



25-W-Mono-Digitalverstärker DA25

Class-D-Verstärker erfreuen sich ob ihrer Effizienz und ihrer Kompaktheit zunehmender Beliebtheit, vor allem auch im mobilen Bereich, wo es gerade auf diese Merkmale ankommt. Und da es nicht immer ein Stereoverstärker sein muss, stellen wir hier eine kompakte und leistungsfähige Mono-Endstufe vor, die in einem weiten Versorgungsspannungsbereich betreibbar ist. Ein komplettes Applikationsbeispiel für einen netzbetriebenen Stereoverstärker ergänzt die Vorstellung der Digital-Endstufe.

Geräte-Kurzbezeichnung:	DA25
Versorgungsspannung:	8–24 V _{dc}
Stromaufnahme:	20 μ A (Stand-by), 1,2 A max. (UB = 24 V)
Eingang:	1x Eingang (Mono)/Cinch und Schraubklemme
Eingangspegel:	220 mV (Volllast/V = 36 dB)
Ausgang:	Lautsprecher 4 bis 8 Ω (Schraubklemme)
Ausgangsleistung:	25 W @ UB 24 V, RL 8 Ω , THD 0,1 % 18 W @ UB 24 V, RL 4 Ω , THD 0,5 % 11,5 W @ UB 12 V, RL 4 Ω , THD 0,25 % 8 W @ UB 12 V, RL 8 Ω , THD 0,1 %
Klirrfaktor (THD+N):	0,1 % @ UB 24 V/RL 8 Ω
Verstärkungsfaktor:	20/26/32/36 dB/einstellbar
Frequenzgang:	18 Hz bis 26 kHz (-3 dB)
Wirkungsgrad:	94 % max.
Sonstiges:	kurzschlussfest, Temperaturabschaltung
Umgebungstemperatur:	5 bis 35 $^{\circ}$ C
Gewicht:	30 g
Abmessungen (B x L):	50 x 70 mm

Technische Daten

Effizient und vielseitig

Nachdem wir schon einige Class-D-Verstärker in Stereoausführung vorgestellt haben, gibt es mit diesem Projekt nun eine Mono-Endstufe mit relativ hoher Ausgangsleistung. Dieser Verstärker liefert max. 25 W an 8 Ω bei einer Versorgungsspannung von 24 V. Wohlge-merkt – die Ausgangsleistung ist die reine Nennleistung und nicht etwa die früher gebräuchliche Angabe in Musikleistung oder gar das zu Marketingzwecken benutzte PMPO.

Besonders für mobile und kompakte Geräte ist hier der Umstand interessant, dass kein sperriger Kühlkörper benötigt wird, so dass der gesamte Verstärker sehr kompakt ausfällt. Nicht zuletzt auch wegen des sehr hohen Wirkungsgrades eignet sich dieser Verstärker besonders gut für mobile Anwendungen wie z. B. eine Musikbox („Boombbox“) oder den einfachen Umbau von Lautsprechern zu mobilen Aktivboxen. Durch den hohen Wirkungsgrad wird viel Energie eingespart, was

bei Batterie- bzw. Akkubetrieb sehr vorteilhaft ist. Wer eine Stereoausführung benötigt, nimmt einfach zwei dieser Verstärker.

Die fertige Schaltung ist relativ günstig im Preis, da unter anderem kein Kühlkörper notwendig ist.

Schaltung

Die Schaltung des Verstärkers besteht im Wesentlichen aus dem integrierten Verstärker IC1 vom Typ TPA3112 des Herstellers Texas Instruments (Bild 1). Die Peripherie besteht aus einer schnell überschaubaren Anzahl von Bauteilen.

Schauen wir uns zunächst die Spannungsversorgung an. Über die Klemme KL3 wird die Versorgungsspannung (8–24 V) zugeführt und gelangt auf die Sicherung SI1. Der Transistor T1 dient als Verpolungsschutz, so dass die Schaltung auch bei falscher Polung der Versorgungsspannung nicht zerstört wird. Die Funktionsweise ist schnell erklärt. Nur bei richtiger Polarität von UB wird T1 leiten – im umgekehrten Fall sperrt T1. Die Z-Diode D3 und R12 begrenzen dabei die Gate-Spannung auf max. 10 V, da MOSFET-Transistoren sehr sensibel auf zu hohe Gate-Spannungen reagieren. Wie man erkennt, liegen an der Versorgungsleitung +UB sehr viele Kondensatoren. Dies ist notwendig, um Störungen zu unterdrücken und um eine stabile Funktion der Schaltung zu gewährleisten.

Das Audiosignal kann entweder über die Cinch-Buchse BU1 oder über die Klemme KL2 zugeführt werden. Der Verstärkungsfaktor lässt sich mit Hilfe eines Jumpers (ST1) in vier Stufen einstellen (20/26/32/36 dB). Über den Mute-Eingang KL1 kann der Verstärker in den Stand-by-Betrieb gebracht werden. Dies wird durch Kurzschließen der beiden Kontakte an KL1 erreicht. Im Stand-by-Betrieb sind die Ausgänge abgeschaltet und es fließt nur ein geringer Betriebsstrom von etwa 20 μA .

Das Audioeingangssignal wird mit IC1 in ein digitales und somit rechteckförmiges Ausgangssignal umgewandelt. Verwendet man kurze Zuleitungen zum Lautsprecher, könnte man im Prinzip diese digitalen Ausgangssignale direkt auf den Lautsprecher geben. Der Lautsprecher arbeitet dann als Digital-Analog-Wandler. Bei längeren Anschlussleitungen muss allerdings ein zusätzliches Filter eingefügt werden, da es sonst zur Abstrahlung von unerwünschten Störsignalen kommt. Aus diesem Grund befindet sich an jedem der Differenzausgänge (Pin 23/25 und 18/20) von IC1 ein Tiefpassfilter, welches durch die Spulen L1 und L2 sowie die Kondensatoren C8 und C17 realisiert ist. Hierdurch wird die Ausgangsfrequenz von 300 kHz nahezu vollständig unterdrückt und es steht an der Klemme KL4 ein sinusförmiges Ausgangssignal an.

Nachbau

Der Nachbau gestaltet sich durch die schon vorbe-stückten SMD-Bauteile anhand des Bestückungsplans, des Platinenfotos (Bild 2) und der Stückliste relativ einfach. Es sind nur noch wenige Bauteile zu bestücken. Bei den beiden Elkos C3 und C25 ist besondere Vorsicht angebracht, da diese Bauteile polrichtig eingesetzt werden müssen. Ein falsch gepolter Elko kann unter Umständen sogar explodieren. Es gibt zwei Möglichkeiten, die Polung eines Elkos zu erkennen. Sind die Anschlussdrähte noch nicht gekürzt, stellt der län-

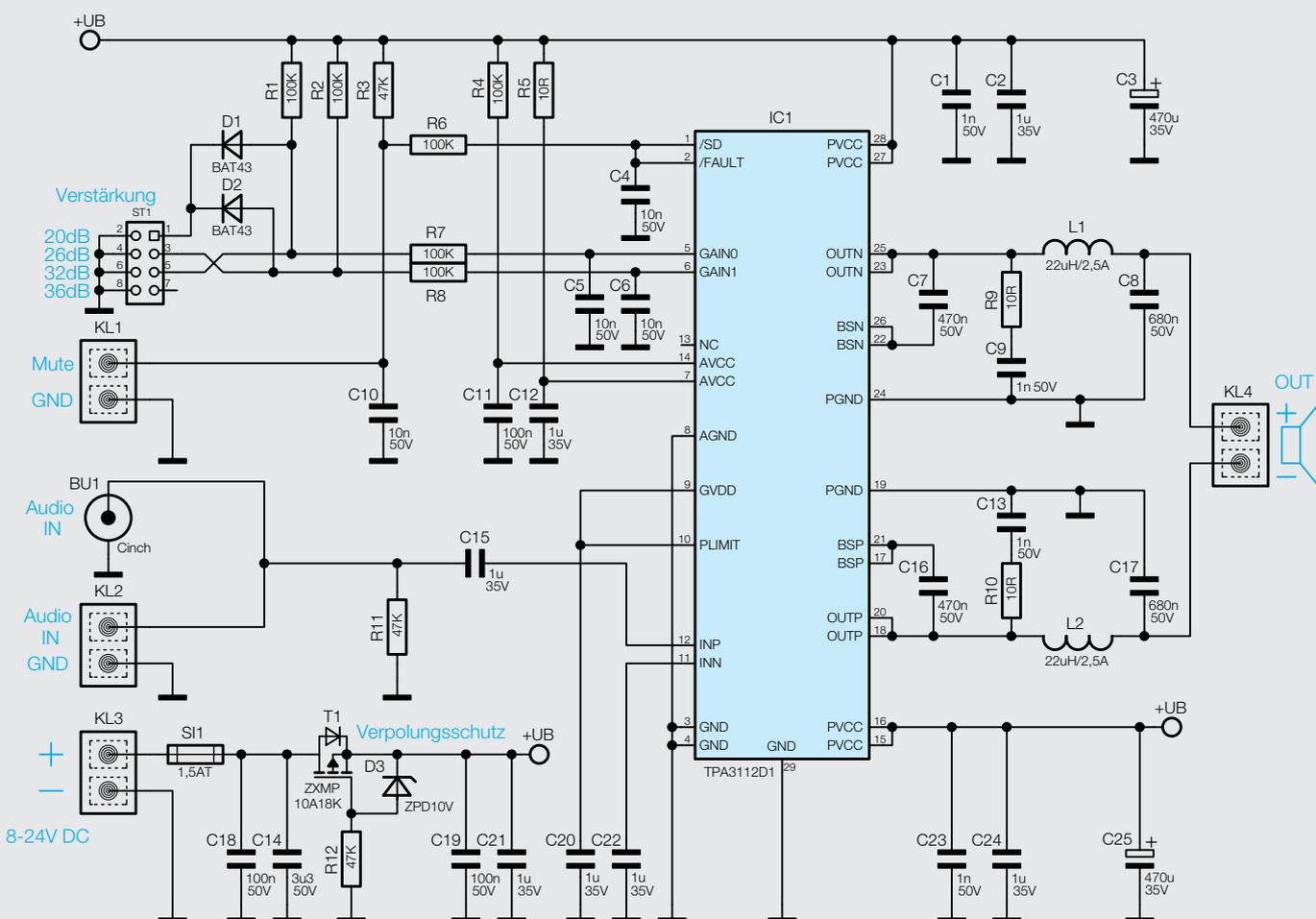


Bild 1: Schaltbild des Verstärkers DA25

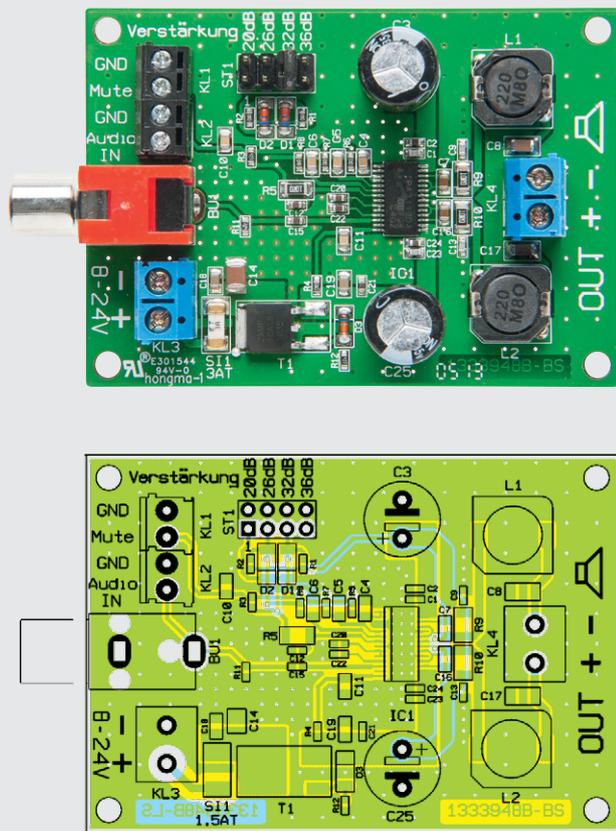


Bild 2: Fertig bestückte Platine mit zugehörigem Bestückungsdruck

Widerstände:

10 Ω /SMD/1206	R5, R9, R10
47 k Ω /SMD/0603	R3, R11, R12
100 k Ω /SMD/0603	R1, R2, R4, R6–R8

Kondensatoren:

1 nF/SMD/0603	C1, C9, C13, C23
10 nF/SMD/0805	C4–C6, C10
100 nF/SMD/0805	C11, C18, C19
470 nF/50 V/SMD/0805	C7, C16
680 nF/SMD/1206	C8, C17
1 μ F/SMD/0603	C2, C12, C15, C20–C22, C24
3,3 μ F/50 V/SMD/3225	C14
470 μ F/35 V/105 $^{\circ}$ C	C3, C25

Halbleiter:

TPA3112D1PWP/SMD	IC1
ZXMP10A18K/ SMD	T1
BAT43/SMD	D1, D2
ZPD10V/SMD	D3

Sonstiges:

Drosselspulen 22 μ H/2,5 A/SMD	L1, L2
Sicherung, 1,5 A, träge, SMD	SI1
Cinch-Buchse, 1-polig, liegend, winkelprint	BU1
Mini-Schraubklemmleisten, 2-polig, print	KL1, KL2
Schraubklemmleisten, 2-polig, print	KL3, KL4
Stiftleiste, 2x 4-polig, gerade, print	ST1
1 Jumper ohne Griffflasche, geschlossene Ausführung	

gere Anschlussdraht den Pluspol (+) dar. Auf dem Gehäuse ist der Minuspol durch eine Markierung erkennbar (in der Regel ein Minus-Zeichen). Zu beachten ist, dass auf der Platine der Pluspol gekennzeichnet ist. Nachdem die Elkos richtig eingesetzt sind, werden die Anschlussdrähte auf der Platinenunterseite verlötet und die überstehenden Drahtenden mit einem Seitenschneider gekürzt. Nach dem Einsetzen der Schraubklemmen, der Cinch-Buchse und der Jumperleiste ST1 ist der Aufbau bereits beendet und die Endstufe kann in Betrieb gehen.

Die Applikation

Ein wichtiger Aspekt beim Bau eines Audioverstärkers ist das Netzteil bzw. allgemein die Spannungsversorgung. Diese muss ausreichend Strom liefern können. Bei einer Stromaufnahme von max. 1,2 A sollte die Spannungsquelle mindestens 2 A liefern.

Akkubetrieb

Der einfachste Betrieb des Verstärkers ist der an einer Batterie bzw. an einem Akku. Hierbei ist lediglich auf eine ausreichende Kapazität des Akkus zu achten. Für solch einen Betrieb haben sich Blei-Gel-Akkus (Bild 3) bewährt, da diese einfach zu handhaben und robust sind. Mit einer Kapazität von z. B. 7 Ah kann unser Class-D-Verstärker mühelos mehrere Stunden bei ausreichender Lautstärke mobil betrieben werden. Kombiniert man diesen Akku mit einer Schutzschaltung vor Tiefentladung wie z. B. der TES12 von ELV, so vermeidet man schädliche Tiefentladung und sorgt für eine lange Lebensdauer des Akkus.

Eine weitere Möglichkeit sind moderne Lithium-Akkus, die mit einer hohen Leistungsdichte, geringem Gewicht und kompakten Abmessungen aufwarten und dementsprechend ideal zu dem kompakten Verstärker passen. Auch sie können bei sorgfältiger Behandlung eine hohe Lebensdauer erreichen. Bei Lithium-Akkus sind die entsprechenden Sicherheitsvorschriften zu beachten!

Netzbetrieb

Für Netzbetrieb kann man zwar auch zum entsprechend leistungsfähigen Fertig-Netzteil greifen, aber auch der Selbstbau ist nicht schwer. In Bild 4 ist ein solches Netzteil mit minimalem, aber ausreichendem Aufwand dargestellt. Als Netztrafo bestens geeignet ist ein handelsüblicher Halogentrafo mit einer Ausgangsspannung von 12 V und einer minimalen Leistung von 30 W. Diese Trafos sind Massenware und deshalb recht preiswert, wenn man bedenkt, dass Kupfer, welches für die Trafos benötigt wird, relativ teuer ist. Um Probleme mit dem Berührungsschutz vor Netzspannung zu vermeiden, sollte man einen Trafo verwenden, bei dem der netzseitige Anschluss vergossen ist (Sicherheitstrafo, Bild 5).

Wichtiger Hinweis: Bei der Auswahl des Netztrafos ist darauf zu achten, dass die Leerlaufspannung eine Höhe von max. 26 V nicht überschreitet.

Viele Trafos verfügen über zwei Sekundärwicklungen mit identischen Daten. Sind die Spannungen beider Wicklungen identisch, kann man diese parallel schalten und steigert somit die Strombelastbarkeit. Hierbei ist darauf zu achten, dass jeweils Anfang und



Bild 3: Muster eines Blei-Gel-Akkus

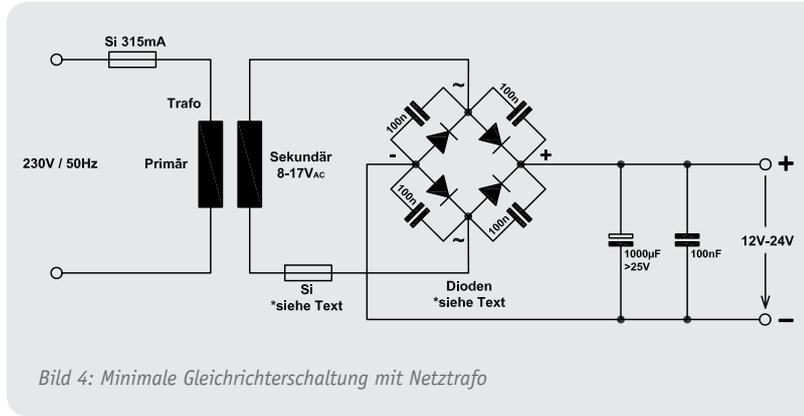


Bild 4: Minimale Gleichrichterschaltung mit Netztrafo

Ende miteinander verbunden werden (Bild 6). Schließt man die Sekundärwicklungen gegenphasig zusammen, wirkt dieses wie ein Kurzschluss.

Dann benötigt man noch einen Gleichrichter und einen Lade-Elko, wie er in Bild 4 dargestellt ist. Der Gleichrichter kann aus vier einzelnen Dioden oder einem Brückengleichrichter (Bild 7) bestehen. Die Spannungsfestigkeit der Gleichrichterdiode sollte mindestens 30 V und die Strombelastbarkeit mindestens 2 A betragen. Als Brückengleichrichter kann z. B. der Standardtyp B250C5000/3300 genutzt werden, wobei das B250 für 250 V und C5000/3300 für 5 A/3,3 A gekühlt/ungekühlt steht.

Die Kondensatoren direkt über den Dioden sind nicht zwingend notwendig, sie dienen der besseren Störunterdrückung. Für den Lade-Elko kann die Aussage getroffen werden: je größer die Kapazität, desto besser kann er Stromspitzen, etwa bei Bässen, abfangen! Die Größe richtet sich auch nach dem vorhandenen Platz und den daraus resultierenden mechanischen Abmessungen des Elkos. Wichtig hierbei: auf korrekte Polung achten!

Eine Absicherung auf der Primärseite des Trafos ist erforderlich, falls der Trafo nicht kurzschlussfest ist (Beispiel: 315 mA). Auf der Sekundärseite ist ebenfalls eine Sicherung einzubauen. Die Größe richtet sich nach dem max. Ausgangsstrom. Hier gilt die Faustregel, dass der Auslösestrom der Sicherung 1,5-mal höher als der Nennausgangsstrom sein sollte.

Wer sich den verdrahteten Aufbau einer Gleichrichterschaltung ersparen möchte, kann die fertige Gleichrichterplatine V42N von ELV verwenden (Bild 8). Diese ist mit hochwertigen Bauteilen, wie z. B. verlustarmen Schottky-Dioden, ausgestattet. Die Schaltung ist schon mit einer sekundären Sicherung bestückt, deren Wert bei Bedarf (erwähnte Faustregel) auch verkleinert werden kann.

Mit den genannten Komponenten lässt sich in Verbindung mit dem Klangregler KLS1 von ELV ein kompletter Stereoverstärker realisieren, wie er im Laboraufbau in Bild 9 zu sehen ist. Hier kommt allerdings nicht ein Halogen-, sondern ein Ringkerntrafo zum Einsatz. Neben dem flacheren Aufbau hat der Ringkerntrafo hier Vorteile wegen seiner geringeren Brummeinstreuung. Dieser Aufbau wurde im EMV-Labor für die Prüfungen der CE-Konformität verwendet.

Ein Hinweis noch zu den Verbindungsleitungen: Die Spannungsversorgung sollte mit einem Mindest-Querschnitt von 1,5 mm² hergestellt und für die Audio-Eingangsleitung ein abgeschirmtes Kabel verwendet werden.

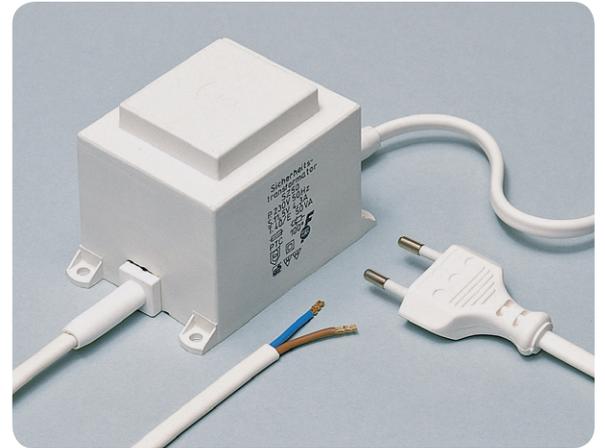


Bild 5: Halogentrafo mit „echtem“ Trafo und vergessener Netzzeileitung

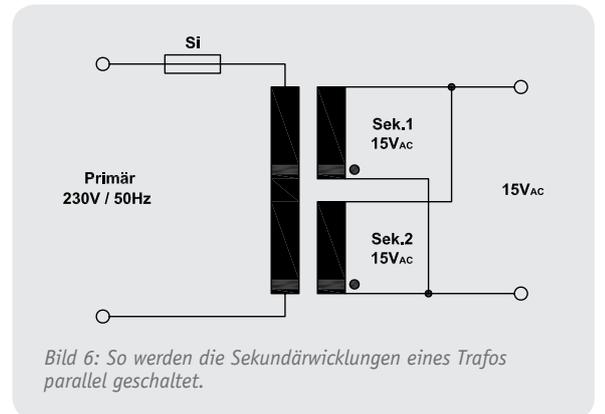


Bild 6: So werden die Sekundärwicklungen eines Trafos parallel geschaltet.



Wichtiger Hinweis:

Für ausreichenden ESD-Schutz und weil sich die Verstärkerplatine erwärmen kann, muss die Platine berührungssicher in ein geeignetes Gehäuse eingebaut werden.



Bild 7: Brückengleichrichter B250C5000/3300



Bild 8: Gleichrichterplatine V42N von ELV

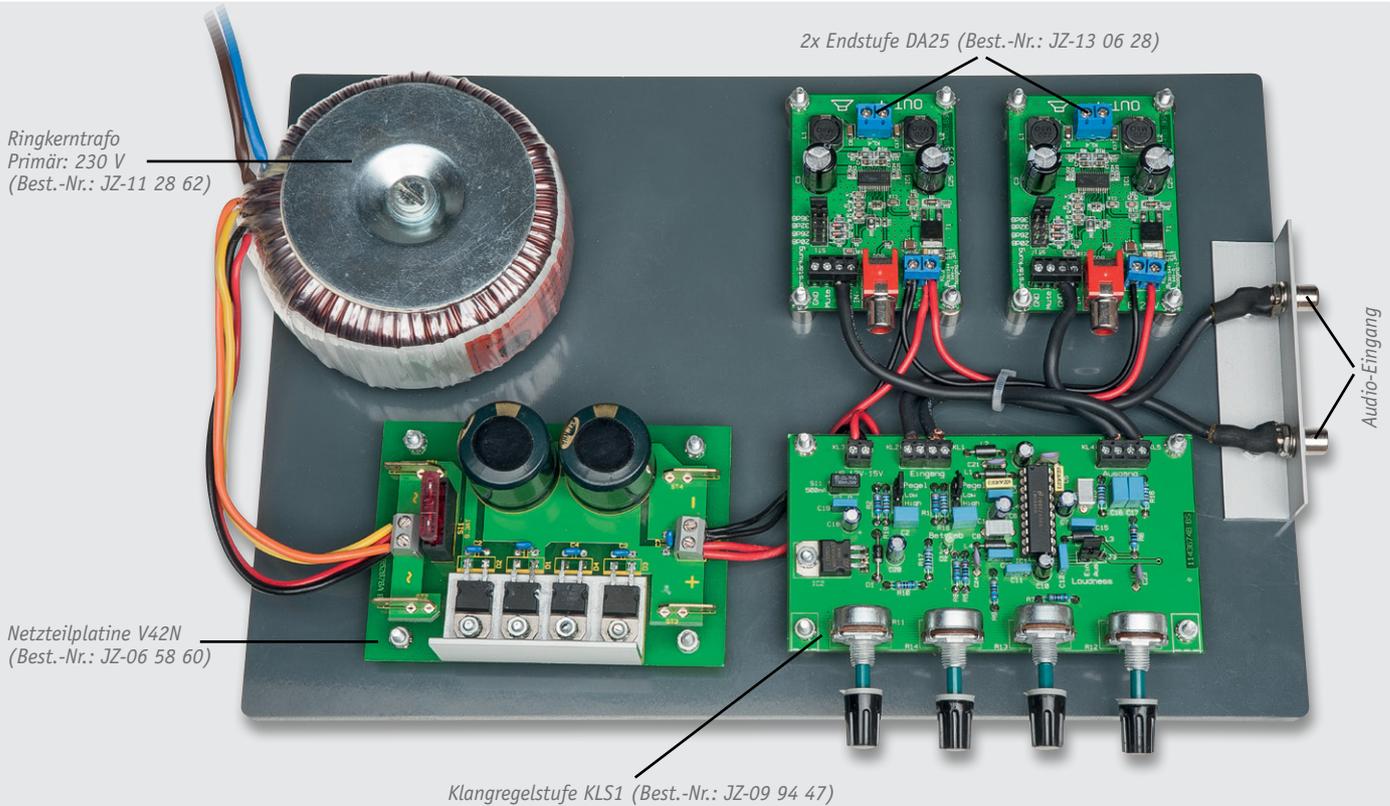


Bild 9: Laboraufbau mit Klangregelstufe, Netzteilplatine und Netztrafo

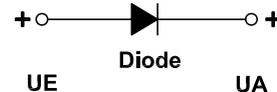
Verpolungsschutz mit MOSFET

Wenn bei elektronischen Schaltungen die Möglichkeit besteht, die Polung der Versorgungsspannung zu vertauschen, wie es z. B. bei Anschlussklemmen der Fall ist, sollten geeignete Maßnahmen getroffen werden, um diesen Fehlerfall abzufangen. Das Vertauschen von Plus und Minus führt in der Regel zur Zerstörung von Bauteilen.

Die einfachste Methode ist eine Reihenschaltung mit einer Diode (siehe Bild rechts oben). Bei falscher Polarität der Eingangsspannung sperrt die Diode und es fließt kein Strom. Bei relativ kleinen Betriebsströmen ist dies eine kostengünstige und sichere Technik. Bei höheren Betriebsströmen steigt, bedingt durch den Spannungsabfall an der Diode, auch die Verlustleistung an. Hier ein Beispiel: Eine Schaltung hat eine maximale Stromaufnahme von 1 A. Der Spannungsabfall an einer in Reihe liegenden Siliziumdiode beträgt somit 0,7 W ($P = U \cdot I = 0,7 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 0,7 \text{ W}$). Bei höheren Strömen müsste die Diode unter Umständen gekühlt werden.

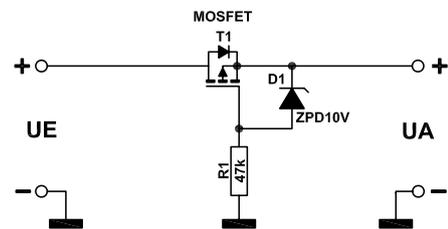
Durch Einsatz von Schottky-Dioden, die im Gegensatz zu normalen Siliziumdioden eine geringere Flussspannung von nur ca. 0,3 V aufweisen, kann die Verlustleistung um ca. 40 bis 50 % herabgesetzt werden.

Eleganter geht es mit einem MOSFET, wie im Bild rechts unten dargestellt. Der P-Kanal-MOSFET wird nur bei korrekter Polung der Eingangsspannung leitend. Im umgekehrten Fall sperrt der Transistor. Durch die Z-Diode D1 und den Widerstand R1 wird die Gate-Source-Spannung auf 10 V begrenzt. Der große Vorteil bei dieser Technik ist, dass der Spannungsabfall über dem MOSFET (Drain-Source) durch den relativ geringen Widerstand



UE UA
Diode

Verpolungsschutz mit Diode



Verpolungsschutz mit MOSFET

R_{DS} , also den Übergangswiderstand zwischen Drain und Source, bestimmt wird. Bei „guten“ MOSFETs beträgt dieser Widerstand nur wenige Milliohm. Auch hier wieder ein Rechenbeispiel: Es fließt ein Betriebsstrom von 1 A. Bei einem R_{DS} von angenommen 0,1 Ω , entsteht eine Verlustleistung von nur 0,1 W ($P = R \cdot I^2 = 0,1 \Omega \cdot 1 \text{ A}^2 = 0,1 \text{ W}$). Ein kleiner Nachteil dieser Technik ist der etwas höhere Bauteilnaufwand.