsaufwand) 2](#_Toc9342735)

[1.3 Untersuchungsanliegen der individuellen Themenstellungen 2](#_Toc9342736)

[1.4 Zielsetzung 2](#_Toc9342737)

[1.5 Geplantes Ergebnis der Prüfungskandidatin/des Prüfungskandidaten 2](#_Toc9342738)

[1.6 Meilensteine 2](#_Toc9342739)

[1.7 Finaler Titel der Arbeit – Deutsch 2](#_Toc9342740)

[1.8 Finaler Titel Englisch oder Finaler Titel in der Fremdsprache, in der die Arbeit verfasst wurde 2](#_Toc9342741)

[2 Netzteil 3](#_Toc9342742)

[2.1 Blockschaltbild 3](#_Toc9342743)

[2.2 Berechnung der Transformator Grenzdaten 3](#_Toc9342744)

[2.3 Tiefpass 4](#_Toc9342745)

[2.3.1 Simulation 4](#_Toc9342746)

[2.3.1.1 Schaltplan 4](#_Toc9342747)

[2.3.1.2 Bodediagramm 5](#_Toc9342748)

[2.4 Berechnung der Spannungsanpassung 6](#_Toc9342749)

[2.5 Schaltplan 6](#_Toc9342750)

[2.6 Bestellliste 6](#_Toc9342751)

[3 Vorverstärker 7](#_Toc9342752)

[3.1 Schaltplan für die Testschaltung 7](#_Toc9342753)

[3.2 Messergebnisse 8](#_Toc9342754)

[4 Endstufe 9](#_Toc9342755)

[4.1 Schaltplan für die Endstufe 9](#_Toc9342756)

[5 Vollständiger Verstärker ohne Netzeil 10](#_Toc9342757)

[5.1 Schaltung 10](#_Toc9342758)

[5.2 Messungen 10](#_Toc9342759)

# Projektbeschreibung

## Ausgangslage

Röhrenverstärker gab es bereits seit den frühen 20 Jahrhundert und werden bis heute von Hi-Fi Enthusiasten gerne eingesetzt obwohl sie heutzutage Großteils von modernen Verstärkerarten ersetzt wurden. Aus Interesse an Elektronenröhren soll ein Prototyp für einen Stereoverstärker erstellt werden.

## Projektteam (Arbeitsaufwand)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Individuelle Themenstellung** | **Klasse** | **Arbeitsaufwand** |
| Patrik Staudenmayer | Entwicklung des Netzteiles und der Ausgangsüberträger | 4AHELS | 120 Stunden |
| Christian Schrefl | Entwicklung der verstärkenden Elemente | 4AHELS | 120 Stunden |

## Untersuchungsanliegen der individuellen Themenstellungen

Patrik Staudenmayer: Adaption der Schaltkonzepte eines Netzteiles für Röhren, sowie Auswahl und Bestellung der Bauteile, Leiterplattenentwicklung für das Netzteils, sowie Berechnung der Ausgangsüberträger.

Christian Schrefl: Adaption der Schaltkonzepte der verstärkenden Elemente, sowie Auswahl und Bestellung der Bauteile, Aufbau der verstärkenden Elemente.

## Zielsetzung

Das Ziel dieses Projektes ist es, einen Stereoröhrenverstärker zu entwickeln, sowie ein fertiges Leiterplattenlayout. Ebenfalls sollte ein Prototyp gebaut werden.

## Geplantes Ergebnis der Prüfungskandidatin/des Prüfungskandidaten

Patrik Staudenmayer: Das Netzteil soll stabil die Versorgungsspannungen liefern.

Christian Schrefl: Die Verstärkenden Elemente sollen stabil ein Eingangssignal verstärken und 6W am Ausgang ausgeben können.

## Meilensteine

27.11.2018 Entwicklung des Schaltungskonzepts abgeschlossen, benötigte Bauteile bestellt

15.01.2019 Prototyp der Verstärkerschaltung (1 Kanal) fertiggestellt

26.02.2019 Leiterplattenentwicklung abgeschlossen

30.04.2019 Finale Version des Netzteils und eines Kanales

28.05.2019 Gesamttests abgeschlossen

## Finaler Titel der Arbeit – Deutsch

Stereoröhrenverstärker

## Finaler Titel Englisch oder Finaler Titel in der Fremdsprache, in der die Arbeit verfasst wurde

stereo tube amplifier

# Netzteil

## Blockschaltbild

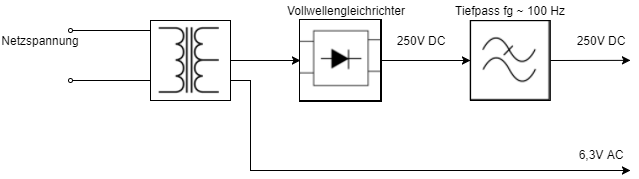


Figure 1: Blockschaltbild des Netzteiles

Diese Schaltungskonzept wird bei einem Großteil der Röhrenverstärker verwendet, da zurzeit, wo Röhrenverstärker „State of the art“ waren, noch sehr wenige bis gar keine Halbleiter Bauteile existierten und dementsprechend Schaltnetzteil noch nicht verbreitet waren, da man mit Röhren die Schaltvorgänge nur äußerst schwer verrichten kann.

Der Trafo am Netzeingang des Netzteils wird verwendet, um die Spannung auf die richtigen Potenziale zu transformieren, sowie einen gewissen Grad der Sicherheit zu bieten, durch die galvanische Trennung zum Netz.

Der darauffolgende Gleichrichter dient der Erzeugung von rein positiven Spannungen. Hier ist ein Vollwellengleichrichter eingezeichnet, da der verwendete Trafo eine Mittelanzapfung hat welches bedeutet das nur zwei Dioden benötigt werden entgegen einem Vollwegbrückengleichrichter. Zur Zeit der Röhren wurde der Gleichrichter mit einer Diode (Röhre mit nur Anoden und Kathoden Anschluss) realisiert. In der heutigen Zeit wird dieser meist mit Silizium Dioden realisiert.

Die dritte Komponente in dieser Darstellung ist der Tiefpass dieser dient zur Erzeugung einer konstanten Gleichspannung ohne störenden Rippel. Wieso die Grenzfrequenz nicht 50Hz betragen muss wird im Abschnitt 2.4.1 erläutert.

## Berechnung der Transformator Grenzdaten

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Primärseite | Sekundärseite |
| Spannungen  (bei η = 100%) |  |  |
|  |  |
| Ströme  (bei η = 100%) | an der Wicklung | an der Wicklung |
|  | an der Wicklung |

Figure 2: Transformator Grenzdaten Berechnung

Die Werte sind die minimalen Ströme, die der Transformator aushalten sollte, doch um eine reibungslose Versorgung zu ermöglich sollte der Transformator um mindestens 5% überdimensioniert werden.

Ebenso wird hier angenommen, dass der Wirkungsgrad η = 100% ist – was bei einem handelsüblichen Transformator nicht der Fall ist.

## Eckdaten gewählter Transformator

|  |  |
| --- | --- |
| Primärseite | Sekundärseite |
|  | 2 \* 270 |
| 127V | 2 \* 5 |
| 230V | 5 3,5A |
|  | 6,3V 2A |
|  | 6,3V 7A |

Figure 3: Transformator TRA400 Grenzdaten

Als Transformator wurde der TRA400 von [die-wuestens.de](https://www.die-wuestens.de/) verwendet. Dieser ist ein 200VA Trafo, welcher fast die doppelte benötigte Leistung, liefern kann. Daher mussten sich hier keine Gedanken über den Wirkungsgrad gemacht werden.

## Tiefpass

### Simulation

#### Schaltplan

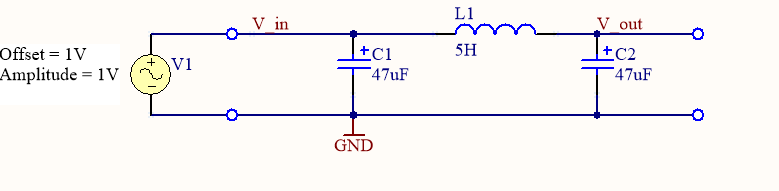


Figure 4: Schaltplan des Tiefpasses

Bei diesem Filter ist es wichtig das die Grenzfrequenz unter 100Hz ist um die die Netzfrequenz zu unterdrücken. Die 100Hz entstehen durch den Vollwellengleichrichte, wie in den folgenden Graphen ersichtlich.

In dem oberen Teil von Figure 4 sieht man einen Sinus, welcher dann über einen Gleichrichter geschickt wird, nach welchen dann jener Sinus wie in den unteren Teil von Figure4 dargestellt ist gemessen werden kann.





Figure 5: Erläuterung der Entstehung der 100Hz

#### Bodediagramm

Figure 6: Filter Dämpfung

Figure 7: Filter Phase

Durch die Simulation dieser Schaltung konnte die Grenzfrequenz auf 10,47Hz bestimmt werden. Durch die Bauteiltoleranzen wird die gemessene Grenzfrequenz von der simulierten abweichen. Dies ist jedoch kein Problem da die Grenzfrequenz weit unter 100 Hz ist.

## Berechnung der Spannungsanpassung

Da der verwendete Trafo auf eine zu hohe Spannung transformiert, muss diese mit einem Spannungsteiler auf eine geeignete Spannung heruntergeteilt werden.

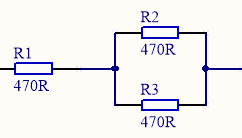


~70V

~7,28W

380V

Realisierung von :



Min. 2,3W

Min. 2,3W

Min. 4,6W

~280V

(Anodenspannung)

2k5

## Schaltplan

Figure 8: Schaltplan des Netzteiles

Da durch die gesamte Belastung des Trafos dieser nicht mehr seine Nennspannung liefern kann wurde die Parallelschaltung von R2 und R3[[1]](#footnote-4) entfernt. Dies hat zur Folge, dass mehr Leistung am Ausgang geliefert werden kann, da weniger Spannung, als zuvor, an dem Widerstand abfällt.

Ebenso wurde ein Umschalter verwendet, welcher zwischen der Anodenspannung 250Vp und den Widerständen R4 und R5 umschaltet. Besagte Widerstände dienen zum sicheren Entladen der Kondensatoren, da durch die Widerstände, der maximal möglich, Strom begrenzt wird.

Die Entladezeit beträgt:

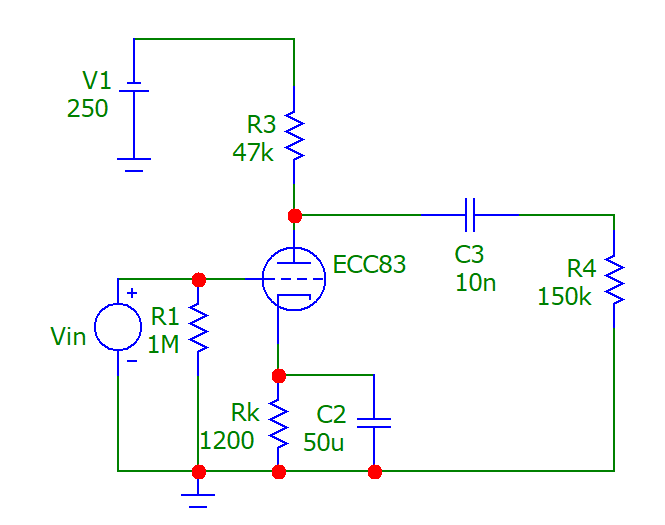
## Bestellliste

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Stk. | Bezeichnung | Herstellernummer | Bestellnummer | Lieferanten URL |
| 2 | 1N4007 | 1N4007RLG | [649-1171](https://at.rs-online.com/web/p/gleichrichter-und-schottky-dioden/6491171/) | rs-online.com |
| 2 | Elko 47μF 400V | EEUED2G470S | 526-2281 | rs-online.com |
| 1 | Feinsicherung 400mA träge | 563-615 | 563-615 | rs-online.com |
| 2 | Ausgangsübertrager | ATRA0211 | ATRA0211 | die-wuestens.de |
| 1 | Netzdrossel | D05-300 | D05-300 | die-wuestens.de |
| 1 | 200VA Trafo | TRA400 | TRA400 | die-wuestens.de |
| 3 | 470Ω 5W Widerstände |  |  |  |

Figure 9: Bestelliste

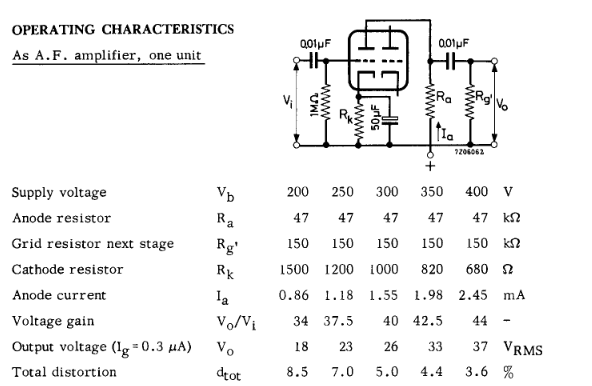
# Vorverstärker

## Schaltplan für die Testschaltung

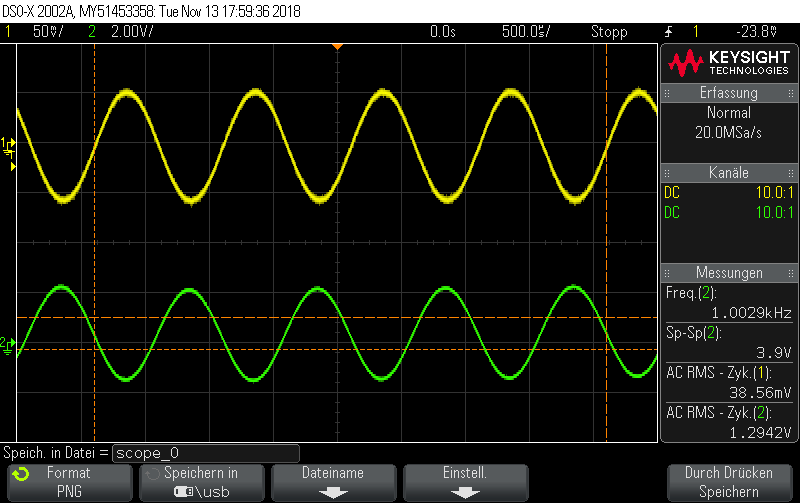


Im Betrieb wird R4 (Ausgangswiederstand) mit der nächsten Stufe ersetzt.

Die Schaltung aus dem Datenblatt der ECC83 wurde verwendet:

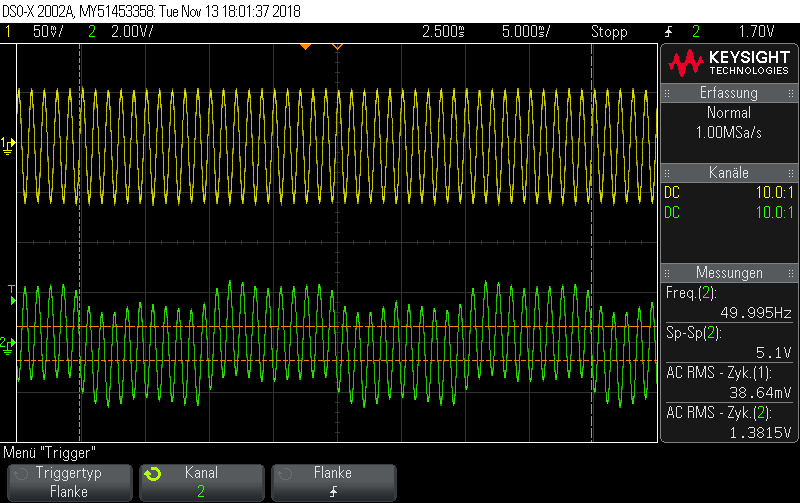


## Messergebnisse



Gelb (Ch 1) Vin Eingangssignal

Grün (Ch 2) VR4 Ausgangssignal



Hier ist die Modulation auf 100 Herz zu sehen welche durch den schlecht geschirmten Test Aufbau und nicht gut gefilterter Anodenspannung des Testnetzteils verursacht wird.

# Endstufe

## Schaltplan für die Endstufe

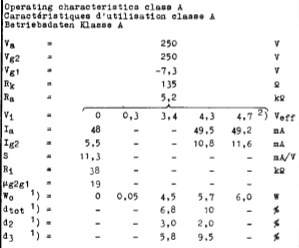
Signal vom Vorverstärker

Die Schaltung ist ein Teil der Schaltung, für einen ähnlichen Verstärker, aus:

<http://www.jogis-roehrenbude.de/Verstaerker/EL84-6W.htm>

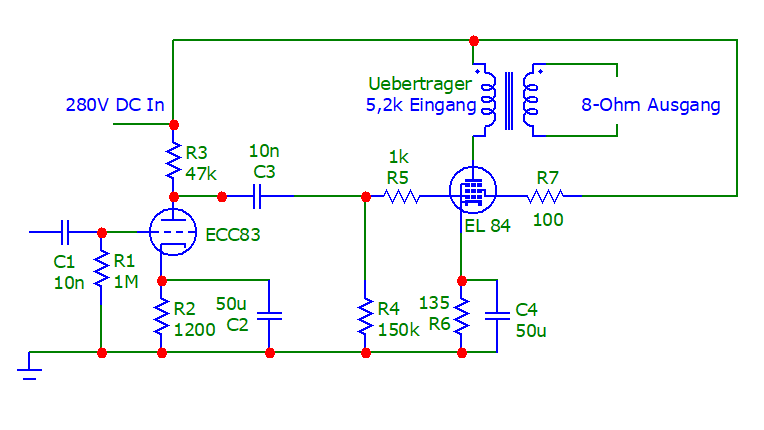
Die in einzigen Änderungen, die gemacht wurden sind das ersetzen des Ausgagsübertragers und die Erhöhung der Versorgung auf 280V.

Bauteilwerte nach Datenblatt EL84:



# Vollständiger Verstärker ohne Netzeil

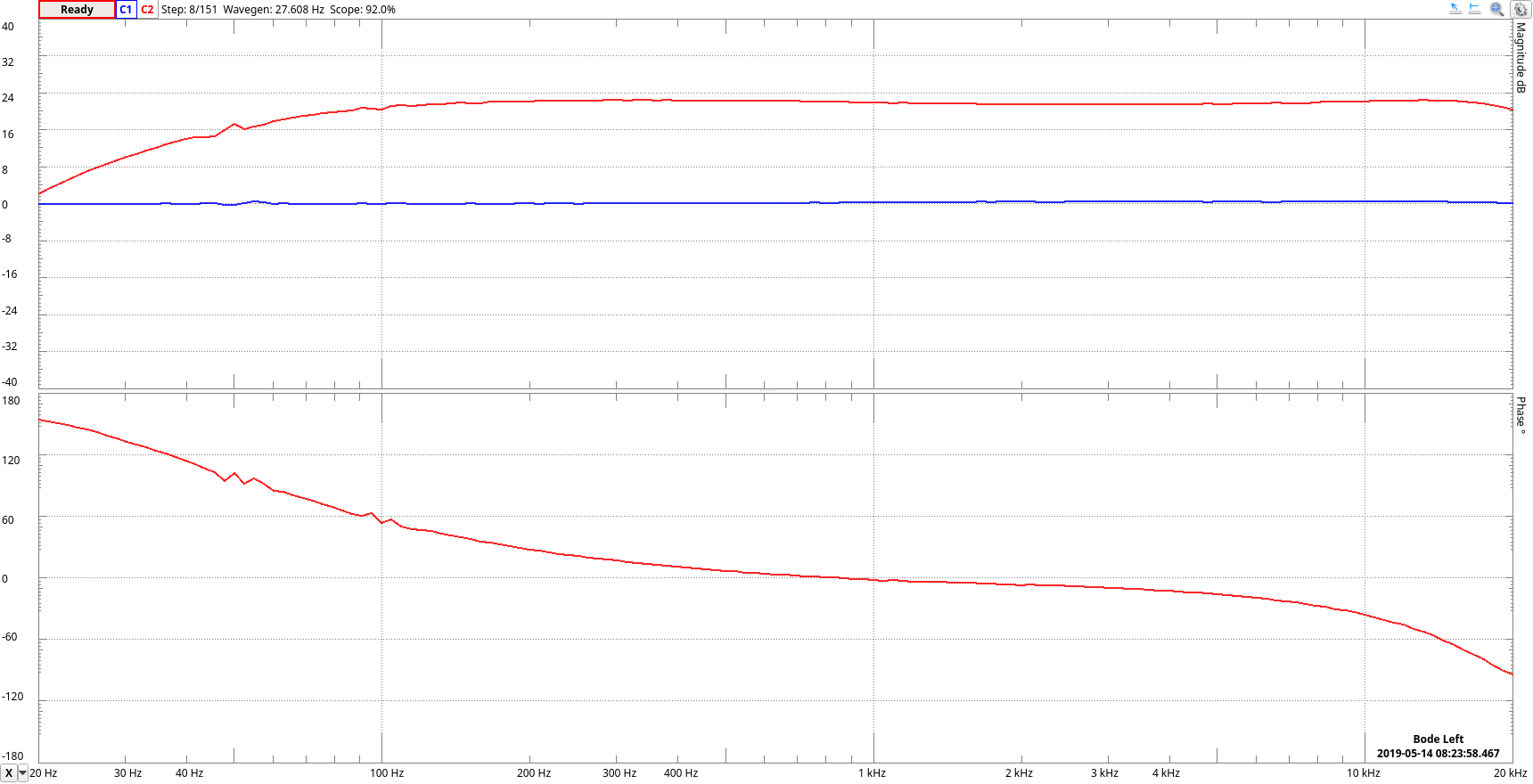
## Schaltung



Vorverstärker und Endstufe wurden über einen Koppel Kondensator verbunden, da eine DC mäßige Trennung erfordert ist.

## Messungen

Linker Kanal Bode Diagramm:

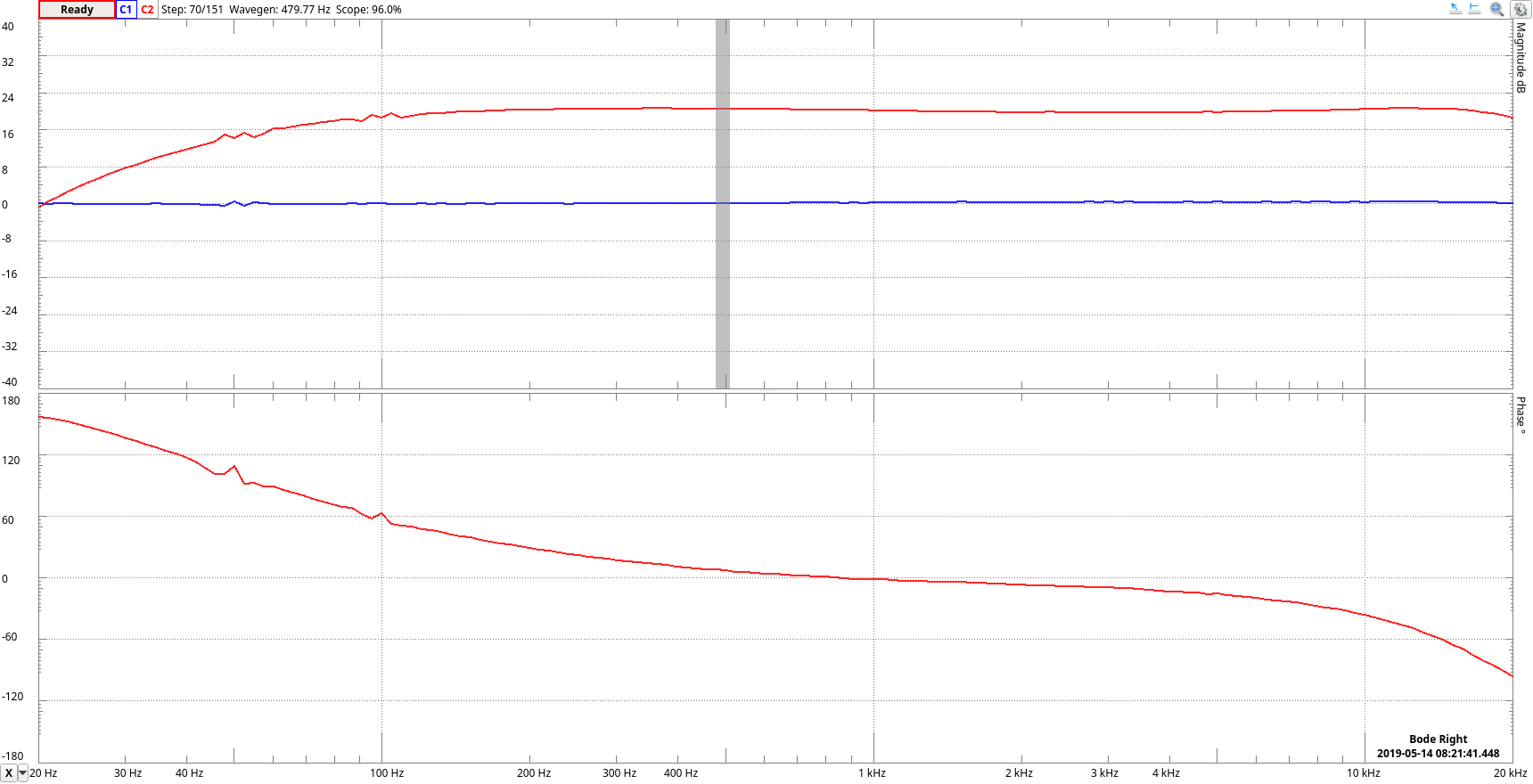


24dB

100Hz

10kHz

Rechter Kanal Bode Diagramm:



10kHz

100Hz

24dB

# Gehäuse

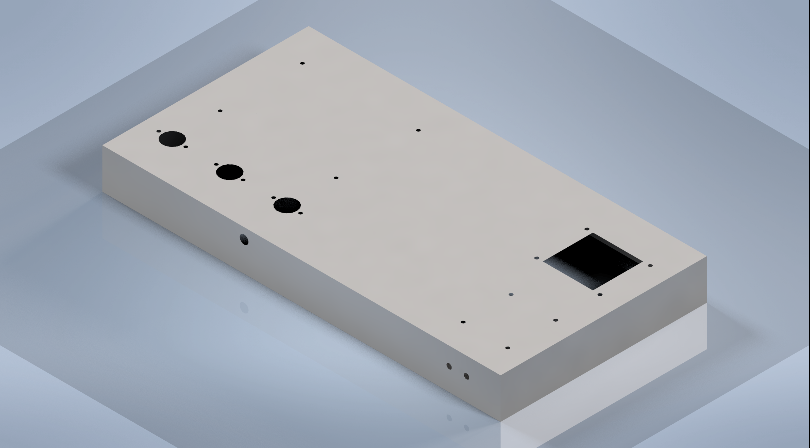
Mithilfe des 3D Modellierungsprogramm Autodesk Inventor 2020 wurde ein 3D-Modell des Gehäuses angefertigt. Als Grundlage des Gehäuses diente ein 16in Rack Switch Gehäuse. In dem Modell wurden nur die benötigten Bohrungen und Ausnehmungen gezeichnet. Alle nicht verwendeten, jedoch bestehende Ausschnitte und Bohrungen wurden weggelassen, um die das Modell übersichtlicher zu machen.

Figure 10: 3D Modell Gehäuse

Beim Platzieren der Bauteile wurde auf zwei Kriterien geachtet:

* Alle Spulen sollten zueinander 90° verdreht sein, sodass sich ihre Magnetfelder nicht gegenseitig beeinflussen.
* Es soll möglichst viel Abstand zwischen den Verstärkenden Elementen und dem Netzteil sein. Abermals um Störungen durch die Magnetfelder zu verhindern.

Diese Anforderungen wurden so gut wie möglich eingehalten, der einzige Verstoß gegen diese Kriterien fand bei der Platzierung der Übertrager statt. Diese sind nicht zueinander verdreht da sonst einer der beiden die gleiche Orientierung hätte wie entweder die Spule des Filters oder des Netztrafos.

## Mechanische Zeichnung

Figure 11: Mechanische Zeichnung des Gehäuses

1. Siehe 2.4 Berechnung der Spannungsanpassung [↑](#footnote-ref-4)