

SEMINARARBEIT

im Studiengang BEL3
Lehrveranstaltung Audiotechnik

Simulation eines Klasse-D-Verstärker

Ausgeführt von: Christian Schwarzgruber

Alexander Rössler

Matrikelnummer: 1110254027

1110254020

Begutachter: Michael Windisch

Wien, 17. Januar 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Recherche über Klasse D-Verstärker	1
1.1	Recherche	1
1.2	Funktionsweise	1
1.3	Vorteile des Klasse-D-Verstärkers	1
1.4	Nachteile des Klasse-D-Verstärkers	1
1.5	Alternativen	2
1.5.1	A-Verstärker	2
1.5.2	B-Verstärker	2
1.5.3	AB-Verstärker	2
1.5.4	Weitere Verstärker	2
2	OPV Vergleich	3
2.1	OPV-LM324	3
2.1.1	Simulation	3
2.2	OPV-OPA350	3
2.2.1	Simulation	3
3	Dreiecksgenerator, Komparator-Schaltung und Treiberstufe	4
3.1	Dreiecksgenerator	4
3.1.1	Schaltungsaufbau	4
3.1.2	Dimensionierung	4
3.1.3	Funktionsweise	4
3.2	Komparator-Schaltung	5
3.2.1	Schaltungsaufbau	5
3.2.2	Funktionsweise	5
3.3	Treiberstufe	5
3.3.1	Schaltungsaufbau	5
3.3.2	Dimensionierung	6
3.3.3	Funktionsweise	6
3.4	Ausgangsfiler	6
3.4.1	Schaltungsaufbau	6
3.4.2	Dimensionierung	6
3.5	Ausgang und Signal	7
3.5.1	Schaltungsaufbau	7
3.5.2	Dimensionierung	7

4 Klasse-D-Verstärker Schaltung	8
4.1 Schaltung	8
4.2 Messergebnisse	8
4.3 Interpretation der Simulation	8
5 Seminarbuch	9
Literaturverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11

1 Recherche über Klasse D-Verstärker

1.1 Recherche

Es gibt unzählige Möglichkeiten einen Klasse D-Verstärker zu implementieren, doch besitzen sie allesamt die selben Grundbauelemente, wie Schmitttrigger und Dreiecksgenerator.

Oft wird eine analoge PWM-Steuerung verwendet um, dass Signal mit nur zwei Spannungszuständen zu erzeugen. Es gibt noch verschiedene andere analoge und digitale Verfahren bzw. Verfeinerungen, wie Pulsfrequenzmodulation, Sigma-Modulation oder Sliding-Mode-Regelung.[1] Bei der Recherche sind wir auf eine gute Anleitung gestoßen, die auch noch dazu sehr gut erklärt ist.[2] Im Internet findet man unzählige Anleitungen über den Aufbau von Klasse-D-Verstärker, manche sind sehr umfangreich und detailliert erklärt.

1.2 Funktionsweise

Das eingangs Signal wird zunächst in ein Digitales Signal umgewandelt, meist geschieht das mit einer PWM-Steuerung, wie oben beschrieben. Dieses Signal ist nun viel Hochfrequenter und kann so Verlustarm verstärkt werden. Die PWM-Steuerung kennt nur zwei Zustände 1 und 0, sprich High und Low. Die Information, welche im Audiosignal enthalten war steckt nun im Tastverhältnis der modulierten Signals.

- Ist das Audiosignal größer als das Dreiecksignal liegt am Ausgang V_{CC}
- Ist das Audiosignal kleiner als das Dreiecksignal liegt am Ausgang GND

Die Duty-Cycle des PWM-Signals gibt Auskunft darüber, wie hoch das Eingangssignal(Audiosignal) war.

Um nach der Verstärkung das originale analoge Signal zu rekonstruieren, muss über Perioden der Mittelwert gebildet werden. Dies geschieht mit einem LC-Filterkreis.

1.3 Vorteile des Klasse-D-Verstärkers

- Es entsteht kaum Verlustleistung, die Effizienz ist infolgedessen sehr hoch(80%-95%)
- Durch die hohe Effizienz kann die Stromversorgung kleiner dimensioniert werden.
- Kühlkörper können so auch viel kleiner ausfallen oder überhaupt weggelassen werden.
- Kosten Ersparnis

1.4 Nachteile des Klasse-D-Verstärkers

- Klasse-D Schaltungen werden oft als nicht ebenbürtig im Vergleich zu Klasse-A oder Klasse-AB angesehen, aufgrund von der geringen Leistung von Klasse-A bzw. Klasse-AB Verstärker.

1.5 Alternativen

1.5.1 A-Verstärker

Klasse "A-Verstärker" besteht aus einer Transistor Schaltung mit einem Transistor. Der Arbeitspunkt liegt in der Mitte. Diese Klasse wird heute kaum noch verwendet Grund hierfür ist der geringe Wirkungsgrad von nur 6.25%, unabhängig von der Last. Das heißt wenn ein Verstärker der Klasse-A ein Ausgangsleistung von 10 Watt liefert wandelt es ständig 60 Watt in Wärmeenergie um. [3]

1.5.2 B-Verstärker

Beim Klasse B-Verstärker werden mindestens zwei Transistoren verwendet. Geht man von einem Sinus Signal aus, leitet der eine Transistor bei der Positiven Halbwelle während der andere Transistor sperrt, somit nimmt der zweite Transistor keine Leistung auf. Bei negativer Halbwelle leitet der Transistor zwei während der Transistor eins Sperrt. Nachteil ist das bei einer Eingangsspannung nahe dem Nullpunkt keine Übertragung stattfindet, aufgrund der Basis-Emitter Dioden. Der Wirkungsgrad liegt beim Klasse-B-Verstärker bei 70%. [3]

1.5.3 AB-Verstärker

Der Klasse-AB-Verstärker ist eine Kombination aus Klasse A und B. Bei dem Klasse-AB-Verstärker werden wieder mindestens zwei Transistoren verwendet. Durch weitere Erweiterung der Schaltung fließt ein Ruhestrom, der dafür sorgt die Verzerrungen während des wechseln von der Negativen zur Positiven Halbwelle zu linearisieren. Der praktische Wirkungsgrad liegt weiterhin bei 70%. [3]

1.5.4 Weitere Verstärker

- C-Verstärker
- E-Verstärker
- H-Verstärker

2 OPV Vergleich

2.1 OPV-LM324

Der OPV-LM324 hat eine sehr geringe Slew Rate von nur $0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$ dies ist der Grund warum das Ausgangssignal nicht dem Eingangssignal folgen kann. Siehe Abbildung [2.1](#)

2.1.1 Simulation

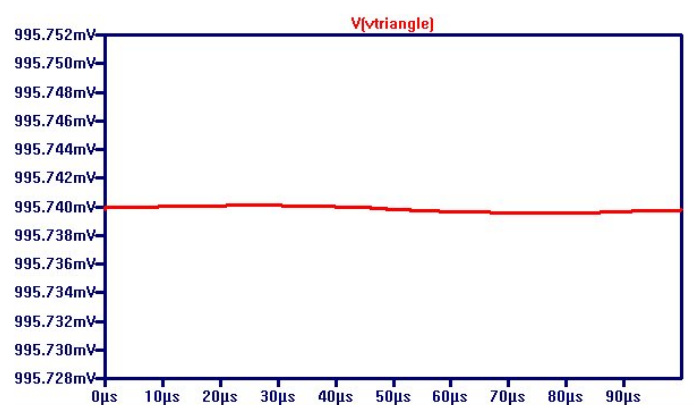


Abbildung 2.1: Ausgangssignal LM324

2.2 OPV-OPA350

Der OPV-OPA350 hat eine sehr hohe Slew Rate von $22 \text{ V}/\mu\text{s}$ welche sich bemerkbar macht. Das Ausgangssignal kann dem Eingangssignal folgen. Siehe Abbildung [2.2](#)

2.2.1 Simulation

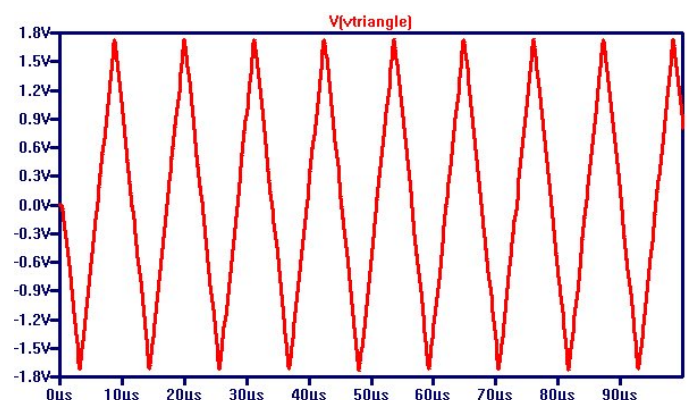


Abbildung 2.2: Ausgangssignal OPA350

3 Schaltungsaufbau

3.1 Dreiecksgenerator

Um das Audiosignal zu vergleichen, wird ein Referenzsignal benötigt, meist wird ein Dreieckssignal oder Sägezahnsignal erzeugt. Dieses Signal liegt anschließend an der PWM-Schaltung an.

3.1.1 Schaltungsaufbau

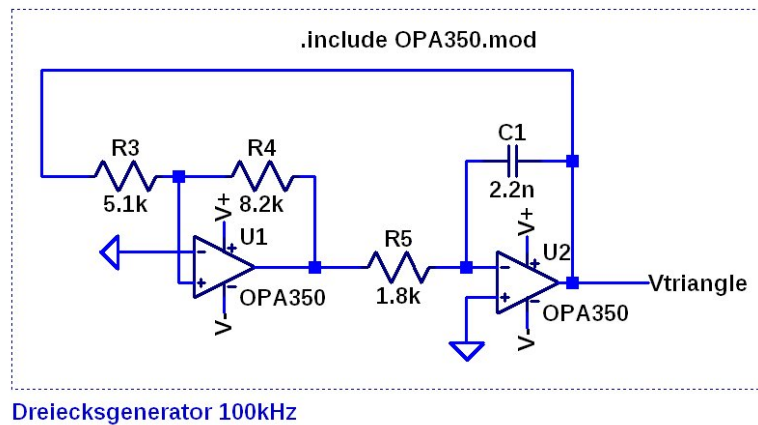


Abbildung 3.1: Dreiecksgenerator

3.1.2 Dimensionierung

$$R_3 = 5.1.k\Omega$$

$$R_4 = 8.2k\Omega$$

$$R_6 = 1.8k\Omega$$

$$C_1 = 2.2nF$$

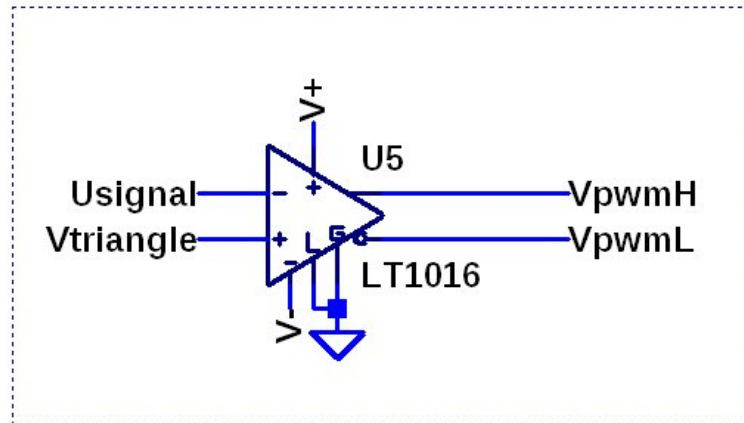
3.1.3 Funktionsweise

Die Dreiecksgenerator-Schaltung besteht aus einem Integrator(rechts) und aus einem Invertierenden Schmitt-Trigger(links).

3.2 Komparator-Schaltung

Zur Generierung des PWM-Signals wird ein Komparator benötigt.

3.2.1 Schaltungsaufbau



Komparator - PWM Erzeugung

Abbildung 3.2: PWM Erzeugung durch Komparator

3.2.2 Funktionsweise

Eingangssignal und Dreiecksignal werden verglichen, am Ausgang entsteht ein PWM Signal, mit konstanter Frequenz und unterschiedlicher Pulsweite.

3.3 Treiberstufe

3.3.1 Schaltungsaufbau

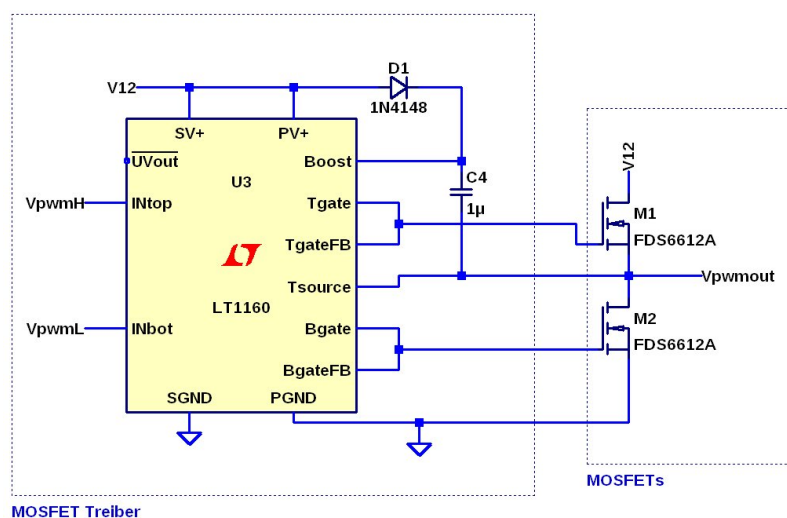


Abbildung 3.3: MOSFET Treiber

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}}$$
$$f_g \approx 23.215 kHz$$

3.5 Ausgang und Signal

Um den Lautsprecher am Ausgang zu Simulieren, wird ein 4Ω Widerstand verwendet.

3.5.1 Schaltungsaufbau

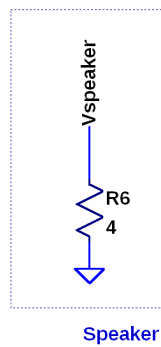


Abbildung 3.6: Lautsprecher Abschlusswiderstand

3.5.2 Dimensionierung

$$R6 = 4\Omega$$

4 Klasse-D-Verstärker Schaltung

Zum Testen wird ein 10 kHz Signal verwendet. Man sieht, das Ergebnis ist nicht optimal.

4.1 Schaltung

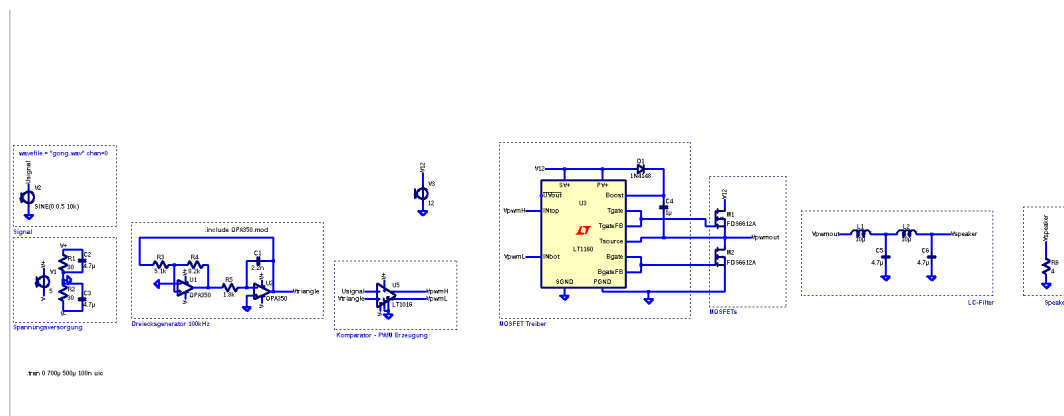


Abbildung 4.1: Fertige Schaltung

4.2 Messergebnisse

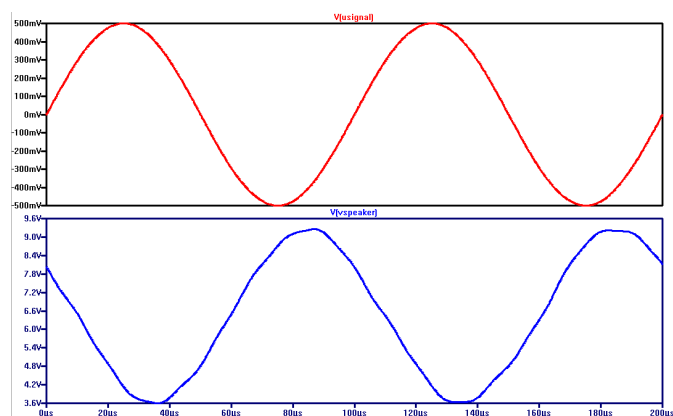


Abbildung 4.2: Eingangssignal-Ausgangssignal

4.3 Interpretation der Simulation

Das Ausgang Signal entspricht nicht exakt dem Eingangssignal. Verbesserungen konnte man durch Änderung der Dimensionierung des Ausgangsfilters erreichen.

5 Seminarbuch

Tabelle 5.1: Tätigkeit

Arbeitstag	Tätigkeit
1. Tag	Recherche im Internet über D-Verstärker
2. Tag	Dimensionierung der Dreiecksgenerators und Simulation
3. Tag	Hinzufügen eines LC-Filters

Tabelle 5.2: Arbeitsaufwand

Arbeitszeit(h)	Dokumentation(h)
2	2
2	2
2	3
6	7

Literaturverzeichnis

- [1] Wikipedia, "Digitalendstufe," www.de.wikipedia.org/wiki/Klasse-D-Verst%C3%A4rker, Sep. 2012.
- [2] D. Immel, "Entwicklung und Aufbau eines Klasse-D Verstärkers," www.widatec.com/CAE.pdf, Tech. Rep., Mai 2007.
- [3] P. Schnabel, "Verstärker," <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/slt/1501211.htm>.

Abkürzungsverzeichnis

PWM Pulsweitenmodulation
OPV Operationsverstärker