



Audio-Dummy-Load mit Leistungsanzeige ADL 9000

Teil 2

Beim ADL 9000 ist neben einer Stereo-Lautsprechernachbildung, die je Kanal eine 4- Ω - oder 8- Ω -Impedanz mit 100 W Belastbarkeit zur Verfügung stellt, auch ein präziser Leistungsmesser integriert. Ein regelbarer Mithörlautsprecher und die Möglichkeit im Brückenbetrieb (Mono) auch 200 W Belastbarkeit bereitzustellen, runden die Features ab.

Allgemeines

Eine Lautsprechernachbildung kommt immer dann zum Einsatz, wenn die Gefahr besteht, dass an einem NF-Verstärker angeschlossene Lautsprecher Schaden nehmen könnten. Die ohmsche Lastnachbildung verhält sich dabei wie ein idealisiertes Lautsprecherpaar. Der Verstärker wird korrekt belastet; etwaige Schäden an diesem, wie beispielsweise Gleichspannungsspegel auf dem Lautsprecheranschluss, können keinen weiteren Schaden anrichten. Bei einem Betrieb mit Lautsprechern sind diese durch Überlastung, Fehlansteuerung mit Gleichspannung, Clipping usw. permanent gefährdet.

Außerdem lassen sich Verstärkerleistungsdaten objektiv nur an einer ohm-

schen Last ermitteln. Die parasitären Eigenschaften von Lautsprechern, allen voran der teilweise stark schwankende Impedanzverlauf, lassen hier keine vergleichbaren Messungen zu.

Eine der wichtigsten Daten eines Verstärkers ist die Ausgangsleistung. Diesen Wert misst das ADL 9000 permanent und stellt ihn auf der 3-stelligen 7-Segmentanzeige dar. Die interessante Schaltungstechnik zu diesem innovativen Produkt wird im Folgenden detailliert beschrieben.

Schaltung

Leistungsstil

Das Kernstück der Lautsprechernachbildung ist der in Abbildung 5 dargestellte Leistungsstil mit den Hochlastwiderständen und dem zugehörigen Schaltfeld. An

Tabelle 1: Relaiszustände im Überblick

| Betriebsart | Impedanz | REL 1 | REL 2 | REL 3 | REL 4 | REL 5 | REL 6 | REL 7 |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Stereo | 4 Ω | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Stereo | 8 Ω | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Mono | 2 Ω | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Mono | 4 Ω | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Mono | 8 Ω | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Mono | 16 Ω | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |

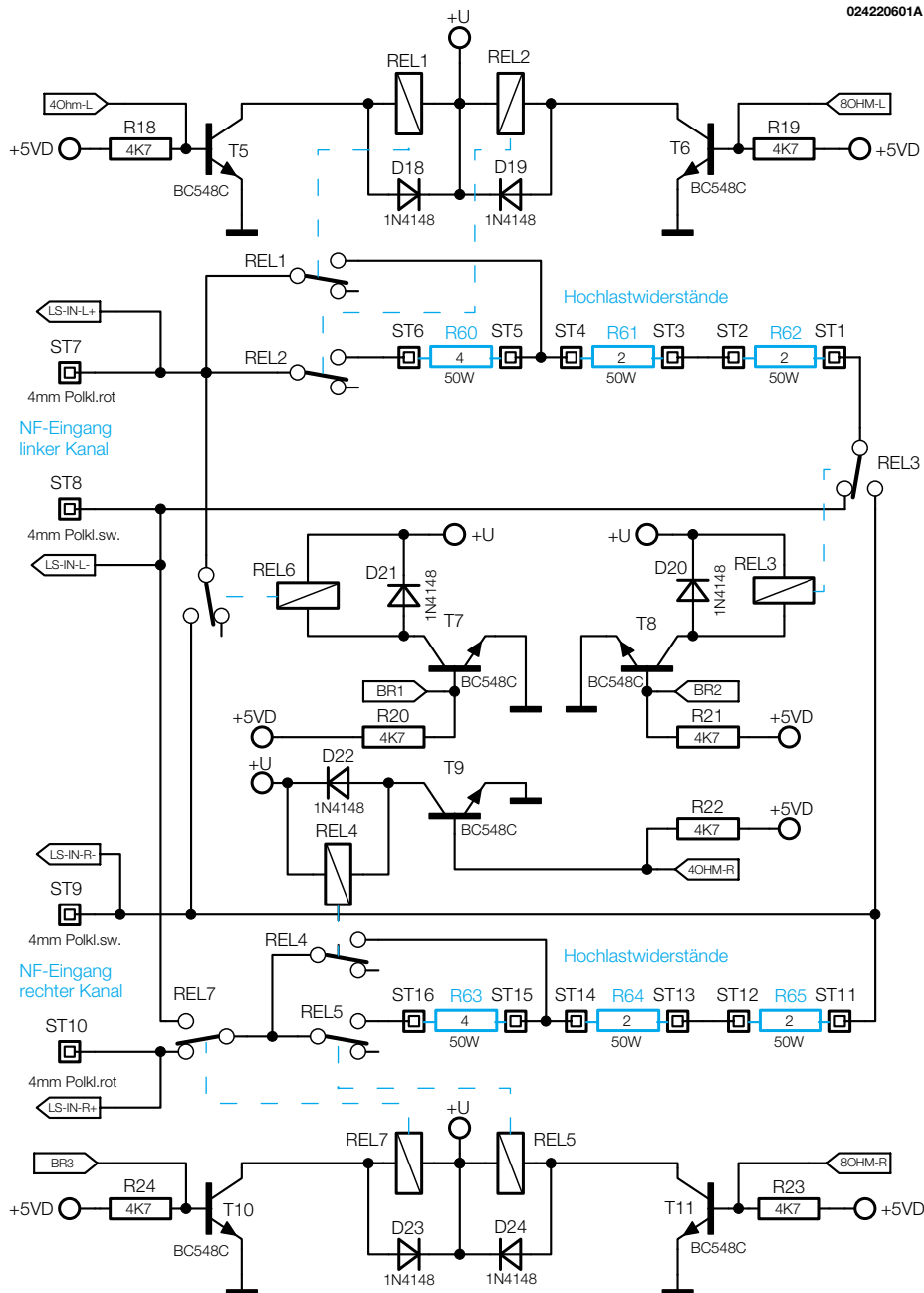


Bild 5: Hochlastwiderstände mit Schaltfeld

ST 7 bis ST 10 sind die Eingangsbuchsen angeschlossen, an denen das NF-Signal eingespeist wird. Für den linken Kanal sind hier die Hochlastwiderstände R 60 bis R 62 zuständig, die Nennimpedanz für den rechten Kanal stellen die Widerstände R 63 bis R 65 dar. Das Umschalten zwischen den einzelnen Widerständen erfolgt mit den Relais REL 1 bis REL 7. Die Stellung der Relais ist für den stromlosen Zustand gezeichnet. In dieser Konstellation sind die Eingangsbuchsen nicht mit den Lastwiderständen verbunden, d. h. sie liegen offen. Welches Relais für die Realisierung der jeweiligen Lastimpedanz eingeschaltet ist, lässt sich aus der Tabelle 1 ersehen. Die Ansteuerung der Relais erfolgt über den Mikrocontroller, der die Bedieneingriffe entsprechend umsetzt. Da die Portausgän-

ge des Mikrocontrollers nicht die benötigte Ansteuerleistung aufbringen können, ist jedem Relais eine Treiberstufe vorgeschaltet. Diese Treiberstufen aus T 5 bis T 11 mit Beschaltung werden direkt vom Prozessor aktiviert und schalten dann das entsprechende Relais.

Monitorverstärker

Damit das anliegende NF-Signal auch im Klang bewertet werden kann, verfügt die Lautsprecherlastnachbildung über einen eingebauten Monitorverstärker. Abbildung 6 zeigt im mittleren Teil den entsprechenden Schaltungsausschnitt. Die Umschaltung zwischen den auf den Verstärker schaltbaren Kanälen erfolgt mit dem Relais REL 8. Im stromlosen Zustand (gezeichnet) liegt das NF-Signal des linken

Eingangskanals an. Zur Einstellung der Lautstärke bilden R 4 und das auf der Frontplatte befindliche Potentiometer R 127 einen Spannungsteiler. Mit den beiden Dioden D 14 und D 15 wird der als Eingangspuffer arbeitende Operationsverstärker IC 8 A gegen zu hohe Eingangsspannungen geschützt. Der nachfolgende Operationsverstärker IC 8 B bildet in Verbindung mit seiner Beschaltung einen Hochpass 2. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 200 Hz. Hierin eingebunden ist auch die Treiberstufe aus T 3 und T 4, welche die Leistung für die Ansteuerung des Lautsprechers aufbringt.

Die Implementierung des Hochpasses ist notwendig, um die tiefen Frequenzen von dem nur kleinen Lautsprecher, der an ST 17 und ST 18 angeschlossen ist, fern zu halten. Ohne diese Maßnahme leidet die Verständlichkeit der Wiedergabe extrem, da der Lautsprecher sofort von den leistungsstarken Tiefbasssignalen übersteuert wird. Die Reihenschaltung aus R 6 und C 33 sorgt für eine Schwingneigungsunterdrückung.

Messgleichrichter

Neben dem Monitorlautsprecher wird auch das NF-Signal für die Leistungsmessung am Relais REL 8 ausgekoppelt. Hier geht das NF-Signal über den Spannungsteiler aus R 9 und R 17 auf den Eingangspuffer IC 6 B. Für die Umschaltung des Messbereiches wird mittels IC 9 der Widerstandsteiler verändert. Das Steuersignal „Range“, das direkt vom Mikrocontroller kommt, schaltet die beiden Widerstände R 15 und R 16 über die internen Schalter in IC 9 parallel zu R 17.

Die nachfolgende Schaltung aus IC 6 C und IC 6 A mit Beschaltung stellt den Präzisionsgleichrichter dar. Prinzipiell arbeitet dieser Gleichrichter mit einer einweggleichrichtung und einem nachfolgenden Umkehraddierer. Den Gleichrichter bilden IC 6 C, die Dioden D 16 und D 17 sowie R 10 und R 13. Am Ausgang dieses Schaltungsteiles (Anode D 17) liegt ein einweggleichgerichtetes Sinussignal an. Dieses wird mit dem ursprünglichen Sinussignal (Ausgang des Pufferverstärkers IC 6 B) addiert. Bei diesem Addiervorgang, den IC 6 A ausführt, sind die beiden Eingangssignale jedoch unterschiedlich gewichtet. Dem Eingangssignal (über R 8) wird das gleichgerichtete Signal (über R 11, R 14) mit doppelter Amplitude hinzuaddiert. Das Ergebnis dieser Addition hat die Signalform einer Zweiweggleichrichtung. Der Kondensator C 34 dient im Prinzip zur Siebung, so dass am Ausgang des Addierers IC 6 A eine Gleichspannung anliegt. Diese wird dann vom Analog-/Digitalwandler weiterverarbeitet. Aus diesem Gleichspannungswert berechnet der

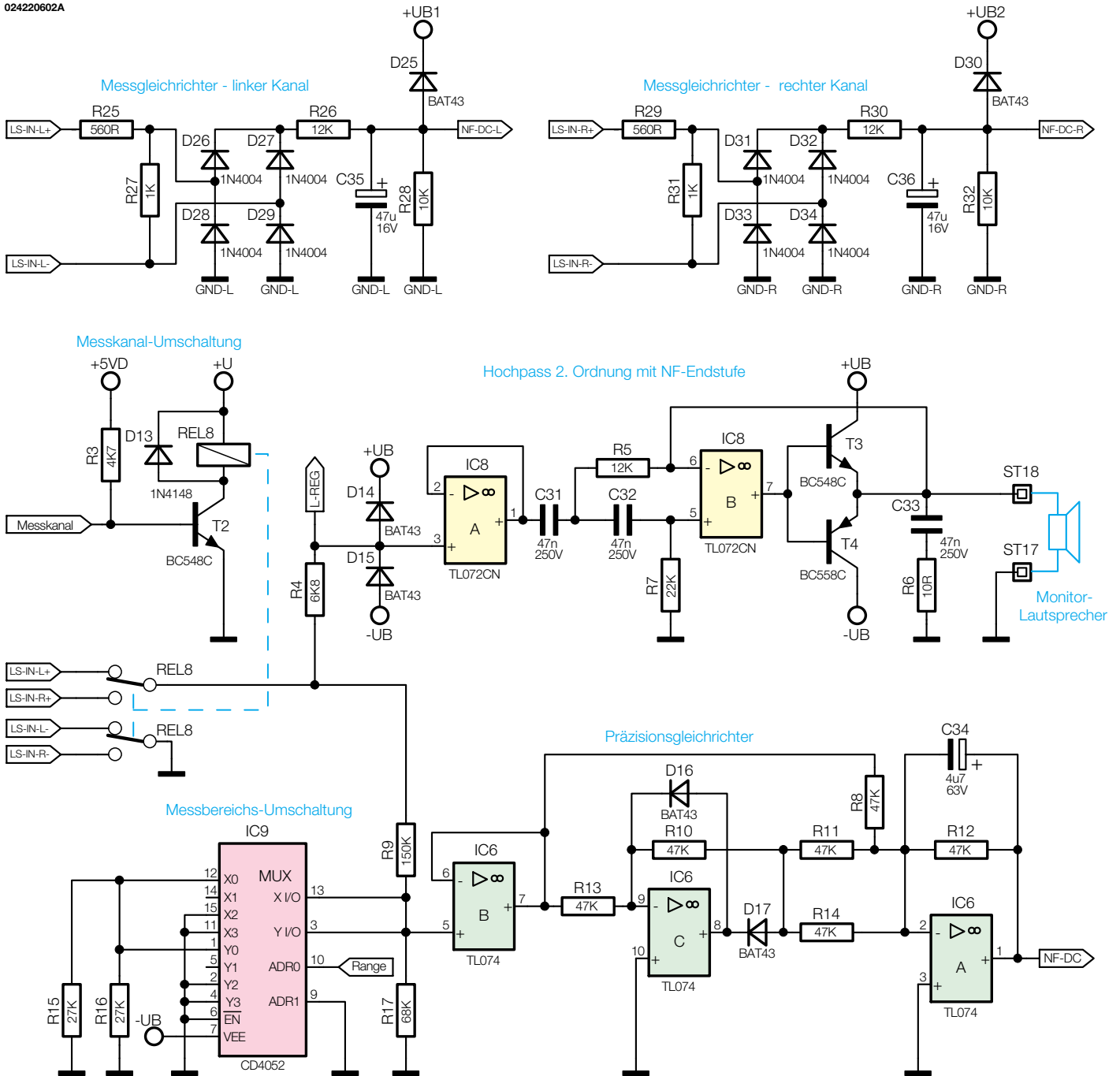


Bild 6: Schaltungsteile: Messgleichrichter und Monitorlautsprecher

Mikrocontroller letztlich die angezeigte Leistung.

Bargraphanzeigen

Neben dem Präzisionsgleichrichter gibt es für die beiden Bargraphanzeigen noch zwei einfache Messgleichrichter. Da hier keine hohe Anforderung an die Genauigkeit gestellt wird, sind diese als normale Brückengleichrichter aufgebaut. In Abbildung 6 sind diese oben abgebildet. Das an den Eingangsbuchsen anliegende NF-Signal (zugeführt über „LS-IN-L+“ und „LS-IN-L-“ bzw. „LS-IN-R+“ und „LS-IN-R-“) gelangt über den Spannungsteiler aus R 25 und R 27 bzw. R 29 und R 31

auf den zugehörigen Brückengleichrichter. Der nachfolgende Schaltungsteil aus dem Widerstandsteiler R 26, R 28 und C 35 bzw. R 30, R 32 und C 36 dient der Pegel Anpassung und Glättung.

Die Gleichspannungen „NF-DC-L“ und „NF-DC-R“, die einen dem NF-Eingangspegel proportionalen Wert annehmen, gelangen anschließend auf die beiden ICs der Bargraphanzeigen IC 103 und IC 104. Diese ICs vom Typ LM 3914, die in Abbildung 7 dargestellt sind, wandeln die anliegende Gleichspannung in eine LED-Leuchtbalkenanzeige um. Da das Gleichspannungssignal eine quadratische Abhängigkeit zur eingespeisten Leistung hat, ist

auch die in Leistung geeichte Skala nicht-linear eingeteilt. Diese „natürliche“ Nicht-linearität bringt den Vorteil mit sich, dass auch noch bei kleinen Leistungen eine sinnvolle Anzeige zustande kommt.

Das Funktionsprinzip dieser ICs ist recht einfach. Das IC detektiert die am Signaleingang (Pin 5) angelegte Spannung und steuert dementsprechend seine 10 LED-Ausgänge an. Dabei wird der Eingangsspannungsbereich, der mit den Widerständen R 122 und R 123 bzw. R 124 und R 125 festgelegt wird, linear aufgeteilt und je einer LED zugeordnet. Ob nur die zum Spannungswert zugehörige LED leuchten soll (moving dot) oder auch alle „nieder-

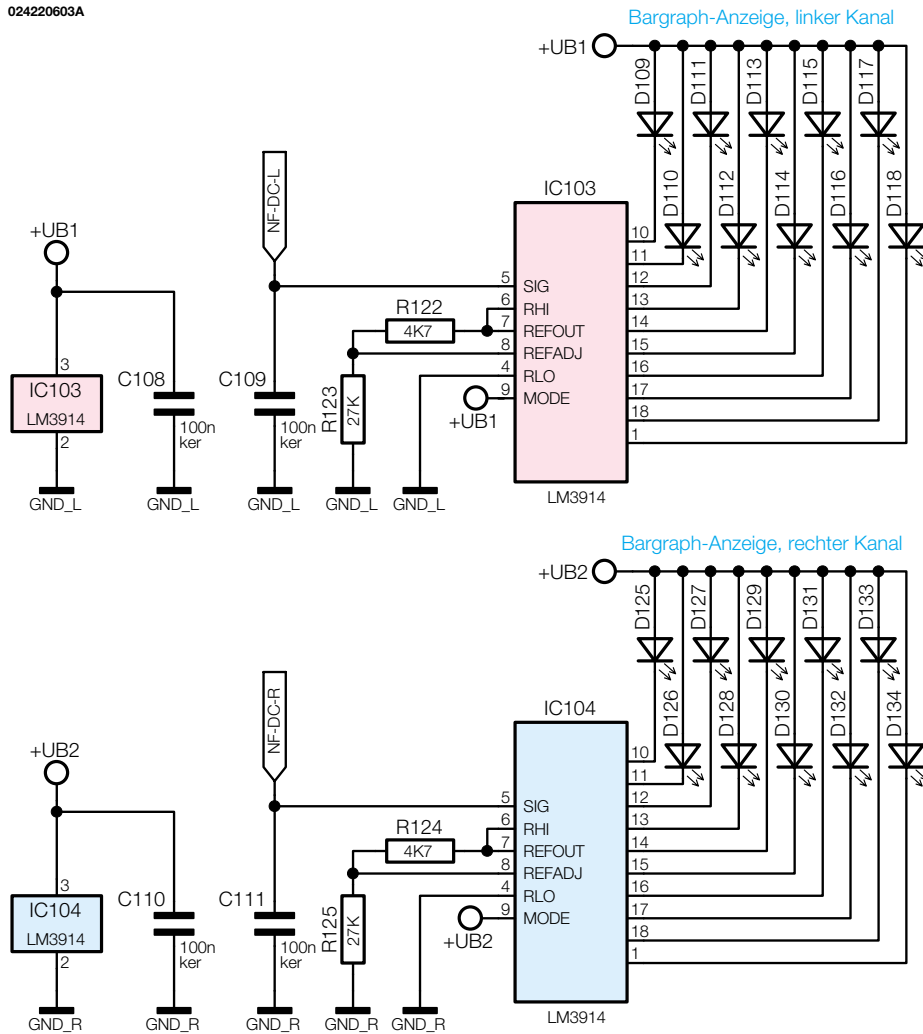


Bild 7: Bargraphanzeigen

wertigeren” LEDs (bar graph) lässt sich hardwaremäßig am IC programmieren. Liegt der Programmierpin (Pin 9) wie hier auf Betriebsspannungspotential, arbeitet das Gerät im für Messgeräte üblichen Bargraphmode. Neben der Signalverarbeitung, einer Referenzspannungsquelle und 10 Präzisionskomparatoren beinhaltet das IC auch LED-Treiber mit integrierter Strombegrenzung, so dass auf externe Widerstände in den LED-Zweigen verzichtet werden kann.

Analog-/Digitalwandler

Ist die Leistungsanzeige über den Bargraphen eher ein Hilfsmittel, um schnell einen Leistungsabfall etc. zu erkennen, so muss die numerische Anzeige der Leistung mittels der 7-Segmentanzeigen eine höhere Genauigkeit bringen. Daher ist zum einen die Umwandlung des Wechselspannungssignales in eine leichter zu verarbeitende Gleichspannung durch eine Präzisionsgleichrichter realisiert, zum anderen sind die weiterverarbeitenden Schaltungsteile entsprechend ausgelegt – allen voran der A/D-Wandler.

Der in Abbildung 8 oben dargestellte Wandler arbeitet nach dem Dual-Slope-

Verfahren. Hiermit lassen sich sehr hohe Auflösungen mit relativ geringem Aufwand realisieren. Der wesentliche Nachteil dieser Schaltung ist die kleine Wandlungsrate. Hier lassen sich nur wenige Abtastungen pro Sekunde realisieren. Dies ist in dieser nicht zeitkritischen Anwendung allerdings kein Problem.

Die gesamte Steuerung des Wandlers erfolgt über den Mikrocontroller. Mit den beiden Steuersignalen „ADS1” und „ADS2” wählt der Mikrocontroller am Multiplexer IC 7 das zu wandelnde Signal aus. Neben der zur eingespeisten NF-Leistung proportionalen Gleichspannung „NF-DC” ist dies noch die Messspannung aus der Temperaturüberwachung „Temp”. Die hier weiterhin noch anliegende Referenzspannung, welche die Spannungsreferenz D 35 generiert, wird für den eigentlichen A/D-Wandlungsvorgang benötigt.

Bei einer Wandlung wird zunächst das Messsignal auf den als Integrator beschalteten Operationsverstärker IC 10 A gegeben. Der Prozessor startet gleichzeitig seinen internen Timer zur Zeiterfassung. Aufgrund der Polarität des Messsignales ergibt sich eine ins Negative laufende Rampe. Nach einer definierten Zeit ist das Ende der

ersten Integrationsphase erreicht und der Prozessor schaltet den Wandlereingang auf die Referenzspannung um. Die prozessorinterne Zeitmessung wird gleichzeitig wieder gestartet. Da die Polarität der Referenzspannung negativ ist, steigt die Spannung am Ausgang des Integrators (Pin 1) wieder rampenförmig an. Wenn die Spannung wieder auf 0 V angestiegen ist, schaltet der Komparator IC 10 B um. Dieser gibt über den Transistor T 12 einen Impuls auf den Mikrocontroller, der die interne Zeitmessung stoppt. Aus dem Vergleich der Integrationszeiten und der bekannten Referenzspannung lässt sich dann prozessorintern die anliegende Messspannung berechnen, mit der wiederum die eigentlich zu ermittelnden Größen Temperatur oder Eingangsleistung bestimmt werden.

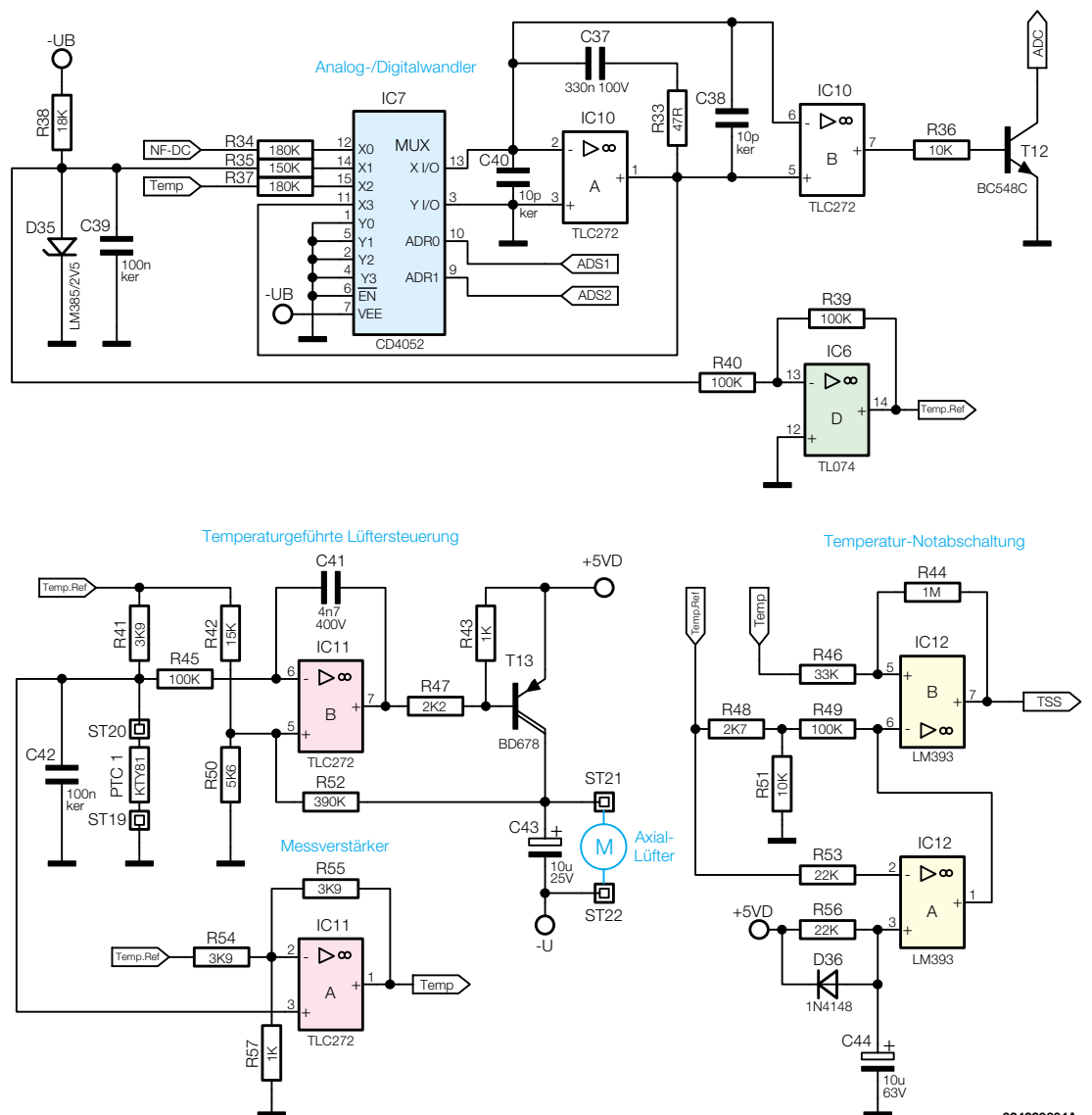
Temperaturmanagement

Die Kühlkörpertemperatur wird in zweifacher Weise genutzt. Zum einen erfolgt hierüber die Regelung der Lüfterdrehzahl, zum anderen dient sie als Eingangsgröße für die Temperaturüberwachung. Beide Schaltungsteile sind in Abbildung 8 unten zu sehen.

Der am Kühlkörper montierte Temperatursensor PTC 1 wird gleichzeitig in zwei Brückenschaltungen betrieben. Die Brückenschaltung aus R 41, PTC 1, R 42 und R 50 steuert die temperaturgeführte Lüftersteuerung. Hier ändert sich die Lüfterdrehzahl in Abhängigkeit von der Kühlkörpertemperatur. Somit lassen sich Störgeräusche durch den Lüfter auf ein Minimum reduzieren. Nur wenn der Kühlkörper wirklich Leistung abführen muss, wird auch die Drehzahl erhöht, während der Lüfter bei kleinen Verlustleistungen gar nicht läuft. Die Regelung ist so konzipiert, dass die Zwangskühlung erst ab einer Kühlkörpertemperatur von ca. 50 °C beginnt. Der Ausgang des als Reglers beschalteten Operationsverstärkers IC 11 B steuert direkt den Treibertransistor des Lüfters T 13 an. Die Rückkopplung der Lüfterspannung über R 52 verbessert dabei Regeleigenschaften.

Die zweite Brückenschaltung aus R 41, PTC 1, R 54 und R 57 befindet sich in der Messwertaufbereitung. Die Spannung in dieser Brückendiagonalen wird mit IC 11 A entsprechend verstärkt. Der Widerstand

**Bild 8: Schaltungsteile:
Analog-/Digitalwandler
und Temperatur-
management**



R 55 sorgt dabei für eine Linearisierung der Temperatursensorkennlinie. Das Ausgangssignal dieses Messverstärkers „Temp“ gelangt anschließend auf den A/D-Wandler. Der Mikrocontroller berechnet dann aus dem digitalisierten Spannungswert die konkrete Kühlkörpertemperatur.

Zur Speisung der Brückenschaltungen ist eine stabilisierte Referenzspannung notwendig, die aus der Spannungsreferenz D 35 mit Hilfe des Operationsverstärkers IC 6 D gewonnen wird.

Das „Temp“-Signal geht weiterhin auf die Temperatur-Notabschaltung. Diese greift ein, wenn der Mikrocontroller aus irgendeinem Grunde nicht in der Lage sein sollte, die Last bei einer zu hohen Kühlkörpertemperatur abzuschalten. Normalerweise ermittelt der Controller alle 30 Sekunden die Kühlkörpertemperatur und vergleicht diese mit einer hinterlegten Abschalttemperatur. Überschreitet die Kühlkörpertemperatur die Abschalttemperatur, wird zum Schutz der Lastwiderstände die Last abgeschaltet, d. h. die Verbindung zwischen Eingangsbuchsen und Lastwiderständen getrennt. Eine solche sicher-

heitsrelevante Abschaltung muss aber auch dann noch gewährleistet sein, wenn der Mikrocontroller beispielsweise einen Defekt aufweist.

Für diesen eher unwahrscheinlichen Fall ist mit IC 12 und Beschaltung eine Notabschaltung implementiert. Übersteigt die Kühlkörpertemperatur den mit R 48 und R 51 festgelegten Wert, dann kippt der Komparator IC 12 B um und sorgt dafür, dass über das Signal „TSS“ und den Schalttransistor T 1 im Netzteil (Abbildung 10) die Versorgungsspannung der Relais ausgeschaltet wird. IC 12 A sorgt dafür, dass sich auch beim Fehlen der Versorgungsspannung für das Digitalteil keine Kombination an Relaisstellungen einstellen kann, die ggf. einen angeschlossenen Verstärker schädigen könnte.

Digitalteil

Zentrales Bauteil des Digitalteiles (Abbildung 9) ist der Mikrocontroller IC 105. Die Hauptaufgabe liegt in der Koordination, der Bedienung und der Berechnung von Leistung und Temperatur. Die Bedieneingriffe erfasst der Controller über die

Abfrage der an Port 2 angeschlossenen Tasten TA 100 bis TA 104. Die Ansteuerung der LEDs und 7-Segmentanzeigen erfolgt im Multiplexbetrieb. Die Steuersignale „A“ bis „E“ wählen eine 7-Segmentanzeige bzw. eine LED-Gruppe aus, während gleichzeitig am Port 0 die Bitkombination für das hier darzustellende „Zeichen“ erscheint. Da weder die Ausgangsleistung von Port 1 reicht, um die jeweilige Anzeige auszuwählen, noch die Leistung von Port 0 ausreicht, um die einzelnen Segmente anzusteuern, sind alle betreffenden Controllerausgänge mit externen Treiberbausteinen versehen. Dabei dient IC 101 als Segmenttreiber, während die Transistoren T 100 bis T 104 die Funktion als Treiber für eine gesamte 7-Segmentanzeige bzw. für eine LED-Gruppe übernehmen.

Die Ansteuerung der Relais erfolgt über den Port 3 (außer P 3.2) sowie über den Portpin P 2.7 des Prozessors. Für die Kommunikation mit dem A/D-Wandler stehen 3 Leitungen zur Verfügung. Während die Leitungen „ADS1“, „ADS2“ das zu wandelnde Signal auswählen, erfolgt über das

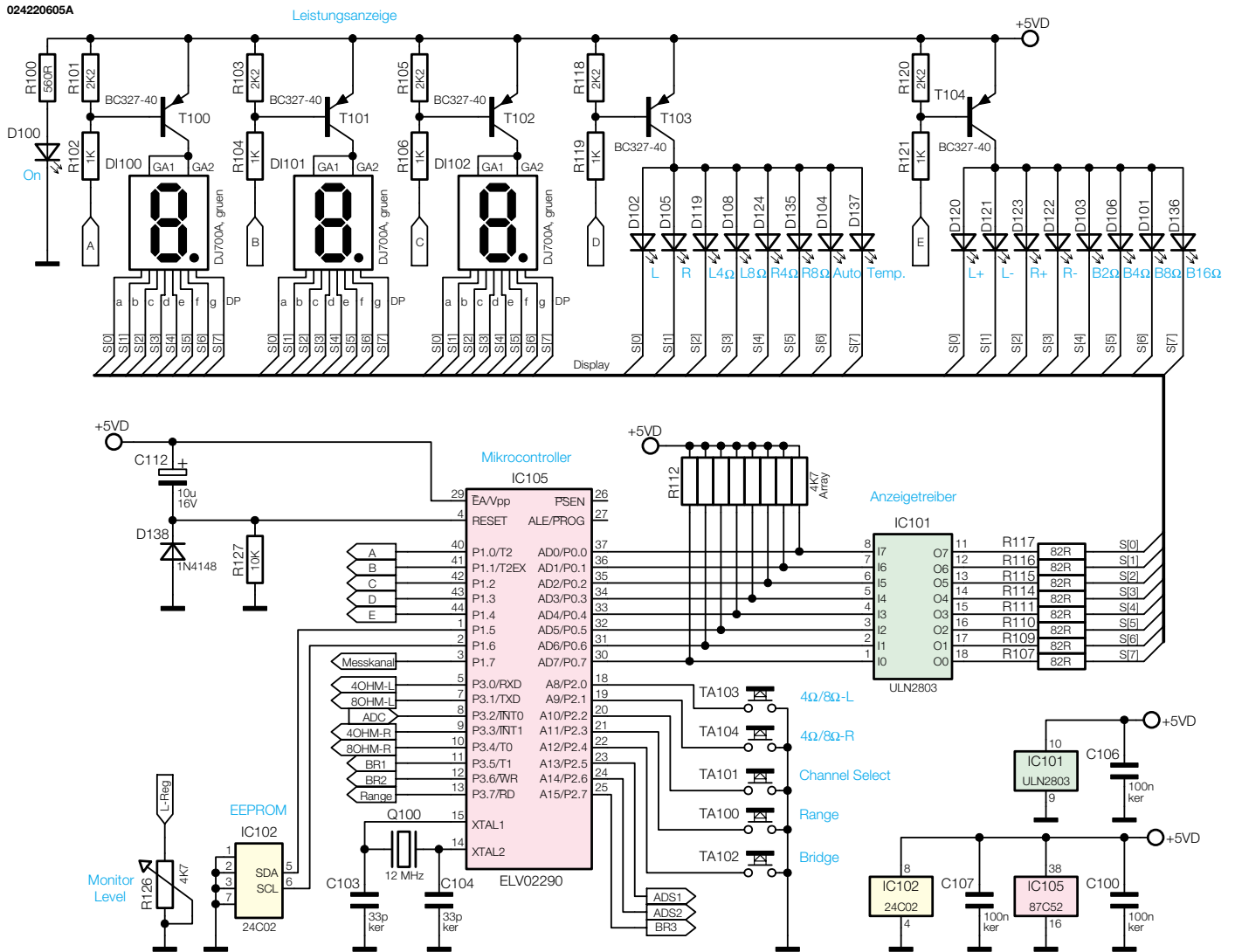


Bild 9: Schaltung des Digitalteiles

„ADC“-Signal die Wandlungsende-Erkennung.

Die aus einer Wandlung gewonnenen Messwerte werden mittels Look-Up-Tables (LUT) weiter verarbeitet. Im Falle der Temperaturmessung gibt die LUT die Zuordnung zwischen ermitteltem Spannungswert und Temperatur. So wird die nichtlineare Kennlinie des Sensors mittels der Tabelle korrigiert.

Zur Bestimmung der Leistung wird ein Spannungswert ermittelt, der mit Hilfe der LUT in die zugehörige an den Klemmen anliegende Wechselspannung umgewandelt wird. Aus dieser Wechselspannung wird dann bei bekanntem Lastwiderstand die entsprechend umgesetzte Leistung bestimmt. Mathematisch ist dies wie folgt zu betrachten.

Die allgemeine Definition der Wirkleistung lautet wie folgt:

$$P = \frac{1}{T} \int u(t) \cdot i(t) dt$$

Sie ist das Integral über das Ergebnis der

Multiplikation der Momentanwerte von Spannung $u(t)$ und Strom $i(t)$. Bei rein sinusförmigen Wechselgrößen und einer rein ohmschen Last kann stark vereinfacht werden, so dass sich letztlich die folgende bekannte Formel ergibt:

$$P = U \cdot I$$

Die Leistung stellt sich somit als Multiplikation der Effektivwerte von Spannung und Strom dar. Da die Impedanz an der die Leistung umgesetzt wird als rein ohmsch angenommen wurde, kann das ohmsche Gesetz in seiner einfachsten Form angewandt werden:

$$I = \frac{U}{R}$$

Setzt man diese Formel in die darüber stehende ein, so ergibt sich für die Leistungsbestimmung bei bekanntem Widerstandswert und bekannter Spannung folgende Bestimmungsgleichung:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Genau diese Gleichung wertet der Prozessor bei jeder Leistungsbestimmung aus. Der aus A/D-Wandlung und LUT ermittelte Effektivwert der Wechselspannung wird quadriert und das Ergebnis durch den Widerstandswert geteilt.

Um die Genauigkeit der Leistungsbeurteilung zu steigern, werden die Widerstandswerte nicht mit 4 Ω, 8 Ω usw. angenommen, sondern während des Abgleichvorganges auf 2 Stellen nach dem Komma bestimmt. Somit rechnet der Prozessor dann beispielsweise nicht mit angenommenen 8 Ω, sondern mit einem ausgemessenen Wert von z. B. 7,92 Ω. Beim Abgleichvorgang werden alle Widerstandskombinationen exakt vermessen und die so ermittelten Werte im EEPROM IC 102 nichtflüchtig gespeichert.

Netzteil

Für eine echte Stereo-Lautsprecherlastnachbildung ist es zwingend erforderlich, dass beide Kanäle galvanisch voneinander getrennt sind. Nur so lassen sich an ihr alle verschiedenen Endstufentypen betreiben.

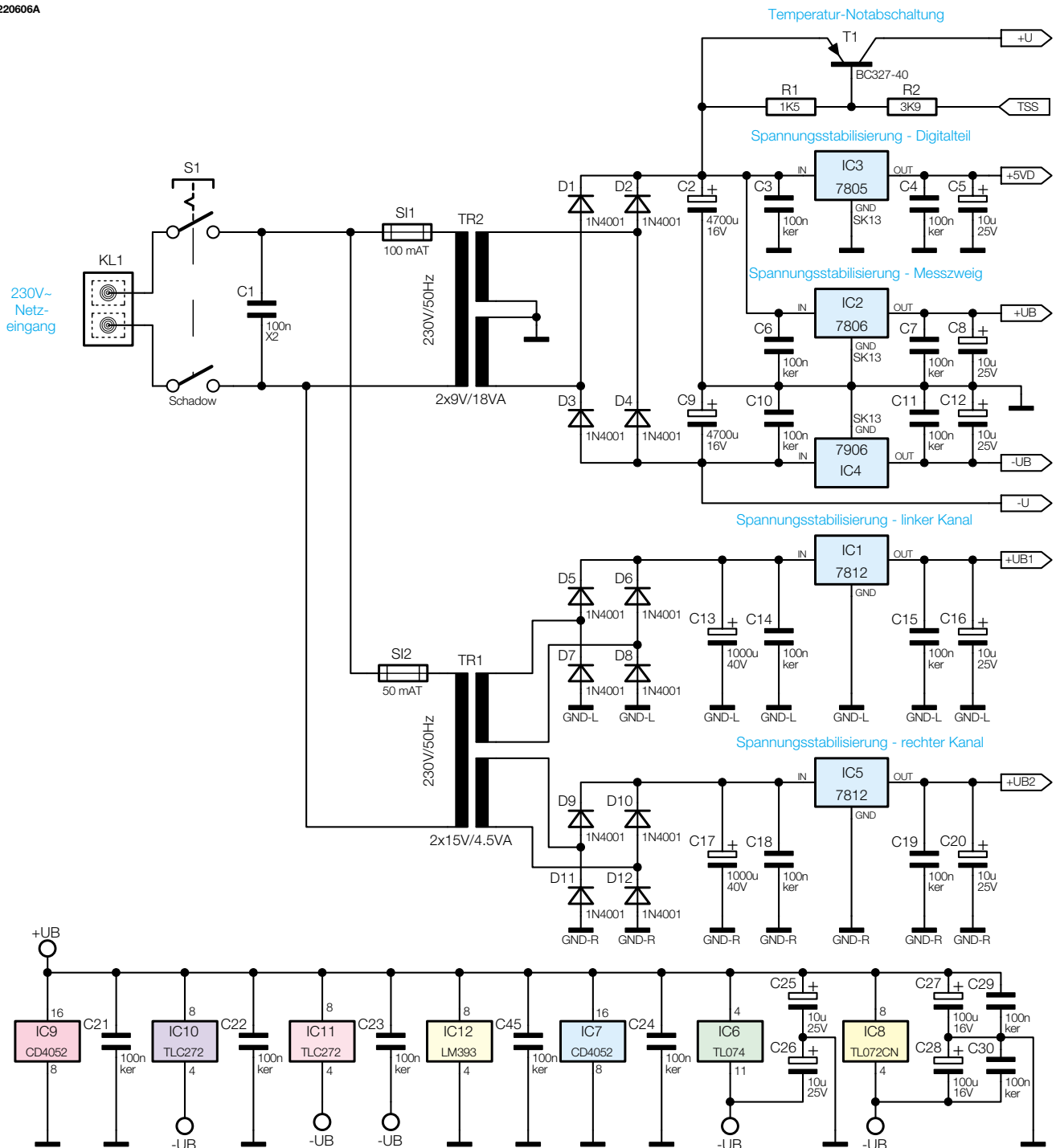


Bild 10: Netzteil

Auf diese Anforderung muss das gesamte Schaltungskonzept ausgelegt sein. Der Mehraufwand, den eine strikte galvanische Trennung mit sich bringt, macht sich in der Auslegung des in Abbildung 10 dargestellten Netzteiles am deutlichsten bemerkbar. So sind hier im Prinzip drei komplett galvanisch voneinander getrennte Spannungsversorgungseinheiten zu sehen.

Der Transformator TR 1 versorgt die beiden Bargrahanzeigen. Da der Trafo zwei getrennte Sekundärwicklungen besitzt, ist hier die Trennung gegeben. Die Ausgangsspannung des Transformators wird jeweils

über einen Brückengleichrichter (D 5 bis D 8 bzw. D 9 bis D 12) gleichgerichtet. Nach anschließender Siebung und Stabilisierung (IC 1 und IC 5) stehen dann die beiden Betriebsspannungen „+UB1“ und „+UB2“ zur Verfügung.

Alle anderen Komponenten des Gerätes versorgt der Transformator TR 2. Die als Mittelpunktgleichrichter beschalteten Dioden D 1 bis D 4 erzeugen eine ungestabilisierte positive und negative Betriebsspannung. Aus der positiven Spannung wird über den Schalttransistor T 1 die Betriebsspannung für die Relais gewonnen. Weiterhin generiert der Spannungsregler IC 3

hieraus die +5 V Spannung für das Digitalteil („+5VD“) und der Regler IC 2 die +6 V Spannung („+UB“) für den Messzweig, die Monitorlautsprecheransteuerung usw. Die für einige Schaltungsteile benötigte negative Spannung („-UB“) erzeugt der Spannungsregler IC 4.

Primärseitig sorgen die beiden Sicherungen SI 1 und SI 2 noch für einen entsprechenden Überlastschutz. Damit wird die detaillierte Beschreibung der interessanten Schaltungstechnik des ALD 9000 abgeschlossen.

Im nächsten Teil des Artikels folgt dann die Nachbauanleitung. **ELV**