

MP3 Stereoverstärker

Reinhard Noll, DF1RN

In unserem Ortsverband, G01, Aachen, hatten wir für eine Selbstbauaktion mit Jugendlichen einen MP3 Stereoverstärker in einer Zigarrenkiste konzipiert und diesem Projekt zur Bewerbung den nicht ganz treffenden Namen *cigar docking station* (CDS) verliehen [1]. Über einen Anschluss am Handy - das heute fast alle Jugendlichen haben - mit 3,5 mm Klinkenstecker sollte eine etwas nostalgisch anmutende Zigarrenkiste folgen, über die MP3 Musikstücke in Zimmerlautstärke und Stereophonie wiedergegeben werden können. Der ortsansässige Zigarrenladen hat uns dankenswerterweise die Holzkistchen sogar auf Maß bereitgestellt [2]. Die Aktion hat bei den Jugendlichen große Resonanz hervorgerufen. Die Vorbereitung des Bausatzes insbesondere des schmucken Gehäuses macht allerdings einige Mühe und war nur mit dem unermüdlichen Einsatz von Ludwig Hoenen, DG2KHL, G01, zu schaffen, der u.a. eine Bohrschablone gefertigt hatte, um das Lochraster für die beiden Lautsprecher im Deckel der Zigarrenkiste einzubringen (jeweils 69 Löcher á Ø 2,5 mm).

Die Bilder 1 und 2 zeigen die aufgebaute *cigar docking station*. Auf der Oberseite der Zigarrenkiste sind die Lochraster für die beiden Stereolautsprecher zu sehen. Die Abmessungen des Gehäuses sind: $B \times H \times T = 150 \times 59 \times 120 \text{ mm}^3$.



Bild 1: MP3 Stereoverstärker CDS. Links ist das Anschlusskabel mit dem 3,5 mm Stereo-Klinkenstecker zu sehen und in der Bildmitte zwei LEDs - die grüne als Aussteuerungsanzeige, die rote für den eingeschalteten Zustand - und rechts der Ein-/Ausschalter

Das 3,5 mm Stereo-Klinkensteckerkabel wird durch die linke Seitenwand der Zigarrenkiste, vgl. Bild 2, nach Außen geführt. Mit einem Kabelbinder auf der Innenseite wird es zugentlastet. Die Platine und die Batterie sind so angeordnet, dass sie bei geschlossenem Deckel der Zigarrenkiste gerade in die jeweils von den diagonal angeordneten Lautsprechern freigelassenen Bereiche hineinragen.

Den Schaltplan zeigt Bild 3. Jeder Kanal des Stereosignals wird einem Verstärker-IC des Typs LM386 zugeführt, dessen Ausgänge über eine Kapazität von 220 µF jeweils auf einen Lautsprecher (Ø 57 mm, 8 Ω) geführt werden. Die Beschaltung zwischen den Anschlüssen 1 und 5 des LM 386 folgt einem Vorschlag des Chipherstellers National Semiconductor, die als *Bass Boost* bezeichnet wird [3]. Der Platz im Deckel der Zigarrenkiste reicht auch aus, um zwei Lautsprecher mit Ø 77 mm unterzubringen, das ergibt dann einen noch volleren Sound [4].

Den eingeschalteten Zustand zeigt eine rote LED an. Das NF-Signal am linken Lautsprecher wird zusätzlich dem Transistor T1 zugeführt, der bei Signalspitzen durchschaltet und eine grüne LED zum Leuchten bringt. Die Abmessungen der Platine sind großzügig ausgelegt, um die Bestückung einfach zu halten. Sie betragen 40 x 100 mm².

Tabelle 1 zeigt die Stromaufnahme der Schaltung bei verschiedenen Betriebszuständen.

Tab.1: Stromaufnahme des Stereoverstärkers

Betriebszustand	Stromaufnahme [mA]	Leistungsaufnahme [mW]
kein Eingangssignal	9,1	82
Musiksignal	10 - 32	90 - 290
1 kHz Sinussignal	130	1200

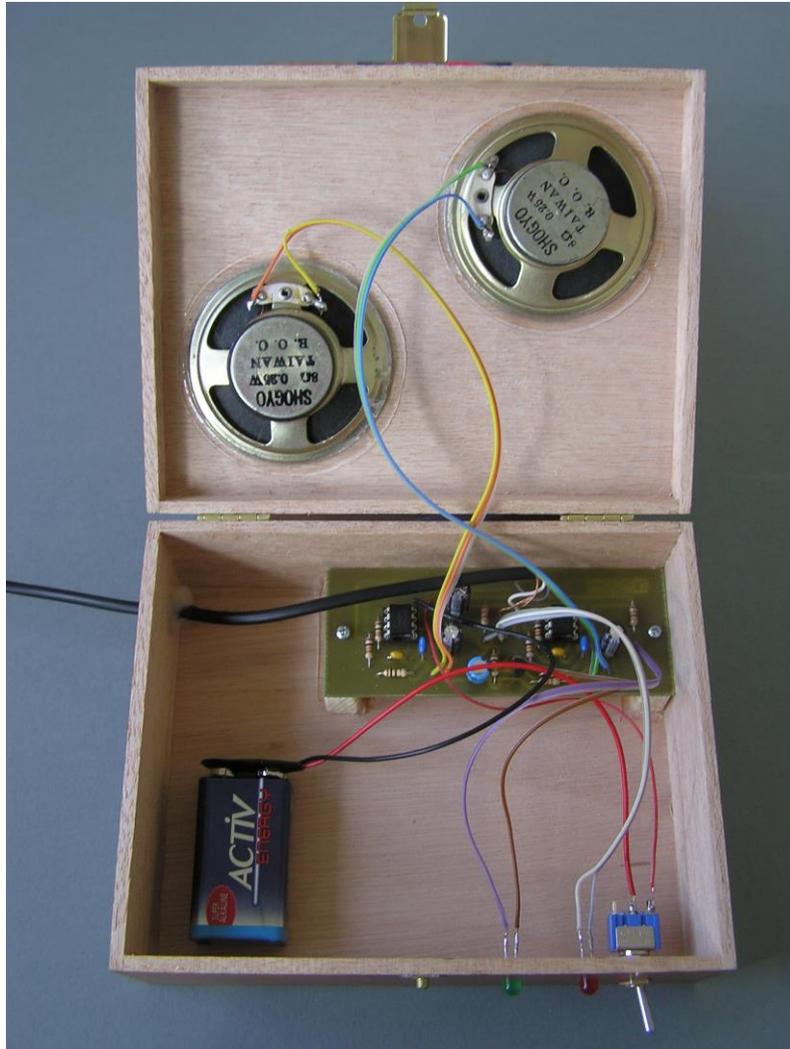


Bild 2: Blick in die geöffnete Zigarrenkiste der CDS. Am Deckel sind die beiden Lautsprecher (\varnothing 57 mm) mit Heißkleber montiert. Die bestückte Platine wird auf zwei kleine Holzsockel geschraubt. Die 9 V Blockbatterie ist unten links mit doppelseitigem Klebeband auf dem Boden befestigt

Die Selbstbauaktion zur *cigar docking station* wurde an einem Samstag-Vormittag innerhalb von ca. drei Stunden mit vorbereiteten Bausätzen durchgeführt. Vor der Zusammenstellung der Bausätze wurde ein kompletter Prototyp (Schaltung, Gehäuse) aufgebaut, um die Anordnung der Baugruppen sowie deren Funktionstüchtigkeit zu erproben und zu optimieren.

Für die Durchführung der Selbstbauaktion hat sich folgender Ablauf bewährt: a) Einführung in das Projekt, in die Grundzüge des Lötens sowie Sicherheitshinweise mit einem Vortrag (Powerpoint-Präsentation), b) Ausgabe der Bausätze mit Aufbauanleitung, c) Aufbau durch die Jugendlichen unterstützt und begleitet von erfahrenen OMs, d) Prüfung der aufgebauten Schaltung vor Anschluss der Batterie durch OMs, ggf. Korrekturen, e) Anschluss der Batterie und Inbetriebnahme. Alle 20 Bausätze wurden erfolgreich aufgebaut!

Für weitergehend Interessierte habe ich einige Eigenschaften der Schaltung gemessen. Zur Bestimmung des Frequenzgangs wurde der Generator DDS 20 G verwendet [5]. Dessen Spitze-Spitze Leerlaufausgangsspannung wurde zu 76 mV gewählt. Sie ist für Frequenzeinstellungen am DDS 20 G von 10 Hz bis 30 kHz konstant. Dieses Signal wurde auf den rechten Kanal des MP3 Stereoverstärkers gegeben. Das Ausgangssignal wurde parallel zum

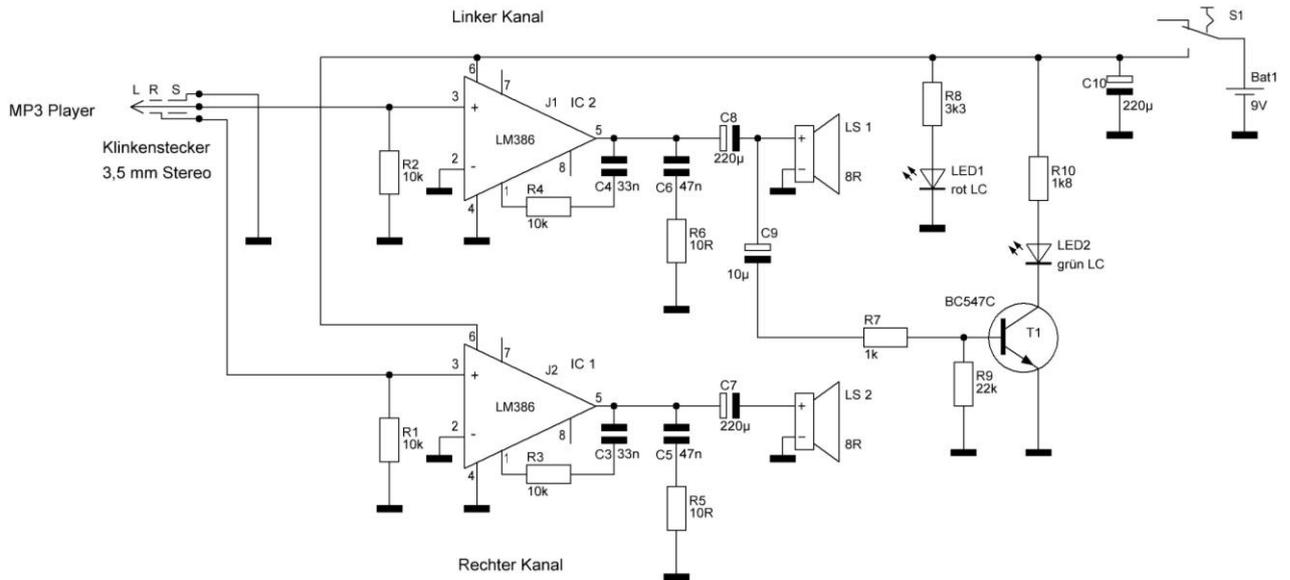


Bild 3: Schaltplan des MP3 Stereoverstärkers für die *cigar docking station*

rechten Lautsprecher abgegriffen und zum Eingang eines Oszilloskops geführt. Je nach Frequenz variiert die gemessene Ausgangsspannung zwischen $130 \text{ mV}_{\text{ss}}$ und $920 \text{ mV}_{\text{ss}}$. Das Ausgangssignal hat bei diesen Pegeln Sinusform, Verzerrungen sind nicht erkennbar. Die ermittelte Spannungsverstärkung als Funktion der Frequenz zeigt Bild 4. Deutlich ist die Anhebung der Verstärkung bei tieferen Frequenzen erkennbar (*Bass Boost*, s.o.). Oberhalb von 1 kHz ist die Spannungsverstärkung bis zu Frequenzen von 30 kHz nahezu konstant und nähert sich dem Wert 19,1 dB, der gut mit den Angaben von [3] übereinstimmt.

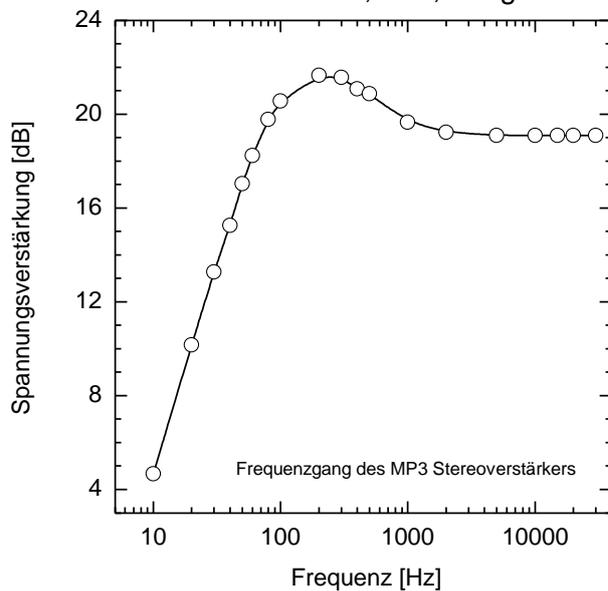


Bild 4: Spannungsverstärkung des MP3 Stereoverstärkers in dB als Funktion der Frequenz

Das Schaltverhalten des Transistors T1 für die Aussteuerungsanzeige wurde mit dem Zweikanaloszilloskop Tektronix TK 7844 untersucht. Zwischen Emitter und Masse von T 1 wurde ein 3Ω Serienwiderstand eingebaut, um den Strom zu messen. Dieser Abgriff wird auf Kanal 1 des 50Ω Eingangs des TK 7844 geführt. Der zweite Abgriff erfolgt über einen $1 \text{ k}\Omega$ Serienwiderstand, der an den Pluspol des rechten Lautsprechers angeschlossen wird. Bild 5 zeigt das Messergebnis bei einer Eingangsfrequenz von 250 Hz. Die Amplitude des Signals am Lautsprecher - untere Kurve - beträgt $945 \text{ mV} = 45 \text{ mV} \times (1050/50)$. Die obere Spur zeigt den Strom in der Emitterleitung. Er erreicht einen Maximalwert von $3,3 \text{ mA} = 10 \text{ mV}/3 \Omega$. Die grüne LED leuchtet bei diesem Pegel am Lautsprecher für eine Dauer von ca. $600 \mu\text{s}$ auf.

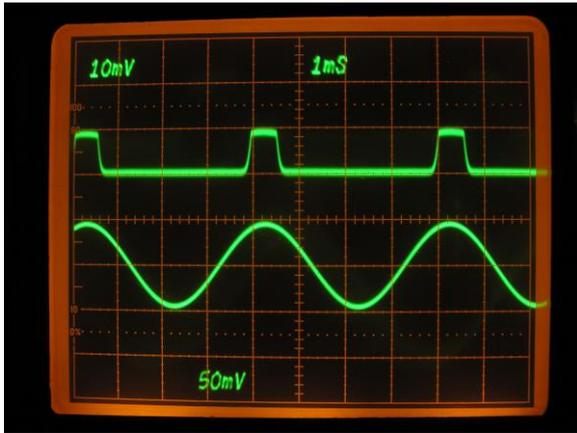


Bild 5: Zweikanaloszillogramm, oben: Emitterstrom des Transistors T1, unten: Signal am rechten Lautsprecher nach dem Spannungsteiler, Frequenz 250 Hz

Bild 6 zeigt das Messergebnis bei 4 kHz mit einer etwas größeren Amplitude am Lautsprecher. Der Strompuls erreicht wieder eine Amplitude von 3,3 mA, die Dauer beträgt jetzt nur noch 50 μ s.

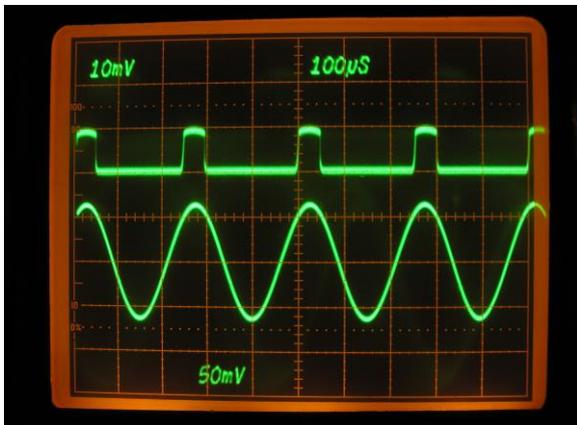


Bild 6: Wie vor, jedoch mit 4 kHz Signal

Bild 7 zeigt schließlich ein 20 kHz Signal. Der Strompuls hat jetzt nur noch eine Dauer von 10 μ s. Die Verhundertfachung der Frequenz hat die Blitzdauer der LED um ein Fünftel verkürzt. Das heißt, die mittlere Helligkeit der Blitzfolge der LED ist näherungsweise unabhängig von der Frequenz. Das wäre also ein möglicher Schaltungsansatz für ein Stroboskop, dessen mittlere Beleuchtungshelligkeit nicht von der Stroboskopfrequenz abhängt.

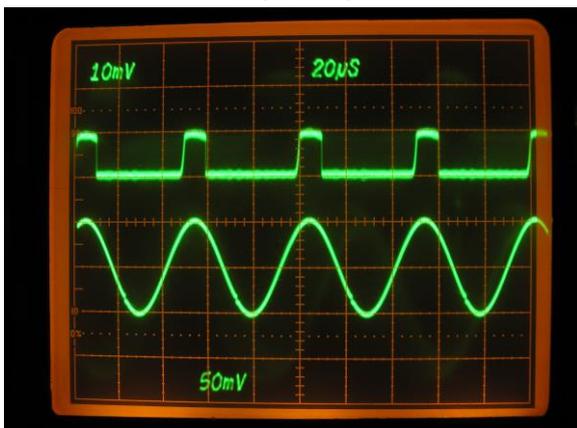


Bild 7: Wie vor, jedoch mit 20 kHz Signal

Der Transistor T1 schaltet durch, wenn seine Schaltschwelle S an der Basis-Emitter-Strecke überschritten wird. Die Schaltdauer kann vereinfachend wie folgt berechnet werden:

$$T = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin(S/u_b)}{\pi f} \quad (1)$$

mit T - Schaltdauer, S - Schaltschwelle, u_b - Amplitude der Sinusschwingung an der Basis von T1, f - Frequenz der Schwingung. Für (1) wird angenommen, dass $S \leq u_b$ ist. Nehmen wir weiterhin vereinfachend an, dass die Spannung an der Basis von T1 aus dem Spannungsteiler R9, R7 und C9 berechnet werden kann – unter Vernachlässigung der Basis-Emitter-Impedanz des Transistors T1 – so resultieren mit (1) die in Tabelle 2 berechneten Einschalt Dauern. Der Vergleich mit dem Experiment zeigt eine passable Übereinstimmung.

Tab. 2: Berechnete und gemessene Einschalt Dauern der grünen LED, angenommene Schaltschwelle: 810 mV

Bild Nr.	Amplitude des Lautsprechersignals [mV]	Frequenz [Hz]	Spannungsabfall an R9, u_b [mV]	berechnete Einschaltdauer [μ s]	gemessene Einschaltdauer [μ s]
3	945	250	904	586	600
6	1050	4000	1004	50	50
7	1365	20000	1306	14	10

Zur Untersuchung des Dynamikverhaltens habe ich den Eingangspegel des Verstärkers schrittweise erhöht und das Signal am Lautsprecher wieder mit einem 1 k Ω Serienwiderstand abgegriffen. Bei zu hohem Eingangspegel treten starke Abweichungen von der Sinusform auf. Bild 8 zeigt ein Beispiel. Bei einer gemessenen Spitze-Spitze Spannung am Abgriff von 215 mV setzen die nicht-harmonischen Verzerrungen ein. Dem entspricht eine Spitze-Spitze Spannung von $(1050/50) \times 215 \text{ mV} = 4515 \text{ mV}$ am Lautsprecher. Von der Triggerschwelle des Abgriffsignals von ca. 0,8 mV bis 215 mV liegt ein sinusförmiges Signal vor. Aber auch schon Signale unterhalb der Triggerschwelle sind hörbar. Der Dynamikbereich beträgt also mindestens $20 \times \log(215/0,8) \text{ dB} = 48,6 \text{ dB}$.

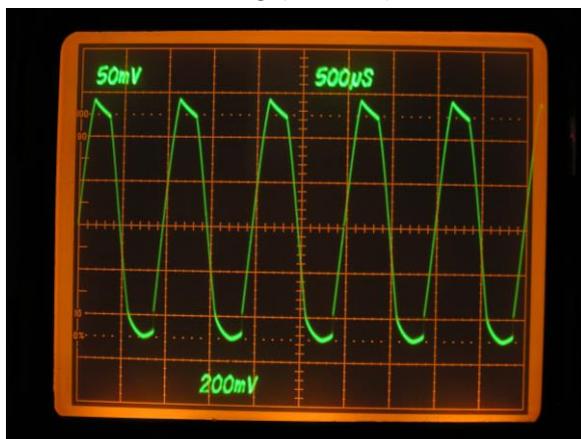


Bild 8: 1 kHz Signal am Lautsprecher gemessen hinter dem 1 k Ω Abgriff und hohem Eingangspegel bei dem deutliche Verzerrungen des Ausgangssignals auftreten

Für den Stereoeffekt sind die Laufzeitdifferenzen für die Lokalisation untersucht worden. Bei einer Differenz von 820 μ s wird der Hörereignisort ganz einem Lautsprecher zugeordnet [6]. Bei 140 μ s einem Ort, der bei 25 % des Abstands von der Mitte zwischen den Lautsprechern bis zu einem Lautsprecher liegt. Das heißt die beiden Kanäle des Stereoverstärkers sollten den Lautsprechern bei gleichem Eingangssignal die gleiche Phase liefern. Bei impulsförmigen Signalen sollten beide Kanäle des Verstärkers die gleiche Durchlaufzeit haben oder deren Abweichung sollte kleiner als z.B. $140 \mu\text{s}/10 = 14 \mu\text{s}$ sein.

Um dies zu testen, habe ich das Rechteck-TTL-Ausgangssignal des DDS 20 G mit einem RC-Glied zu Impulsen geformt. Mit einem Kondensator von 0,1 μ F und 50 Ω ergibt sich eine RC-Zeit von 5 μ s. Das DDS TTL-Signal wird zunächst um 35 dB abgeschwächt und dann auf das RC-Glied geführt. Das Ausgangssignal des RC-Glieds wird auf beide Eingangskanäle des Stereoverstärkers gegeben. Bild 9 zeigt das Messergebnis an den beiden Lautsprechern, das jeweils wieder über 1 k Ω Widerstände abgegriffen wurde. Die Impulse sind synchron, aufgrund der Ableseunsicherheit ist davon auszugehen, dass sie innerhalb von 10 μ s gleichzeitig auftreten.

Der ohmsche Widerstand der Lautsprecher beträgt: 6,7 Ω rechts und 8,0 Ω links. Wird das gleiche Eingangssignal einmal rechts und dann links angelegt, so klingen die Lautsprecher auch unterschiedlich laut. Verschiedene Aufdrucke auf der Rückseite der Lautsprecher zeigen, dass diese ev. aus unterschiedlichen Bauserien des Herstellers stammen.

Zur Bestimmung des Innenwiderstands des MP3 Stereoverstärkerausgangs wurde ein Lautsprecher abgelötet (LS2 hinter C7, siehe Bild 3) und die Leerlaufausgangsspannung über einen Abgriff mit 1 k Ω auf den 50 Ohm Eingang des Oszilloskops geführt. Das Eingangssignal dieses Kanals mit 1 kHz wurde so gewählt, dass am Oszilloskop ein Signal von 20 mV_{ss} gemessen wurde. Dem entspricht eine Leerlaufausgangsspannung von $u_{\text{leer ss}} = (1050/50) 20 \text{ mV} = 420 \text{ mV}$. Dann wurde der Ausgang (hinter C7) mit 1 Ohm zur Masse belastet, Ergebnis $u_{1 \Omega \text{ ss}} = 21 \times 14 \text{ mV} = 294 \text{ mV}$. Für den Innenwiderstand folgt mit:

$$R_i = 1 \Omega \left(\frac{u_{\text{leer ss}}}{u_{1 \Omega \text{ ss}}} - 1 \right)$$

$R_i = 0,42 \Omega$. Bei 10 kHz ergeben die Messungen: 0,18 Ω .

In Tabelle 3 sind die ermittelten technischen Daten des MP3 Stereoverstärkers zusammengefasst.

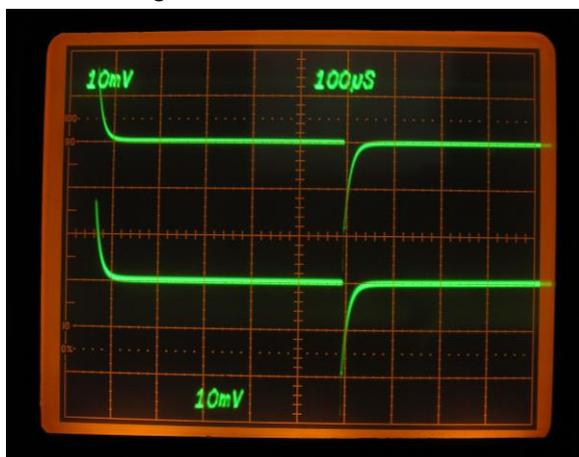


Bild 9: Signal der Impulsfolge am linken und rechten Lautsprecher. Der Abstand zwischen zwei kleinen Teilstrichen beträgt 20 μs . Die Pulse sind auf besser als 10 μs synchron

Tab. 3: Technische Daten des MP3 Stereoverstärkers.

Technische Daten des MP3 Stereoverstärkers	
Spannungsverstärkung	19 dB \pm 3 dB
Frequenzbereich	45 Hz - 30 000 Hz
Pulsdauer der Aussteuerungsanzeige	10 μs - 2,5 ms
verzerrungsfreier Dynamikbereich	> 48,6 dB
Laufzeitdifferenz zwischen linkem und rechtem Kanal	< 10 μs
Innenwiderstand des Ausgangs	< 0,5 Ω

Der Stereoeffekt des aufgebauten Geräts ist aufgrund des kleinen Basisabstands zwischen den Lautsprechern naturgemäß nur im Nahbereich der *cigar docking station* ausgeprägt wahrnehmbar. Bringt der Hörer jedoch seinen Kopf in die Nähe der Zigarrenkiste mit zentraler Position, so ist ein beeindruckender Stereosound zu hören.

Fazit

Der vorgestellte MP3 Stereoverstärker ist ein lohnendes Selbstbauprojekt für Jugendliche (und auch Erwachsene!), auch solche, die zum erstenmal den Lötcolben ergreifen. Sie schließen ihre Mobiltelefone an und hören ihre Musik in Zimmerlautstärke, ein echtes Erfolgserlebnis.

Der aufgebaute Verstärker kann mit Amateurmitteln eingehend charakterisiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz seiner Einfachheit schon ganz beachtliche technische Daten erzielt werden.

Aachen, 19.2.2017 Reinhard, DF1RN

Bezugsdokumente

- [1] Idee und Umsetzung: Ludwig Hoenen, DG2KHL; Reinhard Noll, DF1RN; G01, Aachen
- [2] Schneiderwind GmbH & Co. KG, Lindenplatz 11-12, 52064 Aachen
- [3] National Semiconductor, LM 386, Low Voltage Audio Power Amplifier, January 2000, p. 5
- [4] reichelt Elektronik GmbH, Miniatur-Lautsprecher 0,5 W, Artikel-Nr. BL 77
- [5] Frequenzgenerator DDS 20G, H.-S. Hau, Ing.-Büro für Elektronik, Fischersand 53, 99084 Erfurt
- [6] <http://www.uni-koeln.de/phil-fak/muwi/ag/umdruck/umdruck.htm>, 4/2011