

Schaltnetzteil SPS 7000

0-25 V / 0-10 A

Ein Schaltnetzteil der Superlative stellen wir Ihnen in diesem Artikel vor. Mit einer Dauer-Ausgangsleistung von 250 Watt (!) werden auch Anwendungsfälle mit hohem Strombedarf abgedeckt.

Allgemeines

Dieses neue, von ELV konzipierte Schaltnetzteil besitzt eine außergewöhnlich hohe Dauer-Ausgangsleistung und präsentiert sich dennoch raumsparend im anspruchsvollen Gerätedesign der ELV-Serie 7000.

Es sind Spannungen zwischen 0 und 25 V bei Strömen zwischen 0 und 10 A entnehmbar, d. h. also maximal 25 V/10 A. Die Souveränität der Leistungsbereitstellung zeigt sich beim SPS 7000 u. a. dadurch, daß das Gerät selbst bei Vollast im ELV journal 2/91

Dauerbetrieb nur gerade eben warm wird. Neben einem ausgezeichneten Wirkungsgrad sorgt hierfür ein eingebauter, sehr geräuscharmer Lüfter, dem zudem eine elektronische, temperaturabhängige Drehzahlanpassung zugeordnet ist.

Das Geheimnis der vorstehend beschriebenen herausragenden Merkmale liegt im Konzept dieses Gerätes, das von herkömmlichen Netzteilen abweicht. Beim ELV-Schaltnetzteil SPS 7000 handelt es sich um ein primär-getaktetes Schaltnetzteil, wodurch sich gegenüber herkömmlichen Längsregler-Netzteilen ein besonders ho-

her Wirkungsgrad ergibt, und dies bei einer kompakten Baugröße, die bei gegebener Ausgangsleistung um den Faktor 2-5 günstiger aussieht als bei Längsregler-Netzteilen.

Insbesondere bei hohen Ausgangsströmen in Verbindung mit Abgabespannungen an der unteren Einstellgrenze setzen konventionelle Netzteile nahezu die gesamte spezifizierte Nennleistung intern als Wärme frei, während sich primär-getaktete Netzteile diesen Bedingungen in optimierter Weise anpassen.

Darüber hinaus kommt das SPS 7000

durch die Primärtaktung ohne voluminöse Trafos aus, da bei den hohen Schaltfrequenzen andere Werkstoffe eingesetzt werden (Ferrite). Hierdurch sind erheblich größere Übertragungsraten möglich. Dennoch ist auch das SPS 7000 selbstverständlich absolut zuverlässig von der 230V-Netzwechselspannung galvanisch getrennt.

Die hochkomplexe Technik und die großen geschalteten Leistungen entsprechender Netzteile führen jedoch dazu, daß sich Störanteile und Restwelligkeit der Ausgangsspannung nicht ganz auf die Daten von Längsregler-Netzteilen minimieren lassen. Dennoch wartet das SPS 7000 auch hier mit ausgesprochen „guten Karten“ auf. Eine Restwelligkeit der Ausgangsspannung bei Vollast von 20 mV_{eff} stellt für Schaltnetzteile mit einem so extrem großen Einstellbereich wie vorliegend einen erlesenen Wert dar, wenn auch konventionelle Längsregler-Netzteile hier im allgemeinen besser sind. Für die meisten gebräuchlichen Anwendungen ist die Qualität der Ausgangsspannung des SPS 7000 aber vollkommen einwandfrei, und nur z. B. besonders empfindliche Vorverstärker, die ohnehin nur wenig Strom benötigen, wären damit nicht betreibbar.

Am SPS 7000 sind Spannung und Strom jeweils über Grob- und zusätzliche Feineinstellpotis wählbar. Die Spannung wird mit einer Auflösung von 0,1 V und der Strom mit einer Auflösung von 0,01 A (10 mA) auf zwei getrennten, dreistelligen LED-Displays angezeigt.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang noch, daß aufgrund der Schaltungstechnik und des damit verbundenen Verzichts auf einen großen und schweren

Netztransformator das gesamte Gerät mit einem Gewicht von ca. 2000 g eher leicht zu nennen ist - bezogen auf die Ausgangsleistung von 250 Watt sicherlich besonders verblüffend.

Bevor wir uns der Schaltungsbeschreibung zuwenden, soll an dieser Stelle kurz ein grundsätzliches Wort zum späteren Aufbau gesagt werden. Wie Sie als Leser zu Recht von ELV erwarten, ist auch die vorliegende Entwicklung des SPS 7000 bis zur Serienreife ausgefeilt, unter Berücksichtigung der Aspekte auch eines Eigenbaus. 3 übersichtliche einseitige Leiterplatten tragen die gesamte Elektronik, und der Nachbau ist trotz der zahlreichen Induktivitäten und Übertrager sogar so einfach, daß jeder, der etwas Erfahrung im Aufbau elektronischer Geräte besitzt, das Gerät problemlos erstellen kann. Doch Halt: Bereits an dieser Stelle müssen wir eine klare Grenze ziehen, da uns Ihre Sicherheit und Ihre Gesundheit besonders am Herzen liegen. Trotz des vergleichsweise einfachen Nachbaus darf das SPS 7000 ausschließlich von Profis in Betrieb genommen werden, die aufgrund ihrer Ausbildung und ihrer Kenntnisse dazu befugt sind und die mit den einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen vertraut sind.

Als Ausweidlösung für diejenigen unter den ELV-Lesern, die auf das Vergnügen des Nachbaus dieses Gerätes nicht verzichten möchten, jedoch aufgrund des vorstehend Gesagten dazu nicht befugt sind, bietet sich eine durchaus akzeptable Alternative an:

Sie bauen das Gerät auf, ohne es jedoch jemals in Betrieb zu nehmen, d. h. an die Netzwechselspannung anzuschließen. Nach

abgeschlossenem Aufbau senden Sie das Gerät mit entsprechendem Hinweis an den ELV-Reparaturservice ein, der eine Überprüfung und die komplette Inbetriebnahme vornimmt. Sie erhalten dann für Sie vollkommen risikolos das von Ihnen aufgebaute Fertiggerät in funktionstüchtigem Zustand zurück. Die Durchlaufzeit in unserem Service beträgt hierbei weniger als eine Woche.

Zur Schaltung

Zur besseren Übersichtlichkeit haben wir der eigentlichen Schaltungsbeschreibung die Erläuterung der prinzipiellen Funktion des SPS 7000 anhand eines Blockschaltbildes vorangestellt. Im Anschluß daran folgt die Besprechung der in 6 Segmente aufgeteilten Detailschaltbilder.

Bild 1: Blockschaltbild

Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild des ELV-Schaltnetzteils SPS 7000. Links im Bild wird die Netzwechselspannung eingespeist, auf einen Brückengleichrichter gegeben und anschließend mit entsprechend spannungsfesten Elkos gepuffert. Die so entstandene Gleichspannung mit einer Höhe von über 300 V (Achtung: extreme Lebensgefahr!) wird über die hochspannungsfesten Leistungs-Power-Mosfets T 101 und T 102 wechselweise auf die Primärwicklung des Übertragers TR 102 gegeben. C 107 und C 109 bilden einen kapazitiven Mittelpunkt des zweiten Anschlusses dieser Wicklung.

Durch die hohe Schaltfrequenz von rund 25 kHz kann die Baugröße dieses Leistungsübertragers ganz erheblich geringer aus-

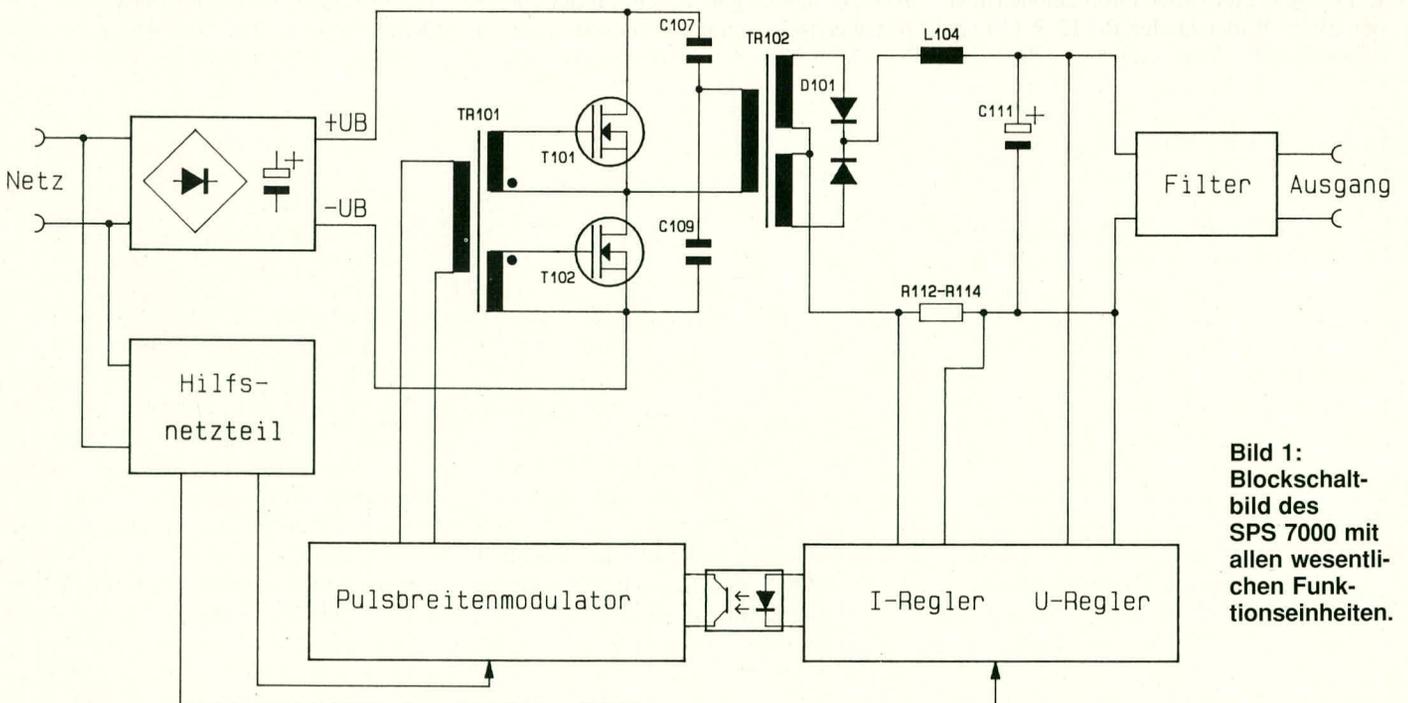


Bild 1:
Blockschalt-
bild des
SPS 7000 mit
allen wesent-
lichen Funk-
tionseinheiten.

fallen als die eines 50 Hz-Netztransformators mit vergleichbarem Energiedurchsatz. Auf der Sekundärseite von TR 102 erfolgt mit der Doppeldiode D 101 eine Gleichrichtung. Über die Speicherdrossel L 104 gelangt diese Spannung dann auf den Ladeelko C 111. Hier ist die Spannung bereits galvanisch zuverlässig von der lebensgefährlichen Netzwechselspannung getrennt und auf den gewünschten Wert heruntertransformiert. Die genaue Spannungshöhe hängt von der Ansteuerung von T 101 und T 102 ab. Bevor die Spannung auf die Ausgangsbuchsen (rechts in der Abbildung) gelangt, wird sie über eine weitere Filterstufe zusätzlich gesiebt und geglättet.

Wie aber erfolgt nun die Einstellung und Regelung der Ausgangsspannung in den vorgegebenen Grenzen von 0-25 V/0-10 A? Hierzu ist eine komplexe Regel- und Steuerelektronik erforderlich, die ebenfalls eine galvanische Trennung als Schnittstelle zwischen Primär- und Sekundärkreis besitzt.

Die Ansteuerung der Leistungs-Schalttransistoren T 101 und T 102 erfolgt über den Steuer-Transformator TR 101. Dieser Ferrit-Übertrager wird seinerseits von einem Pulsbreitenmodulator angesteuert, der seine Informationen von der eigentlichen Regelelektronik erhält. Zu diesem Schaltungsteil erfolgt die Ankopplung über einen entsprechend spannungsfesten Spezial-Optokoppler, der für die galvanische Trennung von Primär- und Sekundärsteuerkreis verantwortlich ist.

Die Regelelektronik selbst, bestehend aus I-Regler und U-Regler, ist am Sekundär-, d. h. Ausgangsspannungskreis angekoppelt. Der I-Regler greift seine Informationen über den Shunt-Widerständen R 112-R 114 ab, während der U-Regler direkt vor die letzte Filterstufe geschaltet ist. Die Funktionsweise dieser Einheit ähnelt im Prinzip derjenigen von konventionellen Reglern, d. h. mit Einstellpotis wird der Sollwert vorgegeben, der anschließend von der Elektronik mit den tatsächlichen Werten verglichen wird. Wesentliche Abweichungen bestehen dagegen in der Weiterverarbeitung. Im vorliegenden Fall werden die ausgewerteten Signale über den Optokoppler zum Pulsbreitenmodulator geschickt, der in der bereits angesprochenen Weise die Schalttransistoren bedient.

Pulsbreitenmodulator und eigentliche Regelelektronik benötigen separate Betriebsspannungen, die ihrerseits wiederum absolut zuverlässig galvanisch voneinander getrennt sein müssen, da der Pulsbreitenmodulator im Primärkreis und die Regelelektronik für I- und U-Regler im Sekundärkreis angeordnet ist. Hierzu dient ein separates kleines Hilfsnetzteil, das die entsprechenden Versorgungsspannungen

bereitstellt und die galvanische Trennung sicherstellt.

Große Sorgfalt war bei der Konzeption, Auslegung und auch späteren Ausführung dieses Schaltnetzteils anzuwenden, da die zuverlässige galvanische Trennung von entscheidender Bedeutung ist. An jeder Stelle muß diese Trennung durchgängig sichergestellt sein, d. h. sowohl der Leistungs-Ferritübertrager TR 102 sowie der Optokoppler als auch das Hilfsnetzteil müssen entsprechende Spannungsfestigkeit besitzen und die galvanische Trennung zuverlässig sicherstellen. Natürlich muß auch die übrige Ausführung auf die Besonderheiten von Schaltnetzteilen ausgelegt sein.

Anhand vorstehender Beschreibung ist das Prinzip des SPS 7000 gut ersichtlich. Bis wir jedoch ein funktionstüchtiges Gerät haben, ist ein nicht unerheblicher Schaltungsaufwand erforderlich, der in der nachfolgenden, detaillierten Beschreibung dargestellt wird.

Praktische Schaltungsauslegung

Die Gesamtschaltung des SPS 7000 ist auf insgesamt 6 Teilschaltbildern dargestellt, mit folgenden Funktionen:

Bild 2: Hauptschaltbild mit den Leistungsschaltstufen,

Bild 3: Pulsbreitenmodulator zur Ansteuerung der Leistungsschaltstufen,

Bild 4: Regeleinheit mit I- und U-Regler,

Bild 5: Lüftersteuerung,

Bild 6: Digitale Spannungsanzeige,

Bild 7: Digitale Stromanzeige.

Die grau unterlegten Schaltungsteile gehören zur primärseitigen Schaltung des SPS 7000, d. h. sind galvanisch mit der 230V-Netzwechselspannung verbunden. Die in Bild 3 gezeigte Steuerschaltung zur Pulsbreitenmodulation ist am Lötverbinder ST 101 angeschlossen, während die Regelschaltung mit dem Strom- und Spannungsregler am Lötverbinder ST 102 liegt. Dieser Schaltungsteil ist der Sekundärseite zugeordnet.

Bild 2: Hauptschaltbild

Die Netzspannung gelangt über ein dreipoliges Netzkabel an die Platinenanschlußpunkte ST 103 - ST 105. Von dort geht es weiter über die Schmelzsicherung SI 101, den zweipoligen Netzschalter S 101 sowie die Drossel L 101. Letztere stellt in Verbindung mit dem Kondensator C 101 sowie den beiden Y-Kondensatoren C 102 und C 103 die erste Entstörstufe dar. Mit Hilfe des Brückengleichrichters GL 101 wird die Netzwechselspannung gleichgerichtet und gelangt über den Heißleiter RV 101 direkt auf den ersten Ladeelko C 104. Der Heißleiter dient hierbei zur Einschaltstrombegrenzung, da C 104 und C 105 in Verbin-

dung mit der direkt aufgeschalteten, gleichgerichteten Netzwechselspannung im Einschaltmoment einen extremen Stromfluß herbeiführen können, der nun durch RV 101 auf ein vertretbares Maß begrenzt wird.

Der parallel zum Elko C 104 geschaltete Varistor kappt gefährliche Spannungsspitzen, die sich auf der Versorgungsspannung befinden können. Diese Maßnahme ist zum Schutz der Leistungsschalttransistoren T 101 und T 102 sehr wichtig. Mit den Induktivitäten L 102 und L 103 wird in Verbindung mit dem zweiten Ladeelko C 105 eine weitere Siebung und Glättung der Betriebsspannung erreicht.

Die so gewonnene Gleichspannung gelangt nun direkt auf den sogenannten Halbbrückenflußwandler, aufgebaut mit den beiden Ferrit-Übertragern TR 101, TR 102, den beiden Leistungs-Schalt-Mosfets T 101, T 102 mit Zusatzbeschaltung sowie der Doppeldiode D 101, der Speicherdrossel L 104 und dem Ladeelko C 111.

T 101 und T 102 werden gegenphasig angesteuert und schalten abwechselnd den Anschluß 1 des Ferrit-Ausgangstrafos TR 102 auf +Ub und -Ub. Der andere Primäranschluß (Pin 4) dieses Übertragers liegt über den Stromwandler TR 103 auf einer Mittelspannung, die durch den kapazitiven Spannungsteiler C 107, C 109 gebildet wird.

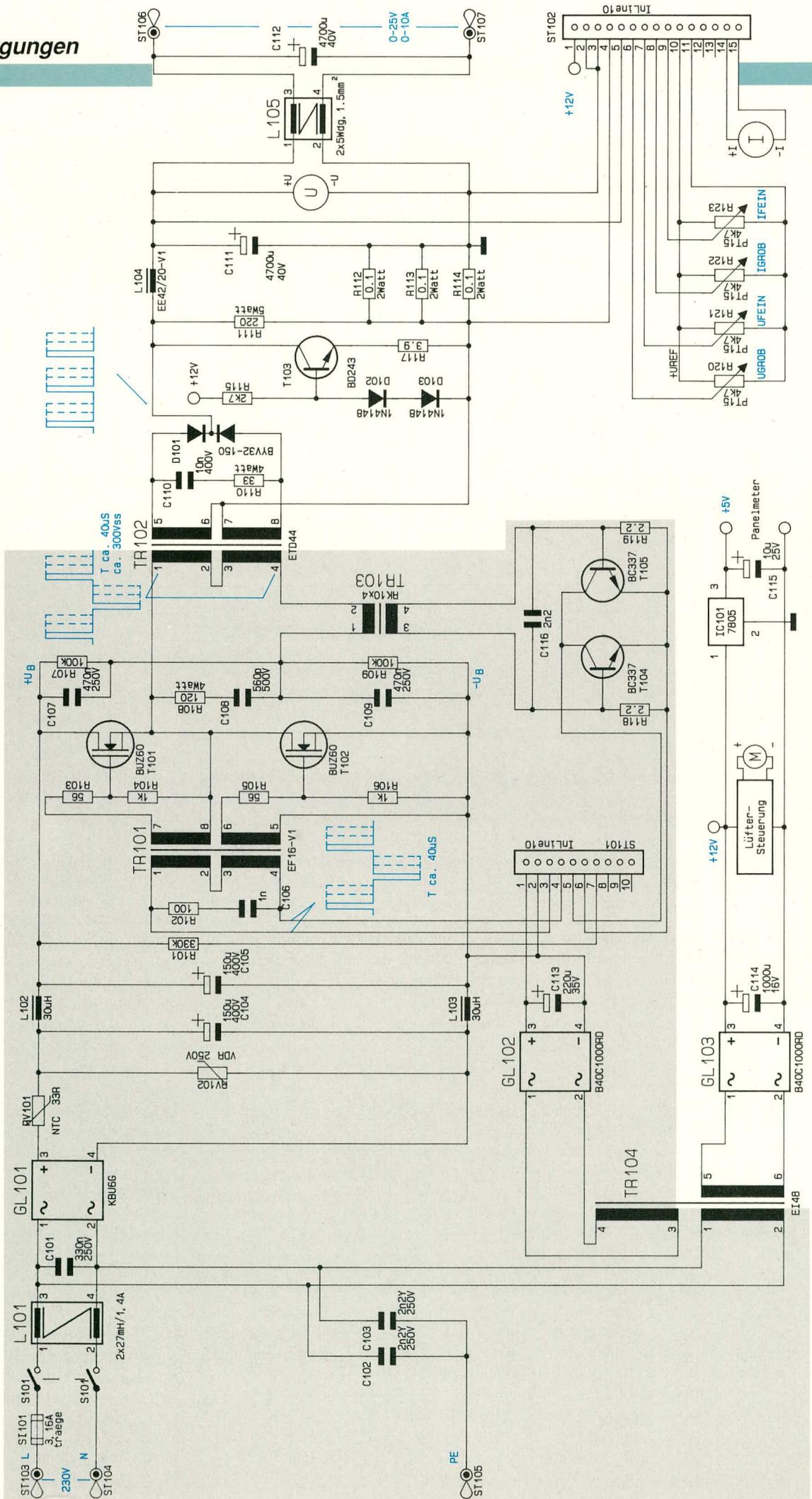
Das erforderliche wechselseitige Durchschalten von T 101 und T 102 wird durch die phasengedrehte Ansteuerung vom Übertrager TR 101 sichergestellt. Wie dies im einzelnen geschieht, erläutern wir im Zusammenhang mit Abbildung 3.

Die sekundärseitige Wechselspannung des Ausgangstransformators TR 102 wird durch eine sogenannte Mittelpunktschaltung gleichgerichtet, unter Verwendung der Doppeldiode D 101. Die so gewonnene Spannung gelangt über die Speicherdrossel L 104 und den im Massezweig liegenden Shuntwiderstand (Parallelschaltung von R 112 - R 114) auf den ersten Ausgangsladeelko C 111. Es folgt die symmetrische Doppeldrossel L 105 und der zweite Ladeelko C 112. Diese kumulierten Entstörmaßnahmen tragen in ihrer Gesamtheit wesentlich zur hohen Ausgangsspannungsqualität des SPS 7000 bei.

Wird die Spannung an den Ausgangsklemmen von einem hohen Wert auf einen kleineren Wert zurückgestellt, so müssen die relativ großen Ladeelkos C 111 und C 112 möglichst schnell entladen werden, auch wenn keine wesentliche Ausgangslast angeschlossen ist. Dies geschieht zum einen durch den Widerstand R 111 und zum anderen durch die mit T 103, D 102, D 103 sowie R 115 und R 117 aufgebaute Stromsenke.

An den Lötstützpunkten ST 106 und ST 107 steht die Ausgangsspannung des SPS 7000 zur Verfügung.

Bild 2:
Hauptschaltbild
des SPS 7000.
Weitere Sub-
Schaltungen
werden an
ST 101 und
ST 102 an-
geschlossen.



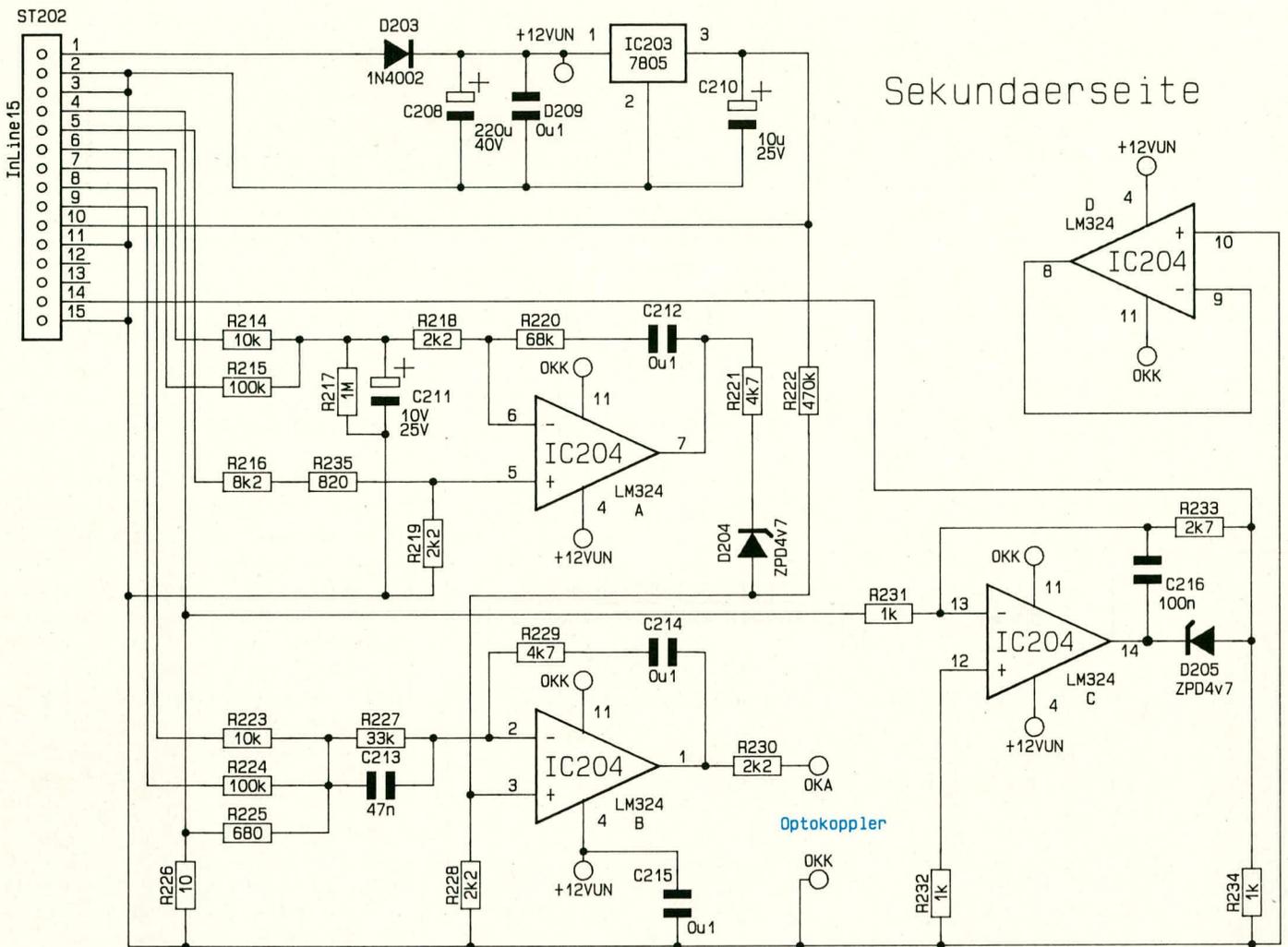


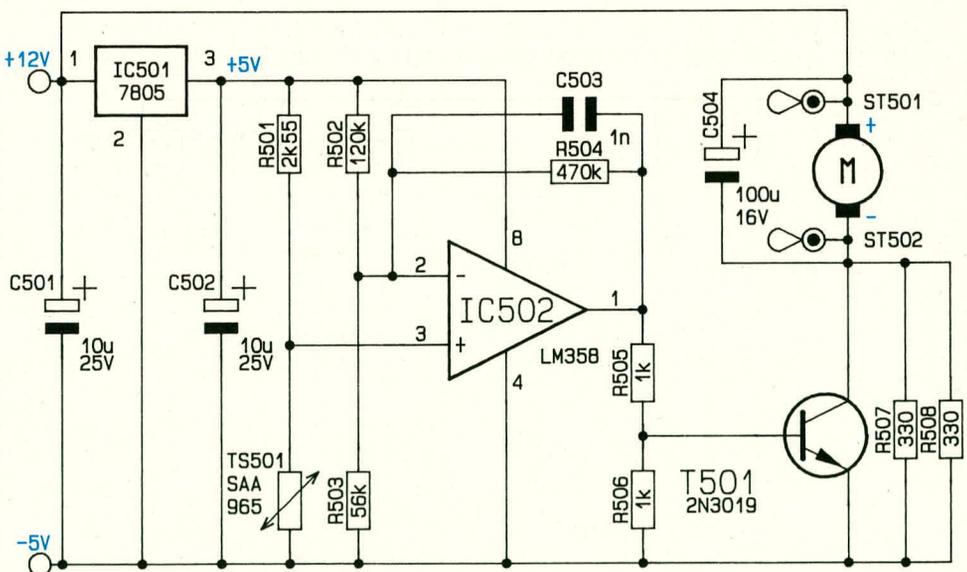
Bild 4 (oben):
Strom- und Spannungsreglerschaltung
des SPS 7000, angeschlossen an
ST 102 des Hauptschaltbildes.

Bild 5 (rechts):
Lüftersteuerungselektronik zur stets
optimal angepaßten Geräte Kühlung.
Hierdurch ist der Betrieb des
SPS 7000 jederzeit bei minimalen
Betriebsgeräuschen möglich.

R 123 (Bild 2) zur Grob- bzw. Fein-
einstellung des zulässigen Ausgangsstromes.

Der Istwert, d. h. der dem Ausgangs-
strom proportionale Spannungsabfall an den
Shuntwiderständen R 112 - R 114, gelangt
über ST 202, Pin 4 und R 225 zum gemein-
samen Anschlußpunkt von R 223 - R 225.
Die Spannung dieses Summenpunktes wird
über R 227 auf den invertierenden (-)
Eingang (Pin 2) des Stromreglers IC 204 B
geführt. Dessen Ausgang (Pin 1) ist über
den Widerstand R 230 mit dem Eingang
des Optokopplers IC 201 (Pin 1) verbun-
den, wodurch der Regelkreis des SPS 7000
nunmehr geschlossen ist.

R 220/C 212 sowie R 229/C 214 legen
Regelcharakteristik und Verstärkungsfak-
toren der beiden Regler-OPs fest und die-



nen zur allgemeinen Stabilisierung des
Regelkreises.

Die im SPS 7000 eingesetzte Digitalan-
zeige für den Ausgangsstrom benötigt eine
Eingangsspannung von 1 V bei einem
Ausgangsstrom von 10 A. An dem relativ
niederohmigen Shuntwiderstand (33 mΩ)
ergibt sich selbst bei maximalem Ausgangs-

strom nur ein Spannungsabfall von 0,33 V.
Es ist deshalb eine Verstärkung erforder-
lich, vorgenommen mit IC 204 C und
Zusatzbeschaltung. Der vierte OP, IC 204 D,
wird nicht benötigt und ist somit rückge-
koppelt sowie mit seinen nicht invertieren-
den Eingang auf die Schaltungsmasse ge-
legt.

Bild 5: Lüftersteuerung

Obwohl das Schaltnetzteil SPS 7000 über einen hervorragenden Wirkungsgrad von ca. 85% verfügt, wird zur Abfuhr der Restwärme ein zusätzlicher Lüfter eingesetzt. Dies wurde notwendig, weil aufgrund der hohen Spannungen an den Wandlertransistoren T 101 und T 102 der zugehörige Kühlkörper aus Sicherheitsgründen im Gehäuseinneren angeordnet werden mußte. In Verbindung mit der hohen Ausgangs-

leistung von 250 Watt reicht aber die normale Konvektion im Gehäuseinneren und die Wärmeabgabe durch die Gehäuseschlitze und -wände nicht in jedem Falle aus, die Verlustwärme (bei vertretbarer Geräte-Innentemperatur) abzuführen.

Wird dem SPS 7000 nur eine geringe Leistung abverlangt, so ist es aber nicht erforderlich, den Lüfter mit voller Leistung zu betreiben. Deshalb wurde eine entsprechende Lüftersteuerung eingesetzt, die den Lüfter bei geringer Netzteilbelastung lang-

sam laufen läßt, entsprechend einer Geräuschkentwicklung „im Flüsterton“. Je nach Erfordernis wird dann die Lüfterdrehzahl automatisch gesteigert, so z. B. bei hoher Ausgangsleistung des Netzteils oder bei hohen Umgebungstemperaturen.

Bild 5 zeigt die elektronische Lüftersteuerung. Der Lüfter selbst liegt mit seinem Pluspol direkt an der unstabilierten Versorgungsspannung, während der Minuspol über T 501 angesteuert wird. Die parallel zum Transistor liegenden Widerstände R 507 und R 508 sorgen dafür, daß die Spannung am Lüfter 6 V nicht unterschreiten kann, so daß eine bestimmte, erforderliche Grundkonvektion immer gewährleistet ist.

Die eigentliche Steuerelektronik, aufgebaut aus IC 502 mit Zusatzbeschaltung, wird mit der durch IC 501 erzeugten, stabilisierten Spannung von 5 V betrieben. Der Temperatursensor TS 501 des Typs SAA 965 ist in einer Brückenschaltung angeordnet, bestehend aus R 501-503 sowie dem Sensor selbst.

Zur optimierten, dem System angepaßten Verstärkung befindet sich im Rückkopplungsweig der Widerstand R 504. Der Ausgang des OPs IC 502 steuert dann über die Widerstände R 505 und R 506 sowie den Transistor T 501 den Luftdurchsatz des Lüfters.

Der Temperatursensor TS 501 befindet sich nicht wie sonst üblich in direktem thermischen Kontakt mit einem Kühlkörper, sondern an einer geeigneten Stelle zwischen den getrennten Kühlkörpern für den Primär- und Sekundärkreis. Die Temperatur wird dadurch trotz galvanischer Trennung im vom Lüfter abgesaugten, angewärmten Grundluftstrom zuverlässig gemessen, und bei Bedarf kann die Elektronik den Luftdurchsatz gezielt erhöhen.

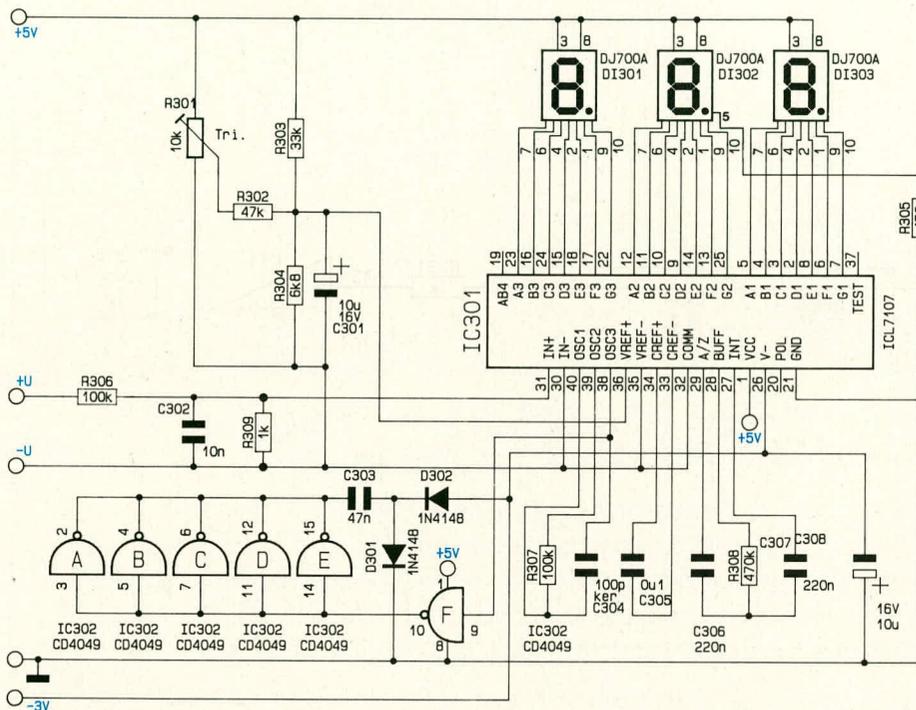


Bild 6: Spannungsanzeigeschaltung des SPS 7000. Die 5 parallelgeschalteten Inverter erzeugen die negative Versorgungsspannung von ca. 3,5V für beide A/D-Wandler.

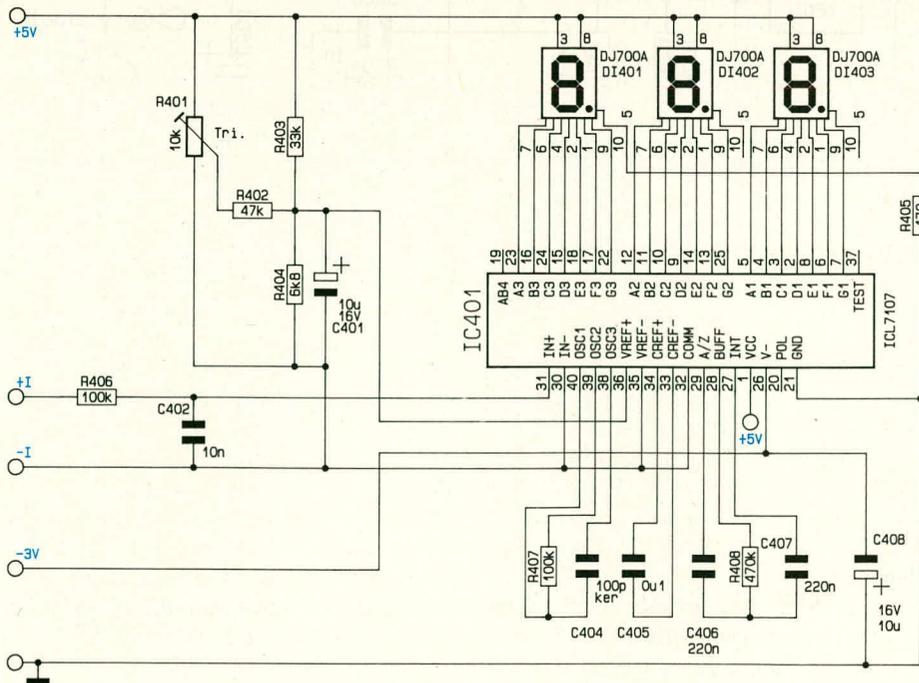


Bild 7: Stromanzeigeschaltung, bis auf wenige Einzelheiten identisch aufgebaut zur Spannungsanzeige von Bild 6.

Bild 6,7: Digital-Anzeigen

Das SPS 7000 ist mit 2 digitalen Anzeigen mit jeweils 3stelliger Auflösung für Strom und Spannung ausgestattet. Bild 6 zeigt die Schaltung zur Messung der Ausgangsspannung, Bild 7 diejenige für den Strom.

Beide Schaltungen sind weitgehend identisch. Die erforderliche negative Versorgungsspannung von ca. 3,5 V wird über den 6fach-Inverter IC 302 (Bild 6) in Verbindung mit C 303 sowie D 301, D 302 erzeugt. Die so gewonnene negative Spannung wird für beide A/D-Wandler (IC 301 und IC 401) genutzt. Die eingesetzten Wandler des Typs ICL 7107 setzen die an ihren Eingangs-Pins 30, 31 anliegende Meßspannung in einen digitalen Anzeigewert um, wobei die 7-Segment-LED-Anzeigen direkt angesteuert werden.

Im zweiten und abschließenden Teil dieses Artikels werden Aufbau und die Inbetriebnahme dieses interessanten Leistungs-Schalt-Netzteses ausführlich beschrieben. **ELV**