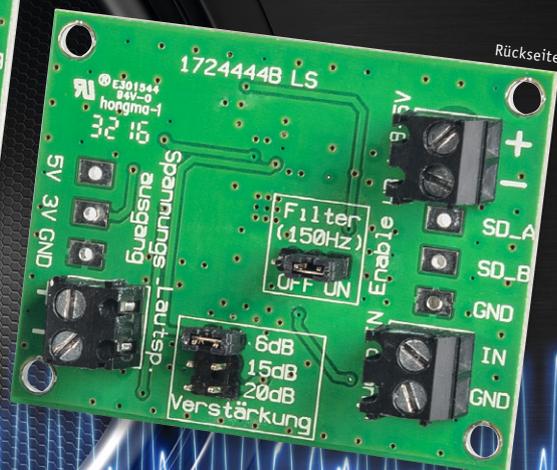
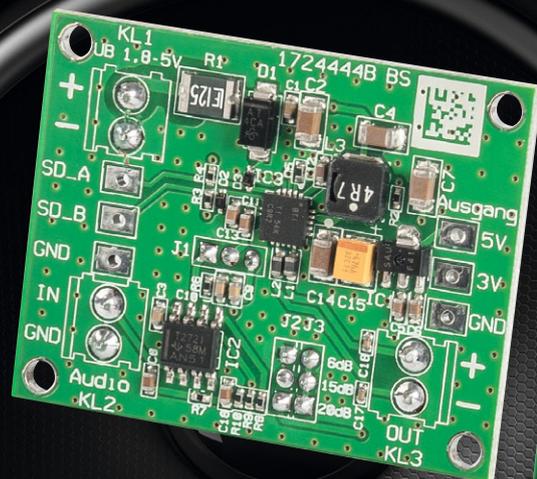


MONTAGE
VIDEO

Spezialist für Batteriebetrieb

2W-Class-D-Verstärker für 3-V-Betrieb

Infos zum Bausatz

im ELV Shop

#10040

Tragbare Audiogeräte wie etwa Bluetooth-Lautsprecher oder Sprachausgabegeräte mit Mikrocontrollersteuerungen werden immer beliebter. Allerdings ist es mit Standard-Audioverstärkertechnik nicht einfach, den bei kompakten Gehäusen beliebten 3-V-Batteriebetrieb zu realisieren. Mit dem Class-D-Verstärkerbaustein TPA2013 von Texas Instruments findet sich eine Lösung für das Problem. Wir haben rund um den TPA2013 einen kompakten und vielseitig einsetzbaren Audioverstärker für den 3-V-Betrieb entwickelt.

Geräte-Kurzbezeichnung:	DA2
Versorgungsspannung:	1,8–5 Vdc
Leistungsaufnahme	0,15 mW (SD_A und SD_B auf low)
Ruhebetrieb:	0,65 W (ohne Signal)
Stromaufnahme:	max. 1 A @ 1,8 V (UB) 50 µA (SD_A und SD_B auf Low)
Eingangspegel (max):	2,12 V _{RMS} /V = 6 dB 770 mV _{RMS} /V = 15 dB; 420 mV _{RMS} /V = 20 dB
Eingangswiderstand:	100 kΩ
Ausgangswiderstand:	min. 4 Ω Lautsprecherimpedanz
Ausgangsleistung:	2,8 W @ RL = 4 Ω/UB = 4 V/5 % THD 1,7 W @ RL = 4 Ω/UB = 4 V/0,5 % THD 1 W @ RL = 4 Ω/UB = 1,8 V/5 % THD 0,15 W @ RL = 4 Ω/UB = 1,8 V/1,5 % THD
Wirkungsgrad:	max. 90 %
Ausgangsspannungen:	3 V/5 V/max. 100 mA
Leitungslängen an KL3:	50 cm max.
Sonstiges:	Eingangshochpassfilter 150 Hz (wählbar) Verstärkung in 3 Stufen (6/15/20 dB) wählbar kurzschlussfest/Temperaturüberwachung
Umgebungstemperatur:	-10 bis +55 °C
Abmessungen (B x H x T):	44 x 34 x 11 mm
Gewicht:	10 g

Technische Daten

Alles schon drin

Bei Audioverstärkern gilt: Je geringer die Versorgungsspannung, desto geringer ist auch die Ausgangsleistung. Aus diesem Grund setzt man bei niedrigen Versorgungs- bzw. Batteriespannungen zusätzlich sogenannte Step-up-Wandler (Booster) ein, die die Betriebsspannung in eine höhere Ausgangsspannung transformieren. Mit der so gewonnenen höheren Spannung lassen sich auch höhere Ausgangsleistungen realisieren.

Die meisten am Markt befindlichen Audioverstärker (Class-D) für portable Anwendungen sind für Lithiumzellen mit einer Spannung von 3,6 V ausgelegt, weshalb die untere Spannungsgrenze in der Regel bei 2,8 V liegt. Diese Spannungsgrenze verhindert jedoch einen sicheren Betrieb mit zwei 1,5-V-Batterien, denn auch bei halb vollen Batterien, also bei 2,4 V, soll der Verstärker noch funktionieren.

Eine Ausnahme bildet der Verstärkerbaustein TPA2013 von Texas Instruments. Dieser ist für eine minimale Versorgungsspannung von 1,8 V ausgelegt, und kann so problemlos mit zwei Batterien je 1,5 V betrieben werden. Das Geheimnis steckt im Verstärkerbaustein selbst – er enthält einen internen Step-



up-Wandler, der durch die intern erzeugte höhere Spannung einmal eine höhere Ausgangsleistung ermöglicht als im direkten 3-V-Betrieb und zum Zweiten eine sehr weite Ausnutzung der Batteriekapazität, also gleichbleibende Ausgangsleistung auch bei sinkender Batteriespannung ermöglicht.

Der Verstärker ist ein „Boosted“ Class-D-Verstärker (siehe „Elektronikwissen“), der sehr effizient arbeitet, sparsam im Stromverbrauch ist und keine externe Kühlung benötigt. So kann auch die Platine des Verstärkerbausteins DA2 sehr kompakt gehalten werden.

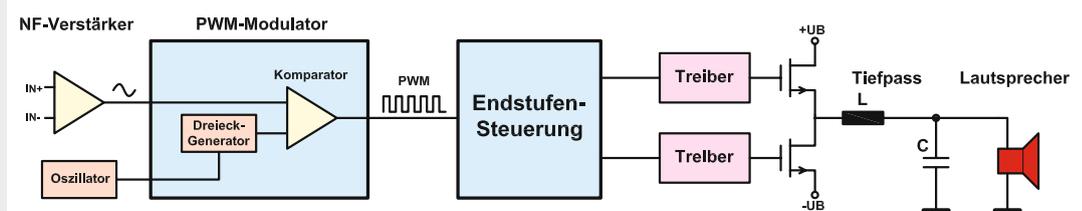
Funktion

Die Schaltung ist vorwiegend für den Batteriebetrieb ausgelegt, kann aber auch mit einem Netzteil versorgt werden. In Bild 1 ist das Blockschaltbild des DA2 dargestellt. Ein integrierter Step-up-Wandler erzeugt eine höhere Boosterspannung, in unserem Fall eine Spannung von 5 V. Hierdurch sind höhere Ausgangsleistungen möglich, die mit der reinen Versorgung nicht realisierbar sind. Die so erzeugte Spannung kann auch für die externe Spannungsversorgung von eigenen Schaltungskomponenten ver-

wendet werden. Es steht zusätzlich noch ein weiterer Ausgang mit einer Spannung von 3 V zur Verfügung, den man, wie auch den 5-V-Ausgang, z. B. für den Betrieb einer Mikrocontrollerschaltung nutzen kann.

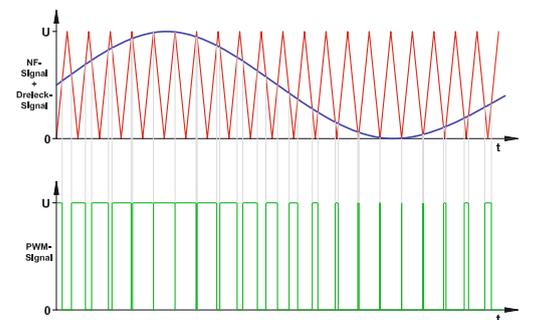
Auf eine Filterstufe am Ausgang wurde in unserer Schaltung verzichtet, der Lautsprecher bildet hier im Prinzip einen Tiefpass zur DA-Wandlung, da die Trägerfrequenz von 320 kHz nicht wiedergegeben werden kann und somit nur die niederfrequenten Audiosignale abgestrahlt werden. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die Zuleitung zum Lautsprecher auf eine bestimmte Länge (max. 50 cm) begrenzt wird, um so eine unerwünschte Störabstrahlung zu verhindern.

Der Verstärkungsfaktor kann mit einer Steckbrücke (Jumper) in drei Stufen gewählt werden. Um die Schaltung in den Stand-by-Betrieb (Shutdown) zu versetzen, kann man die beiden Steuereingänge SD_A und SD_B auf Masse legen. Hierdurch sinkt die Stromaufnahme auf 50 μ A. Die beiden Schaltungsteile „Class-D-Verstärker“ und „Boost-Konverter“ (Step-up-Wandler) können separat abgeschaltet werden.



Der Class-D-Verstärker

Im Gegensatz zum AB-Verstärker, der ein analoges Audiosignal linear verstärkt, arbeitet ein Class-D-Verstärker als (digitaler) Schaltverstärker. Dabei wird das vorverstärkte Audiosignal und ein durch einen internen Oszillator mit vielfacher Frequenz des Audiosignals erzeugtes Dreiecksignal in einem PWM-Modulator mit einem Komparator zu einem PWM-Signal gewandelt. Durch Vergleich der Spannungshöhe des Audiosignals und des Dreiecksignals wird hier ein Rechtecksignal erzeugt, in dessen Pulsweite die Information zu Amplitude und Frequenz enthalten ist. Dieses Signal gelangt auf die Endstufensteuerung, die dafür sorgt, dass die Endstufentransistoren in exakt definierter Zeitfolge durchgeschaltet bzw. gesperrt werden und so das digitale Signal verstärken. Ein Tiefpass am Ausgang trennt schließlich die hochfrequenten Anteile des Signals (die Trägerfrequenz) ab, und es gelangt lediglich das Audiosignal auf den Lautsprecher. In einem Filterfree-System entfällt der eigentliche Tiefpass, hier wirkt der Lautsprecher inklusive seiner Zuleitungen selbst als Tiefpass und erzeugt die Audiofrequenz.



Die Vorteile dieser aufwendigen Signalverarbeitung sind ein nahezu verlustfreier Betrieb der Endstufentransistoren und weit geringere Anforderungen an die Stromversorgung der Endstufe. Denn hier werden die Endstufentransistoren nicht wie beim Analog-Verstärker linear betrieben, sondern als steilflankig angesteuerte Schaltstufe, die nur den Zustand ein oder aus zu realisieren hat. Hierdurch entfällt die bei Linearverstärkern entstehende Verlustleistung weitgehend (hier wirkt lediglich der $R_{DS(on)}$ -Widerstand des Transistors), es sind nur kleine bis gar keine Kühlkörper erforderlich. So kann eine solche Endstufe sehr kompakt ausfallen und belastet das Umfeld nicht durch Verlustwärme.

Wichtige Anschlüsse sind als Klemmleisten ausgeführt, für Mute und die Spannungsausgänge gibt es Lötflächen zum Anlöten von Zuleitungen.

Der Verstärkerbaustein TPA2013 ist kurzschlussfest und gegen Übertemperatur abgesichert und damit sehr betriebssicher.

Hochpassfilter

Bei Batteriebetrieb ist der Stromverbrauch von entscheidender Bedeutung. In der Regel werden für diese Art kleiner Verstärker auch kleine Lautsprecher eingesetzt. Die meiste Energie des Verstärkers wird jedoch für tiefe Frequenzen benötigt. Kann ein Lautsprecher keine tiefen Frequenzen wiedergeben, wird die zugeführte Energie nur in Wärme und nicht in Schall umgewandelt. Daher ist es ratsam, die tiefen Frequenzen in diesem Falle nicht zu verstärken und so den Energieverbrauch zu senken. Aus diesem Grund kann im Eingangssignalweg ein Hochpassfilter, der Frequenzen unterhalb von 150 Hz unterdrückt, zwischengeschaltet werden. Dieser wird mithilfe eines Jumpers J1 aktiviert.

Schaltung

Das Schaltbild des DA2 ist in Bild 2 zu sehen. IC3 vom Typ TPA2013 bildet den eigentlichen Verstärkerbaustein im Class-D-Betrieb (siehe Blockschaltbild Bild 3). Der Verstärker besitzt differenzielle Eingänge „IN+“ und „IN-“, die insbesondere bei längeren Signalzuleitungen eine hohe Störsicherheit bieten. Da wir einen asymmetrischen Eingang benötigen, ist der Eingang „IN-“ wechsellspannungsmäßig mit dem Kondensator C13 auf Masse geschaltet. Im Audiosignalweg kann wahlweise der bereits beschriebene Hochpassfilter zugeschaltet werden, was mit dem Jumper J1 geschieht.

Das Audioeingangssignal gelangt von der Anschlussklemme KL2 über den Koppelkondensator C8 zunächst auf einen Impedanzwandler (IC2 A). Die-

ser Impedanzwandler sorgt für einen definierten Eingangswiderstand und koppelt die nachfolgende Schaltung vom Eingang KL2 ab. Dem Impedanzwandler ist ein Hochpassfilter zweiter Ordnung nachgeschaltet. Diese Filterstufe unterdrückt Frequenzen unterhalb von 150 Hz.

Mit dem Jumper J1 kann das Hochpassfilter aktiviert bzw. deaktiviert werden. Der Verstärkungsfaktor des integrierten Class-D-Verstärkers kann mit dem Jumper J2/J3 auf Werte von 6/15/20 dB eingestellt werden. Zum Deaktivieren des Class-D-Verstärkers stehen die Shutdown-Eingänge „SD_A“ und „SD_B“ zur Verfügung. Legt man diese nach außen geführten Eingänge auf Masse, wird der entsprechende Schaltungsteil des Verstärkers deaktiviert und die Stromaufnahme sinkt auf wenige Mikroampere. Mit SD_A wird der Class-D-Verstärker und mit SD_B der interne Spannungswandler deaktiviert.

Am Ausgang des Verstärkers liegt ein digitales Signal mit einer Frequenz von ca. 320 kHz an. Die Audioinformationen, also Frequenz und Amplitude, sind in der Modulation gespeichert.

Normalerweise werden bei einem Class-D-Verstärker aufwendige Filter eingesetzt, um die Audioinformation aus dem Digitalsignal zu filtern und Störaussendungen zu vermeiden. Es gibt aber auch eine kostengünstige Lösung, bei der diese Filter eingespart werden (Filterfree). In diesem Fall wandelt der angeschlossene Lautsprecher das digitale Signal in ein analoges, hörbares Signal um. Aus EMV-technischen Gründen muss die Länge der Anschlussleitung vom Ausgang des Verstärkers zum Lautsprecher begrenzt werden. Werden die Anschlussleitungen zu lang, wirken diese wie Antennen, und es gelangt Störstrahlung in das Umfeld. Die an den Ausgängen eingesetzten Filter L1/C18 und L2/C17 unterdrücken allein die Oberwellen der Grundfrequenz.

Ein zusätzliches Feature des Verstärkers TPA2013 ist der integrierte Step-up-Wandler, der die Ein-

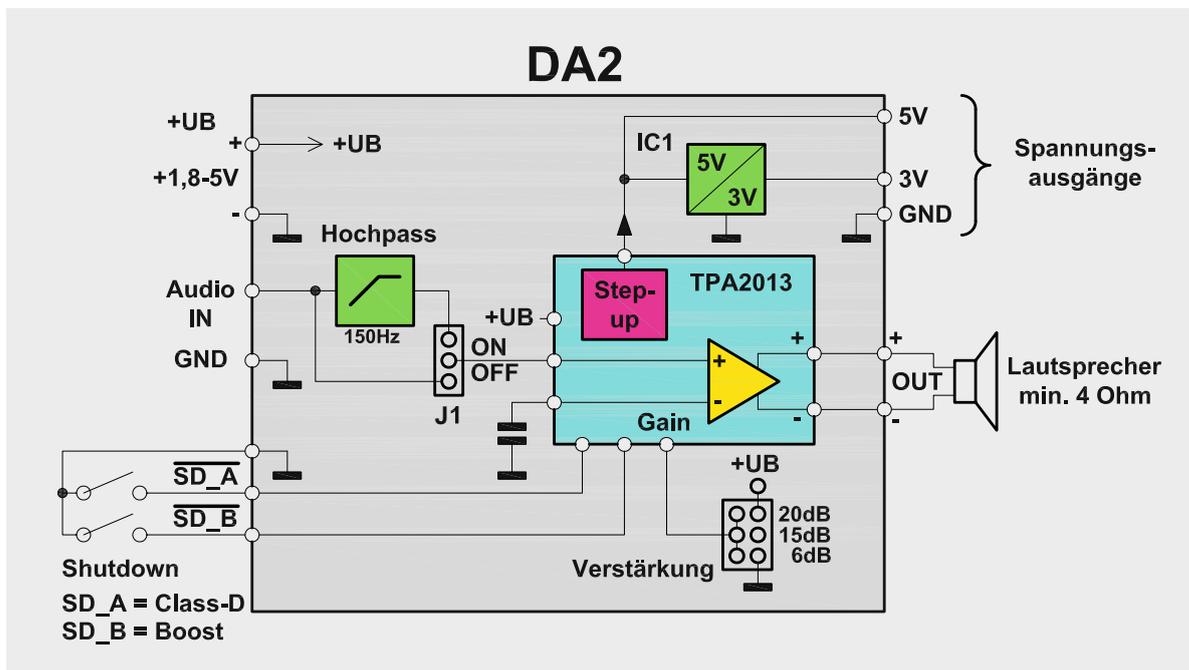


Bild 1: Das Blockschaltbild des DA2 zeigt auch dessen Außenbeschriftung.



gangsspannung in eine höhere Spannung transformiert und diese für die Endstufe verwendet. Aus diesem Grund kann auch mit einer relativ niedrigen Eingangsspannung noch eine beachtliche Ausgangsleistung erzeugt werden. Externes Bauteil dieses Wandlers ist die Speicherspule L3. Alle anderen Komponenten sind im TPA2013 integriert (siehe Blockschaltbild TPA2013 in Bild 3). Die Ausgangsspannung VccOUT an Pin 17 von IC3 wird durch den Spannungsteiler R2/R5 bestimmt und liegt bei 5 V.

Diese Spannung kann natürlich auch für eigene Anwendungen genutzt werden, weshalb hier die Spannung an ST4 herausgeführt wird. Zusätzlich gibt es noch einen 3-V-Ausgang, der mit dem Spannungsregler IC1 realisiert wird.

Die Spannungsversorgung des Verstärkers wird über die Klemme KL1 zugeführt und kann im Bereich von 1,8 bis 5 V liegen. Ein PTC-Widerstand dient im Fehlerfall als Sicherungselement. Bei einer verpolten Eingangsspannung wird die Diode D1 leitend und sorgt für einen relativ hohen Kurzschlussstrom, wodurch sich der PTC (R1) stark erhitzt, dessen Widerstandswert ansteigt – und somit wird der Strom begrenzt. Auch bei einem Kurzschluss in der Elektronik tritt diese Schutzmaßnahme in Kraft.

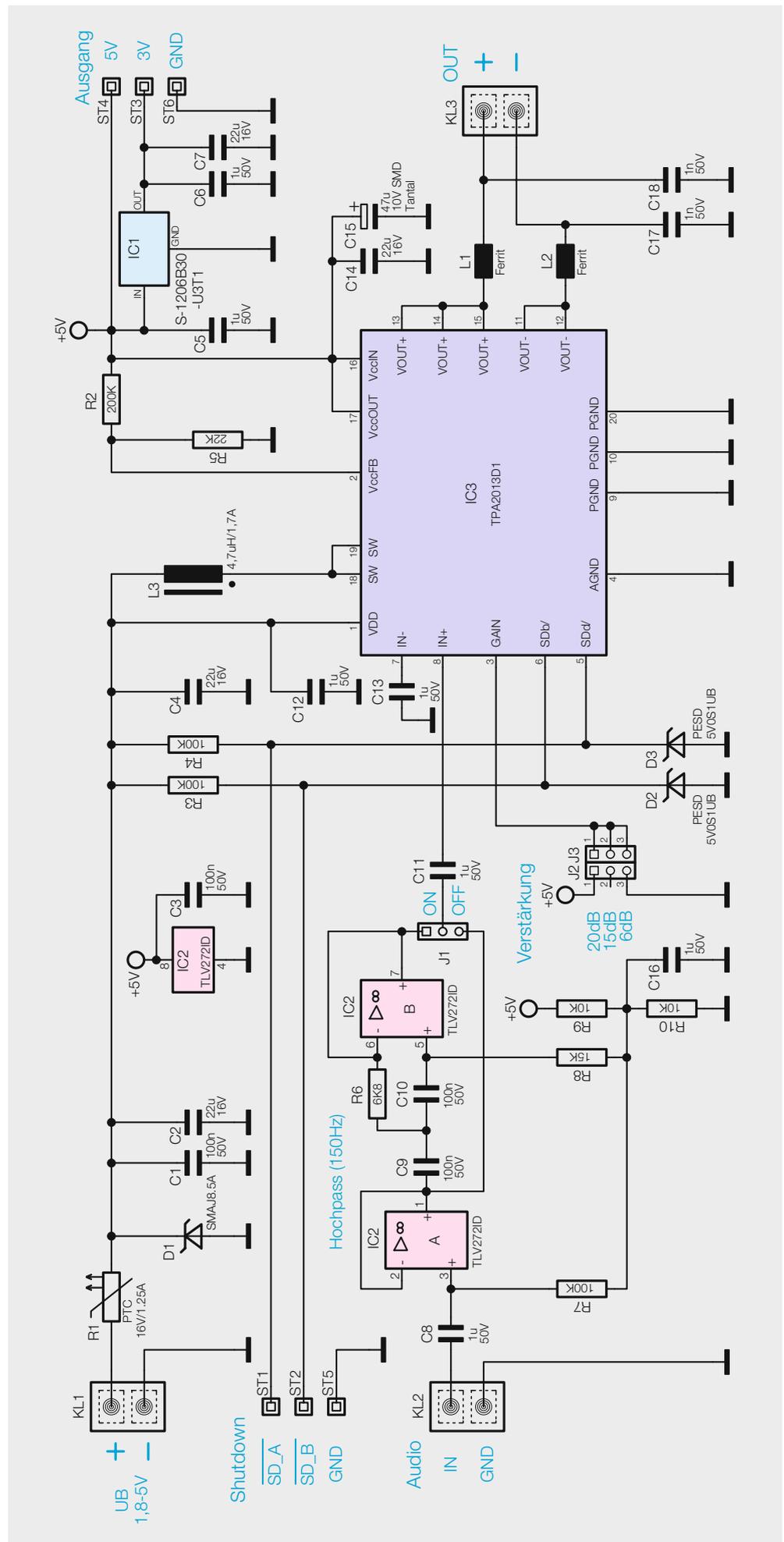


Bild 2: Das Schaltbild des Digitalverstärkers DA2

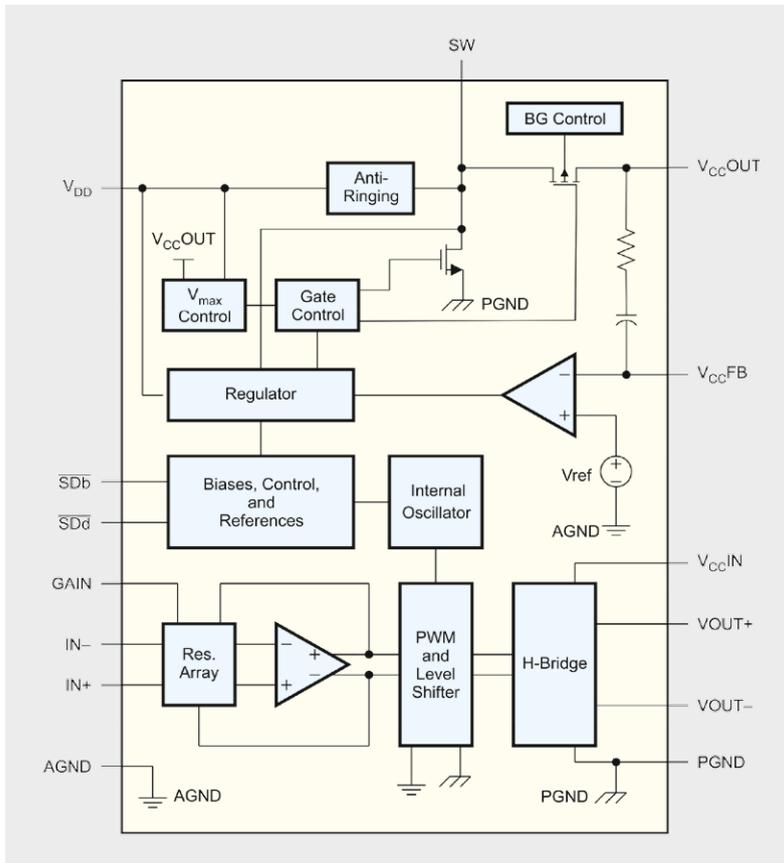


Bild 3: Das Blockschaltbild des TPA2013. Hier sind die Baugruppen für den Booster, die Steuerung und die Signalverarbeitung zu erkennen.

Nachbau

Bei der kompakten Platine sind die SMD-Bauteile vorbestückt (Bild 4), sodass nur die bedrahteten Bauteile zu bestücken sind und somit der mitunter mühsame Umgang mit den kleinen SMD-Bauteilen entfällt. Es müssen lediglich die wenigen bedrahteten Bauteile bestückt und verlötet werden. Die drei Schraubklemmen und Stiftleisten können von beiden Platinenseiten her bestückt werden. Wir beginnen mit dem Einsetzen der Stiftleisten J1 bis J3. Im Platinenfoto sind die Positionen gut ersichtlich.

In Bild 5 sind die Schraubklemmen und Stiftleisten auf der SMD-Bestückungsseite bestückt, normalerweise werden diese Bauteile wie in den Platinenfotos (Bild 4) dargestellt, eingesetzt. Hierdurch ist die Beschriftung der Buchsen und Steckbrücken besser ersichtlich.

Installation und Inbetriebnahme

In Bild 6 ist das Anschlussschema des DA2 dargestellt, zusätzlich kann das Blockschaltbild (Bild 1) zur Veranschaulichung der Funktionsweise herangezogen werden.

Im Folgenden sind noch einige Punkte aufgeführt, die bei der Inbetriebnahme beachtet werden sollten.

Die Spannungsversorgung erfolgt in der Regel durch Batterien. Da die untere Spannungsgrenze bei 1,8 V liegt, können zwei in Reihe geschaltete 1,5-V-

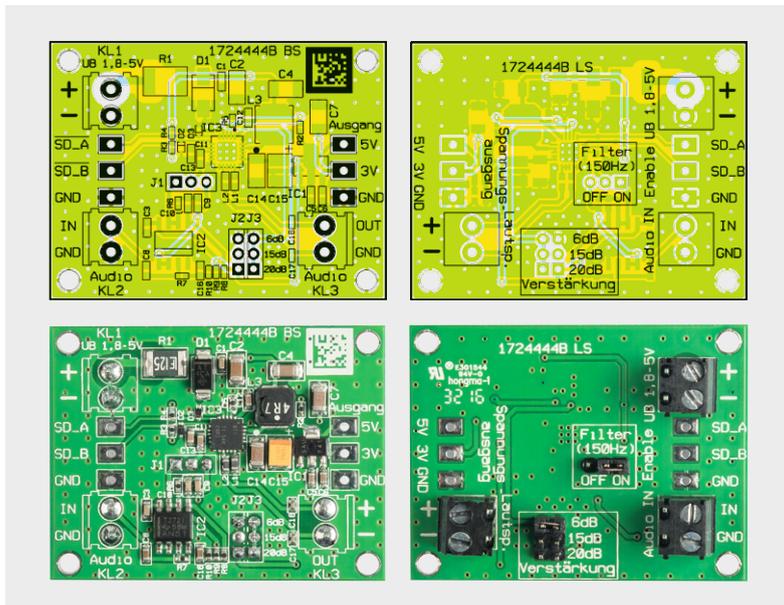


Bild 4: Die Platinenfotos des komplett bestückten DA2 mit den zugehörigen Bestückungsplänen. Hier sind die Schraubklemmen und Stiftleisten auf der Unterseite bestückt.



Bild 5: Die Schraubklemmen und Stiftleisten können auch auf der Bestückungsseite bestückt werden.

Montagevideo



#10044

QR-Code scannen oder Web-Code im Web-Shop eingeben

Widerstände:

6,8 k Ω /SMD/0402	R6
10 k Ω /SMD/0402	R9, R10
15 k Ω /SMD/0402	R8
22 k Ω /SMD/0402	R5
100 k Ω /SMD/0402	R3, R4, R7
200 k Ω /SMD/0402	R2
PTC/1,25 A/16 V/SMD/1812	R1

Kondensatoren:

1 nF/50 V/SMD/0402	C17, C18
100 nF/50 V/SMD/0603	C1, C3, C9, C10
1 μ F/50 V/SMD/0603	C5, C6, C8, C11–C13, C16
22 μ F/16 V/SMD/1206	C2, C4, C7, C14
47 μ F/10 V	C15

Halbleiter:

S1206B30U3T1/SMD/SOT89-3	IC1
TLV272ID/SOIC8	IC2
TPA2013D1/SMD	IC3
SMAJ8.5A/SMD	D1
PESD5V0S1UB/SMD	D2, D3

Sonstiges:

Chip-Ferrit, 300 Ω bei 100 MHz, 0603	L1, L2
Speicherdrossel, SMD, 4,7 μ H/1,7 A	L3
Schraubklemme, 2-polig, RM=3,5 mm	KL1–KL3
Stiftleiste, 1x 3-polig, RM = 2,0 mm, gerade, print	J1–J3
Jumper, RM = 2,0 mm	J1–J3

Stückliste



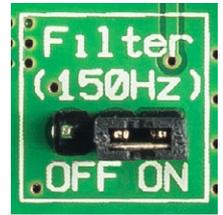
Wichtiger Hinweis:

Für einen ausreichenden Schutz vor elektrostatischen Entladungen ist der Einbau in ein geeignetes Gehäuse erforderlich, damit die Schaltung nicht durch eine Berührung mit den Fingern oder Gegenständen gefährdet werden kann.

Batterien verwendet werden. Bei Akkus mit einer Spannung von 1,2 V sollten drei Zellen in Reihe verwendet werden. Auch der Einsatz eines 3,6-V-Lithium-Akkus, z. B. einer 16850-Zelle, ist denkbar, dieser muss jedoch eine eigene Unterspannungsschutzschaltung besitzen, um ein Tiefentladen zu vermeiden.

Die Batteriekapazität richtet sich nach dem Anwendungsfall. Wird die volle Ausgangsleistung von 2 W benötigt, müssen die Batterien auch einen entsprechenden Strom (max. 1 A) liefern können.

Werden kleine Lautsprecher verwendet, die keine tiefen Frequenzen wiedergeben können, ist es ratsam, das Hochpassfilter mit J1 zu aktivieren (siehe hierzu auch den Abschnitt „Hochpassfilter“). So kann wertvolle Energie gespart werden.



Die Spannungsausgänge (3 V und 5 V) dürfen in der Summe maximal mit 100 mA belastet werden. Bei hohen Lautstärken kann es hier zu kurzen Spannungseinbrüchen kommen. Dies gilt es zu beachten, wenn hiermit z. B. ein Mikrocontroller versorgt werden soll.

Die Zuleitung zum Lautsprecher darf nicht länger als 50 cm sein. Bei längeren Zuleitungen tritt zwar keine Fehlfunktion auf, jedoch steigt die Störausstrahlung über den zulässigen Wert.

Je nach Eingangspegel muss der Jumper (J2/J3) für den Verstärkungsfaktor gesetzt werden. Die Lautsprecherimpedanz muss mindestens 4 Ω betragen. Nach oben hin sind keine Grenzen gesetzt, so kann man z. B. auch übliche 32-Ω-Kopfhörer anschließen. Es ist jedoch zu beachten, dass mit steigender Impedanz die Ausgangsleistung sinkt. Die Shutdown-Eingänge (SD_A und SD_B) sind low-aktiv, müssen also zum Aktivieren auf Masse geschaltet werden (siehe Blockschaltbild in Bild 1).



Jumper (Steckbrücke)

Abschließend noch der Hinweis, dass zum Schutz vor elektrostatischer Entladung der Verstärker in ein Gehäuse eingebaut werden muss – aber das wird wohl bei allen denkbaren Projekten damit selbstverständlich sein. **ELV**



Weitere Infos:

Datenblatt TPA2013D1:
www.ti.com/lit/gpn/tpa2013d1

Wikipedia „Klasse-D-Verstärker“:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Klasse-D-Verstärker>

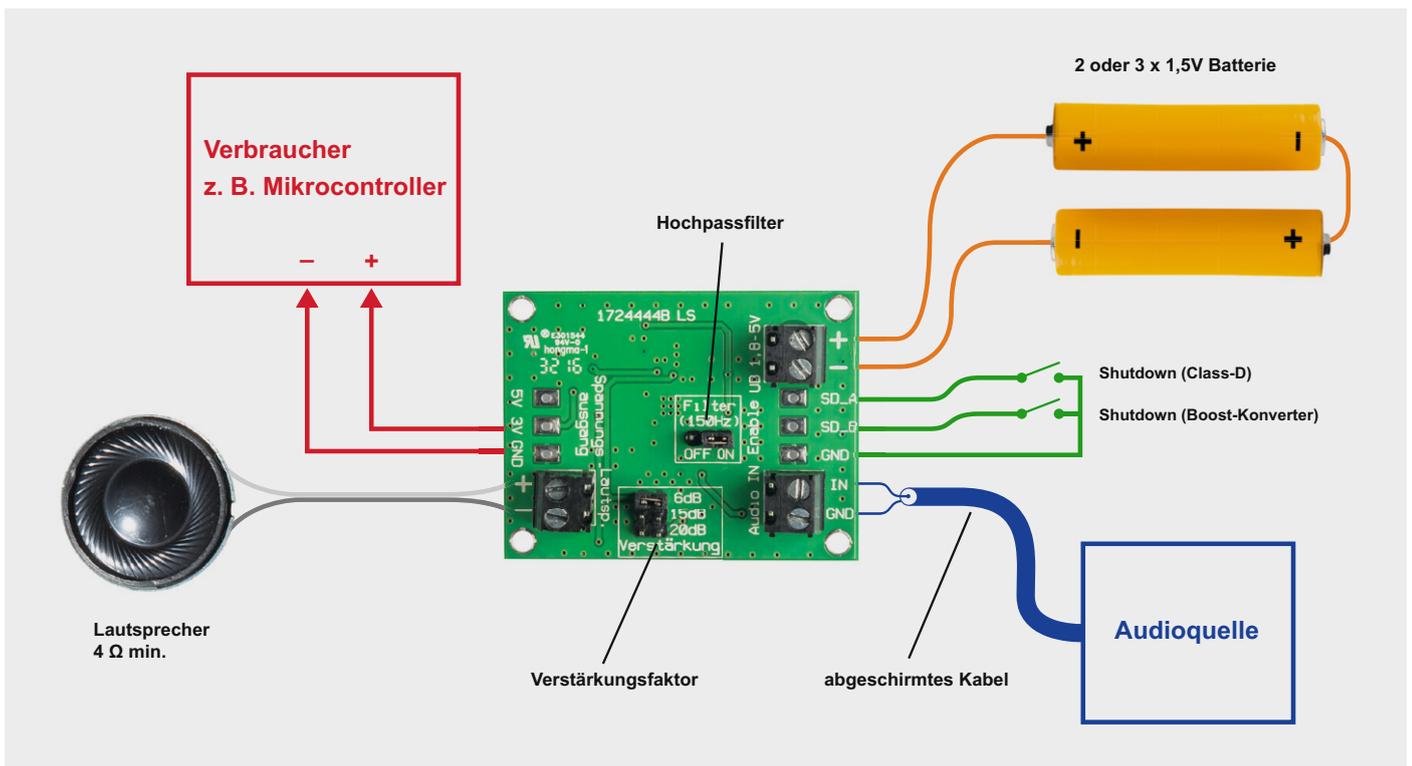


Bild 6: Das komplette Anschlussschema des DA2