



Elektronische Last EL 9000

Technischer Kundendienst

Für Fragen und Auskünfte stehen Ihnen unsere qualifizierten technischen Mitarbeiter gerne zur Verfügung.

ELV • Technischer Kundendienst • Postfach 1000 • D - 26787 Leer

Reparaturservice

Für Geräte, die aus ELV-Bausätzen hergestellt wurden, bieten wir unseren Kunden einen Reparaturservice an. Selbstverständlich wird Ihr Gerät so kostengünstig wie möglich instand gesetzt. Im Sinne einer schnellen Abwicklung führen wir die Reparatur sofort durch, wenn die Reparaturkosten den halben Komplettbausatzpreis nicht überschreiten. Sollte der Defekt größer sein, erhalten Sie zunächst einen unverbindlichen Kostenvoranschlag. Bitte senden Sie Ihr Gerät an:

ELV • Reparaturservice • Postfach 1000 • D - 26787 Leer

Entsorgungshinweis

Gerät nicht im Hausmüll entsorgen!

Elektronische Geräte sind entsprechend der Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte über die örtlichen Sammelstellen für Elektronik-Altgeräte zu entsorgen!





Elektronische Last EL 9000

Diese neue, mikroprozessorgesteuerte Gleichstromlast bietet zahlreiche Möglichkeiten zur definierten Belastung von DC-Quellen wie Netzteile, Solarzellen, Akkus usw. Auch hohe Lastströme bis zu 20 Ampere und Verlustleistungen bis 200 Watt sind dank der umfangreichen Schutzfunktionen sicher beherrschbar.

Allgemeines

Zur Versorgung von elektronischen Schaltungen mit Gleichspannung befindet sich auf dem Arbeitsplatz jedes Elektrikers ein geregeltes Netzteil. Des Öfteren stellt sich jedoch auch die entgegengesetzte Aufgabenstellung, d. h., es ist eine Gleichspannungsquelle definiert zu belasten. Dies ist z. B. bei der Entwicklung von Netzgeräten der Fall, beim Testen von Solarzellen und Brennstoffzellen oder auch zum Entladen von Akkus. Häufig behilft man sich damit, dass vorhandene Widerstände oder auch Glühlampen zusammenschaltet werden. Solche „Basteleien“ sind meist zeitraubend und die gewünschte Belastung ist mit derartigen Provisorien nur sehr ungenau erreichbar. Eine etwas elegantere Lösung ist die Verwendung von Hochlast-Schiebewiderständen, die z. B. in Schulen und Laboren Anwendung finden, aber auch diese haben einige gravierende Nachteile:

- Sie sind mechanisch sehr groß und unhandlich.
- Die Einstellung des gewünschten Lastwertes ist mühsam und ungenau, sie erfordert zeitaufwändiges Messen, auch während des Betriebs.
- Der Funktionsumfang beschränkt sich auf Konstantwiderstandsbetrieb.
- Meist fehlt ein Überlastschutz.

Eine professionelle Lösung stellt die

Verwendung einer elektronischen Last, wie der hier vorgestellten EL 9000, dar.

Das Funktionsprinzip einer elektronischen Last liegt darin, dass die zugeführte elektrische Energie in einem steuerbaren Halbleiter in Wärmeenergie umgewandelt wird. Die Ansteuerung des Halbleiters erfolgt über einen Regelkreis, sodass mit der Sollwertvorgabe die Eigenschaften der Last beeinflussbar sind. Erst mit einer solchen Anordnung sind genau definierbare Verhältnisse herstellbar, zudem sorgen hier Schutzfunktionen dafür, dass sowohl Prüfling als auch die elektronische Last keinen Schaden nehmen können.

Bedienung und Funktion

Durch den Einsatz einer komfortablen Menüführung sind auf der Frontplatte der ELV EL 9000 nur wenige, übersichtlich angeordnete Bedien- und Anzeigenelemente erforderlich. Links befindet sich der obligate Netzschalter. Rechts sind die beiden 4-mm-Buchsen angeordnet, an die die zu belastende Gleichstromquelle (maximale Spannung 40 V) angeschlossen wird. Zwischen den Buchsen befindet sich die von außen zugängliche Flachstecksicherung (30 A, 80 V), die die Endstufe der EL 9000 bei grober Fehlbedienung (z. B. Verpolen) vor Beschädigung schützen soll.

Die BNC-Buchse „Mod.“ dient zur Einspeisung des Modulationssignals in den

„Extern“-Betriebsarten. An der BNC-Buchse „U-I“ kann eine zum Laststrom proportionale Spannung mit einem Umsetzungsfaktor von ca. 0,1 Volt je Ampere abgegriffen werden.

Zentrales Anzeigenelement ist das große LC-Display (Sichtfeld 99 x 24 mm). In zwei Zeilen á 16 Zeichen werden hier alle wichtigen Informationen wie das Auswahlm Menü, Messwerte, Vorgabewerte etc. gut ablesbar dargestellt. Die Einstellung der Sollwerte erfolgt über den Drehimpulsgeber unter dem Display, genauso wie das „Blättern“ innerhalb des Betriebsartenmenüs. Die beiden Taster rechts neben dem Display haben eine so genannte „Soft-Key“-

Technische Daten: EL 9000

P _{max}:	.....200 W
I _{max}:	.....Dauer 20 A, Impuls 40 A
U _{max}:	.....40 V
R-Bereich:	..... 1 Ω – 500 Ω
Pulsfrequenz:	..... 1 Hz – 1 kHz, Impuls-Pausen-Verhältnis 1:1
Slew-Rate:	..... 1 mA/μs – 5 A/μs
Schutzfunktionen:	... Strombegrenzung, Leistungsbegrenzung, Übertemperaturabschaltung, Schmelzsicherung
Schnittstelle:	.....RS 232
Betriebsspannung:	.....230 V, 50 Hz, ca. 60 mA
Abmessungen:	.....380 x 117 x 220 mm
Gewicht:	..... ca. 4,4 kg



Bild 1: Anzeige im Konstantstrombetrieb

Funktion, d. h. ihre Funktion ist von der Anzeige in der daneben befindlichen Displayzeile abhängig. Erscheint im Display z. B. ein Pfeil, so kann man durch einen Tastendruck den nächsten Parameter bzw. Messwert aufrufen. Innerhalb des Betriebsartenmenüs wird links neben der oberen Taste ein „Enter“-Symbol dargestellt – über einen Tastendruck erfolgt dann die Anwahl der angezeigten Betriebsart. Entsprechend selbsterklärend sind auch alle weiteren Funktionen dieser Tasten.

Ist eine Betriebsart angewählt, so werden in der oberen Displayzeile die Messwerte angezeigt. Da nicht alle Werte gleichzeitig darstellbar sind, kann man, wie beschrieben, mit der oberen Taste zum nächsten Wert „weiterblättern“. Auf den letzten Anzeigenwert folgt wieder der erste, symbolisiert durch einen „Umlaufpfeil“. Im Fehlerfall wird vor den Messwerten der Fehlercode eingereicht, sodass diese Werte weiter abrufbar bleiben.

Die untere Zeile zeigt die Vorgabewerte (Parameter) an. Da auch diese nicht alle gleichzeitig darstellbar sind, wird jeweils nur ein Parameter angezeigt, weitere Anzeigen erfolgen über das „Blättern“, wie in der oberen Zeile. Mit dem Drehimpulsgeber kann der ausgewählte Parameter eingestellt werden. Abbildung 1 zeigt eine typische Displayanzeige.

Die „Stand-by“-Taste rechts unter dem Display hat eine Toggle-Funktion und dient dazu, die Endstufe in den Stand-by-Zustand bzw. von Stand-by in den Ein-Zustand zu schalten. Stand-by bedeutet hierbei, dass ein Sollwert von 0 Ampere vorgegeben wird und die Endstufe gesperrt ist. Dies ist sinnvoll, um schnell einen Lastabwurf realisieren zu können, ohne den Sollwert mühsam auf Null zurückstellen zu müssen. Besonders angenehm ist, dass diese Funktion es möglich macht, alle Lastparameter im Vorfeld in Ruhe einzustellen und erst dann die Last zuzuschalten.

Mit der Menü-Taste gelangt man aus den verschiedenen Betriebsarten zurück in das Hauptmenü. Hierbei wird die Endstufe automatisch in den Stand-by-Modus geschaltet.

Zusätzlich zum LC-Display geben die 6 Leuchtdioden einen schnellen Überblick über den aktuellen Betriebszustand des Gerätes. Es wird angezeigt, ob die I- oder die R-Kennlinie aktiviert ist und ob Puls- bzw. externe Modulation gewählt ist. Die LED neben der „Stand-by“-Taste zeigt

durch Farbwechsel an, ob die Endstufe zugeschaltet ist (grün) oder sich im Stand-by-Modus (rot) befindet. Über die rote LED erfolgt eine Fehlersignalisierung. Außerdem gibt eine entsprechende Klartext-Fehlermeldung, wie z. B. „Strombegrenzung“ oder „Übertemperatur“ in der oberen Displayzeile einen Hinweis auf die mögliche Fehlerursache.

Zur Verdeutlichung des großen Funktionsumfangs der neuen elektronischen Last ELV EL 9000 sollen im Folgenden die verschiedenen Betriebsarten näher betrachtet werden.

Konstantstrombetrieb

In diesem Betriebsmode ist der Laststrom unabhängig von der angelegten Spannung. Er kann bis zu 20 Ampere betragen. Außerdem lässt sich hier, genauso wie in allen weiteren Modi, die Verlustleistung im Bereich von 1 Watt bis 200 Watt begrenzen. Wird die eingestellte Leistung überschritten, so erfolgt eine entsprechende Reduzierung des Laststroms, sodass dann Konstantleistungsbetrieb vorliegt. Nicht nur die EL 9000 wird mit dieser nützlichen Funktion geschützt, sondern auch empfindliche Prüflinge.

Als Messwerte können neben Spannung und Strom auch die umgesetzte Verlustleistung und der Widerstandswert, der der Belastung entspricht, abgerufen werden.

Konstantwiderstandsbetrieb

Die EL 9000 simuliert in dieser Betriebsart einen ohmschen Widerstand, d. h. der Laststrom ist gemäß dem ohmschen Gesetz von der angelegten Spannung abhängig. Der Widerstandswert kann zwischen 1 Ω und 500 Ω liegen. Neben der Leistungsbegrenzung ist zusätzlich eine Strombegrenzung (100 mA bis 20 A) implementiert. Ebenso wie in der Betriebsart Konstantstrom können als Messwerte die Spannung, der Strom, die Leistung und der Widerstand abgerufen werden.

Pulsstrombetrieb

In dieser Betriebsart wechselt der Laststrom automatisch zwischen zwei unabhängig einstellbaren Werten. Besonders hilfreich ist dies zum Optimieren von Regelschaltungen in Netzteilen o. ä., da die hierfür erforderliche Sprungfunktion des Laststromes bereitgestellt wird. Anhand der Sprungantwort (Änderung der Spannung) kann man das Regelverhalten bezüglich Ausregelzeit, bleibender Regelabweichung, Ansprechen einer Strombegrenzung etc. beurteilen und ggf. verbessern.

Im Pulsstrombetrieb sind High- und Low-Wert des Stromes getrennt voneinander einstellbar. Der High-Strom kann bis zu 40 Ampere (!) betragen, wobei der Mittelwert von High- und Low-Strom auf

maximal 20 Ampere begrenzt ist.

Die Frequenz, mit der zwischen den beiden Lastwerten gewechselt wird, kann in 10 Stufen zwischen 1 Hz und 1 kHz gewählt werden. Das Puls-Pausen-Verhältnis liegt fest bei 1:1.

Neben einer Begrenzung der Effektivleistung ist als besonderes Feature eine variable Begrenzung der Stromanstiegs-geschwindigkeit (Slew-Rate) vorhanden. Diese ist zur Anpassung an verschiedene dynamische Randbedingungen hilfreich und wird später noch näher beschrieben.

Als Messwerte werden neben dem Mittelwert von Spannung und Strom auch die High- und Low-Werte angezeigt. Daneben sind außerdem die Effektivleistung und der Innenwiderstand abrufbar. Letzterer errechnet sich aus der Differenz der Spannungen und der Differenz der Ströme. Zu beachten ist hierbei, dass nicht der reine Innenwiderstand der Gleichstromquelle gemessen wird, sondern die Verbindungsleitung das Ergebnis verfälscht. Sinnvolle Anzeigenwerte sind nur dann möglich, wenn Ströme und Spannungen in geeigneten Bereichen (ausreichende Differenz) liegen. Für eine genaue Bestimmung des Innenwiderstandes muss man die Spannung bei verschiedenen Belastungen direkt an den Klemmen der Quelle messen.

Pulswiderstandsbetrieb

Diese Betriebsart entspricht dem Pulsstrombetrieb, es wird jedoch zwischen zwei Widerstandswerten automatisch gewechselt. Wie im Konstantwiderstandsbetrieb ist auch hier eine Strombegrenzung vorgesehen.

Extern modulierter Strom

In Verbindung mit einer entsprechenden Signalquelle (z. B. Funktionsgenerator) ist in dieser Betriebsart nahezu jede erdenkliche Kurvenform des Laststromes realisierbar. Der Laststrom folgt dem über die BNC-Buchse eingespeisten Modulationssignal, dessen Pegel maximal ± 5 Volt betragen darf. Die Empfindlichkeit, das heißt der Faktor, mit dem das Modulationssignal den Laststrom beeinflusst, ist hierbei umschaltbar von 1 A/V auf 10 A/V. Außerdem ist noch eine Empfindlichkeit von 0 A/V wählbar. Diese Einstellung, in der die Modulation ausgeschaltet ist, ist hilfreich zum Einstellen des sog. Offset-Stromes, d. h. des Stromes, der bei einer Modulationsspannung von 0 Volt fließt. Er kann 0 A bis 20 A betragen.

Die bereits in den vorigen Betriebsarten erwähnten Funktionen Strombegrenzung und Begrenzung der Stromanstiegs-geschwindigkeit sind in dieser Betriebsart ebenfalls verfügbar. Eine Begrenzung der Effektivleistung ist aufgrund der beliebigen Kurvenform und ggf. hohen Frequenzen nicht mit vertretbarem Aufwand reali-

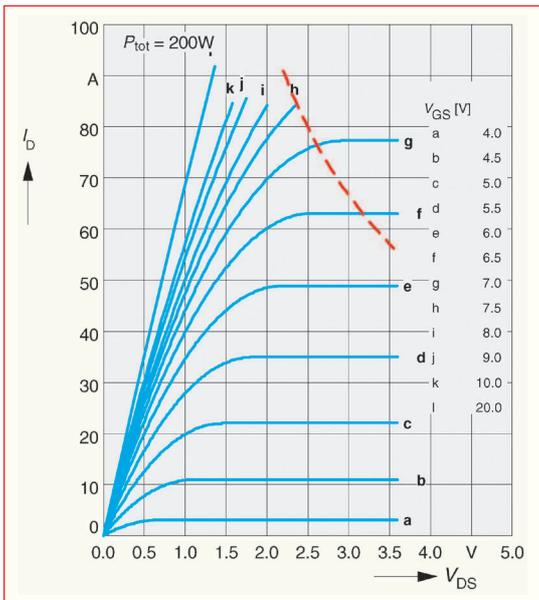


Bild 2: Ausgangskennlinienfeld des BUZ 102

sierbar. Die Leistungsbegrenzung schaltet hier die Endstufe in den Stand-by-Zustand, wenn das Produkt der Mittelwerte von Strom und Spannung den eingestellten Grenzwert überschreitet.

Extern modulierter Leitwert

Die theoretisch denkbare externe Widerstandsmodulation ist an dieser Stelle nicht realisiert. Dies ist zum einen sehr aufwändig, zum anderen macht es auch wenig Sinn, da die resultierenden Ströme bereits bei einfachen Modulationssignalen sehr komplizierte Kurvenformen annehmen. Eine sinnvolle Anwendung ist hier kaum denkbar. Stattdessen ist eine Betriebsart zur externen Modulation des Leitwertes vorhanden. Die Empfindlichkeit, mit der sich der Leitwert in Abhängigkeit von der angelegten Modulationsspannung ändert, ist abhängig vom Bereich des Offset-Leitwertes wählbar und kann 4 mS/V, 40 mS/V oder 400 mS/V betragen. Die Begrenzungsfunktionen sind identisch mit denen der Betriebsart „Externe Strommodulation“.

Entladen

Dieser Modus ist vor allem zum Entladen von Akkus und Batterien gedacht. Eine Anwendung ist das Entladen von Nickel-Cadmium-Akkus vor dem erneuten Laden, um dem gefürchteten Memory-Effekt vorzubeugen. Eine weitere Möglichkeit ist die Bestimmung der Kapazität, indem der geladene Akku (Batterie) bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung entladen wird. Die entnommene Ladungsmenge (Q) entspricht dann der Kapazität:

$$Q = I \cdot t$$

Neben dem Strom kann man die Spannung, bei deren Unterschreiten der Entla-

devorgang beendet werden soll, vorgeben. Die Spannungsmessung erfolgt in kurzen Entladepausen, sodass der Widerstand der Zuleitungen und der Innenwiderstand des Akkus nicht zu einem frühzeitigen Abbrechen des Entladevorgangs führen. Die fortlaufend aufsummierte Ladungsmenge ist als Messwert abrufbar.

Remote

In dieser Betriebsart erfolgen alle Steuer- und Anzeigenfunktionen von einem PC aus über dessen serielle Schnittstelle. Alle Möglichkeiten, die die Handbedienung bietet, stehen auch hier in vollem Umfang zur Verfügung (abgesehen von den Sonderfunktionen, siehe unten). Zusätzlich sind zahlreiche weitere Möglichkeiten gegeben, die so nur eine PC-Steuerung bieten kann. Erwähnt sei hier nur das automatisierte Messen mit dem Abfahren verschiedener Belastungszustände über längere Zeiträume. Hierbei können die Messwerte gespeichert und somit für die Weiterverarbeitung, z. B. in Excel®, bereitgestellt werden.

Über die Tasten ist in dieser Betriebsart keinerlei Bedienung erforderlich. Deshalb führt das Betätigen einer Taste stets zur Rückkehr ins Hauptmenü. Da hiermit ein Abschalten der Endstufe in den Stand-by-Zustand erfolgt, haben die Tasten eine „Not-Aus“-Funktion, sodass in kritischen Situationen, wie z. B. dem Versagen des Prüflings unter Volllast, ein schneller Benutzereingriff möglich ist.

Über die Tasten ist in dieser Betriebsart keinerlei Bedienung erforderlich. Deshalb führt das Betätigen einer Taste stets zur Rückkehr ins Hauptmenü. Da hiermit ein Abschalten der Endstufe in den Stand-by-Zustand erfolgt, haben die Tasten eine „Not-Aus“-Funktion, sodass in kritischen Situationen, wie z. B. dem Versagen des Prüflings unter Volllast, ein schneller Benutzereingriff möglich ist.

Sonderfunktionen

In diesem Menü finden sich einige gerätebezogene Einstellungen der ELV EL 9000. Diese sind im Einzelnen:

- Ein- und Ausschalten der Hintergrundbeleuchtung des Displays
- Einstellen der Baudrate der Schnittstelle
- Der Abgleich für die Ansteuer- und Messfunktion
- Der Abgleich für die Stromanstiegsge-
schwindigkeitsbegrenzung
- Einstellen der Geschwindigkeit, mit der sich die Parameter bei schnellem Drehen des Drehimpulsgebers ändern.

Dynamisches Verhalten

Eine besondere Bedeutung bei den intern und extern modulierten Betriebsarten spielen die dynamischen Eigenschaften der EL 9000. Will man das Verhalten einer Gleichspannungsquelle wie z. B. eines Netzgerätes bei einem Lastwechsel prüfen, so muss der Wechsel zwischen den Belastungswerten sehr schnell und genau ausgeführt werden. Eine rein digitale Lö-

sung für den Regler über den Mikroprozessor scheidet somit aus. Daher sind sowohl der Stromregler als auch die Strombegrenzung analog ausgeführt. Die hierdurch erreichte hohe Geschwindigkeit kann jedoch auch Stabilitätsprobleme mit sich bringen. Eine wesentliche Ursache hierfür ist die Verbindungsleitung von der Gleichspannungsquelle zur elektronischen Last. Ihre Induktivität wirkt einer Änderung des Stromes entgegen. Hierfür gilt das Induktionsgesetz:

$$u_L = -L \frac{di}{dt}$$

Bei einer Stromanstiegs-
geschwindigkeit von mehreren Ampere pro Mikrosekunde erzeugt eine Induktivität von nur einem µH bereits einen Spannungseinbruch von mehreren Volt. Diese Spannungsschwankungen dürfen die Stromregelung der Endstufe nicht wesentlich beeinflussen, da es sonst zu Wechselwirkungen in Form von Überschwüngen kommen kann. Im Extremfall sind die Wechselwirkungen so stark, dass sie zum Aufschaukeln und damit zum Dauerschwingen führen. Besonders kritisch ist dies beim Betrieb mit geringen Lastspannungen. Bei Feldeffekttransistoren, so wie sie in der Endstufe zum Einsatz kommen, führen bereits kleine Spannungsschwankungen zu großen Stromschwankungen, wenn die Drain-Source-Spannung sehr niedrig ist. Bei größeren Drain-Source-Spannungen ist der Drainstrom quasi ein Konstantstrom und nur von der Gate-Spannung abhängig. Dies verdeutlicht das Ausgangskennlinienfeld des eingesetzten BUZ 102 in Abbildung 2.

Im Konstantstrombetrieb lässt sich dieses Problem recht einfach in den Griff bekommen, indem man einen Kondensator (z. B. 10 µF) direkt parallel an die Klemmen der EL 9000 schaltet und so die Spannung stabilisiert.

Einen wesentlichen Einfluss hat in jedem Fall die Verbindungsleitung zwischen der Quelle und der Last. Sie muss so niederinduktiv wie möglich ausgeführt werden. Zu erreichen ist dies durch:

- einen großen Leiterquerschnitt,
- kurze Leitungen,
- einen geringen Abstand zwischen Hin- und Rückleiter.

Bewährt hat sich das Parallelschalten mehrerer handelsüblicher kurzer Laborleitungen, die zusätzlich miteinander verflochten werden.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist gemäß Induktionsgesetz die Geschwindigkeit, mit der der Strom sich ändert. Eine „natürliche“ Begrenzung dieser Geschwindigkeit ist bereits durch das Tiefpassverhalten der Ansteuerung und des Stromreglers gegeben. Somit wäre es möglich, den Regler bei maximaler Sprunggröße so zu

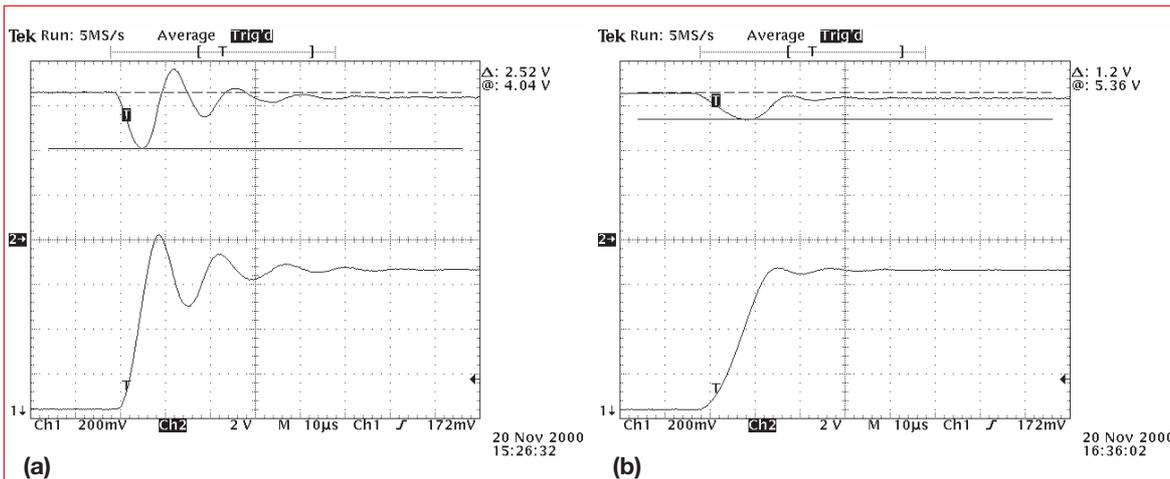


Bild 3: Stromsprung von 0,5 A auf 7 A mit hoher Anstiegs- geschwindigkeit (a) und Stromsprung von 0,5 A auf 7 A mit reduzier- ter Anstiegs- geschwindigkeit (b).

parametrieren (zu verlangsamen), dass Schwingneigungen auszuschließen sind. Dies würde die Regelung der Last jedoch unter günstigeren Bedingungen und bei kleinen Sprüngen unnötig langsam machen. Deshalb ist in der EL 9000 eine variable Begrenzung der Stromanstiegs- geschwindigkeit (Slew Rate, SR) imple- mentiert. Das untere Oszillogramm im Bild 3a zeigt ein typisches Einschwingen des Stromes bei großer Anstiegs- geschwindigkeit und geringer Qualität der Verbin- dungsleitung. Der Strom steigt mit einer Geschwindigkeit von max. $2 \text{ A}/\mu\text{s}$ von 500 mA auf 7 A . Die Spannung beträgt $6,5 \text{ V}$. Im oberen Kurvenverlauf ist das Einbrechen der Spannung um $2,5 \text{ V}$ zu erkennen. Im Bild 3b ist die Anstiegs- geschwindigkeit auf $500 \text{ mA}/\mu\text{s}$ reduziert. Der Spannungseinbruch verringert sich wesentlich, sodass auch beim Ausregeln des Stromes nur noch ein minimales Einschwin- gen auftritt. Bei noch weiterer Reduzie- rung der Anstiegs- geschwindigkeit wäre es bei Bedarf auch möglich, das Überschwin- gen gänzlich zu eliminieren. Die Begren- zung der Stromanstiegs- geschwindigkeit der EL 9000 kann über den weiten Bereich von $1 \text{ mA}/\mu\text{s}$ bis $5 \text{ A}/\mu\text{s}$ in 12 Stufen variiert werden.

Grundstruktur der EL 9000

Das Blockschaltbild (Abbildung 4) zeigt den prinzipiellen Aufbau der EL 9000. Zentrales Steuerelement ist der Mikrocon- troller (1). Er ermöglicht über die Leucht- dioden (2), das Display (3), den Drehim- pulsgeber (4) und die Taster (5) die Inter- aktion zwischen Gerät und Bediener. Über die galvanisch getrennte RS-232-Schnitt- stelle (6) ist der Anschluss an einen PC möglich.

Über einen seriellen, 14 Bit auflösenden Digital-Analog-Wandler (7) werden die Vorgabewerte des Mikrocontrollers ausge- geben. Da vier verschiedene Vorgabe- werte benötigt werden, erfolgt eine Vertei- lung mittels Multiplexer (8). Sample-and- Hold-Glieder (9) sorgen dabei für eine Zwischenspeicherung. Zum Messen der Analogwerte von Spannung und Strom sind zwei Analog-Digital-Wandler an den Controller angeschlossen. Hierbei handelt es sich um einen langsamen Dual-Slope- Wandler (10) mit 14 Bit Auflösung, dessen Eingang mittels eines Multiplexers (11) auf verschiedene Signalquellen umgeschaltet werden kann und um einen schnellen, voll integrierten 8-Bit-Wandler (12) mit 8 Eingängen.

Die für die verschiedenen Betriebsarten notwendige weitere Modifikation des Soll- wertsignals erfolgt über eine Summierstufe (13). In den „Extern-“Betriebsarten wird hier das Modulationssignal zugeschaltet (14). Bei Bedarf (Überstrom) kann der Strombegrenzungsregler (15) reduzierend auf den Sollwert einwirken. Im Pulsbetrieb erfolgt ein ständiges Vorhalten sowohl des High- als auch des Low-Wertes. Zwischen diesen kann dann mit einem elektronischen Umschalter (16) sehr schnell gewechselt werden.

Im Widerstandsbetrieb entspricht das vom Controller ausgegebene Sollwertsig- nal dem entsprechenden Leitwert. Gemäß der Beziehung $I = G \cdot U$ wird dieses durch einen Analogmultiplizierer (17) mit der Lastspannung zu einem Strom-Sollwert gewandelt. Ein Multiplexer (18) sorgt für die korrekte Bereichswahl und schaltet den Stromsollwert im Stand-by auf Null. Das Sollwertsignal des Stromreglers (20) wird über eine vorgeschaltete Stufe (19) in seiner Anstiegs- geschwindigkeit variabel begrenzt. Der Istwert des Laststromes wird über Shunt-Widerstände (21) gemessen und vor der AD-Wandlung verstärkt (22).

Die eigentliche Endstufe (23) der ELV EL 9000 besteht aus 6 parallel geschalteten

Feldeffekttransistoren, die jeweils über einen eigenen Stromregler (20) und einen eigenen Messshunt (21) ver- fügen.

Schaltungs- beschreibung

Zum Erreichen des umfang- sreichen Funktions- und Leis- tungsumfanges der EL 9000 ist ein dementsprechend nicht unerheblicher Schaltungsauf- wand erforderlich. Um die Übersichtlichkeit zu gewähr- leisten, ist das Schaltbild des- halb in mehrere Funktions- gruppen unterteilt, die wir

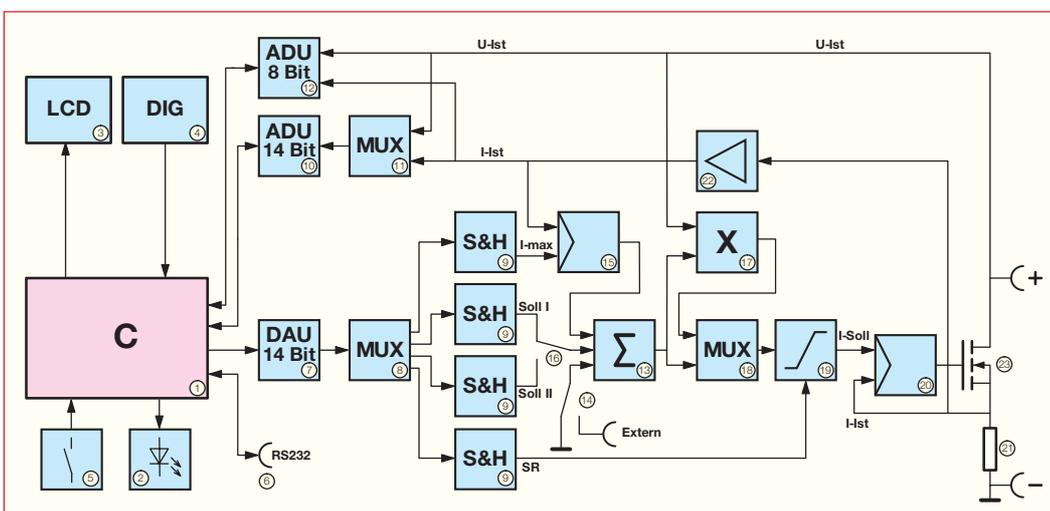


Bild 4: Blockschaltbild der EL 9000

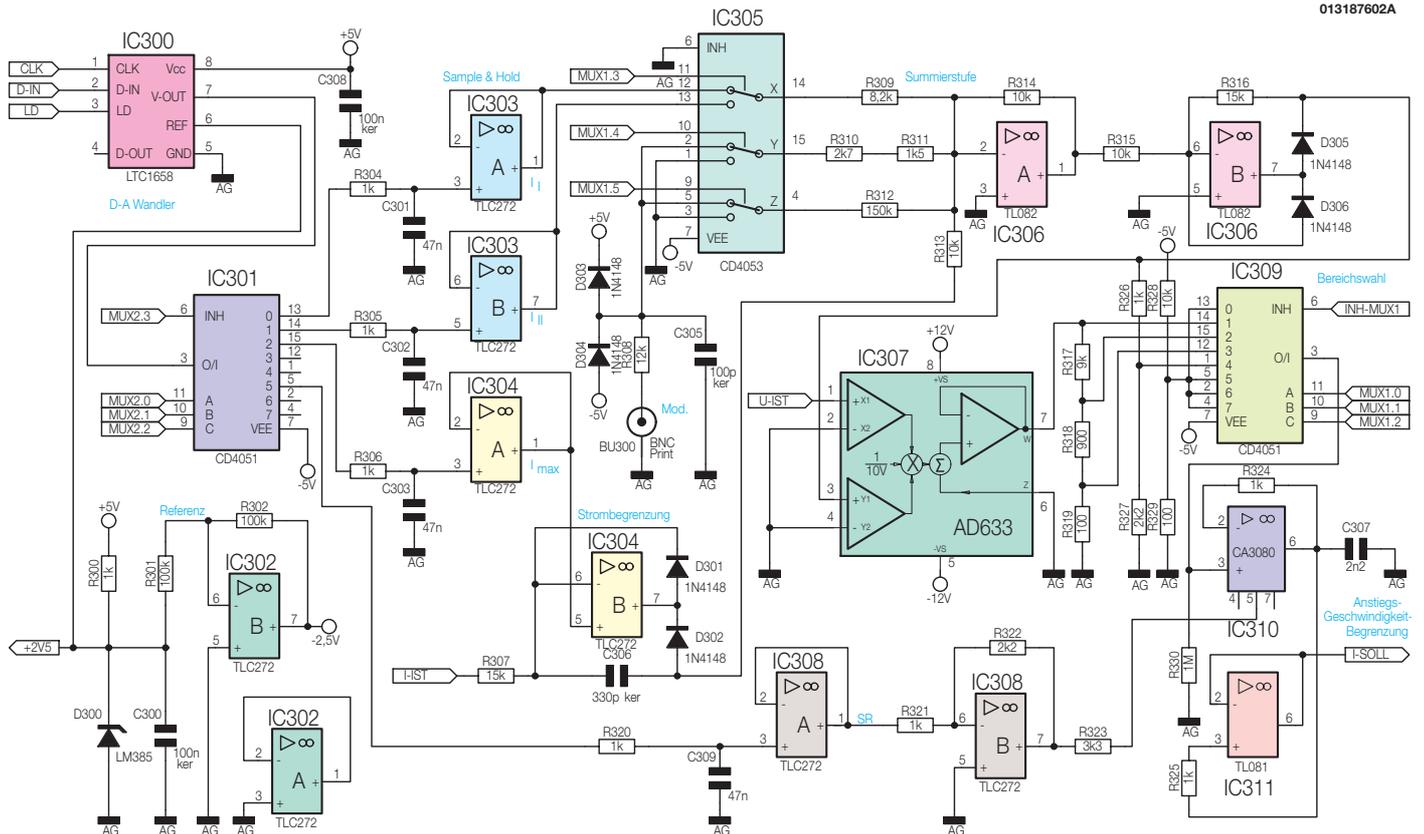


Bild 6: Schaltung der Sollwertzeugung

chenden Bereiches (z. B. 0 A bis 40 A für den Strom-Sollwert) eine ausreichend feine Abstufung zu erreichen, ist ein Wandler mit entsprechend hoher Auflösung erforderlich. Zum Einsatz kommt ein Digital-Analog-Wandler vom Typ LTC 1658 (IC 300) mit einer Auflösung von 14 Bit, der über die Leitungen CLK, D-IN und LD seriell angesteuert wird. Die Z-Diode D 300 erzeugt die zum Erzielen der Wandlergenauigkeit benötigte stabile Referenzspannung. Da nur ein Wandlerbaustein zur Bereitstellung der insgesamt 4 benötigten Vorgabesignale verwendet wird, ist eine Zwischenspeicherung in 4 Sample-and-Hold-Gliedern (IC 303 A/B, IC 304 A und IC 308 A mit den vorgehaltenen R-C-Kombinationen) erforderlich, auf die der Multiplexer IC 301 regelmäßig das entsprechende Signal schaltet.

Bei den ersten beiden so vorgehaltenen Signalen (IC 303 A und B) handelt es sich um die Sollwerte (Strom bzw. Leitwert). Zwischen diesen wird im Pulsbetrieb mittels des CMOS-Schalters IC 305 X mit der eingestellten Frequenz gewechselt. Über die Schalter Y und Z (IC 305) ist außerdem bei externer Modulation das an Buchse BU300 einspeisbare Modulationssignal aufgeschaltet. Die Empfindlichkeit wird entsprechend der Widerstandsverhältnisse $R\ 312 + R\ 308$ zu $R\ 311 + R\ 310 + R\ 308 = 10:1$ über die Steuerleitungen MUX 1.4 und MUX 1.5 gewählt. Die Summierstufe um IC 306 A vereint diese Komponenten zu einem Sollwertsignal. Außerdem erfolgt an

dieser Stelle über R 313 bei Bedarf (Überstrom) der Eingriff des Stromreglers. Der durch die Dioden D 301 und D 302 nur einseitig (nur strombegrenzend, nicht stromerhöhend) wirkende Regler IC 304 B mit C 306 und R 307 vergleicht den Ist-Strom „I-Ist“ mit dem von IC 304 A vorgehaltenen Maximalwert „I-Max“ und reduziert das Sollwertsignal ggf. so weit, dass der Ist-Strom dem Maximalstrom entspricht.

Die von der Summierschaltung (IC 306 A) verursachte Invertierung wird durch den invertierenden Verstärker IC 306 B rückgängig gemacht. Die Beschaltung mit den Dioden D 305 und D 306 verhindert negative Ansteuersignale, z. B. im extern modulierten Modus.

Die Bereichswahl erfolgt über den Multiplexer IC 309. Abhängig von den Steuersignalen „MUX 1.0“ bis „MUX 1.2“ wird der Ausgang (Pin 3) mit einem der Eingänge verbunden. Ist der Eingang 4 (Pin 1) aktiviert, so erfolgt die Ansteuerung direkt mit dem Sollwertsignal. Dies entspricht der I-Kennlinie (Betriebsarten: Konstantstrom, Pulsstrom, externe Strommodulation und Entladen). In den Betriebsarten Konstantwiderstand, Pulsstrom und externe Leitwertmodulation entspricht das Sollwertsignal (von IC 306 B kommend) dem Leitwert. Gemäß der Formel $I = G \cdot U$ wird dieses durch den Analogmultiplizierer IC 307 mit der Lastspannung zu einem Strom-Sollwert verknüpft. Da sich die Genauigkeit der Multiplikation mit sinkender Eingangsspannung verschlechtert, werden

kleine Leitwerte nicht durch eine kleine Vorgabespannung realisiert, sondern durch Herunterteilen in 3 Bereiche mittels der Spannungsteiler R 317, R 318, R 319. Abhängig vom eingestellten Widerstandswert wählt die Software einen der Eingänge 1 bis 3 des Multiplexers IC 309 und bewertet den ausgegebenen Leitwert mit einem entsprechenden Faktor. Ist einer der anderen Eingänge des Multiplexers (0, 5, 6, 7) aktiv, so sperrt die Endstufe. Dies entspricht dem Stand-by-Modus.

Die folgende Stufe mit IC 310 realisiert die Begrenzung der Stromanstiegs-geschwindigkeit. Bei IC 310 handelt es sich um einen sog. Transkonduktanz-Verstärker vom Typ CA 3080. Er entspricht vom Prinzip einem normalen Operationsverstärker, besitzt jedoch keinen Spannungsausgang, sondern einen hochohmigen Stromausgang. Das Verhältnis von Differenz-Ausgangsstrom zu Differenz-Eingangsspannung wird als Transkonduktanz bezeichnet. Beim vorliegenden CA 3080 kann diese Verstärkung durch einen Strom in den zusätzlichen Steuereingang (Pin 5) verändert werden.

Da von diesem Steuerstrom auch der bei Übersteuerung fließende, maximale Ausgangsstrom abhängt, entsteht durch das Beschalten des Ausgangs mit einem Kondensator ein Integrator mit einstellbarer Steilheit. Die Rückführung des Ausgangs (Pin 6) auf den invertierenden Eingang (Pin 2) über R 324 bewirkt bei einer Spannungsänderung am Eingang (Pin 3) ein

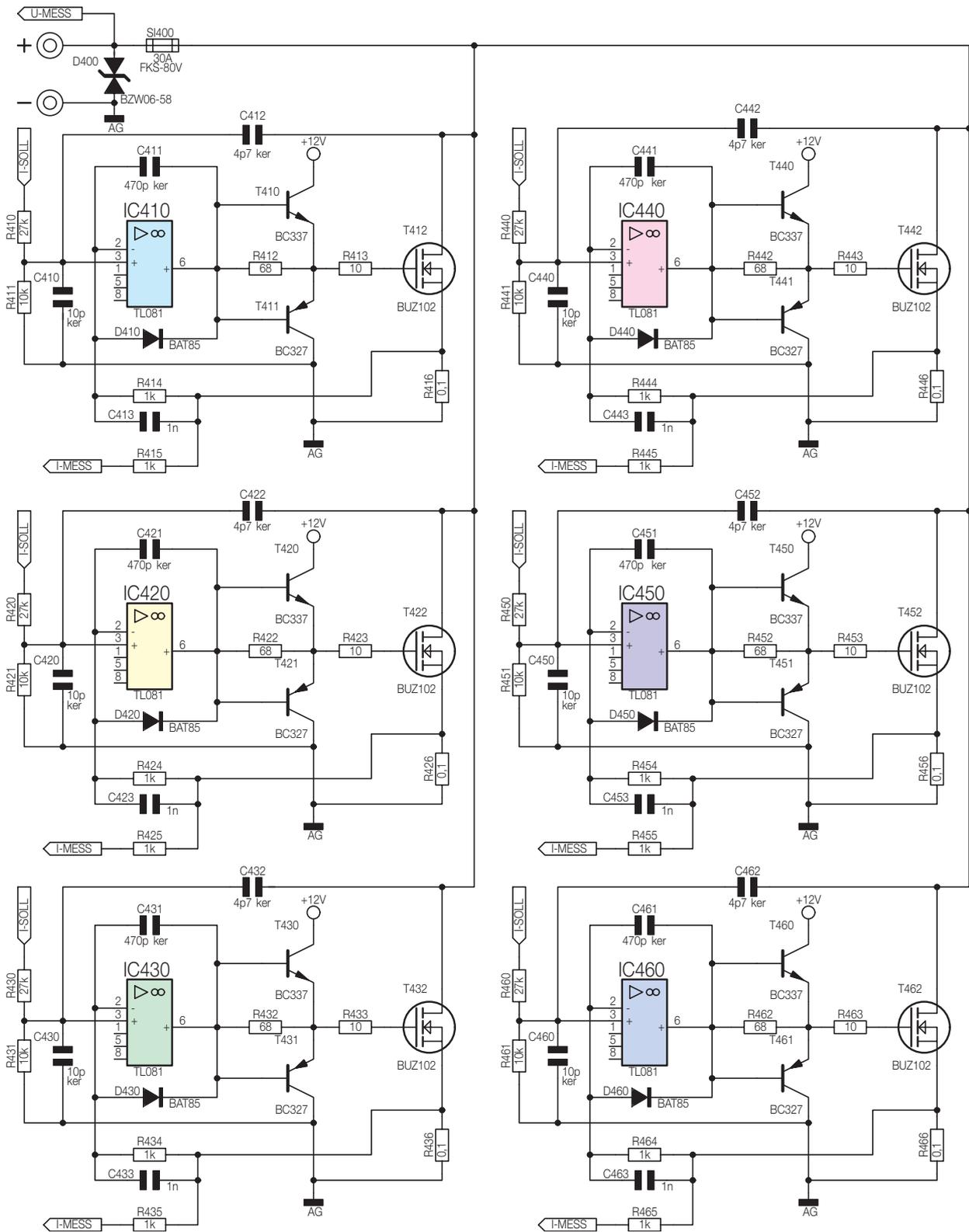


Bild 7: Schaltung der Endstufe

Übersteuern von IC 310. Vom Ausgang her fließt so lange ein konstanter Strom in den Kondensator, bis die Eingangsspannung erreicht ist. Hierdurch entsteht die gewünschte Rampenfunktion.

Über den als Impedanzwandler geschalteten Operationsverstärker IC 311 wird der hohe Ausgangswiderstand von IC 310 herabgesetzt und so das Signal „I-Soll“ zur Ansteuerung der nachfolgenden Stromreg-

ler bereitgestellt.

Endstufe

Die zu belastende Gleichspannung wird über die Polklemmen „+“ und „-“ zugeführt. Zum Schutz vor Überspannung, z. B. durch statische Entladung verursacht, ist die Transil-Schutzdiode D 400 parallel geschaltet. Die Leistung wird in 6 parallel geschalteten FETs vom Typ BUZ 102

umgesetzt. Eine gemeinsame Ansteuerung dieser FETs ist aufgrund der Exemplarstreuungen und der dadurch zu erwartenden ungleichmäßigen Leistungsaufteilung nicht möglich. Deshalb wird jeder FET mit einer eigenen Ansteuer- und Stromregelschaltung betrieben. Die 6 Stufen sind völlig identisch aufgebaut, sodass die Beschreibung beispielhaft an der Ansteuerung von T 412 erfolgen soll. Das in seiner

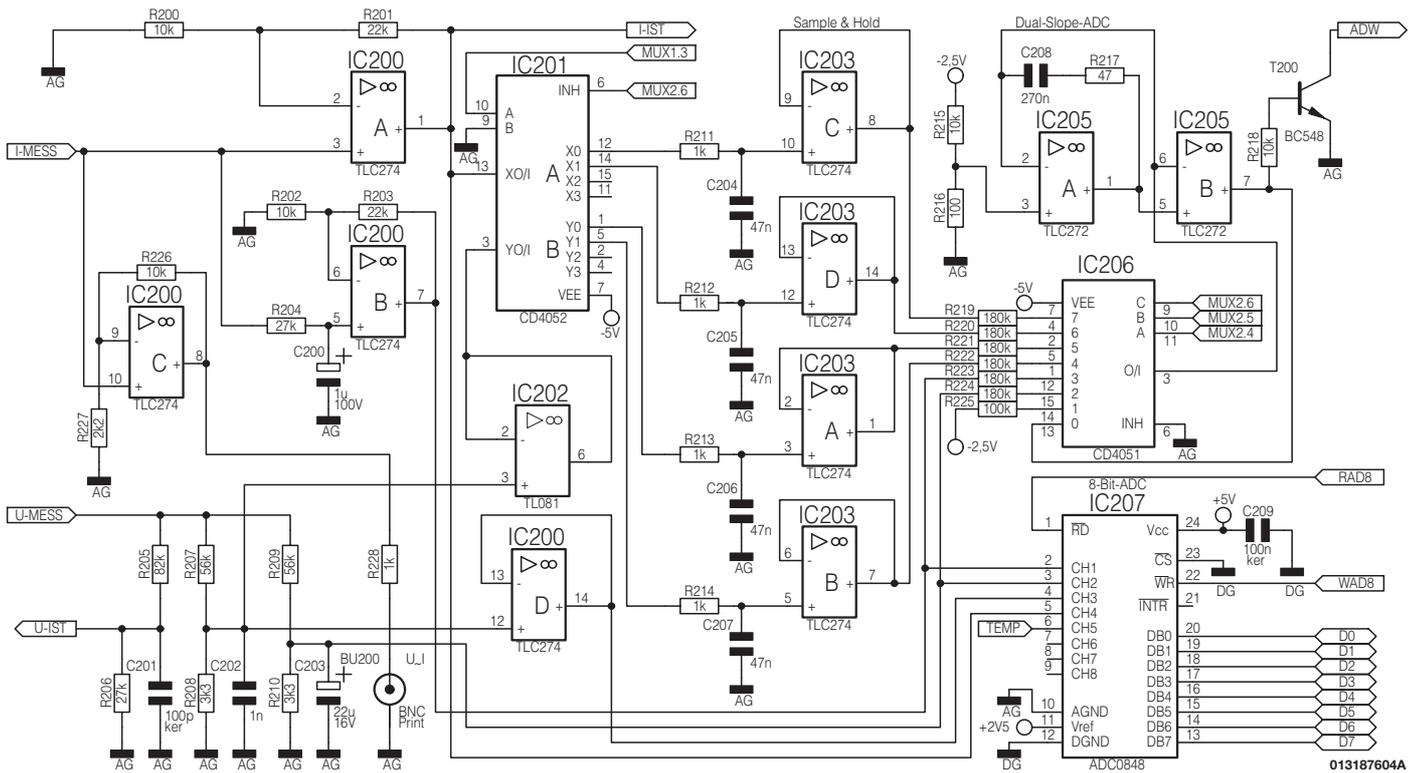


Bild 8: Messschaltung der EL 9000

Anstiegsgeschwindigkeit begrenzte Strom-Sollwert-Signal wird über den Spannungsteiler R 410, R 411 zugeführt. Der als Regler fungierende Operationsverstärker IC 410 vergleicht diese Spannung an seinem nichtinvertierenden Eingang (Pin 3) mit dem auf seinen invertierenden Eingang (Pin 2) geführten Signal, das dem tatsächlichen Strom entspricht. Sind diese nicht identisch, so ändert sich die Ansteuerung über den Ausgang (Pin 6) entsprechend.

Die Komplementär-Emitterfolger-Stufe T 410/ T 411 stellt den zum Umladen der Gate-Kapazitäten erforderlichen Strom bereit. Die Stabilität des Reglers bei gleichzeitigen guten dynamischen Eigenschaften wird durch die Beschaltung mit R 414, C 413, C 411 und C 412 erreicht.

D 410 verhindert, dass der Regler bei einem Sollwert von Null und darunter in die negative Übersteuerungsgrenze fährt (der Laststrom kann nicht kleiner als Null werden). Die Erfassung des fließenden Laststroms erfolgt über den Shunt R 416. Dieses Signal wird außerdem über den Widerstand R 415 herausgeführt und mit den stromproportionalen Signalen der fünf anderen Stufen zum Gesamtstrom zusammengefasst.

Um die Wärme von den Leistungs-FETs effizient abführen zu können, sind diese auf einem ELV-Lüfter-Kühlkörper LK 75 montiert.

Messschaltung

Das den fließenden Laststrom repräsentierende Signal „I-Mess“ muss vor der Analog-Digital-Wandlung zunächst verstärkt

werden. Hierzu dient die Verstärkerschaltung IC 200 A, bzw. für den über R 204 und C 200 gebildeten Mittelwert von „I-Mess“, IC 200 B. Außerdem erfolgt für die Bereitstellung des stromproportionalen Messsignals an der Buchse BU 200 noch eine separate Verstärkung über IC 200 C.

Die Lastspannung („U-Mess“) wird über die Spannungsteiler R 207, R 208 bzw. R 209, R 210 heruntergeteilt. C 202 dient hierbei zur Unterdrückung von Störungen bzw. C 203 zur Mittelwertbildung. Die Teilerschaltung R 205, R 206 und C 201 dient der Zuführung der Lastspannung an den Multiplizierer in der Sollwertzeugung.

Zum Bestimmen der High- und Low-Werte von Strom und Spannung im Pulsbetrieb ist ein Erfassen während der jeweiligen Phasen (High bzw. Low) erforderlich. Da die Messwandlung bei hohen Frequenzen aufgrund der geringen Periodendauer nicht synchron erfolgen kann, ist eine Zwischenspeicherung notwendig. Hierzu dienen Sample-and-Hold-Glieder, die aus den vier Operationsverstärkern IC 203 A bis D und der zugehörigen R-C-Beschaltung an ihren

Eingängen gebildet werden. Das Nach-sampeln erfolgt synchron zum Umschalt-signal (MUX 1.3) über den Multiplexer IC 201.

Zur Digitalisierung der so bereitgestellten Signale sind zwei verschiedene Wandler implementiert. Der erste, an dem die Mittelwerte und die Momentanwerte von Strom und Spannung sowie das Signal der Kühlkörpertemperatur „Temp“ gewandelt werden, ist IC 207. Hierbei handelt es sich

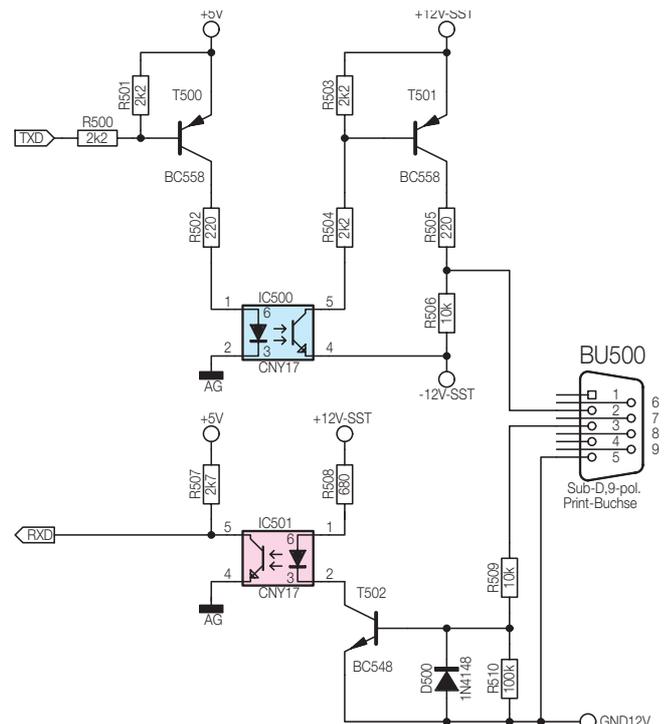


Bild 9: Schaltung der Schnittstelle

013187605A

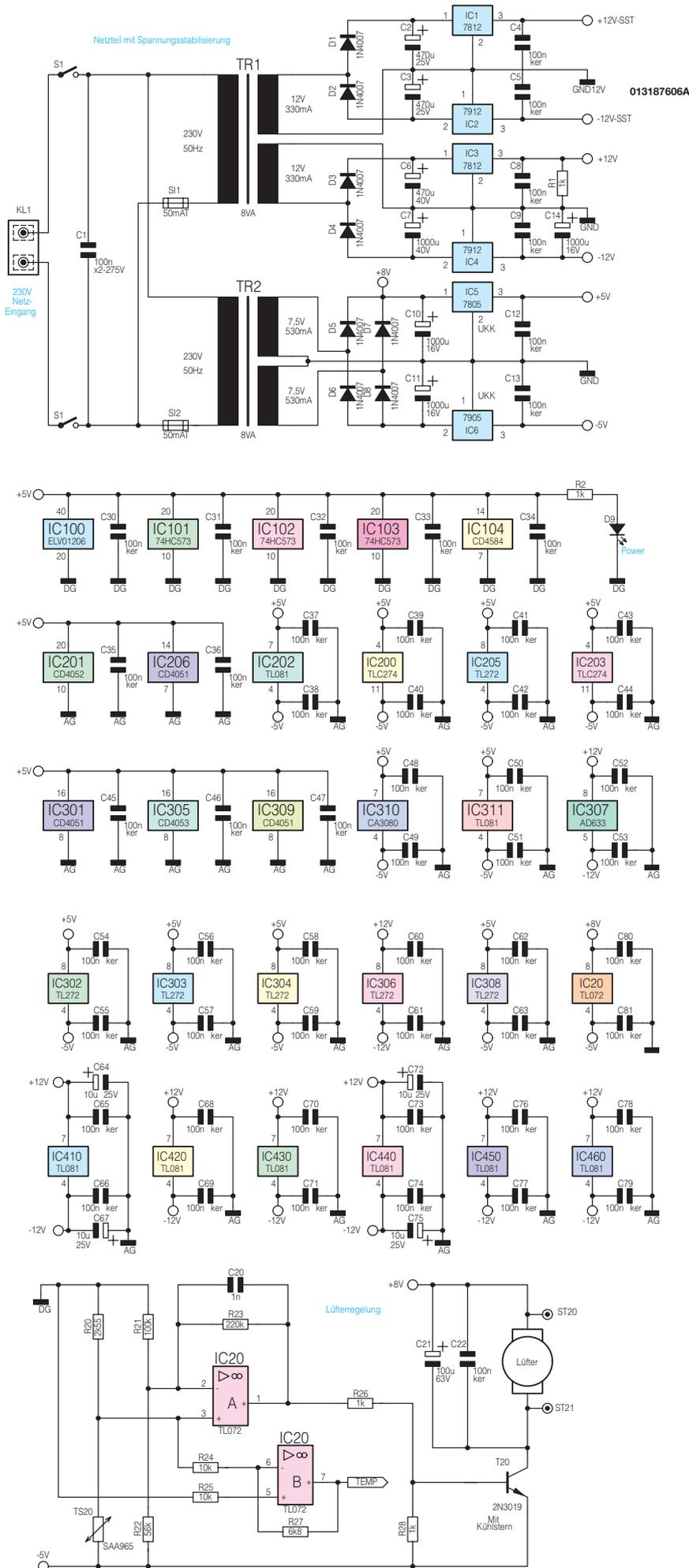


Bild 10: Schaltung des Netzteils mit Lüftersteuerung

um einen voll integrierten, 8-Bit-/ 8-Kanal Analog-Digital-Wandler, der nach dem Wägeverfahren arbeitet. Über den parallelen Datenbus „D 0“ bis „D 7“ erfolgt sowohl die Auswahl des Kanals als auch das Auslesen des Wandlungsergebnisses. Die Signale „RAD 8“ und „WAD 8“ des Prozessors (IC 100) steuern die Schreib- und Lesevorgänge.

Der zweite Wandler ist ein aus mehreren Einzelkomponenten aufgebauter Dual-Slope-Wandler, der bereits in zahlreichen anderen Geräten aus dem Hause ELV erfolgreich zur Anwendung kommt. Trotz des einfachen und preiswerten Aufbaus, bestehend aus einem CMOS-Multiplexer (IC 206), einem Doppel-OP (IC 205) und einigen diskreten Komponenten, ist die erreichbare Genauigkeit sehr gut. In der vorliegenden Anwendung liegt die erzielte Auflösung bei 14 Bit. Über die Steuerleitungen „MUX 2.4“ bis „MUX 2.6“ wählt der Prozessor den zu wandelnden Messkanal am Multiplexer IC 206 (Eingang 2 bis 7) an. Durch den zugehörigen Widerstand (R 219 bis R 224) fließt jetzt ein Strom in den aus IC 205 A, C 208 und R 217 gebildeten invertierenden Integrator. Die Spannung am Ausgang des Integrators fällt linear, wobei die Steilheit von der Höhe des Stroms und damit auch von der Messspannung abhängig ist. Nach einer definierten Zeit wechselt der Prozessor auf das Referenzsignal an Kanal 1 des Multiplexers. Da es sich bei diesem Signal um eine negative Spannung handelt, kehrt sich die Integrationsrichtung um. Erreicht die Ausgangsspannung des Integrators den Nulldurchgang, so schaltet der Komparator IC 205 B. Diese Flanke löst über R 218 und T 200 einen Interrupt im Prozessor aus, durch den ein intern mitlaufender Zähler gestoppt wird. Somit sind die Zeiten zum Auf- und Abintegrieren exakt bekannt und über das Verhältnis dieser zueinander kann die Größe der angelegten Spannung bestimmt werden. Die geringfügige Verschiebung der Nulllage in den negativen Bereich über den Spannungsteiler R 215/R 216 verhindert Probleme mit der Offsetspannung des Operationsverstärkers.

Schnittstelle

Die EL 9000 kann über die 9-polige-Sub-D-Buchse BU 500 mit der seriellen Schnittstelle eines PCs verbunden werden. Damit sich über die Masse vom PC (im Allgemeinen mit dem Schutzleiter verbunden) keine Kurzschlüsse bzw. Masseschleifen mit der des Prüflings oder auch angeschlossener Messgeräte bilden, ist es notwendig, dass die Schnittstelle galvanisch vom Rest des Gerätes getrennt ist. Diese Trennung realisieren die Optokoppler IC 500 und IC 501. Das an Port 3.1 des Controllers ausgegebene „TXD“-Signal steuert

ert den Transistor T 500 an, dessen Kollektorstrom durch die Sendediode von IC 500 fließt. Der Fototransistor der Empfängerseite steuert entsprechend dem übertragenen Lichtsignal T 501 an. Das so entstandene Signal mit den typischen positiv/negativ Logikpegeln steht an Pin 2 von BU 500 an.

Über Pin 3 von BU 500 gelangen die Befehle und Daten vom PC in die EL 9000. T 502 verstärkt den Strom und steuert in seinem Kollektorkreis die Sendediode von IC 501 an. Das Datensignal „RXD“ wird vom Empfänger-Fototransistor direkt auf Port 3.0 vom Controller geführt.

Netzteil und Lüftersteuerung

Die Netzspannung gelangt über den zweipoligen Netzschalter und je eine Sicherung SI 1 bzw. SI 2 auf die beiden Transformatoren. Die obere Wicklung von TR 1 dient ausschließlich zur Versorgung der seriellen Schnittstelle. Dies ist erforderlich, um die vollständige galvanische Trennung zu erreichen. D 1 bzw. D 2 realisieren eine Einweg-Gleichrichtung zur Gewinnung einer positiven und einer negativen Spannung, die mittels der Kondensatoren C 2, C 3 und der Spannungsregler IC 1, IC 2 auf ± 12 V stabilisiert wird.

Der unteren Wicklung von TR 1 folgt eine identische Spannungserzeugung von ± 12 V u. a. für die Versorgung der Endstufen-Ansteuerung. Die Beschaltung mit R 1 und C 14 gewährleistet einen Abbau der Spannungen in definierter Reihenfolge bei Netzausfall oder Abschalten des Gerätes.

Fast alle weiteren Schaltungsteile arbeiten mit 5 V oder ± 5 V. Der entsprechend große Strombedarf erfordert einen eigenen 8-VA-Trafo (TR 2). Die Ausgangsspannungen dieses Trafos werden in Mittelpunktschaltung (D 5 bis D 8) gleichgerichtet, mit Elkos (C10, C11) geglättet und über Festspannungsregler (IC 5, IC6) stabilisiert. U-Kühlkörper unter IC 5 und IC 6 verbessern deren Wärmeabfuhr.

An der Stirnseite des Kühlkörpers LK 75, auf dem die Endstufentransistoren montiert sind, ist ein leistungsfähiger Lüfter montiert. Dieser drückt Luft durch das mit Kühlrippen ausgestattete Innere des LK 75, die anschließend erwärmt aus der Geräterückseite austritt. Um hierbei eine unnötige Lärmentwicklung zu vermeiden, ist die Lüfterdrehzahl direkt von der Kühlkörpertemperatur abhängig. Die zugehörige Ansteuerung ist mit im Netzteilbild dargestellt. Mit steigender Temperatur des Temperatursensors TS 20 steigt dessen Widerstand und damit auch die Spannung am nichtinvertierenden Eingang von IC 20 A. Folglich steigt die Ausgangsspannung von IC 20 A und damit der Basisstrom von T 20. Dieser steuert zunehmend durch, die Lüfterdrehzahl erhöht sich und

wirkt einem weiteren Ansteigen der Temperatur entgegen. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen zugeführter und abgeführter Energie ein, wodurch die Temperatur unterhalb kritischer Werte bleibt. Zusätzlich stellt der invertierende Operationsverstärker IC 20 B eine temperaturproportionale Spannung bereit. Sie wird dem Controller über den AD-Wandler IC 207 zugeführt, der somit eine Überhitzung des Gerätes, etwa durch Lüfterausfall oder zu hohe Umgebungstemperatur (Wärmestau) erkennen und eine Sicherheitsabschaltung durchführen kann. Die zum Lüfter parallel geschalteten Kondensatoren C 21 und C 22 dienen der Siebung und Entstörung.

Nachbau

Der Nachbau der EL 9000 benötigt aufgrund der umfangreichen Schaltungstechnik und des Aufwandes für die mechanische Montage ein wenig Zeit. Dank des großzügig dimensionierten 9000er-Metallgehäuses und der übersichtlichen Anordnung der Komponenten auf zwei doppelseitigen Leiterplatten ist er jedoch mit etwas Geduld und Sorgfalt problemlos zu bewerkstelligen. Abgesehen vom DA-Wandler IC 300 (8-poliges MSOP-Gehäuse) sind alle Bauteile konventionell, d. h. bedrahtet ausgeführt und entsprechend einfach zu bestücken.

Wichtiger Hinweis:

Da es sich bei der EL 9000 um ein netzbetriebenes Gerät handelt, in dem die Netzspannung frei geführt ist, dürfen Aufbau und Inbetriebnahme nur von Fachkräften durchgeführt werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die geltenden VDE- und Sicherheitsbestimmungen sind unbedingt zu beachten. Insbesondere ist es bei der Inbetriebnahme erforderlich, zur sicheren galvanischen Trennung einen entsprechenden Netz-Trenntransformator vorzuschalten.

Bestückung der Basisplatine

Die Position der einzelnen Komponenten ergibt sich aus dem Bestückungsdruck auf den Platinen bzw. den Bestückungsplänen in Verbindung mit der Stückliste. Auch die Bestückungsfotos geben eine gute Hilfestellung.

Die Bestückung beginnt mit IC 300 als flachstem Bauelement. Das Lötpad an einer Ecke des Bestückungsplatzes wird verzinnt, das IC lagerichtig (Markierung muss mit der im Bestückungsdruck übereinstimmen) aufgesetzt und durch das erneute Schmelzen des Zinns vorfixiert. Nach einer Kontrolle und ggf. Korrektur der Lage erfolgt das Verlöten der restlichen Pins, beginnend mit dem gegenüberliegenden Pin.

Als nächste Bauteile folgen die Dioden

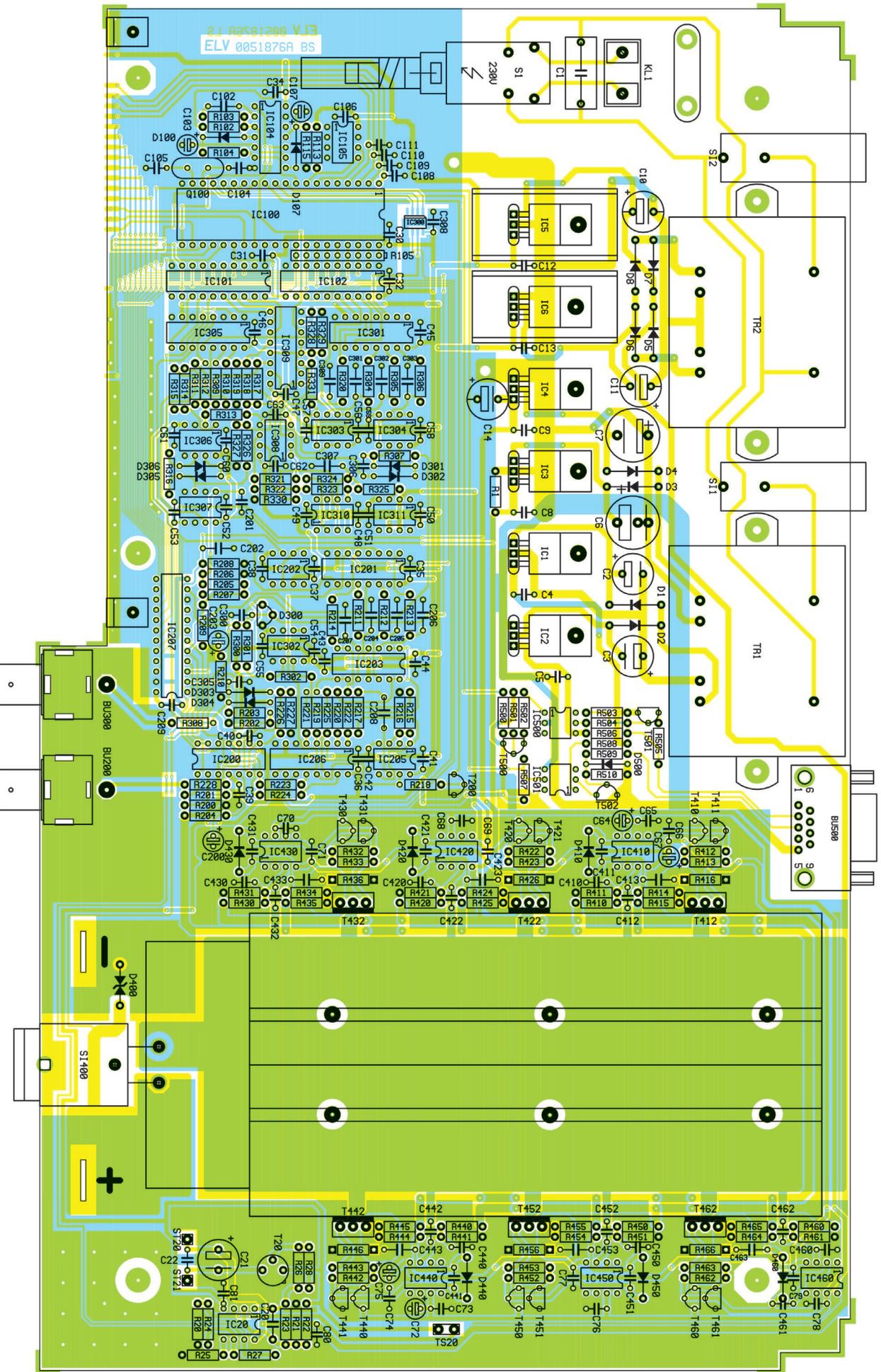
und Widerstände. Die Anschlussbeine werden im richtigen Rastermaß abgewinkelt, von der Bestückungsseite durch die Bohrungen gesteckt, auf der Rückseite verlötet und anschließend mit einem kleinen Seitenschneider direkt über der Lötstelle abgeschnitten. Bei den Widerständen und der Transil-Schutzdiode D 400 spielt die Einbaulage keine Rolle, bei den anderen Dioden gibt der im Bestückungsdruck dargestellte Katodenring die korrekte Einbaulage vor. Als nächste Bauteile folgen ICs, Optokoppler, Keramik Kondensatoren und Folienkondensatoren. Während die Kondensatoren ungepolt sind und somit in beliebiger Lage eingelötet werden können, ist bei den ICs und Optokopplern unbedingt auf die Übereinstimmung der Markierungskerbe bzw. des Markierungspunktes mit dem Bestückungsdruck zu achten. Die Anschlussbeine der ICs sind vor dem Bestücken in das erforderliche Rastermaß zu bringen. Hierfür eignet sich am besten ein Pin-Ausrichter (ELV-Best.Nr.: 10-084-63), notfalls kann das Biegen auch von Hand auf einer festen Unterlage erfolgen. Für IC 100 und IC 105 ist für eventuelle Software-Updates bzw. Service-Zwecke eine gesockelte Montage vorgesehen. Entsprechend liegt dem Bausatz eine 8-polige und eine 40-polige Präzisions-IC-Fassung bei.

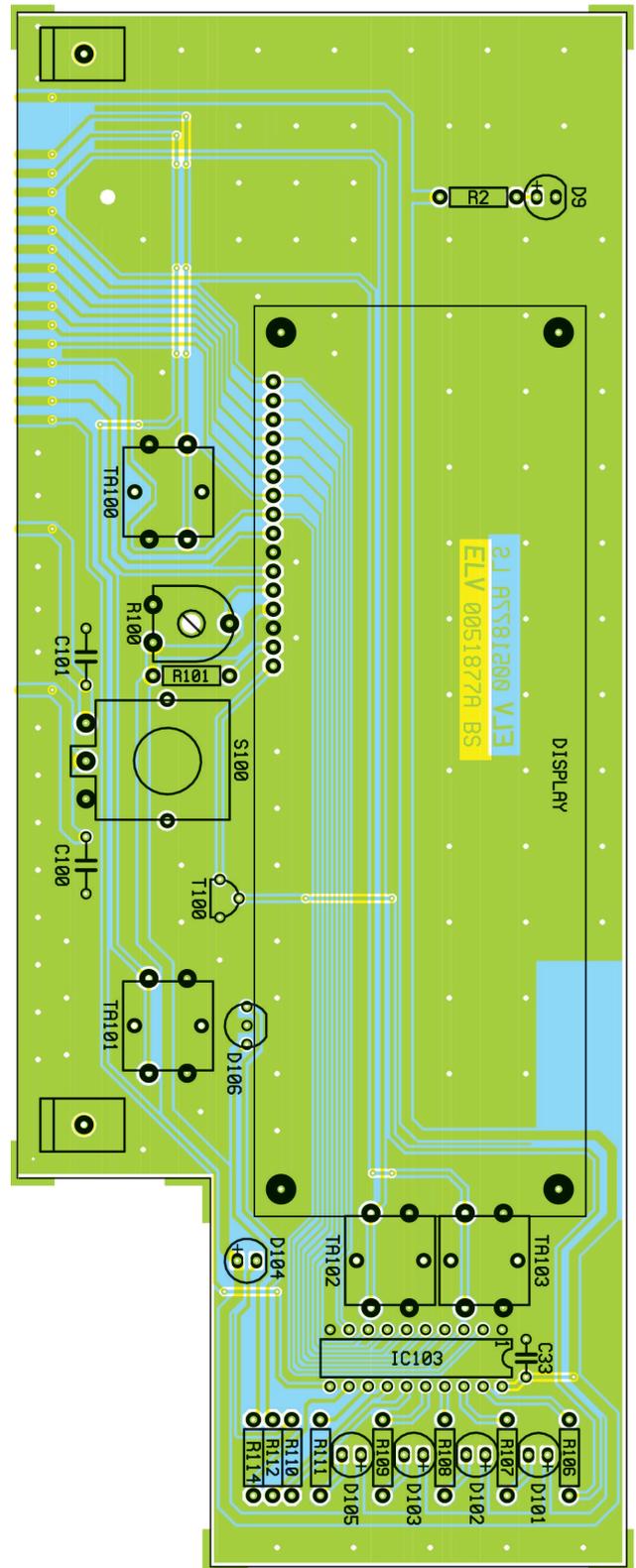
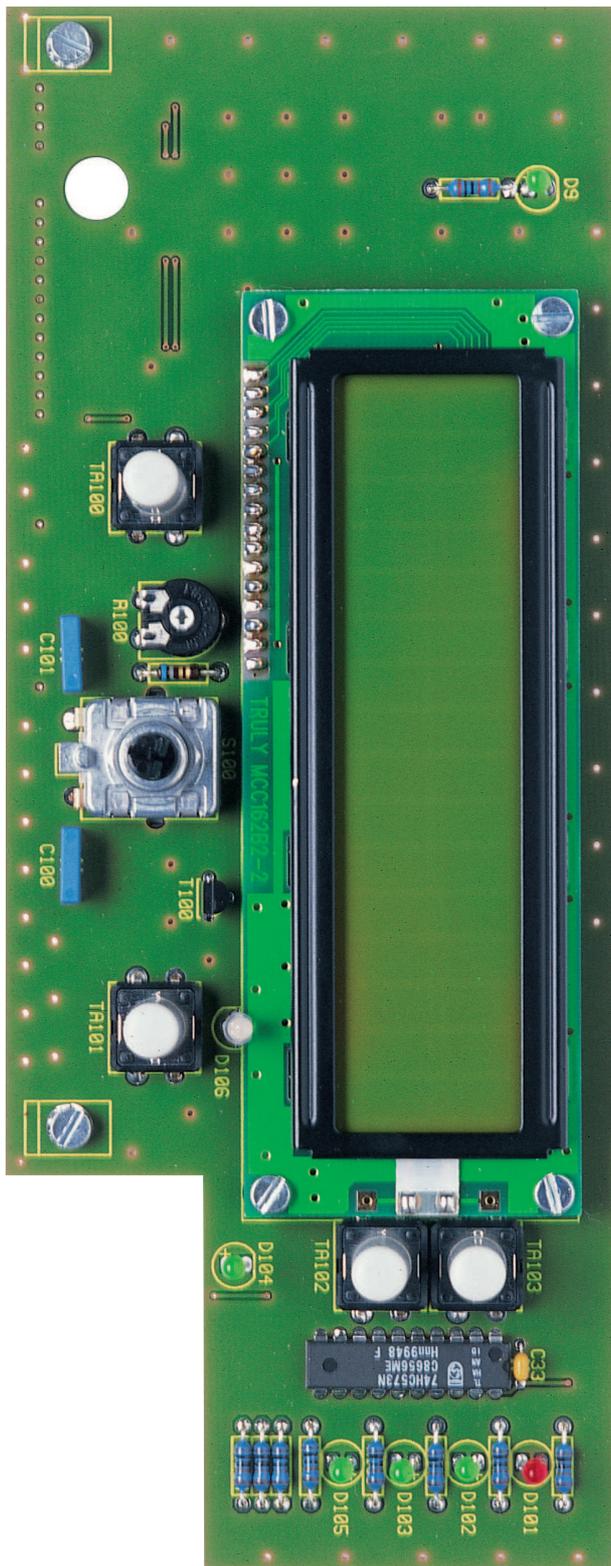
Für die Festspannungsregler IC 1 bis IC 6 ist eine liegende Montage vorgesehen. Deshalb sind zunächst die Anschlussbeine in einem Abstand von 3 mm zur Gehäuseunterkante um 90° nach hinten umzubiegen. IC 1 bis IC 4 werden vor dem Verlöten der Anschlusspins direkt mit je einer Schraube M3 x 8 mm, einer Fächerscheibe und einer M3-Mutter plan aufliegend auf die Platine geschraubt. IC 5 und IC 6 sind zunächst auf der Rückseite mit etwas Wärmeleitpaste zu versehen und mit M3x 10mm-Schrauben auf U-Kühlkörpern zu befestigen. Anschließend werden auch sie mit einer Fächerscheibe und einer M3-Mutter auf der vorgesehenen Position festgeschraubt und dann verlötet.

Der Sicherungshalter für die Flachstecksicherung SI 400 muss an der vorgesehenen Stelle der Platine flach aufliegend positioniert werden. Damit hierbei die Kunststoffnase des Sicherungshalters in die Platine einrastet, ist eventuell etwas Kraft erforderlich. Die Befestigung erfolgt dann mit einer Schraube M3 x 12 mm. Diese wird mit einer Unterlegscheibe versehen, von oben durch den Sicherungshalter gesteckt und mit einer Fächerscheibe und einer M3-Mutter gesichert. Zum Kürzen der Anschlussbeine ist hier ein kräftiger Seitenschneider erforderlich, ein kleiner Elektronik-Seitenschneider reicht nicht aus.

Als Nächstes werden die Lötstifte für den Lüfter und den Temperatursensor TS 20, die Kleinsignaltransistoren (TO-92-Gehäuse),

Bestückungsplan
 der Basisplatte
 der EL 9000
 (Originalgröße:
 336,6 x 198,8 mm)





Ansicht der fertig bestückten Frontplatte der EL 9000 mit zugehörigem Bestückungsplan

die Z-Diode D 300, der Quarz Q 100 und die Elkos bestückt. Der Abstand der Gehäuseunterkante der Transistoren und der Z-Diode zur Platine sollte etwa 4 mm betragen, der Quarz mit seinem Körper direkt plan auf der Platine aufsitzen.

Elektrolytkondensatoren sind gepolte Bauteile. Werden diese falsch montiert, so können sie evtl. explodieren und schwere Schäden verursachen. Deshalb ist hier

besondere Sorgfalt geboten. Der Plus-Anschluss ist im Bestückungsdruck gekennzeichnet und der Minus-Anschluss ist auf dem Gehäuse des Elkos mit einem Markierungsstrich versehen.

Der Transistor T 20 muss, bevor er im Abstand von 4 mm zur Platine eingelötet wird, außen mit Wärmeleitpaste bestrichen und in den Sternkühlkörper eingepresst werden.

Als nächste Bauteile folgen einige elektromechanische Elemente. Dies sind im Einzelnen: die Netzklemme KL 1, der Netzschalter S 1, die Sicherungshalter SI 1 und SI 2, die Buchsen BU 200, BU 300 und BU 500 sowie die Anschlussbleche für die Lastbuchsen. All diese Elemente werden plan aufliegend eingesetzt und mit ausreichend Lötzinn verlötet. Besonders bei den BNC-Buchsen und den Anschlussblechen

Stückliste: Elektronische Last EL 9000

Widerstände:

120 cm Manganindraht, 0,1Ω (0,659Ω/m).....	R416, R426, R436, R446, R456, R466
6,8Ω	R101
10Ω	R413, R423, R433, R443, R453, R463
47Ω	R217
68Ω	R412, R422, R432, R442, R452, R462
100Ω	R216, R319, R329
220Ω	R502, R505
680Ω	R508
900Ω/0,1%.....	R318
1kΩ	R1, R2, R26, R28, R106-R112, R114, R211-R214, R228, R300, R304-R306, R320, R321, R324-R326, R414, R415, R424, R425, R434, R435, R444, R445, R454, R455, R464, R465
1,5kΩ	R311
2,2kΩ	R227, R322, R327, R500, R501, R503, R504
2,25kΩ	R20
2,7kΩ	R310, R507
3,3kΩ	R208, R210, R323
6,8kΩ	R27
8,2kΩ	R309
9kΩ/0,1%.....	R317
10kΩ	R24, R25, R103, R113, R200, R202, R215, R218, R226, R313-R315, R328, R411, R421, R431, R441, R451, R461, R506, R509
12kΩ	R308
15kΩ	R307, R316
22kΩ	R201, R203
27kΩ	R204, R206, R410, R420, R430, R440, R450, R460
56kΩ	R22, R207, R209
82kΩ	R205
100kΩ	R21, R104, R115, R225, R301, R302, R331, R510
150kΩ	R312
180kΩ	R219-R224
220kΩ	R23, R102
1MΩ	R330
Array, 8 x 10kΩ	R105
PT10, liegend, 10kΩ.....	R100

Kondensatoren:

4,7pF/ker	C412, C422, C432, C442, C452, C462
10pF/ker	C410, C420, C430, C440, C450, C460
33pF/ker	C104, C105
100pF/ker	C108-C111, C201, C305
330pF/ker	C306
470pF/ker	C411, C421, C431, C441, C451, C461
1nF	C20, C202, C413, C423, C433, C443, C453, C463
2,2nF	C307
4,7nF	C100, C101

10nF	C102
47nF ...	C204-C207, C301-C303, C309
100nF/ker	C4, C5, C8, C9, C12, C13, C22, C30-C63, C65, C66, C68-C71, C73, C74, C76-C79, C80, C81, C106, C209, C300, C308
100nF/X2/275V~	C1
270nF	C208
1µF/100V	C200
10µF/25V	C64, C67, C72, C75, C103, C107
22µF/16V	C203
100µF/63V	C21
470µF/25V	C2, C3
470µF/40V	C6
1000µF/16V	C10, C11, C14
1000µF/40V	C7

Halbleiter:

7812	IC1, IC3
7912	IC2, IC4
7805	IC5
7905	IC6
TL072.....	IC20
ELV01206	IC100
74HC573	IC101, IC102, IC103
CD4584.....	IC104
FM24C04	IC105
TLC274.....	IC200, IC203
CD4052.....	IC201
TL081....	IC202, IC311, IC410, IC420, IC430, IC440, IC450, IC460
TLC272....	IC205, IC302-IC304, IC308
CD4051.....	IC206, IC301, IC309
ADC0848.....	IC207
LTC1658/SMD	IC300
CD4053.....	IC305
TL082.....	IC306
AD633.....	IC307
CA3080.....	IC310
CNY17	IC500, IC501
2N3019.....	T20
BC337-25.....	T100, T410, T420, T430, T440, T450, T460
BC548.....	T200, T502
BC327-25.....	T411, T421, T431, T441, T451, T461
BUZ102	T412, T422, T432, T442, T452, T462
BC558	T500, T501
1N4007.....	D1-D8
1N4148.....	D100, D107, D301-D306, D500
LM385-2,5V	D300
BZW06-58	D400
BAT85	D410, D420, D430, D440, D450, D460
LED, 3mm, grün	D9, D102-D105
LED, 3mm, rot	D101
Duo-LED, 3mm	D106
LC-Display, MC-162-3.....	Display

Sonstiges:

Quarz, 11,0592MHz.....	Q1
Temperatursensor, SAA965	TS20

BNC-Einbaubuchse, print	BU200, BU300
SUB-D-Buchsenleiste, 9-polig, print	BU500
Mini-Drucktaster, B3F4050, 1 x ein.....	TA100-TA103
Inkrementalgeber	S100
Netzschraubklemme, 2-polig.....	KL1
Trafo, 2 x 12V/330mA/8VA.....	TR1
Trafo, 2 x 7,5V/530mA/8VA.....	TR2
Schadow-Netzschalter	S1
Sicherung, 50mA, träge	SI1, SI2
KFZ-Sicherung, 30A/80V	SI400
2 Sicherungshalter, print, liegend (VDE) 1 KFZ-Sicherungshalter, print, abgewinkelt	
1 Adapterstück	
1 Verlängerungsachse	
1 Druckknopf, ø 7,2 mm	
4 Tastknöpfe, 18 mm, grau	
1 Drehknopf mit Fingermulde	
1 Präzisions-IC-Sockel, 8-polig	
1 Präzisions-IC-Sockel, 40-polig	
Polklemmen, 4 mm, 60A, rot	
Polklemmen, 4 mm, 60A, schwarz	
1 Papst-Axial-Lüfter, Typ 612	
2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 5 mm	
22 Zylinderkopfschrauben, M3 x 6 mm	
8 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8 mm	
2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 10 mm	
7 Zylinderkopfschrauben, M3 x 12 mm	
4 Zylinderkopfschrauben, M3 x 35 mm	
3 Kunststoffschrauben, M4 x 10 mm	
2 Sechskantschrauben, M4 x 20 mm	
38 Muttern, M3	
1 Rechteckmutter, M3	
2 Muttern, M4	
3 Kunststoffmutter, M4	
41 Fächerscheiben, M3	
4 Fächerscheiben, M4	
5 Unterlegscheiben, 3,2 mm	
4 Polyamidscheiben, 14 x 2,5 mm	
1 Sensorschelle	
3 Befestigungswinkel, vernickelt	
4 Distanzrollen, M3 x 5 mm	
18 Lötstifte, 20 mm	
4 Lötstifte mit Lötöse	
1 Kontaktleiste, 1 x 20-polig	
2 U-Kühlkörper, SK13	
1 Kleinkühlkörper, SKK510	
2 Lüfter-Kühlkörperhälften, SK75	
1 Fingerschutzgitter, 60 x 60	
1 Zugentlastungsbügel	
1 Netzkabeldurchführung mit Knickschutzülle, grau	
1 Netzkabel, 3-adrig	
2 Aderendhülsen, 0,75mm ø	
1 Tube Wärmeleitpaste	
2 Kontaktbleche	
3 Halteplatinen	
1 Isolierplatte	
4 cm Schrumpfschlauch, ø 1 mm	
12 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm ² , schwarz	
1 Komplettbausatz 9000er-Metallgehäuse	

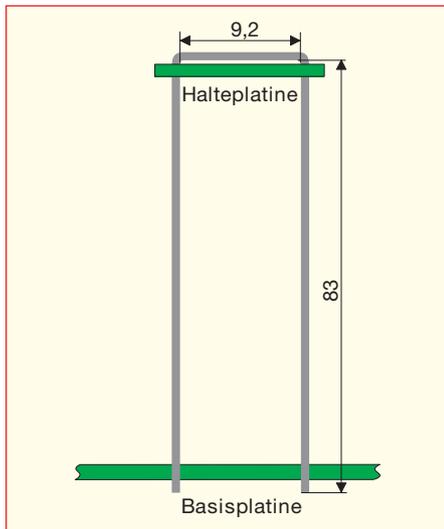


Bild 11: Anfertigung des Widerstandsdrahtes

der Lastbuchsen ist aufgrund der großen Metallflächen ein LötKolben mit ausreichender Leistung und einer nicht zu feinen Spitze erforderlich. Auch die Zugentlastungsschelle der Netzleitung kann bereits lose vormontiert werden. Dazu sind 2 M3x12mm-Zylinderkopfschrauben von unten durch die Bohrungen zu stecken, die Schelle darüber zu setzen und mit Zahnscheiben und Muttern zu fixieren.

Jetzt sollten auf der Basisplatte alle Teile bis auf die Transformatoren sowie den Lüfterkühlkörper mit Leistungs-FET's, Shunts und Temperatursensor bestückt sein. Vor dem Aufsetzen dieser schweren Komponenten sollte eine Zwischenkontrolle auf Bestückungs- und Lötfehler durchgeführt werden.

Montage des Lüfterkühlkörpers

Der Lüfterkühlkörper ist vor der Montage vorzubereiten. Zunächst sind die beiden Profilhälften mit den Führungsnuten zusammenzuschieben und dann senkrecht (mit der Öffnung nach oben) aufzustellen. Der Lüfter wird oben so aufgelegt, dass der Pfeil (Strömungsrichtung) auf dem Lüftergehäuse zum Kühlkörper weist, die Montagelöcher über den konturierten Rundnuten an den schrägen Außenseiten liegen und sich das Anschlusskabel an einer der geraden Außenseiten befindet, an der keine Fügerrillen sind. Mit vier Schrauben M3 x 35 mm, die sich problemlos in die Alu-Rundnuten einschneiden, kann der Lüfter nun befestigt werden.

Zur Befestigung des Kühlkörpers auf der Platine dienen 6 Schrauben M3 x 6 mm. Diese sind zunächst mit einer Fächerscheibe zu versehen und von unten durch die entsprechenden Bohrungen der Platine zu stecken. Auf der Oberseite setzt man je eine M3-Mutter locker auf (ca. 1 Umdrehung aufschrauben). Von der hinteren

Platinenkante aus wird nun der Kühlkörper aufgeschoben, und zwar so, dass:

- die Muttern in die unteren Profilkanten gleiten,
- der Lüfter zur Platinvorderkante weist,
- die Fügennuten oben und unten liegen,
- die Lüfteranschlüsse sich auf der rechten Seite befinden.

Dieser Vorgang, der evtl. ein wenig Geduld erfordert, lässt sich durch ein leichtes Lösen der Lüfterschrauben vereinfachen.

Befindet sich der Kühlkörper auf der gewünschten Position (Abstand zum hinteren Platinenrand 7 mm), so sind alle Befestigungsschrauben festzudrehen.

Die Anschlussleitungen des Lüfters können jetzt auf die erforderliche Länge gekürzt, abisoliert, verdreht, verzinkt und an den Lötstiften ST 20 (+/rot) und ST 21 (-/blau) angelötet werden.

Für die Befestigung der Bauteile schiebt man in die Nuten am Kühlkörper zunächst M3-Muttern ein:

- je 3 Muttern in die beiden Nuten auf der Oberseite
- 3 Muttern in die obere Nut auf der linken Seite
- 4 Muttern in die obere Nut auf der rechten Seite.

Bei der jetzt folgenden Montage der Leistungs-FETs vom Typ BUZ 102 geht man am besten wie folgt vor:

- Die zugehörige Befestigungsmutter mittig über den Anschlüssen ausrichten.
- In die 3 Bohrungen der Basisplatte je einen der langen, hohlen Lötstifte stecken.
- Den FET auf der Rückseite gleichmäßig, dünn mit Wärmeleitpaste bestreichen.
- Die Anschlussbeine des FETs von oben in die Lötstifte fädeln.
- Den FET mit einer Schraube M3 x 6 mm mit Fächerscheibe anschrauben.
- Die Position und das gleichmäßige Anliegen der Kühlfläche kontrollieren und ggf. korrigieren.
- Die Anschlussbeine in den Lötstiften festlöten.
- Die Platine wenden und die Lötstifte auf der Lötseite festlöten.

Es ist darauf zu achten, dass die vierte Mutter auf der rechten Kühlkörperseite zur Befestigung des Temperatursensors dient und deshalb zwischen T 442 und T 452 zu schieben ist. Vor seiner Anbringung ist der Temperatursensor jedoch vorzubereiten: Die Anschlussbeine werden auf 4 mm gekürzt, je 6 cm schwarze Leitung angelötet und die Lötstellen mit Schrumpfschlauchstücken isoliert. Mit der Sensorschelle und einer Schraube M3 x 6 mm mit Zahnscheibe schraubt man nun den Sensor in der Mitte zwischen den FETs fest an. Zum Erreichen eines optimalen thermischen Kontaktes muss die Schelle schräg ange-

ordnet werden, und die Kontaktfläche (plane Seite des Sensors) ist mit Wärmeleitpaste zu versehen.

Zum Führen und Halten der Shunts dienen drei auf dem Kühlkörper zu montierende Platinen. Diese sind, mit der Beschriftung nach oben, über den auf der Basisplatte befindlichen Bohrungen der Shunts zu positionieren und mit Schrauben M3 x 6 mm und unterlegten Zahnscheiben festzuschrauben. Der Widerstandsdraht wird in sechs Teilstücke zerschnitten, die gemäß Abbildung 11 zu biegen sind. Die Enden steckt man dann durch die Bohrungen der oberen Halteplatine und dann in die zugehörigen Bohrungen in der Basisplatte. Zunächst sind die Widerstandsdrähte auf den Halteplatten anzulöten und dann ist der gesamte Aufbau zu wenden, um die Widerstandsdrähte an der Basisplatte festzulöten. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Halteplatten nirgends aufliegen und verbiegen, wodurch die Widerstandsdrähte nach dem Festlöten unter Zugspannung stehen würden.

Als letzte Bauteile auf der Basisplatte sind die beiden Print-Transformatoren einzusetzen und von der Lötseite aus mit M4-Kunststoffschrauben zu befestigen. Die zugehörigen Kunststoffmuttern sind entsprechend in die Haltetaschen der Trafos einzulegen und während des Festschraubens gegenzuhalten. Nur für die direkt neben der Sub-D-Buchse befindliche Lasche von TR2 ist vorerst eine Metallschraube mit Metallmutter zu verwenden, die nach dem jetzt folgenden Verlöten der Trafoanschlüsse wieder entfernt wird. Später befindet sich hier eine der Befestigungspunkte der Platine zum Gehäuse.

Bestückung und Montage der Frontplatte

Das Bestücken der Frontplatte ist in der selben Reihenfolge wie bei der Basisplatte gemäß Bestückungsplan durchzuführen. Die LEDs sind polaritätsrichtig („+“ im Bestückungsdruck = Anode = längeres Anschlussbein), senkrecht mit einem Abstand von 14 mm (Linse zur Platine) einzulöten. Bei der 2-Farb-LEDD 106 muss sich die abgeflachte Gehäuseseite oben befinden (zum Display weisend). Die Taster sind nach dem Einlöten mit den zugehörigen Tastkappen zu versehen. Als letzte Komponente ist auf der Frontplatte das Displaymodul mit Schrauben M3 x 12 mm, 5-mm-Distanzstücken, Fächerscheiben und M3-Muttern zu montieren. Zur elektrischen Verbindung dient eine auf 16 Kontakte gekürzte Stiftleiste.

Eine exakt senkrechte Ausrichtung der beiden Platinen zueinander ermöglichen zwei Blechwinkel. Sie werden mit der Gewindeseite auf die Montagebohrungen

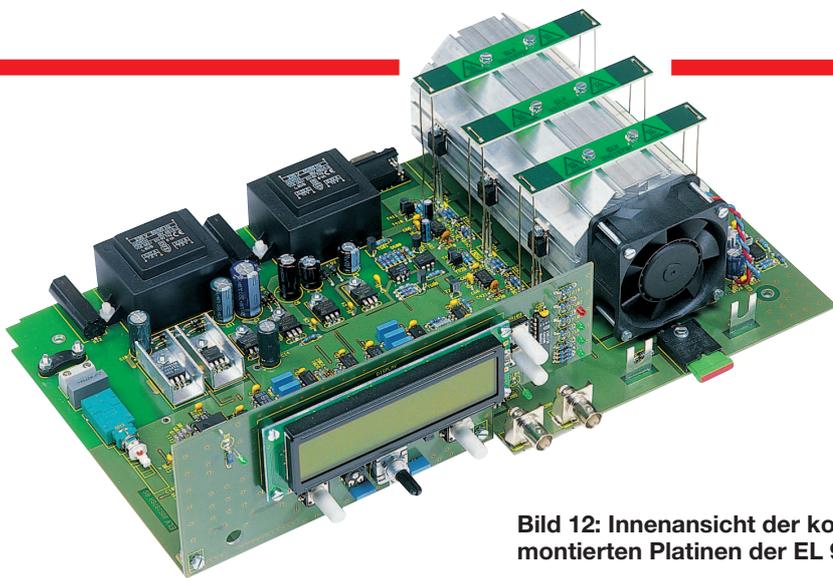


Bild 12: Innenansicht der komplett montierten Platinen der EL 9000

an den unteren Ecken der Frontplatine gelegt und dann mit 5 mm langen M3-Schrauben von der Bestückungsseite her befestigt. Die Frontplatine ist nun senkrecht vor der Basisplatine auszurichten, sodass die Winkel genau über den Bohrungen in der Basisplatine liegen und mit M3x6mm-Schrauben, Fächerscheiben und M3-Muttern festgeschraubt werden können. Bevor die Leiterbahnübergänge auf der Lötseite der Platinen jetzt verbunden werden, ist noch einmal die senkrechte Ausrichtung und das genaue Überdecken der Leiterbahnpaare zu prüfen und ggf. zu korrigieren.

Gehäuseeinbau

Damit sind die Platinen fertig gestellt (Abbildung 12) und der Gehäuseeinbau kann beginnen. Die Explosionszeichnung am Ende der Anleitung zeigt, wie die Gehäusekomponenten zusammengehören. Zunächst sind unten an einem der Seitenteile 2 Modulschienen anzuschrauben. Um später die Front- und die Rückplatte exakt ausrichten zu können, sind auch die Alublenden bereits an den Stirnflächen des Seitenteiles anzuschrauben. Der Aufbau ist so zu drehen, dass sich die Modulschienen unten und das Seitenteil links befindet. Von rechts muss dann die Bodenplatte so in die Modulschienen eingeschoben werden, dass sich der Steckkontakt auf der linken Seite und die Lüftungsschlitze sich vorn befinden. Auf die Unterseite der Bodenplatte können nun die vier Gummifüße geklebt werden. Die Dreifachlötöse ist mit einer Vierkantmutter, zwei Fächerscheiben und einer Schraube M3 x 6 mm in der oberen Nut an der Innenfläche des Seitenteiles festzuschrauben. Die Vierkantmutter ist hierbei in einem Abstand von 6 cm zur Hinterkante des Seitenteiles zu positionieren und es ist je eine Fächerscheibe unter und über der Dreifachlötöse anzuordnen. Die zugehörige Kennzeichnung \oplus bringt man neben der Schraube an. Durch die Löcher der Dreifachlötöse sind die Enden der beiden vorkonfektionierten

Schutzleiteranschlüsse zu stecken, umzubiegen und mit reichlich Lötzinn gewissenhaft zu verlöten. Einer der Steckkontakte des Schutzleiteranschlusses wird auf das Gegenstück der Bodenplatte gesteckt.

In die Profilkuten der beiden Modulschienen sind nun je 3 Sechskantschrauben M4 x 20 mm einzuschieben und entsprechend der Bohrungen der Basisplatine auszurichten. Über die Schraubengewinde setzt man jetzt die Isolierplatte und dann auf jede Schraube zwei 2,5 mm dicke Polyamidscheiben.

Als Nächstes kann bereits die Basisplatine eingesetzt und auf einen Abstand von 6 mm zum Seitenteil ausgerichtet werden. Zu ihrer Befestigung dienen je eine 1,5 mm dicke Polyamidscheibe, gefolgt von einer passenden U-Scheibe, einer Fächerscheibe und einer M4-Mutter. Nur bei der hinteren, mittleren Befestigungsschraube (an Tr 1) ist die Mutter direkt aufzuschrauben. Die Muttern sind zunächst nur locker anzuziehen.

Die Lüftungsöffnung in der Rückplatte muss aus Sicherheitsgründen mit einem Fingerschutzgitter versehen werden. Von der Außenseite wird das Gitter aufgelegt, vier Schrauben M3 x 8 mm, die zuvor mit einer passenden Unterlegscheibe versehen wurden, hindurch gesteckt und von der Innenseite mit Fächerscheiben und M3-Muttern verschraubt. Auch die Kabelverschraubung mit Knickschutztülle ist bereits zu montieren.

In der Frontplatte ist vorab nur die Montage der Polklemmen notwendig. Sie sind so einzustecken, dass die Verdrehschutzkerbe einrastet. Die Isolierhülse ist von innen aufzustecken und die Buchsen werden mit je einer der Muttern angeschraubt.

Vor dem Einsetzen der so vorbereiteten Front- und Rückplatten ist noch die vordere, obere Modulschiene mit einem Metallwinkel zu versehen, der zur Stabilisierung der Frontplatine dient. Hierzu ist eine Vierkantmutter in die Profilkute auf der Unterseite einzuschieben, in der dann in einem Abstand von 14,5 cm zur linken Außenkante mit einer Schraube M3 x 6 mm und

Fächerscheibe der Winkel festgeschraubt wird. Hierbei muss die mit einem Gewinde versehene Seite des Winkels zur Vorderkante der Modulschiene weisen.

Sind die Front- und Rückplatte bündig an den Alublenden der linken Seitenplatte eingesetzt, so ist die exakte Ausrichtung der Komponenten (u. a. feststellbar an der einwandfreien Gängigkeit der Taster) zu prüfen und bei Bedarf zu verbessern. Ist dies zur Zufriedenheit ausgeführt, so kann die Basisplatine durch Festziehen der 6 M4-Muttern fixiert werden. Die Anschlussgewinde der Polklemmen liegen jetzt, bei korrekter Ausrichtung der Frontplatte, genau in den zugehörigen Anschlussblechen und können mit der zweiten Mutter an diesen festgeschraubt werden. Hierzu eignet sich am besten ein 10-mm-Maulschlüssel.

Der Netzschalter muss mit einer Schubstange verlängert werden, die gemäß Abbildung 13 anzufertigen ist. An einem Ende wird sie mit dem passenden Knopf versehen und durch die Frontplatine und Frontplatte geführt, das andere Ende wird mit einem Adapterstück auf dem Schalter montiert. Zum Anschließen der Netzleitung ist diese zunächst auf einer Länge von 8 cm abzumanteln. Die Phasen- und die Neutralleiterader sind auf 3,5 cm zu kürzen, abzuisolieren und mit Aderendhülsen zu versehen. Die Leitung wird durch die Kabelverschraubung und unter der Zugentlastungsschelle hindurch in das Gerät geführt. Die Kabelverschraubung und die Befestigungsschrauben der Zugentlastungsschelle können nun fest angezogen werden, wobei darauf zu achten ist, dass der Mantel vollständig unter der Zugentlastungsschelle liegt. Phasen- und Neutralleiterader können jetzt bis zum Anschlag in die zugehörigen Schraubklemmen gesteckt und festgeschraubt werden. Die Schutzleiterader ist abzuisolieren und in der selben Weise wie die beiden bereits angeschlossenen Leitungen an der Dreifachlötöse zu verlöten.

Jetzt sind die beiden oberen Modulschienen und das rechte Seitenteil anzuschrauben. Hierbei ist darauf zu achten, dass der an der vorderen Modulschiene befestigte Metallwinkel die Frontplatine an der dafür vorgesehenen, isolierten Stelle abstützt. Den Drehknopf befestigt man auf der Achse des Inkrementalgebers und die Sicherungshalter sind mit den zugehörigen Schmelzsicherungen zu versehen. Die Deckelplatte wird vorerst nicht montiert, sodass der freie Schutzleiteranschluss für die nun folgende Inbetriebnahme zunächst aus dem Gerät herauszubiegen ist.

Inbetriebnahme und Abgleich

Nach einer nochmaligen gründlichen Kontrolle auf etwaige Montage- und Be-

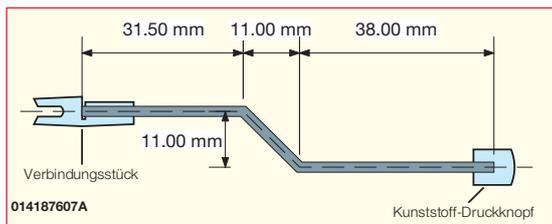


Bild 13: Anfertigung der Schubstange

stückungsfehler kann nun die erste Inbetriebnahme erfolgen. Hierzu ist aus Sicherheitsgründen ein Trenntransformator zu verwenden. Verhält sich das Gerät während der Inbetriebnahme unvorhergesehen, so ist es unverzüglich auszuschalten und die Ursache zu beheben.

Nach dem ersten Einschalten leuchten alle LEDs und die Hintergrundbeleuchtung des Displays ist eingeschaltet. Von der Geräteinnenseite her ist der Displaykontrast über den Trimmer R 100 so einzustellen, dass die Schrift gut lesbar ist. Dies war der einzige erforderliche Hardwareabgleich und es folgt der softwaregeführte. Er beginnt mit dem Abgleich der Spannungsmessung. Wie vom Gerät gefordert, ist eine Spannung von ca. 1 Volt an die Polklemmen anzuschließen. Diese ist parallel mit einem möglichst genau anzeigenden Multimeter zu messen. Nach einer Bestätigung mit der „OK“-Taste ist über den Inkrementalgeber die Spannung anzugeben, die laut Multimeter exakt anliegt. Ist dies erfolgt und mit „OK“ bestätigt, so wiederholt sich dieser Schritt mit einer Spannung von ca. 20 Volt. Ist auch der 20-Volt-Abgleich abgeschlossen, fordert die EL 9000 dazu auf, eine 10-Volt-Quelle mit einer Strombelastbarkeit von mindestens 5 Ampere anzuschließen. Zur Bestimmung des exakt fließenden Stromes ist ein Multimeter einzuschleifen. Nach dem Bestätigen der Aufforderung fließt ein Strom in die Last, der bereits ca. 5 Ampere entsprechen sollte. Mit dem Inkrementalgeber ist der Ansteuerwert, der zu Kontrollzwecken in der unteren Displayzeile ausgegeben wird, so zu verändern, dass der fließende Strom exakt 5 A entspricht. Ist dies durchgeführt und mit „OK“ bestätigt, so folgen einige automatisch ablaufende Abgleichschritte für die Strombegrenzung und den R-Bereich, während denen die Verbindungsleitungen nicht abgetrennt werden dürfen. Abschließend wiederholt man den Stromabgleich noch einmal mit einem Strom von 150 mA. Danach ist der Abgleichvorgang soweit beendet und der normale Betriebsmodus wird mit dem Starten des Funktionsmenüs begonnen. Dieser Abgleichvorgang kann bei Bedarf jederzeit über den Menüpunkt „Abgleich“ im Untermenü „Sonderfunktion“ wiederholt werden. Noch nicht abgeglichen sind an dieser Stelle die Stromanstiegsbegrenzungswert-

te. Dies erfolgt in einer separaten Sonderfunktion „SR-Abgleich“. Nach Anwahl dieses Menüpunktes wird man zunächst aufgefordert, den High-Strom für den bei diesem Abgleich fließenden Pulsstrom einzustellen. Der Strom ist entsprechend der zur Verfügung stehenden Quelle möglichst hoch zu wählen. Er kann bei Netzgerä-

ten mit Strombegrenzung häufig auch oberhalb des Maximalwertes dieser Strombegrenzung liegen, da sie erst verzögert anspricht und das Netzteil auch kurzzeitig größere Ströme liefert. Ob eine derartige, periodisch erfolgende Überlastung zulässig ist, muss jedoch vorher geprüft werden. Nach dem Einstellen dieses Wertes und Bestätigen mit „ \leftarrow “ sind nacheinander die verschiedenen Steilheiten einzustellen. Dazu ist an den Strom-Messausgang („U-I“) ein Oszilloskop anzuschließen. Der Ansteuerwert, der zu Servicezwecken mit auf dem Display dargestellt wird, ist so zu verändern, dass der steilste (mittlere) Teil der ansteigenden Flanke entsprechend dem Vorgabewert verläuft. Bei entsprechender Wahl der horizontalen und vertikalen Ablenkung des Oszilloskopes kann man sich genau nach der Rastereinteilung des Bildschirms richten. Zu beachten ist, dass es sich um eine Begrenzungsfunktion handelt, d. h., es ist stets der steilste Teil des Anstieges auszuwerten. Die hohen Anstiegsgeschwindigkeiten (2 A/ μ s und 5 A/ μ s) sind nur bei großen Stromsprüngen (z. B. 20 A) zu erreichen.

Als letzte vorab durchzuführende Einstellung kann nun noch die Geschwindigkeit, mit der sich die Zahlenwerte beim Drehen des Inkrementalgebers ändern, gewählt werden. Dies erfolgt im Sonderfunktions-Untermenü unter „Drehg.-Geschw.“. Ein Zahlenwert zum Testen der getroffenen Einstellungen steht in der unteren Displayzeile zur Verfügung. Die Auswahl ist mit „ \leftarrow “ abzuschließen.

Nach einem jetzt zu empfehlenden Test, bei dem jede Betriebsart angewählt und auf einwandfreie Funktion geprüft wird, kann das Gehäuse endgültig geschlossen werden. Dazu ist die EL 9000 von der belasteten Spannungsquelle und vom Netz zu trennen und das rechte Seitenteil abzuschrauben. Nun kann der Deckel von rechts eingeschoben werden (Lüftungsschlitze hinten, Schutzleiteranschluss links). Die noch freie Anschlussleitung des Schutzleiters ist auf das Gegenstück am Deckel zu stecken. Abschließend montiert man dann wieder das Seitenteil, schiebt die Alubleche in die Seitenteile ein und schraubt vorn und hinten die letzten Blenden an.

Hinweise zum Einsatz der EL 9000

- Die Massen des Laststromkreises, des

Messstromkreises („U-I“-Buchse) sowie des Modulationseingangs („Mod.“) sind miteinander verbunden. Nur der Schnittstellenanschluss ist galvanisch getrennt. Entsprechend ist beim Anschließen von externen Messgeräten, Modulationsquellen und des Prüflings darauf zu achten, dass keine Kurzschlüsse bzw. Masse-schleifen entstehen.

- Die im Gerät entstehende Abwärme muss aus dem Gehäuse abgeführt werden. Deshalb dürfen weder die Zu- noch die Abluftöffnungen abgedeckt bzw. zugestellt werden.
- Die Verbindungsleitung zwischen Last und Prüfling muss, wie bereits erwähnt, so niederinduktiv wie möglich ausgeführt werden, um Schwingneigungen zu vermeiden. Dies ist besonders bei den Betriebsarten mit nicht konstanter Belastung wichtig. Es empfiehlt sich, stets den zeitlichen Verlauf des Stroms mit einem Oszilloskop zu kontrollieren.
- Während die EL 9000 weitestgehend vor Überlastung geschützt ist, verträgt nicht jede Gleichstromquelle die möglichen Belastungsarten. Besonders im Pulsbetrieb kann es bei hohen Stromanstiegsgeschwindigkeiten und großen Lastströmen zu Beschädigungen des Prüflings kommen. Dies ist vor dem Test abzuklären und ggf. ein entsprechend kleinerer Laststrom, eine kleinere Stromanstiegsgeschwindigkeit oder eine niedrigere Pulsfrequenz zu wählen.
- Prüfaufbauten sollten aufgrund der von ihnen ausgehenden potentiellen Brandgefahr nicht unbeaufsichtigt betrieben werden.

Übersichtliche Fernsteuerung

Bereits im vorderen Teil dieser Anleitung haben wir die Möglichkeit erwähnt, den Laststrom mit einem analogen Signal über die „Mod.“-Buchse fernzusteuern.

Für häufiger verwendete, zahlreiche verschiedene Lastwerte umfassende Prüfabläufe ist diese recht einfache Art der Fernsteuerung jedoch nur bedingt geeignet. Für die teil- bzw. vollautomatisierte Steuerung, Überwachung und Dokumentation solcher Tests bietet sich stattdessen die Verwendung eines PCs an. Eine serielle Schnittstelle ist in fast jedem Rechner vorhanden. Das bewusst einfach gehaltene Übertragungsprotokoll stellt kaum Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Systems und lässt eigenen Applikationen genug Freiraum. So kann problemlos auch ein älterer PC zum Einsatz kommen, der anderen Anforderungen nicht mehr genügt und der versierte DOS-Programmierer hat schnell eine auf die individuellen Bedürfnisse zugeschnittene Software geschrieben. Diese Software kann dann z. B. auch

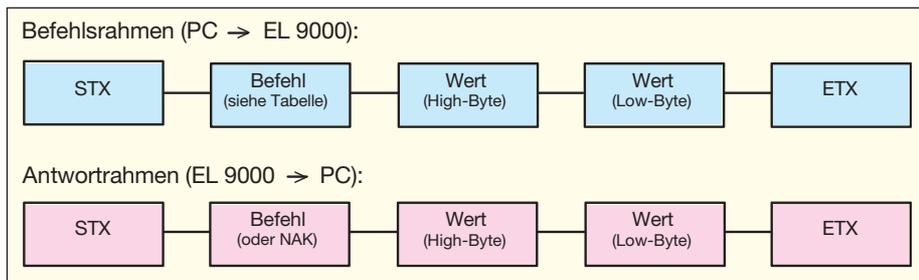


Bild 14: Befehls- und Antwortrahmen für die Kommunikation zwischen EL 9000 und PC

den Prüfling in verschiedenen zu testende Betriebszustände schalten und die zugehörigen Messwerte in einem Protokoll festhalten.

Das Protokoll der Schnittstelle

Die Kommunikation zwischen EL 9000 und PC ist sehr einfach aufgebaut: Vom PC wird ein Befehl zur EL 9000 gesendet, die EL 9000 führt diesen aus und sendet eine entsprechende Antwort zurück. In der umgekehrten Richtung erfolgt keine Kommunikation, d. h. die EL 9000 sendet nicht selbständig an den PC.

Den Aufbau der aus je 5 Byte bestehenden Rahmen zeigt Abbildung 14. Der verwendete Übertragungsmodus ist 8 Datenbits + 1 Paritätsbit mit gerader Parität, die Baudraten sind jeweils identisch einzustellen. Bei der EL 9000 findet sich der entsprechende Menüpunkt unter „Sonderfunktion“.

Welchen Werten die entsprechenden Befehle bzw. Zeichen zugeordnet sind, ist in Tabelle 1 dargestellt. Aus Sicherheitsgründen prüft die EL 9000, ob der empfangene Befehl für die aktive Betriebsart zulässig ist. Ist dies nicht der Fall, so wird ein NAK (Negativ Acknowledge, negative Rückmeldung) zurückgesendet. Der Fehlerwert gibt an, ob der Befehl unzulässig war (Fehlerwert = 14) oder der Parameter z. B. beim Wählen der Betriebsart außerhalb des Bereiches lag (Fehlerwert = 13). Beim Setzen der Sollwerte erfolgt ebenfalls eine Prüfung auf Einhalten der Grenzwerte. Ist der empfangene Wert kleiner als der Minimalwert, so wird der Sollwert auf den Minimalwert gesetzt, ist er größer als der Maximalwert, so bleibt der Sollwert unverändert. Der zurückgesendete Wert entspricht hierbei immer dem gesetzten Sollwert.

Eine Empfangskontrolle ist über den Indikatorpunkt rechts oben im Display realisiert, bei jedem korrekt empfangenen Rahmen wandelt sich dieser in ein kleines „x“. Fällt der Empfang mehr als 10 Sekunden aus, so schaltet die Endstufe automatisch in den Stand-by-Zustand. Hierdurch wird verhindert, dass die Last bei einem Absturz des PCs oder wenn das Schnittstellenkabel abgezogen wird, unkontrolliert mit dem letzten Lastwert weiterläuft.

Eine detailliertere Beschreibung des Übertragungsprotokolls mit genauen Angaben zur Formatierung der Zahlenwerte etc. ist auf der Diskette enthalten, die der EL 9000 beiliegt. Sie würde den Rahmen dieses Artikels sprengen.

Steuersoftware

Die zum Lieferumfang der EL 9000 gehörende Steuersoftware mit einer modern gestylten Bedienoberfläche ermöglicht es, alle Bedien- und Anzeigenfunktionen von einem PC aus auszuführen. Der große Bildschirm erlaubt es dabei, dass alle zu einer Betriebsart gehörenden Soll- und Istwerte gleichzeitig und übersichtlich angezeigt werden. Auch das Auswählen der Betriebsart und das Einstellen der Parameter ist mit

Maus und Tastatur einfacher und schneller zu bewerkstelligen als dies das Menü im LC-Display erlaubt.

Abbildung 15 zeigt beispielhaft die übersichtliche Aufteilung der Bedienoberfläche. Die Auswahl der Betriebsart erfolgt direkt über die Schaltflächen (Buttons) in der oberen Leiste. Der farbige Indikator in den Buttons zeigt an, welche Betriebsart momentan aktiv ist. In der oberen Leiste befindet sich außerdem eine rote Anzeige für Fehlerzustände und der Stand-by-Schalter, der bei zugeschalteter Last mit einem grünen Indikator versehen ist. Im Fehlerfall und nach fehlerbedingter Abschaltung erfolgt zusätzlich auch eine Klartext-Ursachenmeldung neben dem Statusindikator unten links.

Das Ändern der Sollwerte ist besonders einfach möglich. Aus den zur Verfügung stehenden, angezeigten Sollwerten wählt man den gewünschten aus und klickt ihn mit der Maus an. Daraufhin öffnet sich ein Editierfenster, wie in Abbildung 16 gezeigt. Der Zahlenwert kann nun stufenweise durch Anklicken der Up-/Down-Buttons verändert oder direkt über die Tastatur als Zahlenwert eingegeben werden. In der Kopfzeile des Fensters ist der einstellbare Bereich angegeben.

Bei Parametern mit festgelegter Abstu-

Tabelle 1: Befehls- und Wertezuordnung bei der Kommunikation zwischen EL 9000 und PC				
Bez.	Dez.	Hex.	Bedeutung	Antwort auf Befehl
STX	2	2	Rahmen-Startzeichen	-
ETX	3	3	Rahmen-Endzeichen	-
NAK	21	15	Empfangsbestätigung nicht OK	-
AS0	40	28	Abfrage Sollwert 0	AS0 Sollwert 1
AS1	41	29	Abfrage Sollwert 1	AS1 Sollwert 1
AS2	42	2A	Abfrage Sollwert 2	AS2 Sollwert 2
AS3	43	2B	Abfrage Sollwert 3	AS3 Sollwert 3
AS4	44	2C	Abfrage Sollwert 4	AS4 Sollwert 4
AS5	45	2D	Abfrage Sollwert 5	AS5 Sollwert 5
AM0	50	32	Abfrage Messwert 0 (Ladung mAh)	AM0 Messwert 0
AM1	51	33	Abfrage Messwert 1 (Ladung Ah)	AM1 Messwert 1
AM2	52	34	Abfrage Messwert 2 (Mittelwert U)	AM2 Messwert 2
AM3	53	35	Abfrage Messwert 3 (Mittelwert I)	AM3 Messwert 3
AM4	54	36	Abfrage Messwert 4 (Low-Wert U)	AM4 Messwert 4
AM5	55	37	Abfrage Messwert 5 (High-Wert U)	AM5 Messwert 5
AM6	56	38	Abfrage Messwert 6 (Low-Wert I)	AM6 Messwert 6
AM7	57	39	Abfrage Messwert 7 (High-Wert I)	AM7 Messwert 7
SS0	60	3C	Sollwert 0 setzen	SS0 Sollwert 0
SS1	61	3D	Sollwert 1 setzen	SS1 Sollwert 1
SS2	62	3E	Sollwert 2 setzen	SS2 Sollwert 2
SS3	63	3F	Sollwert 3 setzen	SS3 Sollwert 3
SS4	64	40	Sollwert 4 setzen	SS4 Sollwert 4
SS5	65	41	Sollwert 5 setzen	SS5 Sollwert 5
LA0	70	46	Lastabwurf (Stand-by)	LA0 Status
LA1	71	47	Last zuschalten	LA1 Status
AST	72	48	Abfrage Status	AST Status
WBA	73	49	Betriebsart wechseln	WBA Betriebsart
ABA	74	4A	Betriebsart abfragen	ABA Betriebsart

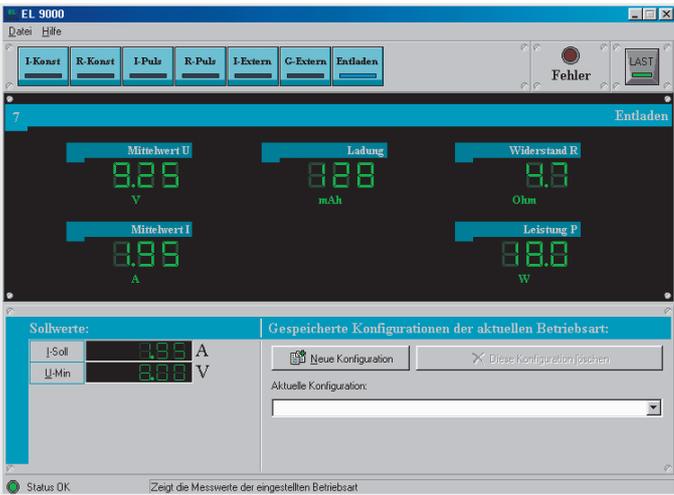
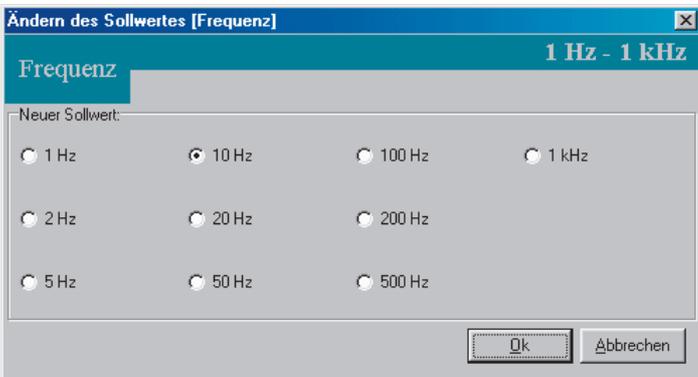
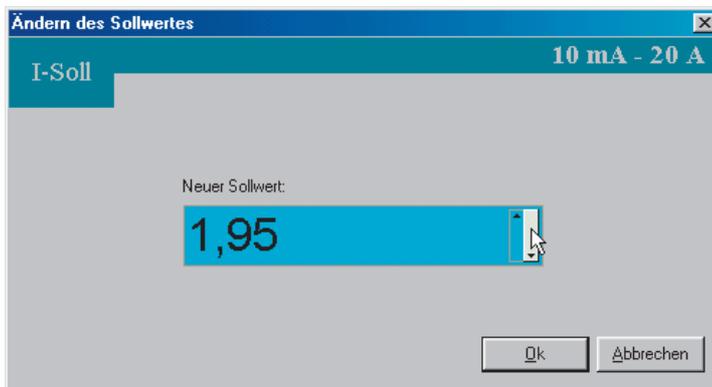


Bild 16: Die Einstellung frei programmierbarer Parameter



fung sieht das Editierfenster dagegen wie am Beispiel der Pulsfrequenz in Abbildung 17 dargestellt aus.

Ein besonders nützliches Ausstattungsmerkmal stellt das Feld „Gespeicherte Konfigurationen der aktuellen Betriebsart“ dar. Hier können alle getroffenen Einstellungen abgespeichert werden und sind damit direkt und schnell wiederherstellbar. Um die aktiven Einstellungen zu sichern, klickt man auf den Button „Neue Konfiguration“. Hierauf öffnet sich das Fenster „Hinzufügen einer Konfiguration“, in dem dann ein bis zu 60 Zeichen umfassender, selbsterklärender Name eingegeben werden kann. Nach dem Bestätigen mit „OK“ steht die neu erstellte Konfiguration innerhalb der Pull-Down-Liste zur Verfügung. Nicht

mehr benötigte Konfigurationen lassen sich über den Button „Diese Konfiguration löschen“ aus der Liste entfernen.

Installation und Inbetriebnahme der Software

Zur Installation der EL 9000-Steuer- software ist auf der Diskette die Datei „EL9000_Setup.exe“ auszuführen. Wie üblich, kann der Zielordner nach eigenen Wünschen verändert werden.

Standardmäßig legt das Programm den Ordner „Programme\ELV\EL9000“ an, in welchem der Aufruf für die Steuer- software und die Datei mit der Beschreibung der Schnittstellenbefehle platziert werden.

Bild 15: Die Bedienoberfläche macht den Überblick über alle eingestellten Parameter einfach.



Bild 18: Das Konfigurationsmenü zum Anschluss der EL 9000 an die serielle Schnittstelle des PCs. Auch der ELV-RS-232-Multiplexer ist hier einbindbar.

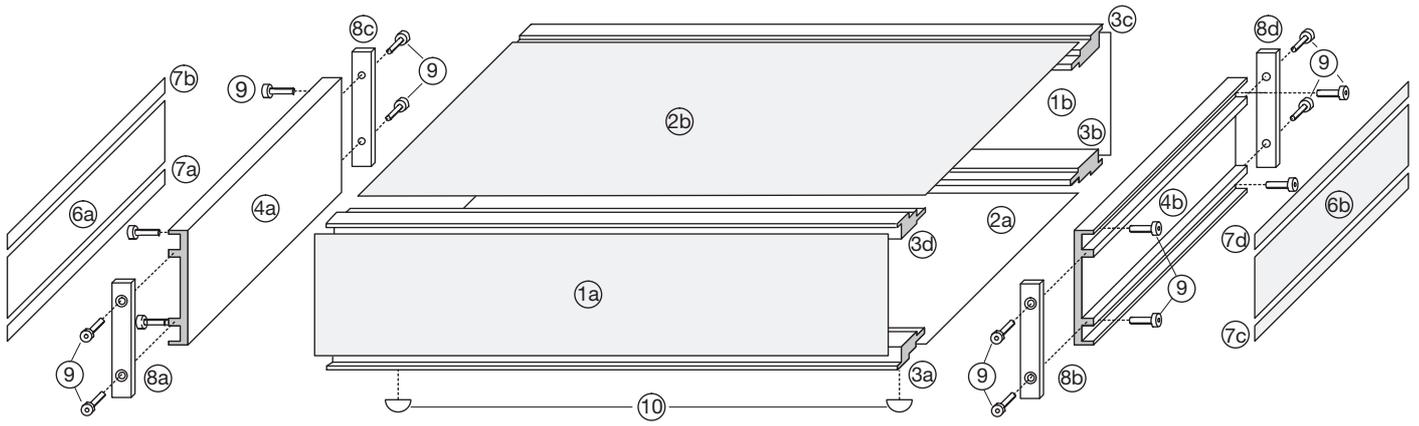
Vor dem Starten der Software ist zunächst die Sub-D-Buchse auf der Rückseite der EL 9000 über ein handelsübliches Seriell-Kabel mit einem freien Schnittstellenanschluss des PCs zu verbinden. Sind diese bereits alle mit anderen Geräten belegt, so ist auch das Zwischenschalten des ELV-RS-232-Multiplexers (Best.Nr.: 15-346-69) problemlos möglich, der von der Steuersoftware unterstützt wird.

Nach dem Einschalten ist nun ggf. noch im Menü „Sonderfunktion“ die Baudrate der Schnittstelle auf 9600 Baud einzustellen. Nachdem die EL 9000 durch das Wählen der Betriebsart „Remote“ in Bereitschaft versetzt ist, kann man die Steuersoftware starten. Stimmen die Einstellungen der Schnittstelle nicht überein, so öffnet sich automatisch das in Abbildung 18 gezeigte Fenster, in dem dann die erforderlichen Änderungen durchführbar sind. Ist der ELV-RS-232-Multiplexer im Einsatz, ist dessen von der EL 9000 belegter Port und eventuell die Kaskadierung, wie in dessen Bedienungsanleitung beschrieben, einzustellen.

Dann kann die beschriebene Einstellung der Parameter und der Start der Messungen erfolgen.

Systemanforderungen für die Steuersoftware:

- IBM-kompatibler PC ab 486 DX2/66
- Betriebssystem ab MS Windows 95
- Maus
- VGA-Bildschirmauflösung mindestens 800 x 600 Pixel
- 1 MB freier Festplattenspeicher
- Eine freie serielle Schnittstelle



Explosionszeichnung des Metallgehäuses

Legende:

- 1a Frontplatte
- 1b Rückplatte
- 2a Bodenplatte
- 2b Deckelplatte
- 3 Modulschienen
- 4 Seitenteile
- 6 breite Seitenbleche
- 7 schmale Seitenbleche
- 8 Alublenden
- 9 Gehäuseschrauben

