



Audio-Endverstärker DA 200

Während noch vor wenigen Jahren analoge Endstufen im Bereich der Unterhaltungselektronik den Markt beherrschten, werden diese immer mehr von digitalen Endstufen abgelöst. Der hier vorgestellte digitale Audio-Endverstärker stellt bis zu 170 W im Mono-Brückenbetrieb bzw. 100 W im Stereobetrieb (single-ended) zur Verfügung. Der entscheidende Vorteil gegenüber analogen Verstärkern ist der hohe Gesamtwirkungsgrad von bis zu 75 %.

Allgemeines

NF-Leistungsverstärker (Endstufen) gehören zu den wichtigsten Baugruppen in der Unterhaltungselektronik und sind, abgesehen von den Lautsprechern, für die Leistung und die Klangeigenschaften einer Audioanlage verantwortlich. Die wichtigste Forderung an eine Endstufe ist neben guten Klangeigenschaften eine ausreichende Ausgangsleistung.

Bei hohen Ausgangsleistungen ist ein entsprechend hoher Wirkungsgrad wünschenswert, da dadurch die erforderliche Leistung des Netzteils und natürlich der

Energieverbrauch des Verstärkers bestimmt werden. Durch einen höheren Wirkungsgrad wird weniger Verlustleistung in Form von Abwärme erzeugt und dementsprechend geringer sind die Anforderungen an die Kühlung der Endstufe.

Für Audio-Endstufen kommen verschiedene Technologien zum Einsatz, wobei durch den technologischen Fortschritt der Anteil der digitalen Verstärker gegenüber den klassischen Verstärkern deutlich gestiegen ist.

Die verschiedenen Verstärkertechnologien am Markt bieten Vor- und Nachteile, wobei die Vorteile

Technische Daten

Ausgangsleistung:	100 W an 4 Ω , stereo, single-ended (25 % THD+N) 170 W an 8 Ω , Mono-Brücke (25 % THD+N)
Wirkungsgrad (Endstufen):	88 % SE, RL = 4 Ω ; 88 % BTL, RL = 8 Ω
Gesamt-Wirkungsgrad:	75 %
Klirrfaktor + Rauschen:	0,05 % ($P_o = 1$ W, $f_i = 1$ kHz), 0,05 % ($P_o = 1$ W, $f_i = 6$ kHz) 0,5 % bei 2x 35 W an 4 Ω (Stereo), 1 % bei 90 W an 8 Ω BTL
Frequenzgang:	20 Hz bis 20 kHz
Schaltfrequenz:	345 kHz
Spannungsversorgung:	Eingebautes 230-V-Netzteil
Audio-Eingang:	2x Cinch-Buchse
Lautsprecher-Anschlüsse:	Standard-Lautsprecher-Klemmleisten
Bedienelemente:	Netzschalter, Stereo-Lautstärkepoti, Umschalter Stereo-/Mono-Brücke an der Geräterückseite
Anzeigen:	Netz-Kontroll-LED
Abmessungen (B x T x H):	305 x 155 x 97 mm

des Digitalverstärkers aufgrund des besonders hohen Wirkungsgrades eindeutig überwiegen. Im Vergleich zu den ersten Class-D-Verstärkern konnten die Klangeigenschaften deutlich verbessert werden.

Bei Digitalverstärkern werden die Endstufentransistoren durch PWM-Signale gesteuert und arbeiten im Schaltbetrieb. Die Transistoren sind dadurch immer maximal leitend oder gesperrt, sodass Abwärme nur noch durch Schaltverluste (Anstiegs- und Abfallflanken) und den RDS-on-Widerständen der Schalttransistoren entsteht. Durch einen nachgeschalteten Tiefpass (Rekonstruktionsfilter) wird letztendlich ein dem Eingangssignal entsprechender analoger Spannungsverlauf erzeugt. Da der Lautsprecher selbst nur Signale im Audio-Frequenzbereich verarbeiten kann, wirkt dieser selbst auch als Tiefpass.

Die nichtlinearen Verzerrungen der modernen Digitalverstärker-Generationen wurden immer weiter verbessert, auch wenn der Stand von klassischen Verstärkern im A/B-Betrieb noch nicht erreicht wird.

Verstärker im Class-A/B-Betrieb

Diese klassische Betriebsart ermöglicht sehr gute Klangeigenschaften bei sehr geringer Ruhestromaufnahme. Dieser Verstärkertyp ist üblicherweise als Gegentakt-Endstufe mit symmetrischer Betriebsspannung aufgebaut.

Der wesentliche Nachteil dieser traditionellen Verstärkertechnologie ist die geringe Effizienz. Abhängig von der Lastimpedanz und der aktuell geforderten Ausgangsleistung im Verhältnis zur Maximalleistung des Verstärkers beträgt der maximal erreichbare Wirkungsgrad nicht mehr als 60 bis 70 %. Unter Hörbedingungen in der Praxis bei 30 % Voll-Last stellt sich dann gerade mal ein Wirkungsgrad um die 35 % ein. Im Vergleich zu Verstärkern im A-Betrieb, die theoretisch eine maximale Effizienz von 25 % erreichen, schon ein guter Wert, aber kein Vergleich zu modernen Digitalverstärkern.

Zwangsläufig entsteht bei einem geringen Wirkungsgrad auch eine entsprechend hohe Verlustleistung, die in Form von Verlustwärme verloren geht. Ein wesentlicher Teil der zugeführten Energie muss somit an großzügig dimensionierten Kühlkörpern regelrecht „verbraten“ werden. Große Kühlkörper haben natürlich auch einen entsprechenden Platzbedarf, sind teuer und stellen bezüglich der Luftkonvektion Anforderungen an die mechanische Konstruktion.

Nicht zuletzt ist zu bedenken, dass entsprechende Netzteile zum Betrieb der Endstufen erforderlich sind, die auch die als Verlustwärme abgeführte Leistung zusätzlich zur Ausgangsleistung zur Verfügung stellen müssen.

Dazu ein Beispiel:

Wir nehmen an, unser Verstärker hat eine Sinus-Dauerleistung von 100 W und einen Wirkungsgrad von 65 % bei Voll-Last (durchaus ein guter Wert). Da die 100 W somit 65 % der Leistung sind, die das Netzteil liefern muss, müssen dem Verstärker ca. 154 W zugeführt werden. Natürlich hat das Netzteil auch keinen Wirkungsgrad von 100 %. Wenn wir hier von ca. 75 % ausgehen, liegt die Netzaufnahme bei 100 W Ausgangsleistung in A/B-Betrieb bei über 200 W.

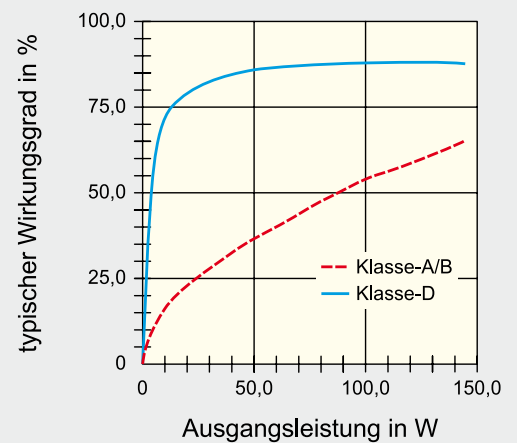


Bild 1: Der Wirkungsgrad von Class A/B und Class D im Vergleich

Digitalverstärker im Class-D-Betrieb

Verstärker im Class-D-Betrieb arbeiten wie Schaltanteile mit Pulsweitenmodulation. Die Philosophie dieser getakteten Verstärker beruht darauf, dass die Leistungshalbleiter der Endstufe entweder vollständig durchgeschaltet oder gesperrt sind. Nur in einer sehr kurzen Phase während des Umschaltvorgangs (Übergang von „high“ nach „low“ oder umgekehrt) befinden sich die Halbleiter der Endstufe im linearen Betrieb und setzen Leistung in Verlustwärme um. Hinzu kommen dann nur noch die Spannungsabfälle am RDS-on-Widerstand der jeweils durchgeschalteten Transistoren.

Je steiler nun die Schaltflanken, desto geringer ist zwar die Verlustleistung in der Endstufe, aber steile Schaltflanken haben auch den Nachteil, hochfrequente Störungen zu erzeugen. In der Praxis muss dann ein guter Kompromiss zwischen der Steilheit der Schaltflanken und den Störungen im Funkfeld bzw. den netzgebundenen Störungen gefunden werden.

Bild 1 zeigt den Wirkungsgrad unseres Class-D-Verstärkers im Vergleich zu einem typischen A/B-Verstärker, und in Bild 2 ist die erforderliche Netzteilleistung im Vergleich zu sehen.

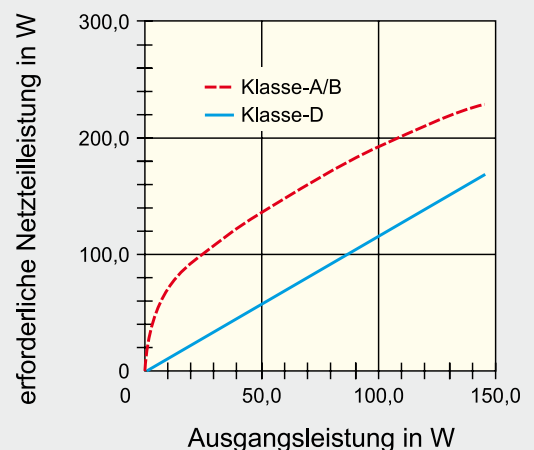


Bild 2: Erforderliche Netzteil-Leistung in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung bei Class A/B und Class D

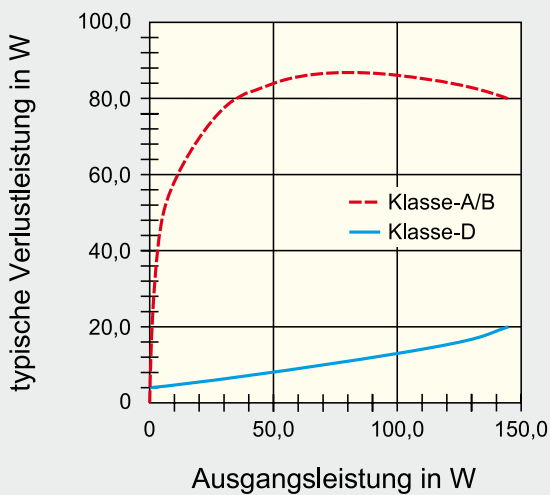


Bild 3: Verlustleistung am Kühlkörper im Vergleich

Das eingangsseitig zugeführte Audio-NF-Signal wird mithilfe eines PWM-Modulators in ein pulsweitenmoduliertes Signal umgewandelt und zur Steuerung der Endstufe benutzt. Aus dem PWM-Ausgangssignal wird mithilfe eines Ausgangsfilters (Tiefpass) dann das NF-Signal zurückgewonnen. Um den Schaltungsaufwand für die Tiefpassfilterung gering zu halten, sollte die Schaltfrequenz weit oberhalb der höchsten Signalfrequenz liegen. Es genügen dann Tiefpassfilter geringer Ordnung.

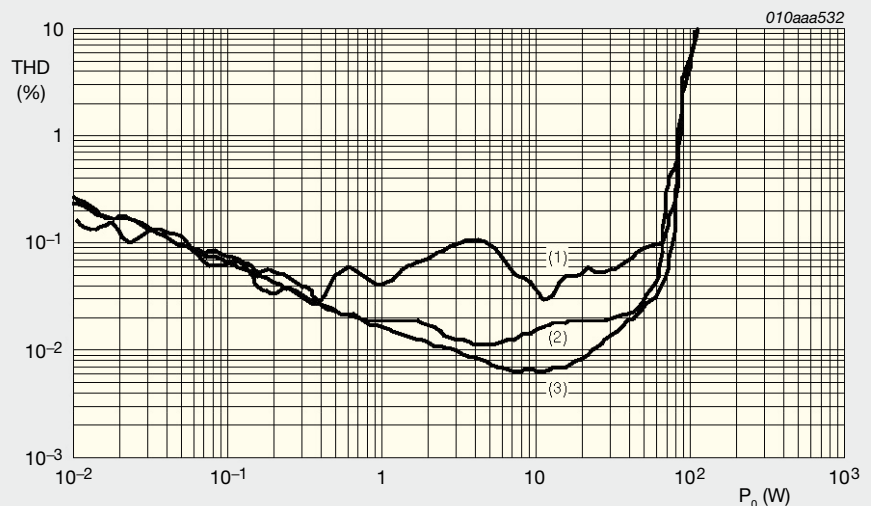
Für gute Klangeigenschaften sind also eine hohe Schaltfrequenz und kurze Schaltzeiten bei den Endstufen-Transistoren wichtig. Unbedingt muss die Bandbreite des Eingangssignals auf 60 % der PWM-Schaltfrequenz begrenzt sein, da es sonst zu Intermodulationsstörungen kommt.

Bei unserem Verstärker beträgt die Schaltfrequenz des Pulsweitenmodulators ca. 345 kHz, wodurch die nichtlinearen Verzerrungen (total harmonic distortion, THD) bei $P_o = 1 \text{ W}$ nur 0,05 % betragen.

Bei Class-D-Verstärkern bestehen gravierende Unterschiede im Vergleich zu Class-A/B-Verstärkern bei der erforderlichen Kühlleistung, wie in Bild 3 zu sehen ist.

Bild 4: Klirrfaktor und Rauschen im Stereo-Betrieb an $2 \times 4 \Omega$ Lastimpedanz = $2 \times 4 \Omega$

- (1) $f_i = 6 \text{ kHz}$.
- (2) $f_i = 1 \text{ kHz}$.
- (3) $f_i = 100 \text{ Hz}$.



Wie bereits erwähnt, erfolgt die Rekonstruktion der Audio-Informationen aus dem PWM-Signal mit recht einfachen Filterschaltungen, da Lautsprecher vorhandene Hochfrequenzanteile sowieso nicht verarbeiten können und selber als Filter fungieren. Die HF-Anteile müssen so weit wie möglich entfernt werden, damit die geltenden EMV-Vorschriften sicher eingehalten werden.

Ausgangsleistung

Bei den technischen Daten eines Verstärkers ist außer den Klangeigenschaften die Ausgangsleistung eine wichtige technische Angabe. Die Aussage „Je mehr Watt, desto besser“ stimmt aber keineswegs, und es muss auch unterschieden werden, welche Leistung der Hersteller angibt.

Neben den seriösen Leistungsangaben Sinus oder RMS werden oft auch mehr oder weniger unseriöse Leistungsangaben gezielt verbreitet, einfach nur um auf hohe Wertangaben zu kommen. Verstärker mit hohen Wertangaben bei der Ausgangsleistung lassen sich an nicht fachkundige Verbraucher am einfachsten verkaufen.

Während die Sinus-, RMS- oder Nennleistung weitgehend vergleichbar ist, wird die Musikleistung mit impulsartigen Signalen gemessen, die normaler Musik nachempfunden sind. Die Angabe der Musikleistung ist allerdings schwer nachzuprüfen.

Bei der vorwiegend im Low-Cost-Bereich anzutreffenden PMPO-Leistung wird mit sehr kurzen Impulsen im μs -Bereich gemessen. Im Vergleich zu Sinus oder RMS kommt dann unter Umständen die 20fache Leistung heraus. Mit der Realität hat diese, der gezielten Täuschung dienende Angabe meistens nichts mehr zu tun.

Ob Leistungsangaben aus der Luft gegriffen sind, ist oft schon an der Leistungsaufnahme des Gerätes zu erkennen. Grundsätzlich kann nun mal kein Gerät mehr Leistung abgeben als zugeführt wird.

Die Sinus-Ausgangsleistung unseres Verstärkers beträgt im Stereobetrieb typisch $2 \times 100 \text{ W}$ an 4Ω bzw. bei Mono-Brückenschaltung (BTL, bridge-tied load) 200 W . Damit lässt sich eine beeindruckende Lautstärke erreichen, auch wenn sich die Leistungsangabe im Vergleich zu Verstärkern mit utopischen PMPO-Angaben eher bescheiden anhört. Beim Vergleich der Ausgangsleistung sollte immer die Sinus-, RMS- oder Nennleistung herangezogen werden.

Class-D-Audioverstärker DA 200

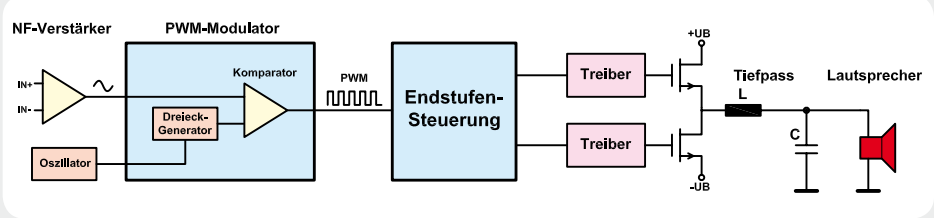
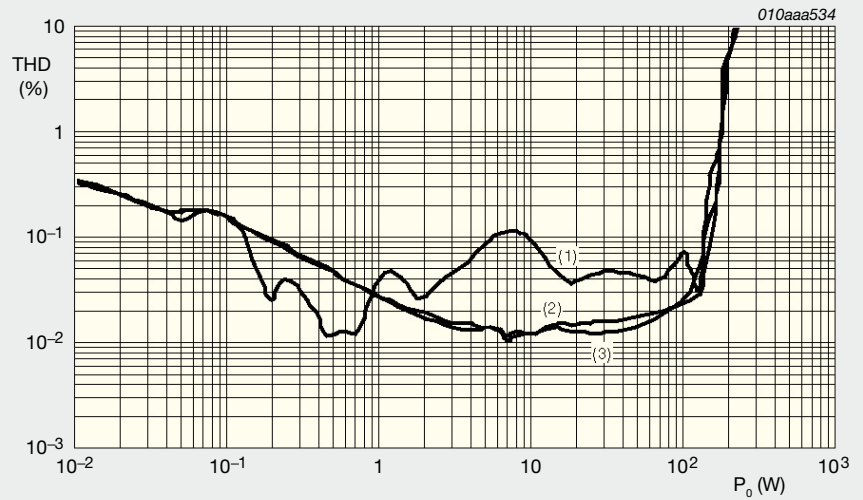
Der digitale Class-D-Verstärker DA 200 ist in einem massiven Metallgehäuse mit ansprechendem Alu-Frontprofil untergebracht, dessen Abmessungen (B x H x T) $305 \times 97 \times 155 \text{ mm}$ betragen.

Der Verstärker kann wahlweise als Stereoverstärker oder in Mono-Brückenschaltung genutzt werden. Die Umschaltung zwischen Mono- und

Bild 5: Klirrfaktor und Rauschen in Mono-Brückenschaltung an 8 Ω

Lastimpedanz = 8 Ω

- (1) $f_i = 6 \text{ kHz.}$
- (2) $f_i = 1 \text{ kHz.}$
- (3) $f_i = 100 \text{ Hz.}$



zugeführt. Der Komparator vergleicht quasi das Audiosignal mit dem Dreiecksignal, und das Signal am Komparatorausgang ist abhängig davon, welches der beiden Signale gerade eine höhere Spannung aufweist. Es entsteht ein Rechtecksignal mit der Frequenz des Dreiecksignals und fester Amplitude, jedoch unterschiedlicher Pulsweite (siehe Diagramm unten). Die Musikinformation (Amplitude und Frequenz des Audiosignals) steckt in der Pulsweite des Rechtecksignals. Auf die Trägerfrequenz des Dreiecksignals wurde die Audioinformation aufmoduliert. Das Rechtecksignal mit der Audioinformation in der Pulsweite wird einer Endstufen-Steuerschaltung zugeführt, wobei das Schalten der Endstufen-Transistoren zeitlich sehr genau erfolgen muss und zu keinem Zeitpunkt beide Transistoren gleichzeitig durchgeschaltet werden dürfen. Zu lange Verzögerungen (beide Transistoren gesperrt) hingegen führen zu Verzerrungen. Die Optimierung in diesem Bereich ist ein entscheidender Punkt für die Güte eines Digitalverstärkers (die Zeiten liegen im Nanosekunden-Bereich). Entsprechende Treiberstufen sorgen für die korrekte Steuerung der Transistoren, und letztendlich steht am Verstärkerausgang ein Leistungs-PWM-Signal zur Verfügung. Da die Schaltfrequenz weit oberhalb der höchsten Audiofrequenzen liegt, genügt ein Tiefpassfilter geringer Ordnung, um Trägerfrequenz und Audiosignal wieder zu trennen. Hinzu kommt, dass der Lautsprecher selbst auch als Tiefpass wirkt, da dieser den schnellen Signalen des Trägers nicht folgen kann.

Class-D Verstärker

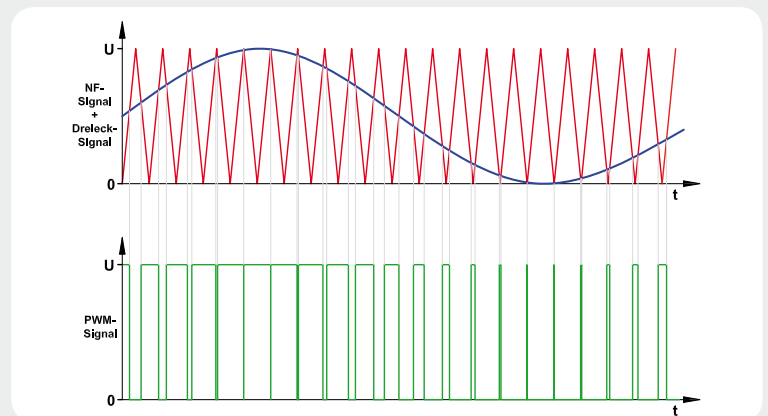
Bei Class-D-Verstärkern (meistens als Digitalverstärker oder Digitalendstufe bezeichnet) handelt es sich um Schaltverstärker, deren Endstufentransistoren durch pulsweitenmodulierte Signale (PWM) gesteuert werden. Dadurch ist es möglich, die Endstufentransistoren im Schaltbetrieb zu nutzen (entweder gesperrt oder voll durchgeschaltet), und es entsteht eine sehr geringe Verlustleistung im Vergleich zu Verstärkern, die im Linearbetrieb arbeiten. Da Verluste nur noch durch Schaltflanken (die Transistoren verweilen nur eine sehr kurze Zeit im Linearbetrieb) und den RDS-on-Widerständen der Endstufentransistoren entstehen, erreichen Digitalverstärker eine Effizienz von über 90 %.

Die Vorteile liegen auf der Hand: Für die gleiche Ausgangsleistung wird deutlich weniger Netzteil-Leistung als bei einem konventionellen Verstärker benötigt. Es entsteht entsprechend weniger Verlustwärme, und Kühlkörper können deutlich kleiner ausfallen oder sogar vollständig entfallen. Die Zeichnung oben zeigt das grundsätzliche Funktionsprinzip eines derartigen Verstärkers.

Das verstärkte NF-Signal und das Signal eines Oszillators mit fester Frequenz (die Frequenz muss deutlich höher sein als die höchste zu verstärkende Audiofrequenz) werden einem PWM-Modulator zugeführt. Im PWM-Modulator wird mit der Oszillatorfrequenz ein Dreiecksignal erzeugt und dieses zusammen mit dem verstärkten Audiosignal einem Komparator

zugeführt. Der Komparator vergleicht quasi das Audiosignal mit dem Dreiecksignal, und das Signal am Komparatorausgang ist abhängig davon, welches der beiden Signale gerade eine höhere Spannung aufweist. Es entsteht ein Rechtecksignal mit der Frequenz des Dreiecksignals und fester Amplitude, jedoch unterschiedlicher Pulsweite (siehe Diagramm unten). Die Musikinformation (Amplitude und Frequenz des Audiosignals) steckt in der Pulsweite des Rechtecksignals. Auf die Trägerfrequenz des Dreiecksignals wurde die Audioinformation aufmoduliert. Das Rechtecksignal mit der Audioinformation in der Pulsweite wird einer Endstufen-Steuerschaltung zugeführt, wobei das Schalten der Endstufen-Transistoren zeitlich sehr genau erfolgen muss und zu keinem Zeitpunkt beide Transistoren gleichzeitig durchgeschaltet werden dürfen. Zu lange Verzögerungen (beide Transistoren gesperrt) hingegen führen zu Verzerrungen. Die Optimierung in diesem Bereich ist ein entscheidender Punkt für die Güte eines Digitalverstärkers (die Zeiten liegen im Nanosekunden-Bereich). Entsprechende Treiberstufen sorgen für die korrekte Steuerung der Transistoren, und letztendlich steht am Verstärkerausgang ein Leistungs-PWM-Signal zur Verfügung.

Da die Schaltfrequenz weit oberhalb der höchsten Audiofrequenzen liegt, genügt ein Tiefpassfilter geringer Ordnung, um Trägerfrequenz und Audiosignal wieder zu trennen. Hinzu kommt, dass der Lautsprecher selbst auch als Tiefpass wirkt, da dieser den schnellen Signalen des Trägers nicht folgen kann.



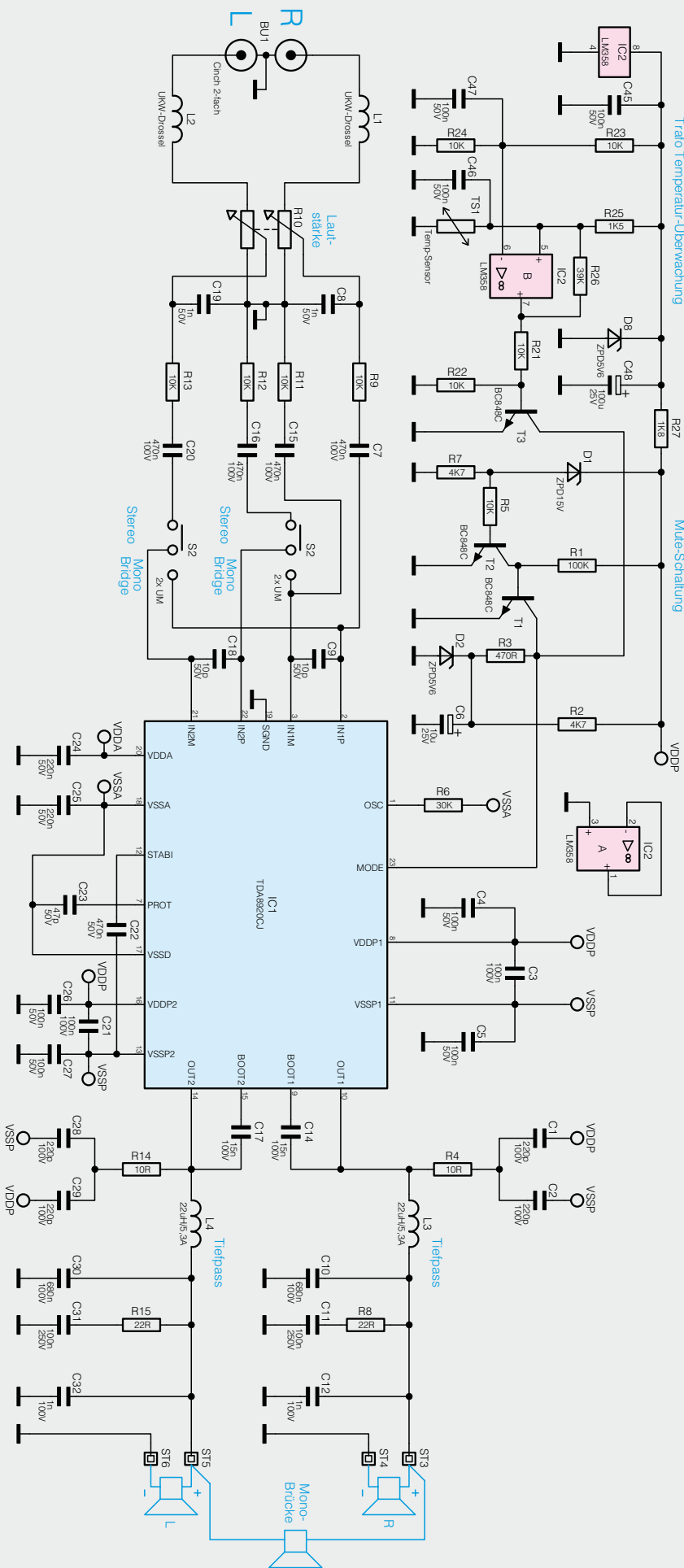


Bild 6: Das Schaltbild des Verstärkers DA 200

Stereobetrieb erfolgt mit einem Schiebescalter an der Geräterückseite. Für die Zuführung des Audiosignals stehen an der Geräterückseite Cinch-Buchsen und für den Anschluss der Lautsprecher Standard-Lautsprecher-Klemmleisten zur Verfügung.

Im Stereobetrieb darf die minimale Lautsprecher-Impedanz 4 Ω und in Mono-Brückenschaltung 8 Ω betragen.

Integrierte Schutzschaltungen schützen das Gerät bei Überschreiten des maximalen Ausgangsstroms und bei Überschreiten der Betriebsspannung. Eine Temperatur-Schutzschaltung ist im Verstärkerbaustein integriert, und eine weitere externe Temperaturüberwachung schützt den Netztransformator vor Überlast. Ein leistungsfähiger Netztransformator liefert die erforderliche Energie, und die Klangeigenschaften sind für einen Verstärker im Class-D-Betrieb sehr gut, wie auch anhand der nichtlinearen Verzerrungen (Klirrfaktor und Rauschen) in Bild 4 (Stereobetrieb) und Bild 5 (BTL) zu sehen ist.

Natürlich ist auch beim Betrieb dieses Verstärkers für eine ausreichende Belüftung zu sorgen, und die Lüftungsöffnungen dürfen nicht zugedeckt werden. Während des Betriebs ist das Gerät auf eine ebene Fläche zu stellen, wobei sicherzustellen ist, dass eine einwandfreie Luftzuführung durch die Lüftungsöffnung im unteren Gehäusebereich möglich ist. Offene Brandquellen wie z. B. brennende Kerzen sollten grundsätzlich nicht auf den Verstärker gestellt werden.

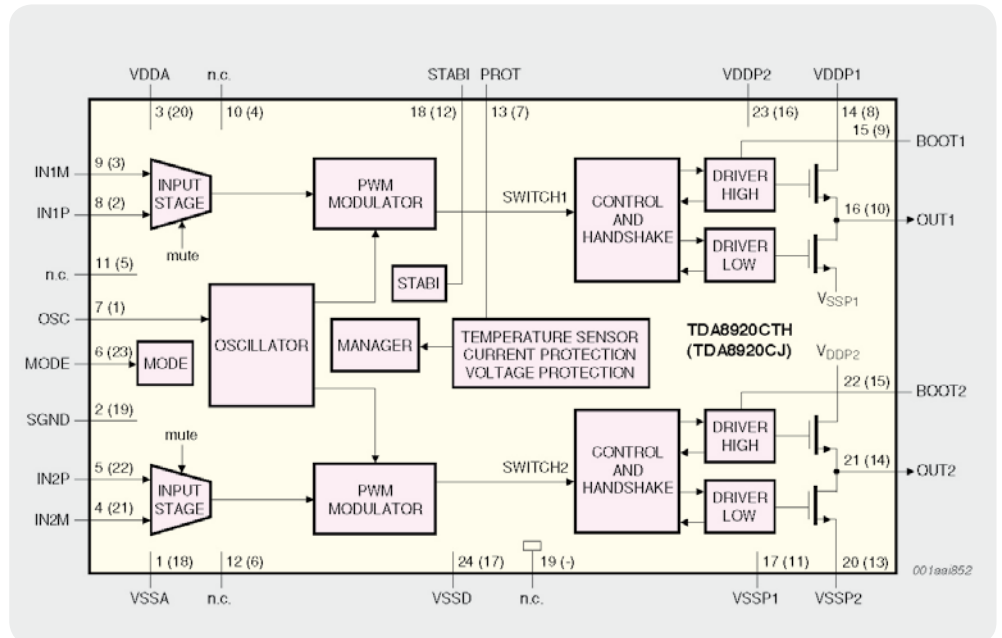
Schaltung des Stereo-Verstärkers

Die Schaltung unseres Class-D-Audioverstärkers ist in Bild 6 zu sehen und basiert auf einer Single-Chip-Lösung von NXP Semiconductors. Da dieser Baustein, dessen interne Struktur in Bild 7 zu sehen ist, alle erforderlichen Stufen enthält, ist die erforderliche externe Beschaltung sehr überschaubar.

Das IC vom Typ TDA8920CJ beinhaltet die analogen Eingangsstufen, einen Oszillator und die beiden PW-Modulatoren, die zur Umsetzung der analogen Audio-Informationen in pulswitenmodulierte Signale erforderlich sind. Die Steuerlogik und die Leistungstransistoren der Endstufen sind direkt im TDA8920CJ integriert. Des Weiteren sind Überwachungs- und Schutzschaltungen vorhanden, die die Funktionsvielfalt dieses komplexen Audio-ICs abrunden.

Doch nun zurück zum Verstärkerschaltbild in Bild 6.

Bild 7: Interner Aufbau des TDA8920CJ



Die Audio-Eingangssignale des rechten und linken Stereokanals werden dem Verstärker an der Stereo-Cinchkonsole BU 1 zugeführt, wobei die Eingänge jeweils für Normpegel (775 mV) ausgelegt sind. Von hieraus gelangen die Signale direkt auf die zugehörigen Anschlüsse des zur Lautstärke-Einstellung dienenden Stereo-Potenzimeters R 10.

Der Widerstand des Potis von 50 kΩ bestimmt gleichzeitig den Eingangswiderstand der Schaltung. Vom Schleifer des Potis gelangt das Signal des rechten Kanals dann über R 9 und den zur galvanischen Trennung dienenden Kondensator C 7 auf den Plus-Eingang des in IC 1 integrierten Eingangsverstärkers. In gleicher Weise wird das Signal des linken Stereokanals über R 13, C 20 und über die Kontakte des Schiebenschalters S 2 zum Minus-Eingang des Eingangsverstärkers für den linken Kanal geführt. Beim rechten Kanal liegt der Minus-Eingang signalmäßig über C 15, R 11 auf Massepotenzial und beim linken Kanal ist der Plus-Eingang über den Umschalter S 2 und die Komponenten C 16, R 12 signalmäßig mit Schaltungsmasse verbunden. Der Schiebenschalter S 2 dient zur Umschaltung zwischen Stereobetrieb und Mono-Brückenschaltung. Bei Mono-Brückenschaltung wird das NF-Eingangssignal dann an der Buchse des rechten Stereokanals zugeführt. Die Kondensatoren C 9 und C 18 dienen in diesem Zusammenhang zur Eingangsbandbegrenzung.

Der in IC 1 integrierte Oszillator für die PWM-Signalerzeugung ist extern ausschließlich mit dem Widerstand R 6 beschaltet.

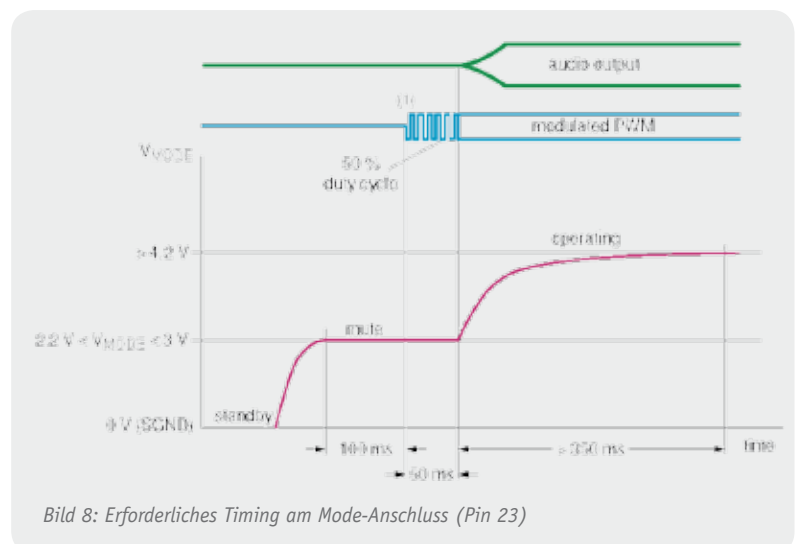
Die Beschaltung an Pin 23 (Mode) sorgt für eine Ein- und Ausschaltgeräusch-Unterdrückung nach dem Anlegen der Betriebsspannung und beim Ausschalten des Verstärkers. Des Weiteren wird über diesen Anschluss der Verstärker in Stand-by geschaltet, wenn die Temperatur am Netztrafo den zulässigen Höchstwert überschreitet.

Der Verstärker kann über diesen Pin in drei verschiedene Zustände versetzt werden: „Stand-by“, „Mute“ und „Operating“. In Bild 8 ist das erforderliche Timing an diesem Pin zu sehen.

Mit dem Anlegen der Betriebsspannung ist zunächst T 1 durchgesteuert, und der Mode-Pin wird auf Massepotenzial gezogen (Stand-by). Aufgrund der Dimensionierung von R 2 und R 3 kann sich C 6 auf die für den Mute-Mode erforderliche Spannung aufladen. Sobald die positive Betriebsspannung ca. 16 V überschreitet, wird D 1 leitend und T 1 über den Transistor T 2 in den Sperrzustand versetzt. Nach einer kurzen Mute-Phase geht der Verstärker dann in den Betriebsmode.

Der mit IC 2 und externen Komponenten realisierte Schaltungsteil dient zur Temperaturüberwachung des Netztransformators. Die Betriebsspannung für diesen Schaltungsteil wird aus der positiven Versorgungsspannung des Verstärkers gewonnen, und mit der Z-Diode D 8 erfolgt eine hinreichende Stabilisierung für den OP auf 5,6 V. Der OP arbeitet als Komparator und ist eingangsseitig mit einer Brückenschaltung, bestehend aus R 23 bis R 24, sowie dem Temperatursensor TS 1 beschaltet.

Der mit R 23 und R 24 realisierte Spannungsteiler sorgt dafür, dass der invertierende Eingang von IC 2 ständig auf halber Betriebsspannung liegt. Die Spannung am nicht invertierenden Eingang wird vom Temperatursensor TS 1 und dem Widerstand R 25 bestimmt. Solange sich die Temperatur des Trafos im zulässigen Bereich befindet, liegt die Spannung am nicht invertierenden Eingang unterhalb der Spannung am invertierenden Eingang, und der nachgeschaltete Transistor T 3 befindet sich im Sperrzustand. Sobald die Spannung am nicht invertierenden Eingang die



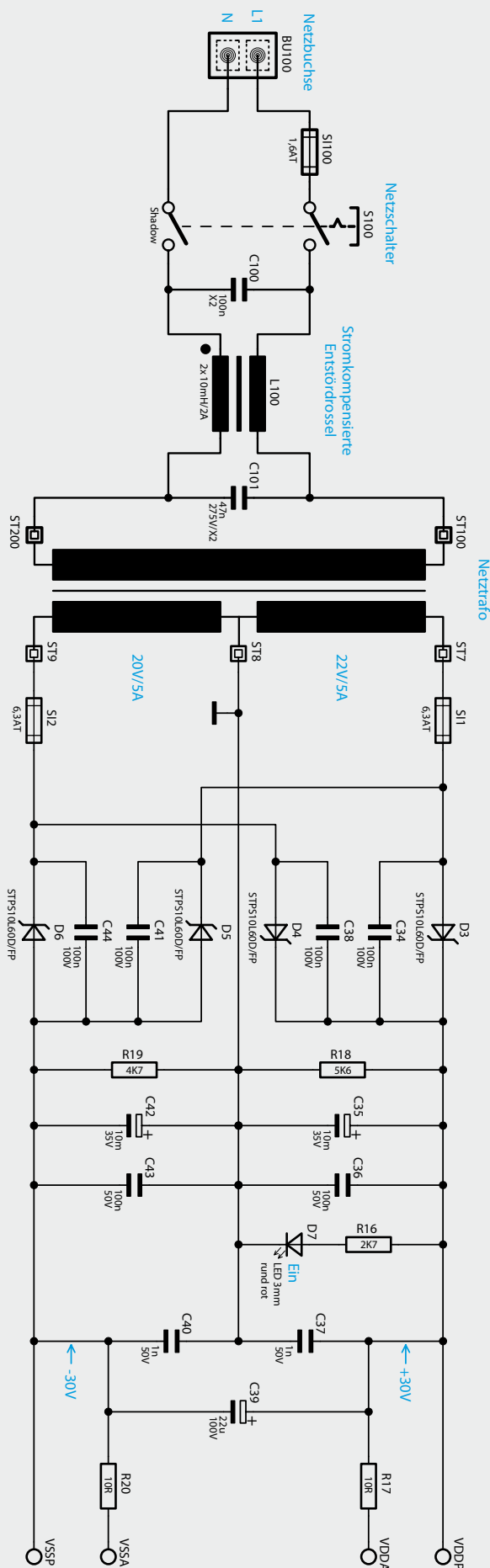


Bild 9: Das Schaltbild des DA-200-Netzteils

Schaltsschwelle passiert, wechselt der OP-Ausgang von „low“ nach „high“ und T 3 wird durchgeschaltet. R 26 sorgt in diesem Zusammenhang für eine ausreichende Schalthysterese. Sobald die Temperatur des Netztrafos den zulässigen Grenzwert (ca. 100 °C) überschreitet, wird über den leitenden Transistor T 3 der Verstärker in den „Mute“-Zustand versetzt.

Die in IC 1 integrierten Endstufen werden an Pin 8 und Pin 16 mit der positiven Betriebsspannung und an Pin 11 und Pin 13 mit der negativen Betriebsspannung versorgt.

Die analogen Baugruppen innerhalb des Bausteins erhalten die Versorgungsspannungen über R 17 und R 20 (Bild 9) aus den gleichen Spannungsquellen.

An den direkten Verstärkerausgängen (Pin 10 und Pin 14) liegen hochfrequente Rechtecksignale an. Zur Rekonstruktion der Audiosignale sind unbedingt Ausgangsfilter (Rekonstruktionsfilter) erforderlich. Da Lautsprecher dem überlagerten HF-Signal nicht folgen können, reichen recht einfache Filter niedriger Ordnung. Ohne Filterung wären natürlich auch nicht die geltenden EMV-Bestimmungen einzuhalten, da die hochfrequenten Signalanteile über die Lautsprecherleitungen abgestrahlt würden.

Das Tiefpassfilter für den rechten Kanal ist mit L 3, C 10 realisiert, und L 4, C 30 bilden das Tiefpassfilter für den linken Kanal. Die weiteren Kondensatoren und Widerstände im Bereich der Lautsprecher-Ausgänge dienen zur Störunterdrückung.

ST 3 und ST 4 sind mit den Lautsprecher-Klemmen des rechten Kanals und ST 5, ST 6 mit den entsprechenden Klemmen des linken Stereokanals verbunden. Beim Mono-Brückenbetrieb ist der Lautsprecher an ST 3 und ST 5 anzuschließen.

Spannungsversorgung des DA 200

Die Netzteilschaltung des DA 200 ist in Bild 9 zu sehen. An der Netzbuchse BU 100 wird die 230-V-Netz-Wechselspannung zugeführt, die dann über die Netzsicherung SI 100 auf den zweipoligen Netzschalter S 100 gelangt. Vom Netzschalter gelangt die Spannung über die stromkompensierte Drossel L 100 direkt auf die Primärwicklung des Netztransformators. Die Drossel dient im Zusammenhang mit den beiden X2-Kondensatoren C 100 und C 101 zur Störunterdrückung.

Sekundärseitig ist der Trafo mit zwei identischen Wicklungen ausgestattet, die jeweils 22 V/5,5 A liefern. Diese Trafowicklungen speisen die beiden mit D 3 bis D 6 aufgebauten Zweiweg-Gleichrichterschaltungen. Die jeweils parallel zu den Dioden liegenden Kondensatoren C 34, C 38, C 41 und C 44 unterdrücken Störungen im Schaltmoment der Dioden.

An den Pufferelkos C 35 und C 42 stehen die unstabilierten Endstufen-Versorgungsspannungen +30 V und -30 V an, wobei R 18 und R 19 zum schnellen Entladen der Elkos nach dem Ausschalten des Verstärkers dienen. C 36, C 37, C 39, C 40 und C 43 unterdrücken insbesondere hochfrequente Störanteile.

Die über R 16 mit Spannung versorgte Leuchtdiode D 7 zeigt die Betriebsbereitschaft des Gerätes an.

Die Schaltungsbeschreibung ist damit abgeschlossen, und im zweiten Teil erfolgt reichlich bebildert die Beschreibung des praktischen Nachbaus.